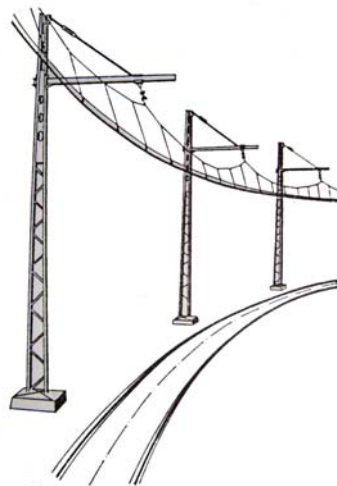




ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Seminarski rad iz električnih vozila

***Kontaktne mreže i podstanice
jednofaznog sistema vuče***



Studenti:

Jasna Branislavljević 45/02

Aleksandar Jovanović 421/02

Beograd, 2008.

SADRŽAJ

1. Elektrovučne podstanice.....	2
1.1. Uvod.....	2
1.2. Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 15 kV, 16 2/3 Hz.....	2
1.3. Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz.....	4
1.4. Strujna i naponska nesimetrija.....	5
1.4.1. Strujna nesimetrija.....	5
1.4.3. Sredstva za ublažavanje nesimetrije.....	7
1.5. Principske šeme podstanica.....	8
2. Kontaktna mreža.....	9
2.1. Uvod.....	9
2.2. Prosta kontaktna mreža.....	10
2.3. Lančasta kontaktna mreža.....	11
2.4. Nekompenzovana kontaktna mreža.....	12
2.5. Polukompenzovana kontaktna mreža.....	12
2.6. Kompenzovana kontaktna mreža.....	12
2.7. Zatezanje kontaktne mreže.....	13
2.8. Električne i mehaničke karakteristike lančaste kontaktne mreže.....	13
2.9. Sastav kontaktne mreže.....	14
2.10. Poligonacija kontaktne mreže.....	15
2.11. Kontaktna mreža u krivini.....	16
2.12. Sekcionisanje kontaktne mreže.....	16
2.13. Oprema sporednih koloseka i oprema tunela.....	17
2.14. Izolatori, rastavni uređaji, sekcioni izolatori, rastavljači, stubovi.....	17
2.15. Povratni vod.....	18
2.16. Uzemljenje.....	20
2.17. Padovi napona, uticaj faktora snage, stepen iskorišćenja.....	20
2.18. Uticaj kontaktne mreže.....	20
LITERATURA.....	23

1. Elektrovučne podstanice

1.1. Uvod

Elektrovučna podstanica (EVP) jeste postrojenje za transformaciju električne energije. Elektrovučne podstanice raspoređene su duž elektrificiranih pruga. Napajaju se električnom energijom iz elektroprivredne mreže preko napojnih dalekovoda. Napojni dalekovod jeste visokonaponski nadzemni elektroenergetski vod koji sadrži sve delove za nadzemno vođenje provodnika koji prenose električnu energiju. Visokonaponsko razvodno postrojenje omogućava razvođenje električne energije iz elektroprivredne mreže ka električnoj podstanici.

Transformacija električne energije obuhvata pretvaranje trofaznog napona elektroprivredne mreže u odgovarajući naponski sistem elektrificirane pruge. Kod svih sistema napon se snižava pomoću transformatora. Elektrovučne podstanice napajaju sisteme za napajanje vozila preko napojnih vodova.

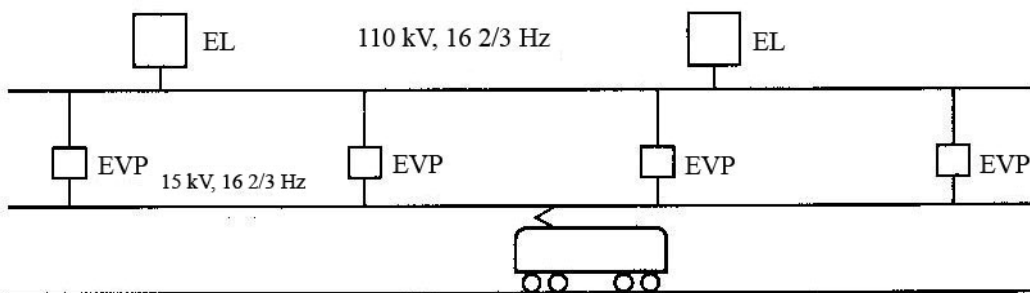
Zavisno od sistema električne vuče, u EVP nalaze se odgovarajući pretvarači električne energije: transformatori, obrtni pretvarači i statički pretvarači. Osnovna pretvaračka jedinica može biti samo transformator ili kombinacija transformatora i pretvarača. Za određivanje broja osnovnih pretvaračkih jedinica važe dva principa. Prvi je princip hladne rezerve gde n osnovnih jedinica obezbeđuje potrebnu snagu za napajanje vozila, a jedna jedinica isključivo je rezerva za slučaj neispravnosti. Potreba za većom snagom obezbeđuje se iz rezerve u instalisanoj snazi n osnovnih jedinica. Drugi je princip tople rezerve gde se nominalna snaga obezbeđuje iz jedne osnovne jedinice, a rezerva snage u slučaju preopterećenja od druge osnovne jedinice. Druga osnovna jedinica služi i kao rezerva u slučaju neispravnosti prve.

U elektrovučnim podstanicama nalaze se zaštitni, rasklopni i merni aparati koji su povezani sa sistemom za daljinsko upravljanje.

1.2. Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 15 kV, 16 2/3 Hz

Postoje dva načina za dobijanje jednofaznog napona 15 kV, 16 2/3 Hz.

Prvi način sastoji se u direktnoj proizvodnji električne energije jednofaznog napona 110 kV, 16 2/3 Hz u elektranama, razvođenju do elektrovučnih podstanica i snižavanju napona 110 kV na 15 kV u elektrovučnim podstanicama (sl. 1.). Ovo je centralizovani sistem za snabdevanje električnom energijom koji je primenjen u Švajcarskoj, Nemačkoj, Norveškoj, Švedskoj i Austriji.

