

## KOORDINACIJA NAPONA I IZOLACIJE ZA DISTRIBUTIVNU NADZEMNU MREŽU NAZIVNOG NAPONA 35 KV

### VOLTAGE AND INSULATION COORDINATION OF 35 KV NOMINAL VOLTAGE OVERHEAD DISTRIBUTION NETWORK

Alen GUDŽEVIĆ, GPS Insulators doo, Republika Srbija  
Darko MALEŠ, Elektrodistribucija Srbije, Republika Srbija  
Biljana STOJANOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Republika Srbija

#### KRATAK SADRŽAJ

Cilj ovog rada je da ukaže na probleme koordinacije najvišeg napona opreme i odgovarajuće koordinacije napona za opremu u nadzemnoj mreži nazivnog napona 35 kV. U radu je definisana razlika između koordinacije napona i koordinacije izolacije. U nastavku je, na osnovu standarda i pravilnika: Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, SRPS N.A2.001:1989 i SRPS N.B0.030:1978, dat osvrt na dosadašnju praksu ovih koordinacija i zahteve novih koordinacija po najnovijim izdanjima standarda: SRPS EN 60038:2013 i SRPS EN IEC 60071-1:2020. U zaključku se predlaže poštovanje koordinacije za nadzemne vodove u mreži nazivnog napona 35 kV sa najvišim naponom opreme 38 kV, kao što je i do sada bilo u starim standardima i pravilnicima, umesto najvišeg napona opreme od 40,5 kV koja se preporučuje standardom.

**Ključne reči:** Koordinacija izolacije, koordinacija napona, napon mreže 35 kV

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to point out the problems of coordination of the highest voltage of the equipment and the corresponding coordination of the voltage for the equipment in overhead network of nominal voltage 35 kV. In the paper a difference between voltage coordination and insulation coordination is defined. Furthermore, an overview of the current practice of these coordinations is given based on the following standards and regulations: Regulations on technical norms for the construction of overhead power lines with a nominal voltage of 1 kV to 400 kV, SRPS N.A2.001:1989 and SRPS N.B0.030:1978, as well as the requirements of new coordinations according to the latest editions of standards: SRPS EN 60038:2013 and SRPS EN IEC 60071-1:2020. In the conclusion, it is proposed to comply the coordination for overhead lines in the network of nominal voltage 35 kV with the highest equipment voltage of 38 kV, as it was defined before in the old standards and regulations, instead of the highest voltage of the equipment of 40.5 kV recommended by the standard.

**Key words:** Insulation coordination, network voltage 35 kV, voltage coordination

Alen Gudžević, a.gudzevic@gps.co.rs  
Darko Maleš, darkomales@yahoo.com  
Biljana Stojanović, biljana.stojanovic62@gmail.com

#### 1. UVOD

Za nadzemne vodove je bitno da se izaberu odgovarajući tipovi izolatora, pri čemu treba voditi računa o mehaničkim i električnim opterećenjima tog voda. Da bi se vodilo računa o električnim opterećenjima, moramo da odredimo nazivni napon voda, najviši napon opreme, nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon i nazivni kratkotrajni podnosivi napon mrežne frekvencije. Najviši napon opreme je najviši napon za koji je oprema projektovana u pogledu izolacije i drugih karakteristika, koji je utvrđen standardima za odgovarajuću opremu. Najviši napon opreme je najveća vrednost najvišeg napona koji može da se pojavi u mreži. Kako u normalnim radnim uslovima najviši i najniži nazivni napon mreže mora biti u granicama  $\pm 10\%$  od nazivnog napona mreže,

za standardizovani nazivni napon mreže od 35 kV prema standardima i pravilnicima preporučuje se najviši napon opreme 38 kV i 40,5 kV.

## 2. RAZLIKA IZMEĐU KOORDINACIJE NAPONA I KOORDINACIJE IZOLACIJE

Koordinacija izolacije obuhvata izbor i primenu dielektrične čvrstoće opreme zavisno od napona koji se mogu pojaviti u mreži za koju je opremu namenjena. Pod dielektričnom čvrstoćom opreme ovde se podrazumeva njen naznačeni nivo izolacije ili njen standardni nivo izolacije. Svrha koordinacije izolacije je da se verovatnoća proboja izolacije i prekida pogona, prouzrokovanih rezultirajućim naponskim napreznjima, svede na ekonomski i pogonski prihvatljivu vrednost. Naponi i prenaponi koji naprežu izolaciju moraju da se odrede amplitudom, oblikom i trajanjem, prilikom analize mreže koja obuhvata izbor i mesto ugradnje uređaja za ograničavanje prenapona. Za svaku vrstu prenapona se analizom određuju reprezentativni prenaponi, uvažavajući karakteristike izolacije. Reprezentativne prenapone mogu da karakterišu: pretpostavljena najveća vrednost ili niz vršnih vrednosti ili kompletna statistička raspodela vršnih vrednosti. Određivanje podnosivih napona koordinacije sastoji se od određivanja najnižih vrednosti podnosivih napona izolacije koji zadovoljavaju kriterijum ponašanja izolacije kada je izolacija izložena reprezentativnim prenaponima u pogonskim uslovima.

