

Dr. Ivan Sarajčev, dipl.ing.
Fakultet elektrotehnike,
strojarstva i brodogradnje, Split

R 3.03

**ODREĐIVANJE NAPONSKOG STANJA U PLAŠTEVIMA
JEDNOŽILNIH KABELA, UZEMLJENIH NA JEDNOM KRAJU,
PRI NASTUPU JKS-A U JEDNOM OD KABELA**

SAŽETAK

U radu je prikazan proračun naponskog stanja u plaštevima jednožilnih kabela, uzemljenih samo na jednom kraju, u uvjetima nastupa jednopolnog kratkog spoja (JKS-a) u jednom od nazočnih kabela. Spomenuti proračun se temelji na posebno razvijenom postupku, koji - pri određivanju strujnog i naponskog stanja u aktivnom i pasivnom dijelu kablenskog voda - koristi: trofazni postupak proračuna, metodu superpozicije stanja stacionarnog pogona i fiktivnog sustava, te kvazistatički tretman.

**VOLTAGE DISTRIBUTION DETERMINATION IN SINGLECORE
SHEATHS, EARTHED ON ONE SIDE, IN A SINGLE
SHORT-CIRCUITED CABLE**

RESUME

In this paper are presented the calculations for the single short circuit conditions of a voltage distribution in a singlecore sheaths being earthed on one side. The calculation is based on the specially developed method which when being used for determination of current and voltage distributions in active and passive parts of cable line includes: the three phase method calculation, the superposition method for stationary and fictive system state and also the quasistatic treatment.

Ključne riječi:
Jednožilni kabel
Jednopolni kratki spoj
Naponsko stanje
Uzemljenje plašta

Key words:
Singlecore cable
Single short circuit
Voltage distribution
Earthing sheath

1. UVOD

Vodljivi plaštevni energetskih kabela uzemljuju se u pogonu, u pravilu, na oba kraja. Međutim, u situacijama kada se primjerice želi:

- spriječiti iznošenje potencijala iz postrojenja pogođenih JKS-em
 - ostvariti ispravno djelovanje relejne zaštite od JKS-a u kabelu,
- plaštevni spomenutih kabela uzemljuju se samo na jednom od njegovih krajeva.

Način uzemljenja plašta bitno utječe na iznose nadomjesnih impedancija direktnog/inverznog i nultog redosljeda dotičnog kabelskog voda, [1-2]. U tom smislu, posebice su zanimljivi kabelski vodovi sačinjeni od jednožilnih kabela, u plaštevima kojih se javljaju kružne struje pri uzemljenju istih na oba kraja, odnosno u nepostojanju kružnih struja pri uzemljenju plašteva samo na jednom kraju. [3-4].

U proračunima strujnih i naponskih stanja u aktivnom i pasivnom dijelu promatranog kabelskog voda, a pri nastupima JKS-a izvan kabela (npr. u postrojenju), ispravno je koristiti dobro poznati konvencionalni postupak proračuna (temelji se na sustavima simetričnih komponentata) [5-7], s time da se u predodžbi kabelskog voda rabe njegove simetrične komponente (impedancije direktnog/inverznog i nultog redosljeda), koje, ipak, pritom odgovaraju konkretnom načinu uzemljenja plašteva.