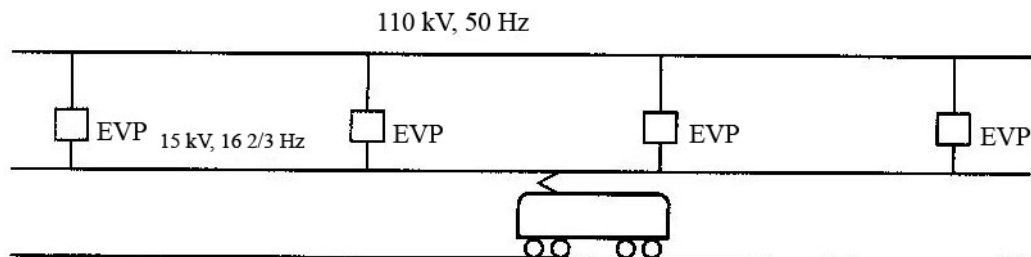


Slika 1.- Šema centralizovanog sistema za snabdevanje električnom energijom jednofaznog sistema 15 kV, 16 2/3 Hz

Trofazna elektroprivredna mreža industrijske učestanosti i jednofazna železnička mreža snižene učestanosti povezuju se radi razmene energije. Ove veze ostvaruju se pomoću složenih obrtnih pretvaračkih grupa. Protok energije moguć je u oba smera. Snaga ovakvih grupa dostiže 70MW.

Drugi način sastoji se u pretvaranju trofaznog napona industrijske učestanosti u jednofazni napon 15 kV, 16 2/3 Hz u elektrovučnim podstanicama (sl. 2.). Ovo je decentralizovani sistem za snabdevanje električnom energijom koji je primenjen u Švedskoj i Norveškoj, jer se elektrane nalaze pretežno na severu, a najveća naseljenost i gustina pruga jesu na jugu tih država. Nije

celishodno da se paralelno s dalekovodima elektroprivredne mreže postavlja i poseban jednofazni dalekovod za železnicu.



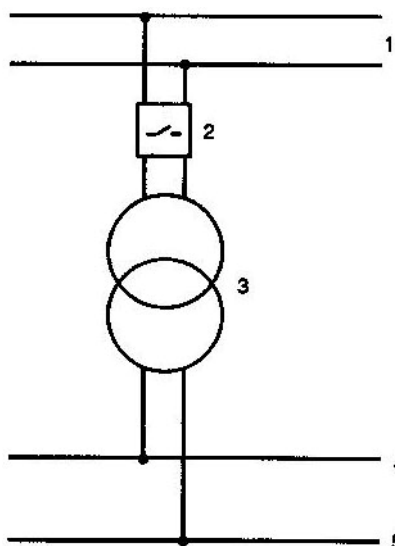
Slika 2. - Šema centralizovanog sistema za snabdevanje električnom energijom jednofaznog sistema 15 kV, 16 2/3 Hz

Prema tome, postoje dve vrste elektrovučnih podstanica jednofaznog sistema 15kV, 16 2/3 Hz.

Prvoj vrsti pripadaju EVP centralizovanog sistema u kojima se obavlja samo snižavanje jednofaznog napona 110 kV, 16 2/3 Hz na 15 kV, 16 2/3 Hz.

Drugoj vrsti pripadaju EVP decentralizovanog sistema u kojima se obavlja pretvaranje trofaznog napona 110 kV, 50Hz u jednofazni napon 15 kV, 16 2/3 Hz

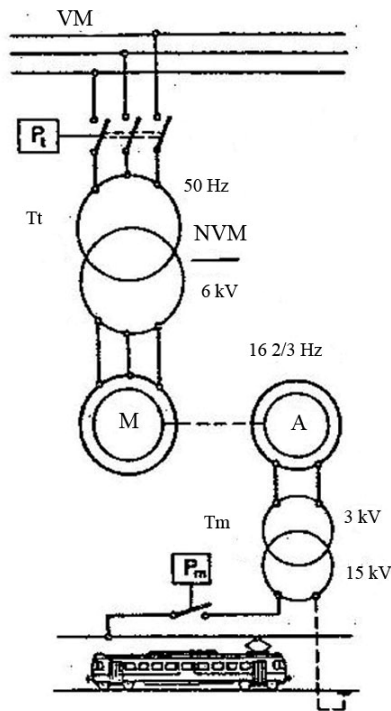
EVP centralizovanog sistema sačinjavaju (sl. 3.): sabirnice višeg napona, dva jednofazna transformatora, sabirnice jednofaznog napona 15 kV i napojni vodovi. Snaga transformatora standardizovana je: 5 MVA, 7.5 MVA, 10 MVA i 15 MVA.



Slika 3 – Principijska šema napajanja jednog transformatora EVP centralizovanog sistema snižene učestanosti (1 – jednofazni dalekovod, 2 – razvodno postrojenje, 3 – transformator, 4 – vodni vod kontaktne mreže, 5 – povratni vod kontaktne mreže)

U EVP decentralizovanog sistema snižava se napon, pretvara broj faza i snižava učestanost. Trofazni napon elektroprivredne mreže industrijske učestanosti pretvara se u jednofazni napon snižene učestanosti za napajanje kontaktne mreže. Osnovnu pretvaračku grupu sačinjavaju: trofazni transformator, trofazni sinhroni motor, jednofazni generator i jednofazni transformator.

EVP decentralizovanog sistema sačinjavaju (sl. 4.): sabirnice višeg napona, dve pretvaračke grupe, sabirnice jednofaznog napona 15 kV, 16 2/3 Hz i napojni vodovi. Snaga pretvarčkih grupa dostiže 10 MVA.



EVP jednofaznog sistema 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz mogu da rade paralelno, tj. da zajednički napajaju kontaktnu mrežu ili deo kontaktne mreže. Rastojanje susednih EVP iznosi 40-50 km. EVP jednofaznog sistema predstavljaju simetrično opterećenje za elektroprivrednu mrežu.

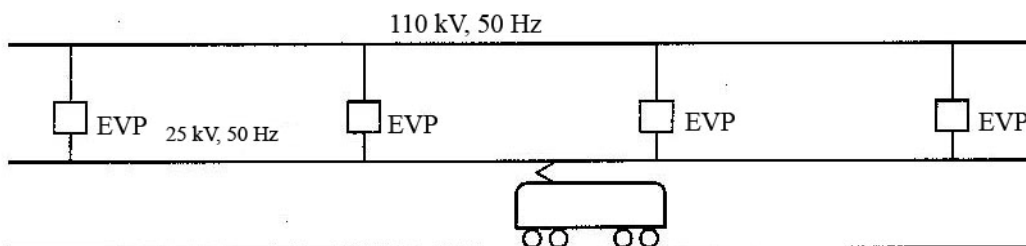
Slika 4 – Principalska šema napajanja jedne pretvaračke grupe EVP decentralizovanog sistema snižene učestanosti

Propisima Međunarodne železničke unije (UIC), dozvoljene promene napona kontaktne mreže ovde su +10% -20% (-25%) ili u voltima

nominalna vrednost	maksimalni napon	minimalni trajni napon	minimalni kratkotrajni napon
15000	16500	12000	11000

1.3. Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz

U elektrovučnim podstanicama jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz samo se snižava napon 110 kV, 50Hz na 25 kV, 50Hz



Slika 5. – Šema sistema za snabdevanje električnom energijom jednofaznog sistema 25kV, 50Hz

Elektrovučnu podstanicu jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz sačinjavaju: sabirnice višeg napona, dva jednofazna transformatora, sabirnice jednofaznog napona 25kV i napojni vodovi. Jedan transformator stalno je u pogonu, a drugi je u stanju tople rezerve. Snaga transformatora standardizovana je: 5 MVA, 7.5 MVA, 10 MVA i 15 MVA.