### 2.1. Određivanje statističkih podnosivih napona koordinacije

Određivanje podnosivih napona koordinacije sastoji se od određivanja najnižih vrednosti podnosivih napona izolacije koja zadovoljava kriterijum ponašanja izolacije kada je izolacija izložena reprezentativnim prenaponima u pogonskim uslovima. Podnosivi naponi koordinacije izolacije imaju oblik reprezentativnih prenapona odgovarajuće vrste, a njihove vrednosti se dobijaju množenjem vrednosti reprezentativnih prenapona faktorom koordinacije. Vrednost faktora koordinacije zavisi od tačnosti izračunavanja reprezentativnih prenapona i od empirijskih ili statističkih procena raspodele prenapona i karakteristika izolacije. Podnosivi naponi koordinacije mogu da se odrede ili kao konvencionalni pretpostavljeni podnosivi naponi ili statistički podnosivi naponi. To utiče na određivanje postupka i vrednosti faktora koordinacije. Simulacije slučajeva prenapona kombinovanih sa istovremenim izračunavanjem rizika od otkaza, korišćenjem odgovarajućih izolacionih karakteristika, dozvoljavaju direktno određivanje statističkih podnosivih napona koordinacije, bez određivanja reprezentativnih prenapona.

### 2.2 Određivanje zahtevanih podnosivih napona

Određivanje zahtevanih podnosivih napona izolacije sastoji se od preračunavanja podnosivih napona koordinacije na odgovarajuće standardne uslove ispitivanja. To je postignuto množenjem podnosivih napona koordinacije faktorom koji kompenzuje razlike između stvarnih pogonskih uslova izolacije i onih pri standardnim ispitivanjima podnosivosti.

Faktori koji se primenjuju moraju da kompenzuju:

- razlike u sklopu opreme;
- neujednačenost u kvalitetu proizvodnje;
- kvalitet montaže;
- starenje izolacije u toku očekivanog veka trajanja;
- ostale nepoznate uticaje.

Ako se, međutim, ti faktori ne mogu pojedinačno izračunati, mora da se prihvati ukupni faktor sigurnosti, dobijen iskustvom.

## 3. OSVRT NA STANDARDE I PRAVILNIK

Za izolator, odnosno izolatorski lanac, za nazivni napon mreže 35 kV, prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, SRPS N.A2.001:1989 i SRPS N.B0.030:1978, najviši napon opreme iznosi 38 kV. Najviši napon opreme, za nazivni napon mreže 35 kV, prema SRPS EN 60038:2013 iznosi 40,5 kV. Takođe, u standardu SRPS EN IEC 60071-1:2020 navodi se najviši napon opreme 40,5 kV, zasnovan na tekućoj praksi u nekim zemljama. U tabelama od 1 do 5 su prikazani naponi koji se preporučuju standardima i pravilnicima:

Tabela 1 - Prikaz najviših napona opreme i nazivnih napona mreže prema SRPS N.A2.001:1989

Najviši napon opreme (kV)	Nazivni napon mreže (kV)
3,6	3
7,2	6
12	10

24	20
38*	35

\*U IEC 38-1983 je umesto ove vrednosti, vrednost 40,5 kV

Tabela 2 - Prikaz najviših napona opreme prema SRPS N.B0.030:1978

Najviši napon opreme (efektivna vrednost) (kV)	Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon (vršna vrednosti) (kV)		Nazivni kratkotrajni podnosivi napon mrežne frekvencije (kV)
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
24	95	125	50
38	145	170	70

Tabela 3 - Prikaz najviših napona opreme i nazivnih napona mreže prema SRPS EN 60038:2013

Najviši napon opreme kV	Nazivni napon mreže (kV)	
3,6	3,3	3
7,2	6,6	6
12	11	10
(17,5)	-	(15)
24	22	20
36	33	30
40,5	-	35

Napomena: U tabeli postoje dve kolone za nazivni napon mreže. Preporučuje se da se u istoj zemlji koristi samo jedna od dve kolone. U Republici Srbiji za javnu elektrodistributivnu mrežu koristi se samo druga kolona.