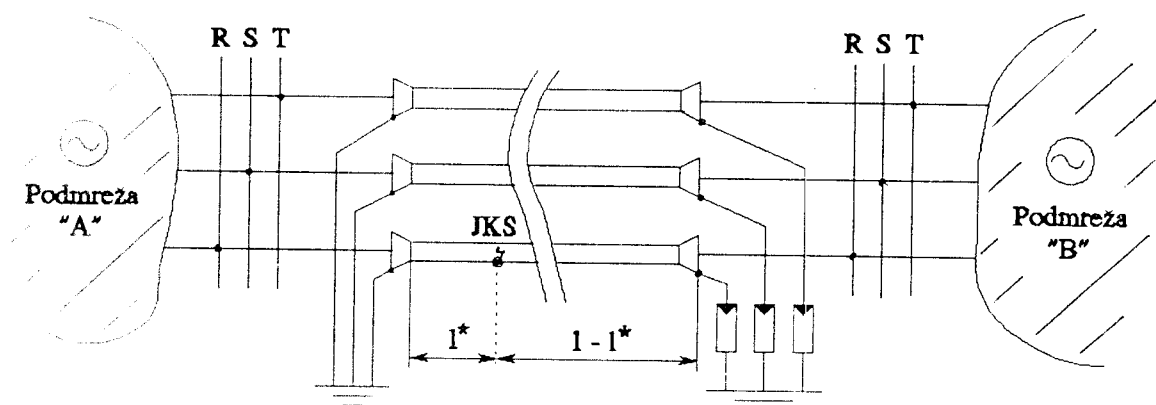
No, primjerice, pri nastupu JKS-a u jednom od jednožilnih kabela konvencionalni postupak proračuna daje netočne rezultate. Razlog tome jest u promijenjenom elektromagnetskom stanju, kojeg korektno ne interpretira prije spomenuti sustav simetričnih komponentata kabelskog voda. U tu je svrhu, razvijen izvorni matematički model [8] koji na korektan način tretira problematiku raspodjele struja u aktivnom i

pasivnom dijelu kabelskog voda pri nastupu JKS-a u jednom od jednožilnih kabela kabelskog voda

U ovom radu prikazuje se proračun naponskog stanja u plaštevima jednožilnih kabela uzemljenih samo na jednom kraju, u slučaju nastupa JKS-a u jednom od spomenutih kabela. Rezultati navedenog proračuna su značajni/iskoristivi, među inim, i u zadacima odabira osnovnih parametara metaloksidnih odvodnika prenapona. Potonji se, naime, ugrađuju između plašteva kabela (naravno na neuzemljenom kraju) i zemljivača odgovarajućeg postrojenja

2. POSTUPAK PRORAČUNA

Na sl. 1. predočena je nadomjesna shema kabelskog voda, sastavljenog od tri jednožilna kabela, s plaštevima uzemljenim samo na jednom kraju, koji povezuje pod mreže



Sl. 1. Snema trofaznog kablenskog voda s incidentnim mu elektroenergetskim podmrežama

Pri određivanju odgovarajućeg strujnog i naponskog stanja u navedenom kablenskom vodu upotrijebljen je trofazni postupak proračuna. Vodi se stoga računa o vlastitim i međusobnim impedancijama faznih vodiča i plašteva promatranog kablenskog voda. Podmreže A i B su prikazane također vlastitim i međusobnim impedancijama,

${}^0\bar{Z}_A$, ${}^d\bar{Z}_A$, ${}^0\bar{Z}_B$ i ${}^d\bar{Z}_B$, ekvivalentnih faznih vodiča, respektivno. Dotične veličine definiraju svojstva izdašnosti dotičnih podmreža, a određuju se na temelju nadomjesnih impedancija direktnog i nultog redosljeda navedenih podreža. Primjerice, za podmrežu A vrijedi:

$${}^v\bar{Z}_A = \frac{{}^0\bar{Z}_A + 2{}^d\bar{Z}_A}{3} \quad (1)$$

$${}^m\bar{Z}_A = \frac{{}^0\bar{Z}_A - {}^d\bar{Z}_A}{3} \quad (2)$$

pri čemu su ${}^0\bar{Z}_A$ i ${}^d\bar{Z}_A$ nadomjesne impedancije podmreže A nultog i direktnog redosljeda, respektivno. Potonje veličine mogu se odrediti redukcijom podmreže A navedenih redosljeda, ili pak temeljem proračuna struja trolnog, \bar{I}_{k3} , i jednofaznog, \bar{I}_{k1} , kratkog spoja u dotičnoj podmreži na mjestu priključka promatranog kablenskog voda, a pri njegovu isključenju. Iskorištavaju se izrazi, [9]:

$${}^d\bar{Z}_A = \frac{U_n}{\sqrt{3}\bar{I}_{k3}} \quad (3)$$

$${}^0\bar{Z}_A = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \left(\frac{3}{\bar{I}_{k1}} - \frac{2}{\bar{I}_{k3}} \right) \quad (4)$$

gdje je U_n - nazivni napon pod mreže A.