EVP jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz ne mogu da rade paralelno. Rastojanje susednih EVP iznosi 60-70 km. Minimalni kratkotrajni napon (do 10 minuta) iznosi 17,5 kV. Maksimalni kratkotrajni napon (do 5 minuta) iznosi 29 kV.

1.4. Strujna i naponska nesimetrija

Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz priključuju se na međufazni napon tofazne elektroprivredne mreže. Zbog toga mogu da nastanu naponska i strujna nesimetrija.

1.4.1. Strujna nesimetrija

Inverzno polje se obrće u odnosu na rotor brzinom dvostruko većom od sinhronne brzine. Ono indukuje u metalnim masama rotora struje dvostruke učestanosti. Ove struje prouzrokuju dopunsko zagrevanje i povećavaju gubitke alternatora, smanjujući na taj način stepen iskorišćenja. U odnosu na strujnu nesimetriju, generatori hidroelektrana ne ponašaju se isto kao turbogeneratori. Generatori hidroelektrana lako podnose inverzno polje. To su generatori snabdeveni prigušnim namotajima, sa isturenim polovima, sa relativno malim brzinama i obično šire dimenzionisani. Oni mogu napajati nesimetrično opterećenje, a da se ne izlože preteranom zagrevanju.

Nije isti slučaj sa turbogeneratorima. Njihov rotor je ožlebljen i obrće se velikom brzinom. Inverzno polje indukuje u steznim obročima rotora, načinjenih od metala velikog specifičnog otpora iz mehaničkih razloga, struje koje izazivaju opasno zagrevanje steznih obruča. U slučaju dužeg trajanja može doći do njihove deformacije.

Iz ovih razloga ograničava se trajanje strujne nesimetrije. Ispitivanja obavljena u Francuskoj, daju sledeću tabelu za dozvoljeno trajanje strujne nesimetrije u slučaju turbogeneratora :

TRAJANJE NESIMETRIJE	NESIMETRIJA ($\frac{I_i}{I_n}$)
30 s	0.60
1 min	0.45
2 min	0.35
3 min	0.28
5 min	0.20
10 min	0.12
Beskonačno	0.08

Iz tabele se vidi da, na primer, jedan turbogenerator može davati beskonačno dugo jednofaznu snagu jednaku 8 % njegove nominalne snage. Budući da se jednofazna opterećenja, prouzrokovana vučom, kreću ispod dozvoljene granice za većinu turbogeneratora, to ovaj problem ne predstavlja naročite teškoće, ali se o tome mora voditi računa.

1.4.2. Naponska nesimetrija

Iz izraza za naponsku nesimetriju ne može se direktno zaključiti nikakav odnos prema stvarnim naponima koji se javljaju između faza pri jednofaznom opterećenju trofazne mreže. Zbog toga se koeficijent nesimetrije mora izraziti na drugi način. Može se dokazati da je on jednak:

$$k = \frac{V_i}{V_d} = \frac{Z_i}{Z_i + Z_m}$$

gde su: Z_i - inverzna impendansa trofazne mreže u tački napajanja jednofaznog opterećenja

Z_m - impendansa jednofaznog opterećenja

Iz ovog izraza se vidi da je u slučaju jake trofazne mreže, dakle male inverzne impendanse, koeficijent nesimetrije mali. S druge strane, inverzna impendansa mreže sve više opada sa udaljavanjem od tačke opterećenja i približavanjem elektrani, tako da je uticaj jednofaznog opterećenja sve manji. Pored toga, povećanje jednofaznog opterećenja smanjuje jednofaznu impendansu te je koeficijent nesimetrije napona veći.

Označimo sada sa P_m snagu jednofaznog potrošača, priključenog između dve faze, pod naponom U :

$$P_m = \frac{U^2}{Z_m} \text{ (kVA)}$$

Ako je Z_d direktna impendansa trofazne mreže u tački napajanja, onda je snaga kratkog spoja u ovoj tački :

$$P_{cc} = 3 \frac{E^2}{Z_d}, \text{ gde je } E \text{ vrednost elektromotorne sile za spregu zvezda.}$$

Učinimo sada dve pretpostavke :

1. zanemarimo pad napona od izvora do jednofaznog opterećenja , to jest stavimo da je:

$$U = \sqrt{3}E$$

2. stavimo da su inverzna impendansa Z_i i direktna impendansa Z_d jednake u trenutku početka kratkog spoja: $Z_i = Z_d$

Pri ovome biće:
$$P_{cc} = \frac{3E^2}{Z_i}$$

gde je P_{cc} snaga kratkog spoja u trenutku početka kratkog spoja.

Tada će koeficijent nesimetrije biti:

$$k = \frac{Z_i}{Z_i + Z_m} = \frac{3 \frac{E^2}{P_{cc}}}{\frac{3E^2}{P_{cc}} + \frac{U^2}{P_m}} = \frac{3 \frac{E^2}{P_{cc}}}{\frac{3E^2}{P_{cc}} + \frac{3E^2}{P_m}}$$

$$k = \frac{\frac{1}{P_{cc}}}{\frac{1}{P_{cc}} + \frac{1}{P_m}} = \frac{P_m}{P_{cc}}$$

ako se zanemari P_m u odnosu na P_{cc} .

Iz ovoga se vidi da je nesimetrija direktno proporcionalna prividnoj snazi jednofaznog opterećenja i inverzno proporcionalna snazi kratkog spoja na mestu priključka.