Tabela 4 - Prikaz najviših napona opreme prema SRPS EN 60071-1:2020

Vrednosti naznačenog nivoa izolacije za najviši napon opreme zasnovane na tekućoj praksi u nekim zemljama

Najviši napon opreme (kV)	Nazivni kratkotrajni podnosivi napon mrežne frekvencije (kV)	Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon (kV)
40,5	80	185
	80	190
	85	200

Tabela 5 - Prikaz najviših napona opreme i nazivnih napona mreže, prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV

Nazivni napon (kV)	Najviši napon opreme (kV)	Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon (kV)	Nazivni kratkotrajni podnosivi napon mrežne frekvencije (kV)
1	2	4	5
3	3,6	40	10
6	7,2	60	20
10	12	75	28
20	24	125	50
35	38	170	70

Vrednosti iz table 5 važe za izolatore pod sledećim atmosferskim uslovima:

- 1) Atmosferski pritisak - 1013,25 mbar
- 2) Temperatura – 20 °C
- 3) Vlažnost – 11 g/m<sup>3</sup>

Prikaz ciklusa standarda:

Životni ciklus standarda: SRPS N.A2.001:1989 (povučen) → SRPS HD 472 S1:2010 (povučen) → SRPS EN 60038:2012 (revidiran) → SRPS EN 60038:2013 (objavljen)

#### 4. PROBLEMI I REŠENJE KOORDINACIJE NAJVIŠEG NAPONA OPREME I ODGOVORAJUĆE KOORDINACIJE NAPONA ZA OPREMU U MREŽI NAZIVNOG NAPONA 35 KV

Na osnovu standarda i pravilnika nije precizno definisan najviši napon opreme za nazivni napon mreže 35 kV. Samim tim se dolazi do problema kod izbora odgovarajuće opreme, izolacije, izolatora, odnosno izolatorskog lanca. Tako, da bi se izabrao odgovarajući izolator, odnosno izolatorski lanac za mrežu 35 kV, potrebno je da se uradi analiza mreže na osnovu koje će se dobiti reprezentativni naponi i prenaponi. Na osnovu dobijenih reprezentativnih napona i prenapona vrši se izbor izolacije koja zadovoljava kriterijume performansi iz kojih proizilazi podnosivi napon koordinacije. Iz ovog napona se dobija, primenom faktora za izračunavanje razlike između uslova pri tipskim ispitivanjima i stvarnih pogonskih uslova, zahtevani podnosivi napon tj. ispitni napon koji izolacija mora da izdrži u standardnom ispitivanju podnosivog napona. Time se obezbeđuje da će izolacija ispuniti kriterijum performansi kada je podvrgnuta datoj klasi prenapona u stvarnim uslovima rada i tokom celog trajanja rada. Prema dobijenom zahtevanom podnosivom naponu opredeljuje se izbor standardnih podnosivih napona: naznačenih ili standardnih nivoa izolacije.

Naznačeni nivo izolacije je skup standardnih podnosivih napona koji karakteriše čvrstoću izolacije, a standardni nivo izolacije je naznačeni nivo izolacije, čiji su standardni podnosivi naponi povezani sa standardnim podnosivim kratkotrajnim naponom mrežne frekvencije i standardnim podnosivim atmosferskim udarnim naponom iz tabela 2 i 4.

Standardni podnosivi napon je standardna vrednost ispitnog napona primenjenog prilikom standardnog ispitivanja podnosivosti. To je naznačena vrednost nivoa izolacije i dokazuje da izolacija zadovoljava jedan ili više podnosivih napona.

#### 5. ZAKLJUČAK

Osvrtom na stari standard IEC 60038:1983 gde je preporučena najviši napon opreme 40,5 kV za nadzemne vodove u mreži nazivnog napona 35 kV, a na osnovu iskustva u standardu SRPS N.A2.001:1989, naglašeno je da se za nadzemne vodove u mreži nazivnog napona 35 kV koristi najviši napon opreme od 38 kV. Na osnovu svega navedenog dolazi se do toga da se, iako je SRPS N.A2.001:1989 (povučen) zamenjen standardom SRPS EN 60038:2013 (objavljen), za nadzemne vodove u mreži nazivnog napona 35 kV, primenjuje najviši napon opreme 38 kV, koji takođe preporučuje i Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV.

Na osnovu dosadašnjeg iskustva i analiza mreža nazivnog napona 35 kV, uz osvrt na standarde, izvodi se zaključak da je za nadzemnu mrežu nazivnog napona 35 kV na teritoriji Republike Srbije potrebno i dovoljno da se primenjuju izolatori odnosno izolatorski lanci koji zadovoljavaju najviši napon opreme 38 kV.

#### LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV
- [2] SRPS N.A2.001:1989, "Standardni naponi"
- [3] SRPS N.B0.030:1978, "Koordinacija izolacije u visokonaponskim postrojenjima"
- [4] SRPS EN 60038:2013, "Standardni naponi prema CENELEC-u"
- [5] SRPS EN IEC 60071-1:2020, "Koordinacija izolacije - Deo 1: Definicije, principi i pravila"