Analogno vrijedi i za pod mrežu B.

Pri trofaznoj analizi strujnog i naponskog stanja, tijekom nastupa JKS-a u razmatranom kabelskom vodu, upotrijebljena je metoda superpozicije. Ona usvaja da su rezultirajuće strujno i naponsko stanje u elementima promatranog kabelskog voda jednaki zbroju strujnog i naponskog stanja u stacionarnom pogonu (prije nastupa JKS-a) i u tzv. fiktivnom sustavu. Primjerice, za k-ti element (aktivni i/ili pasivni) vrijedi:

$${}^{\beta(i)}\bar{I}_k = {}^{\beta(i)}\bar{I}_{ks} + {}^{\beta(i)}\bar{I}_{kf} \quad (5)$$

$i = 1, 2, 3$

pri čemu veličine ${}^{\beta(i)}\bar{I}_{ks}$ i ${}^{\beta(i)}\bar{I}_{kf}$ predstavljaju respektivno struje k-tog elementa u stacionarnom pogonu i fiktivnom sustavu; dok veličina $\beta(i)$ označuje fazu, kako slijedi:

$$\beta(i) = \begin{cases} R, & \text{za } i=1 \\ S, & \text{za } i=2 \\ T, & \text{za } i=3 \end{cases} \quad (6)$$

Slično vrijedi i pri određivanju rezultirajućeg naponskog stanja, primjerice u plaštevima kabela uzemljenim samo na jednom kraju. Tada, naime vrijedi:

$${}^{\beta(i)}\bar{E} = {}^{\beta(i)}\bar{E}_s + {}^{\beta(i)}\bar{E}_f \quad (7)$$

$i = 1, 2, 3$

gdje su: ${}^{\beta(i)}\bar{E}_s$ i ${}^{\beta(i)}\bar{E}_f$ - naponi u plaštevima faza (R, S, T) u stacionarnom pogonu i fiktivnom sustavu, respektivno.

~~Određivanje naponskog stanja napona u plaštevima odnose na kabl... ..~~

Na temelju izračunatog strujnog stanja u fiktivnom sustavu računaju se pripadni naponi u plaštevima kabela dotičnog sustava.

Navedeni proračuni strujnog i naponskog stanja u stacionarnom pogonu i fiktivnom sustavu, provode se na digitalnom računalu pomoću programskog sustava naslova KAUKS, razvijenog od autora ovog rada. Dotičnim programskim sustavom moguće je istraživati strujna i naponska stanja tijekom proizvoljno odabranog stacionarnog pogona (od stanja praznog hoda do opterećenja po volji), te pri nastupu JKS-a unutar kabela i to pri slijedećim, po volji odabranim, situacijama:

- obje podmreže A i B jesu aktivne, proizvoljno izdašne, mreže
- jedna od podreža, A ili B, jest pasivna mreža
- stanje uzemljenja navedenih podmreža je odaberivo po volji
- plaštev kablenskog voda su uzemljeni na oba kraja
- plaštev kablenskog voda su uzemljeni samo na jednom od krajeva, bilo na strani podmreže A ili podmreže B
- raspored kabela je proizvoljan (zadaju/učitavaju se koordinate središta pojedinih kabela)
- mjesto nastupa JKS-a u kabelu odabire se po volji
- računavaju se geofizikalna svojstva trase (specifični električni otpor) duž koje je položen promatrani kablenski vod.

Osim toga, navedeni programski sustav posjeduje opciju izborom koje se mogu računati strujna i naponska stanja u kablenskom vodu i pri nastupima JKS-a izvan kabela (dakle u postrojenju, gdje je primjena konvencionalnog postupka proračuna valjana/korektna). Valja, pritom, istaći da su provedbom izloženog trafaznog proračuna i konvencionalnog proračuna dobijeni istovjetni rezultati za slučaj nastupa JKS-a izvan kabela.