Na taj način može se brzo sračunati dejstvo priključka jednofaznog potrošača. Ako se pretpostavi elektrovučna podstanica snage 10000 kVA priključena na mrežu čija je snaga kratkog spoja 1000 MVA na mestu elektrovučne podstanice, nesimetrija će biti:

$$\frac{10000}{1000000} = \frac{1}{100}$$

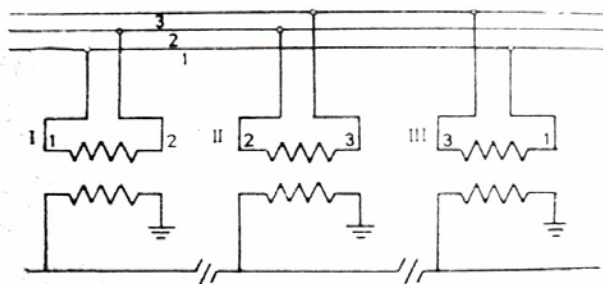
Ovo je naravno za slučaj rada elektrovučne podstanice pod punim opterećenjem.

Iz ovog se vidi da je od interesa priključiti elektrovučnog potrošača na mestima gde je snaga kratkog spoja velika.

1.4.3. Sredstva za ublažavanje nesimetrije

Nesimetriju je moguće ublažiti na jedan od sledeća tri načina:

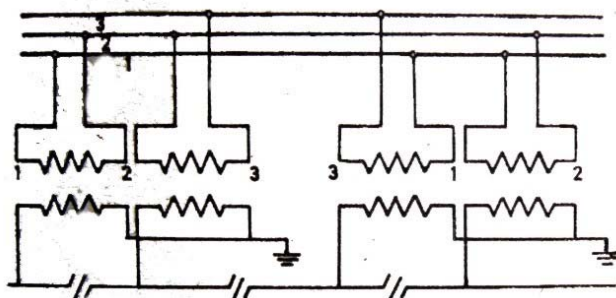
- napajanjem elektrovučnih podstanica sa različitih faza trofazne mreže
- spregom transformatora u “V”
- upotrebom Scott-ovih transformatora u elektrovučnim podstanicama



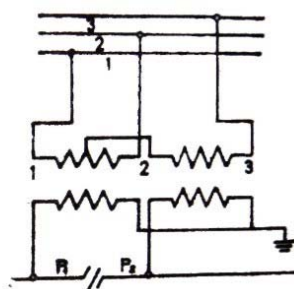
Slika 6. – Šema napajanja elektrovučnih podstanica sa različitih faza trofazne mreže

Na slici 6. je prikazana šema napajanja elektrovučnih podstanica sa različitih faza trofazne mreže. Kao što se vidi sa slike, podstanica I priključena je između faza 1 i 2, podstanica II između faza 2 i 3, a podstanica III između faze 3 i 1. Na taj način se jednofazni potrošač raspodeljuje na sve tri faze. Ovakvo rešenje zahteva instalisanje tzv. neutralnih zona na pruži da bi se izbegli kratki spojevi između faza.

Na slici 7. prikazana je šema napajanja vezom transformatora u “V”. U ovom slučaju podstanica ima dva transformatora koji se napajaju iz različitih faza. Primena podstanica sa vezom u “V” zahteva dvostruki broj neutralnih zona u odnosu na prethodnu vezu



Slika 7. - Šema napajanja vezom transformatora u “V”



Slika 8. – Scott-ova veza transformatora

Scott-ova veza transformatora predstavljena je na slici 8. Scott-ova veza ima dva jednaka fazna transformatora B i H čiji su sekundari isti. Primari se međutim razlikuju. Ako je n_1 broj namotaja primara transformatora V onda se primar transformatora N gradi sa n_1 navojaka. Tada su sekundarni naponi transformatora V i N jednaki po veličini ali fazno pomereni za $\pi/2$.

Ako su opterećenja P_1 i P_2 jednaka, onda se može dokazati da će primarne struje I_1, I_2, I_3 činiti uravnotežen sistem. Ukoliko opterećenja nisu jednaka, efekat će biti približno isti kao da imamo čisto jednofazno opterećenje snage $P_1 - P_2$. Prema tome Scott-ova veza eliminiše potpuno nesimetriju na strani visokog napona kada su dva sektora podjednako opterećena. Ako su međutim opterećenja nejednaka, nesimetrija će postojati ali kao da je prouzrokuje opterećenje jednako razlici opterećenja dva sektora.

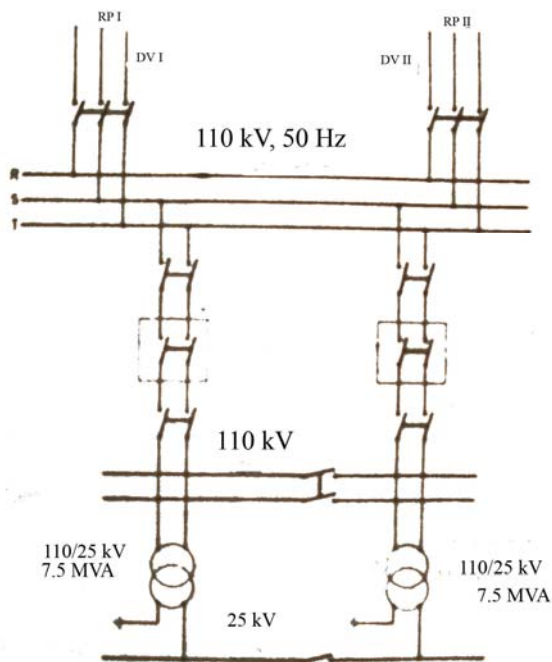
Primena Scott-ove veze povećava instalisanu snagu, pa prema tome i cenu elektrovučnih podstanica. Ona je interesantna ako se radi o liniji sa izjednačenim prometom (prigradske linije sa čestim vozovima) i kad mreža visokog napona ima malu snagu kratkog spoja. Ukoliko je mreža dovoljno snažna, bolje je primeniti obične transformatore. Danas se sve više napušta ideja primene Scott-ovih transformatora za elektrovučne podstanice.

1.5. Principske šeme podstanica

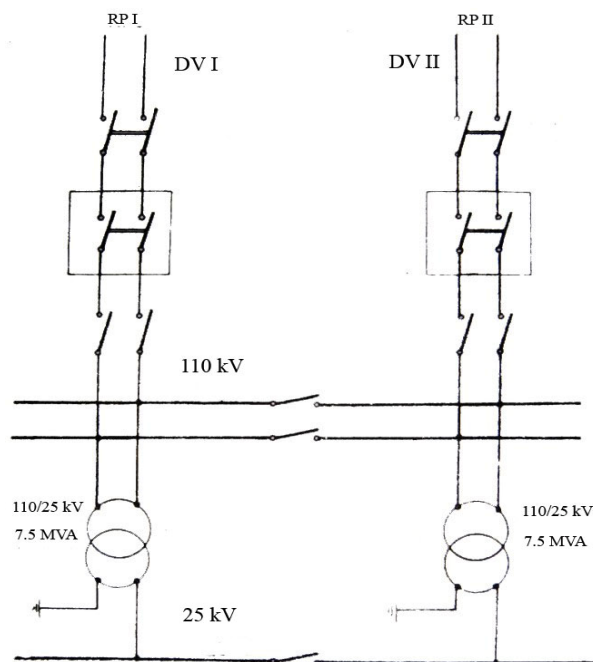
Izbor načina napajanja elektrovočne podstanice, tj. njen priključak na elektroprivrednu mrežu zavisi pre svega od mesta elektrovočne podstanice i mesta odgovarajućeg elektroprivrednog objekta na koji se podstanica priključuje. U tom smislu potrebna je saradnja između železnice i elektroprivrede, u obostranom interesu, kako u pogledu perspektive daljeg razvoja železnice tako i u pogledu razvoja opšte elektrifikacije.

Na našim železnicama primenjena su, u osnovi, tri načina priključka na elektroprivrednu mrežu:

1. Na slici 9. predstavljena je osnovna šema prvog načina priključka. To je tzv. princip ulaz-izlaz preko trofaznog dalekovoda od 110 kV između dva razvodna postrojenja elektroprivredne mreže RP I i RP II, koje se napajaju iz posebnog izvora. Kao što pokazuje slika, vode se dva trofazna dalekovoda DV I i DV II na posebnim stubovima do sabirnica trofaznog sistema 110 kV. Sa ovih sabirnica, sa dveju istih faza, ide se na nove sabirnice sa kojih se napajaju transformatori. 2. Drugi način je prikazan na slici 11. Iz dva razvodna postrojenja elektroprivredne mreže RP I i RP II vode se dva dvofazna dalekovoda DV I i DV II na sabirnice 110 kV, odakle se napajaju transformatori. Moguće je iz jednog razvodnog postrojenja voditi dalekovode pod uslovom da se ono napaja najmanje dvostrano.



Slika 9.

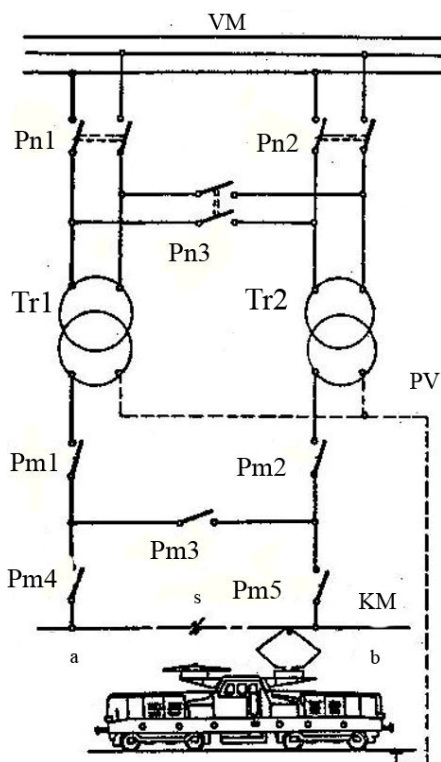


Slika 10.

3. Treći način: ovde je izvedeno direktno napajanje sa savirnica 110 kV razvodnog postrojenja elektroprivredne mreže, koje se napaja najmanje dvostrano.

Podobnost monofaznog sistema 50Hz dolaze naročito do izražaja u stabilnim postrojenjima električne vuče. Na zajednički trofazni elektrodistributivni sistem visokog napona VM monofazno se priključuju elektrovočne podstanice, kojima su prema šemi na slici 11 sledeća karakteristična polja:

- Razvod visokog napona, sa rastavljačima i prekidačima Pn, kao i mernom grupom za utrošak električne energije



Slika 11. – Karakteristična polja monofazne elektrovočne podstanice

- Transformatori za vuču $Tr_1 - Tr_2$ i poseban transformator za pomoćne pogone podstanice
- Razvod napona kontaktne mreže, sa grupom rastavljača i prekidača Pm

Elementi razvoda na sekundarnoj strani transformatora služi istovremeno i za kombinovano sprezanje transformatora i napojnih vodova. Sa prekidačima $P_1 - P_5$ na ovoj šemi, moguće su različite kombinacije veza:

- $Pm_1 - Pm_4, Pm_2 - Pm_5$ svaki transformator posebno napaja svoje deonice ($Tr_1 - a, Tr_2 - b$)
- $Pm_1 - Pm_4, Pm_3, Pm_2 - Pm_5$ transformatori u paralelnom radu napajaju deonice a i b
- $Pm_1 - Pm_4, Pm_3 - Pm_5$ transformator Tr_1 napaja obe deonice (a i b)

Deonice a – b su međusobno električno razdvojene rastavnim izolatorom S (mesto sankcionisanja).

Snage transformatora su reda 2500, 5000, 7500, 10000 kVA, - a podstanice su najčešće sa dva transformatora.

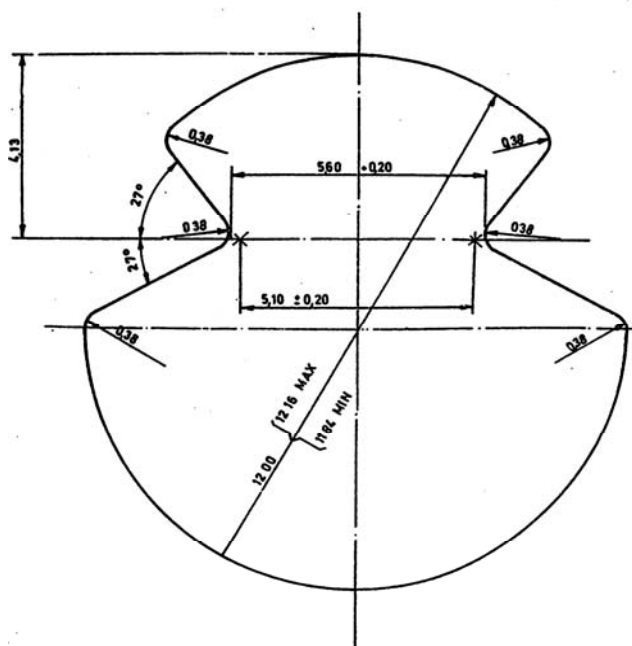
Na prugama za velike brzine snage EVP su iznad ovih kategorija.