3. PRIMJER I REZULTATI PRORAČUNA

Za proračun je odabran trofazni kablenski vod sačinjen od jednožilnih kabela 64/110 kV tipa SIPRELEC, proizvedenih u tvrtki SII EC - Francuska. Fazni vodiči su ujednaženi i

Tretirane su situacije polaganja kabela u:

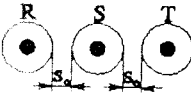
- ravnini s razmakom s_0 i rasporedom faza kao u tabl. I i tabl. II.

Razmatrano je stanje uzemljenja plašteva kabela samo na strani podmreže A.

Proračuni su provedeni s pomoću programskog paketa KAUKS, pri čemu je mjesto nastupa JKS-a u kabelu faze R mijenjano proizvoljno u rasponu $l \in [0, l]$. Pritom je

u plaštu kabla pogođenog JKS-em ne ovisi o razmaku među kabelima, dok naponska stanja u plaštevima "zdravih" kabla ovise o dotičnim razmacima. Pritom, s povećanjem razmaka među kabelima opadaju naponi u plaštevima "zdravih" kabla.

Tablica II Naponska stanja u plaštevima kabla pri nastupima JKS-a na neuzemljenom kraju istog, ovisno o razmaku među kabelima položenim u ravnini

Način polaganja kabla	Faza $B(i)$	$B^{(i)}\dot{E}$ [kV], pri $l^* = l$, a za:		
		$s_0 = 0$ [cm]	$s_0 = 7$ [cm]	$s_0 = 25$ [cm]
	R	22,84/143°	22,84/143°	22,85/143°
	S	6,21/210°	5,84/209°	5,35/209°
	T	5,68/209°	5,32/209°	4,84/208°

4. ZAKLJUČAK

U radu je iznesen postupak proračuna naponskog stanja u plaštevima trofaznog kabelskog voda, sastavljenog od jednožilnih kabla s plaštevima uzemljenim samo na jednom kraju, pri nastupu JKS-a u jednom od kabla dotičnog voda. Navedeni postupak iskorištava pritom: trofazni postupak proračuna, metodu superpozicije stanja stacionarnog pogona i fiktivnog sustava, te kvazistatički tretman jer se radi o dinamičkim sinusno promjenjivim poljima. U proračunu se uračunavaju: elektromagnetske i geometrijske značajke kabla; načini uzemljenja plašteva kabla; raspored kabla; izdašnost, karakter stanje uzemljenja pod mreža incidentnih promatranom kabelskom vodu: geofizikalna svojstva trase kabla; te mjesto nastupa JKS-a u kabelu.

Urađeni su proračuni naponskog stanja u plaštevima jednožilnih kabla 64/110 kV tipa SIPRELEC, tvrtke SILEC - Francuska, pri nastupima JKS-a u jednom od spomenutih kabla. Proračuni su provedeni s pomoću programskog sustava naslova KAUKS, razvijenog na temelju izložene teorije.

pripadnog uzemljivača. Za određivanje potonjeg napona valja, pritom, izračunatom maksimalnom naponu u plaštu pribrojiti vektorski potencijale odgovarajućih uzemljivača smještenih na krajevima razmatranog kablenskog voda.

LITERATURA

- [1] Heinhold L.: Power cables and their application, Siemens, Berlin, 1979.
- [2] Wagner C.F., Evans R.G.: Simetrical components, McGraw_Hill Book Company
- [3] IEC, Publication 287/1969.
- [4] Sarajčev I.: Gubici snage kablenskog prenosa, disertacija, ETF, Zagreb, 1985.
- [5] Stagg G.W., El-Abaid A.H.: Computer methods in power system analysis, McGraw-Hill, 1968.
- [6] Ožegović M. i K.: Električne mreže II, FESB, Split, 1980.
- [7] Stefanini B.: Električne mreže, ETF, Zagreb
- [8] Sarajčev I.: Istraživanje strujnog stanja pri kratkom spoju u jednožilnim kabelima, prihvaćeno za objavljivanje u časopisu Elektrotehnika, Zagreb
- [9] Požar H.: Visokoponska rasklopna postrojenja, Tehnička knjiga, Zagreb, 1967.
- [10] SILEC: Kataloški podaci