2. Kontaktna mreža

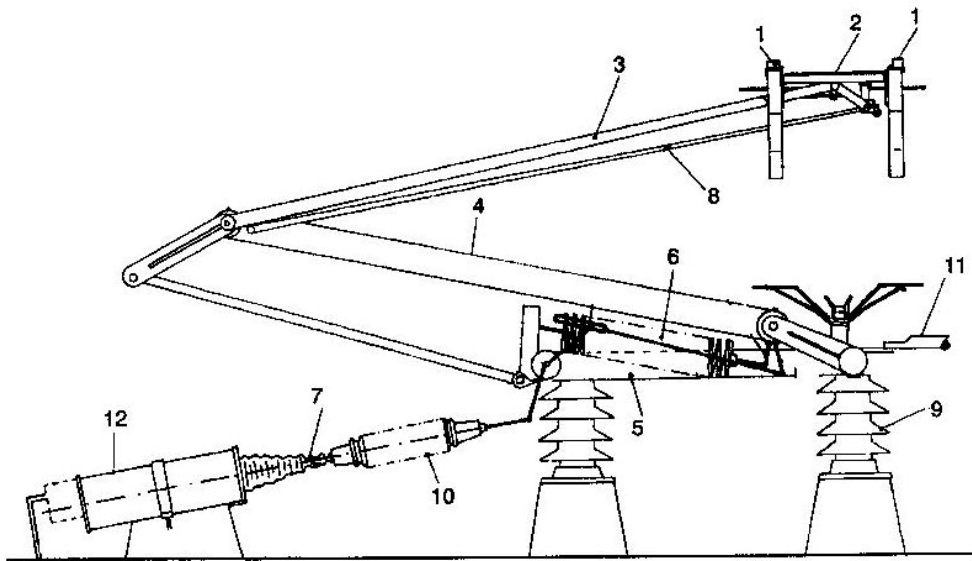
2.1. Uvod

Kontaktna mreža KM jeste stabilno postrojenje električne vuče namenjeno za neprekidno i kvalitetno napajanje električnih vučnih vozila električnom energijom pri svim brzinama i u svim vremenskim uslovima. Veza KM s elektrovočnim podstanicama ostvaruju se napojnim vodovima. Deo kontaktne mreže koji služi za vezu s lokomotivom jeste kontaktni provodnik. Kontaktni provodnik postavlja se na određenoj visini iznad koloseka i iznad vozila koja saobraćaju po kolosjecima. Zato je kontaktna mreža vazдушna, što se više neće posebno naglašavati. Primenjuje se na železničkim elektrificiranim prugama i u gradskom saobraćaju kod tramvaja. Za trolejbuse primenjuje se kontaktna mreža posebne konstrukcije.

Kod lokomotiva i elektromotornih vozova struja se oduzima iz kontaktnog provodnika preko električnog aparata sa kliznim kontaktom (oduzimač struje, pantograf) koji je u stalnoj vezi sa kontaktnim provodnikom



Slika 12. – Presek kontaktnog voda



Slika 13. Jedan od tipova pantografa

- 1-grafitni klizači;
- 2-glava pantografa;
- 3-gornji krak;
- 4-centralna cev;
- 5- temeljni okvir;
- 6-opruge za podizanje;
- 7-klipna poluga;
- 8-držać glave;
- 9-potporni izolator;
- 10-štapasti izolator;
- 11-priključak;
- 12- cilindar

Kod tramvaja se za oduzimanje struje koriste i trole sa klizačem ili koturom. Kod trolejbusa se koriste dve trole. Pantografi i trole nalaze se na krovu vozila.

Kod šinskih vozila povratni vod najčešće su šine po kojima se vozilo kreće. Električni kontakt između vučnih motora i šina ostvaruje se preko točkova i posebnih veza s kliznim kontaktima. Podela kontaktnih mreža obavlja se prema sledećim kriterijumima.

1. Prema vrsti sistema električne vuče: KM za jednosmerne sisteme i KM za jednofazne sisteme
2. Prema konstrukciji: obična KM i lančasta KM
 Običnu kontaktnu mrežu sačinjavaju: noseće konstrukcije, kontaktni provodnik, povratni vod i uzemljenje.
 Lančastu kontaktnu mrežu sačinjavaju: noseće konstrukcije, oprema za vešanje, vodni vod, povratni vod i uzemljenje.
3. Prema načinu zatezanja: nekompensovana KM, polukompensovana KM i kompenzovana KM
 Nekompensovana KM nema uređaje za automatsku kompenzaciju sile zatezanja pri promeni temperature.
 Polukompensovana kontaktna mreža ima automatsku kompenzaciju sile zatezanja samo kontaktnog provodnika.
 Kompensovana kontaktna mreža ima automatsku kompenzaciju sile zatezanja i kontaktnog provodnika i nosećeg užeta.

2.2. Prosta kontaktna mreža

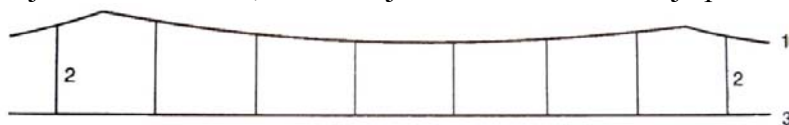
Ovo je najprostiji tip vazdušne kontaktne mreže. Kontaktni vod, specijalnog preseka, uklješten je pomoću specijalne stezaljke i obešen o izolatore od livene mase. Ovi izolatori postavljeni su na konzolama stubova, koji mogu imati različiti profil ali su najčešće u obliku cevi.

Ovaj sistem vešanja daje dobre rezultate samo pri malim brzinama vozila i to do 40 km/h. Maksimalna rastojanja su do 35 km. Sa povećanjem rastojanja između stubova, tj. tačaka vešanja, raste ugib kontaktnog voda. Usled toga, pri prolasku vozila, nastaju jake oscilacije voda i pantografa. Na mestu vešanja pritisak pantografa je najmanji, pa se pantograf odvaja od kontaktnog voda što dovodi do prekida struje i stvaranje električnog luka. Nestalnost kontakta između

pantografa i kontaktnog voda, pored električnog luka, ima za posledicu loš rad vučnih motora. Kako ugib raste sa povećanjem rastojanja između stubova, bilo bi potrebno smanjiti rastojanje između stubova da bi se ostvario zadovoljavajući kontakt. To bi značilo povećanje broja stubova te, prema tome, povećanje investicionih troškova. Zbog ovih mana ovaj način vešanja, ograničen je na tramvajski saobraćaj i na sporedne koloseke u železničkom saobraćaju.

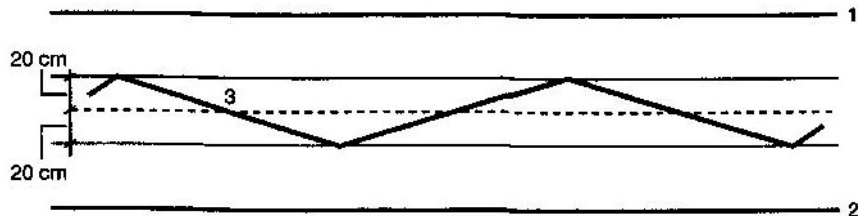
2.3. Lančasta kontaktna mreža

Da bi se sprečilo nastajanje ugiba kontaktnog provodnika, tačke vešanja moraju biti jako bliske. To se ostvaruje nosećim užetom (lančanicom), koji nosi kontaktni provodnik, i vešaljka koje ga drže na određenoj visini (sl. 14.). Kontaktni provodnik, noseće uže i vešaljke sačinjavaju vozni vod. Na taj način obezbeđuje se dobar kontakt klizača pantografa i kontaktnog provodnika. Vozni vod postavljen je iznad koloseka, a obešen je o noseće konstrukcije preko opreme za vešanje.



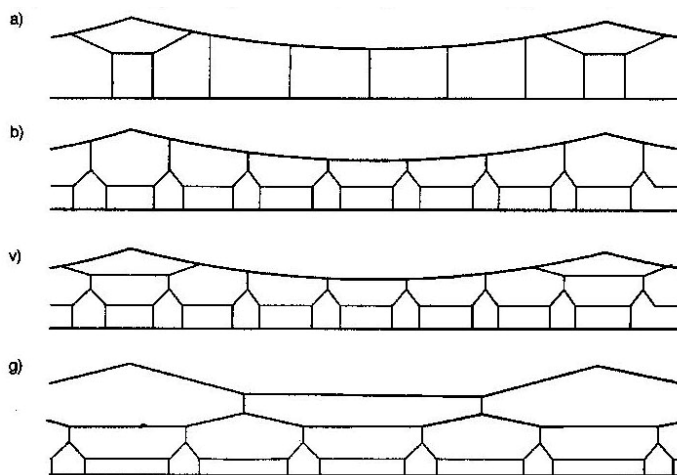
Slika 14.-Lančasta kontaktna mreža (1-noseće uže, 2-vešaljke, 3-kontaktni provodnik)

Kontaktana mreža može da se izvede na više načina, i to uglavnom zavisi od toga kako se ostvaruje veza između nosećeg užeta i kontaktnog provodnika u pravcu i u krivini. Prema tome, kontaktna mreža može da ima vertikalnu (poligonalnu) vozni vod, kosu vozni vod i talasastu vozni vod. Najčešće se primenjuje poligonalna vozni vod i takva kontaktna mreža jeste poligonalna. Kod poligonalne kontaktne mreže tačke pričvršćenja kontaktnog provodnika nalaze se u temenima poligona (sl. 15.). Poligonacija se izvodi da bi se klizač pantografa ravnomerno trošio po celoj svojoj dužini.



Slika 15.-Poligonacija kontaktnog provodnika (1,2-šine koloseka, 3-kontaktni provodnik)

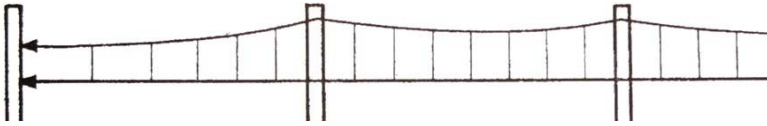
Lančasta vazдушna kontaktna mreža primenjuje se za brzine do 120 km/h, za sve sisteme električne vuče, na železnici, u gradskom i prigradskom saobraćaju. Za veće brzine koriste se složenije konstrukcije voznog voda lančaste kontaktne mreže: vozni vod sa "Y" užetom; dvostruki vozni vod; dvostruki vozni vod sa "Y" užetom i trostruki vozni vod.



Slika 16.-Tipovi lančaste kontaktne mreže(a-vozni vod sa Y užetom, b-dvostruki vozni vod, v-dvostruki vozni vod sa Y užetom, g-trostruki vozni vod)

2.4 Nekompenzovana kontaktna mreža

Kod nekompenzovane kontaktne mreže noseće uže i kontaktni provodnik pričvršćeni su čvrsto na krajevima zateznog polja (sl. 17.).

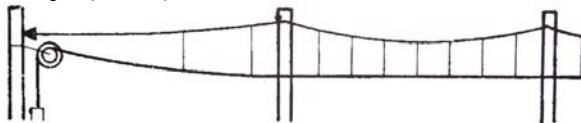


Slika 17.- Nekompenzovana kontaktna mreža

Kontaktni provodnik veša se o noseće uže tako da pri određenoj srednjoj temperaturi kontaktnog provodnika nema ugiba. Pri višim temperaturama od srednje povećava se ugib nosećeg užeta i kontaktnog provodnika. Pri nižim temperaturama od srednje, ugib se smanjuje pa noseće uže preko vešaljki izdiže kontakti provodnik. Kod nekompenzovanih mreža promena dužine provodnika prouzrokovane temperaturnim razlikama utiču u velikoj meri na naprezanje provodnika. Zbog toga je primena nekompenzovane kontaktne mreže ograničena na manje brzine. Deo kontaktne mreže u železničkim stanicama na sporednim kolosecima može biti nekompenzovana.

2.5. Polukompenzovana kontaktna mreža

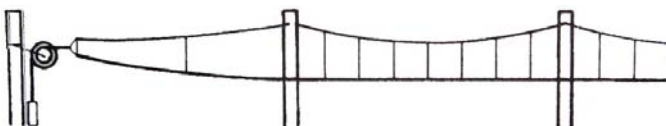
Kod polukompenzovane kontaktne mreže kontakti provodnik je zategnut preko uređaja za automatsko zatezanje (sl.18.).



Slika 18.-Polukompenzovana kontaktna mreža

Noseće uže čvrsto je zategnuto. Vešaljke kojima je kontakti provodnik obešen o noseće uže postavljaju se tako da se pri određenoj srednjoj temperaturi nalaze u vertikalnom položaju. Ipak, postoje teškoće oduzimanja struje u zimskim danima, kada kontakti provodnik dobije negativan ugib. Dobro oduzimanje struje ostvaruju se kod polukompenzovane kontaktne mreže sa brzinom lokomotiva do 80 km/h.

2.6. Kompenzovana kontaktna mreža



Slika 19.-Kompenzovana kontaktna mreža

Kod komenzovane kontaktne mreže kontakti provodnik i nosece uže zategnuti su preko uređaja za automatsko zatezanje (sl.19.). Uređaji za zatezanje omogućuju konstantnu silu zatezanja kontaktnog provodnika bez obzira na temperaturu. Prema tome, ugib je isti bez obzira na promene temperature. Promena ugiba može da bude posledica nekog dodatnog opterećenja, kao na primer, leda na nosećem užetu i kontaktnom vodu.

Rastojanje između dva stuba kontaktne mreže na kojima se nalaze uređaji za automatsko zatezanje predstavlja zatezno polje. U sredini zateznog polja noseće uže je pričvršćeno u čvrstoj

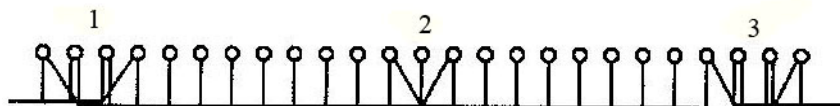
tački, a kontaktni vod je pričvršćen za noseće uže. Prema tome, hod kontaktnog voda i nosećeg užeta jednak je nuli u čvrstoj tački, a maksimalan je kod uređaja za zatezanje.

Komenzovana kontaktna mreža omogućuje pouzdano oduzimanje struje za brzine do 120km/h. Za veće brzine ona nije dovoljno elastična, pa se primenjuje vozni vod sa “Y” užetom.

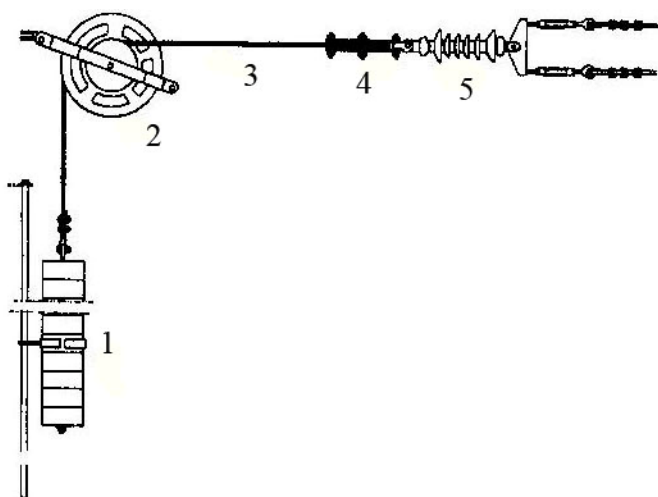
2.7. Zatezanje kontaktne mreže

Deo kontaktne mreže između dva zatezna mesta voznog voda naziva se zatezno polje. Kod kompenzovane kontaktne mreže na krajevima zateznog polja noseće uže i kontaktni provodnik zatežu se preko uređaja za zatezanje čiji je zadatak da održi konstantno mehaničko naprezanje voznog voda.

Da bi se obezbedio prolaz sa jednog zateznog polja na drugo, a pri tome održao kontinuitet oduzimanja struje, krajevi susednih zateznih polja preklapaju se i njihov zajednički deo naziva se neizolovani preklop (sl.20.)



Slika 20. – Zatezno polje (1 – preklop, 2 – čvrsta tačka, 3 - preklop)



Slika 21. (1-teg; 2-koturača; 3-uže; 4-čkrk; 5-zatezni izolator)

Preklop se ostvaruje sa četiri stuba: dva krajnja koji su zatezni i dva u sredini koji su preklopni. Da bi se sprečilo pomeranje voznog voda, kod kompenzovane mreže postavlja se čvrsta tačka u sredini zateznog polja.

Sila zatezanja vodova reguliše se na zateznom stubu pomoću opreme za automatsko zatezanje

2.8. Električne i mehaničke karakteristike lančaste kontaktne mreže

Kontaktna površina između kontaktnog provodnika i klizača pantografa iznosi oko 20 mm . Jačina struje koja se prenosi preko kontaktne površi može biti jako velika, naročito kod jednosmernih sistema električne vuče. Pouzdan kontakt mora da se obezbedi u celokupnom opsegu temperature i pri svim brzinama koje su predviđene eksploatacionim uslovima na određenoj pruzi. Iz ovoga proističu i izvesni uslovi električne i mehaničke prirode koji moraju biti zadovoljeni.

Kontaktne mreže mora biti konstruisana tako da stvara što manji pad napona. Ukupan presek svih vodova kontaktne mreže proračunava se na bazi rastojanja između elektrovočnih podstanica, gustine saobraćaja, profila pruge i dozvoljenih padova napada. On se izražava preko ekvivalentnog preseka bakra. Ekvivalentni presek iznosi:

- 400 do 800 mm² za jednosmerni sistem 1,5 kV
- 300 mm² za jednosmerni sistem 3 kV

- 150 mm^2 za jednofazni sistem 25 kV 50 Hz.

Ovaj presek postiže se udruživanjem više vodovač nosećeg užeta, jednog ili dva kontaktna provodnika i voda za napajanje.

Da bi se izbeglo nedozvoljeno zagrevanje voznog voda, dozvoljena je gustina struje od 4 A/mm^2 . Dozvoljeno je opterećenje od 50%, tj. 6 A/mm^2 u trajanju od 3 minuta. Strujino kolo između lokomotive i kontaktnog provodnika ostvaruje se preko male kontaktne površi pa je na tom mestu celokupna struja koncentrisana u kontaktnom provodniku. Zbog toga je neophodan što bolji protok struje od nosećeg užeta prema kontaktnom provodniku preko ravnomerno raspoređenih vešaljki odgovarajućeg preseka i strujnih veza koje se postavljaju za tu namenu.

Habanje kontaktnog provodnika nastaje zbog električnih, mehaničkih i hemijskih uticaja. Habanje usled električnih uticaja nastaje zbog nepravilnog oduzimanja struje usled nedovoljne kontaktne sile, oštećenja klizača pantografa i lošeg stanja koloseka.

Mehaničko habanje jeste posledica klizanja klizača pantografa po kontaktnom provodniku. Ono zavisi od sledećih faktora: materijala od koga je sagrađen kontaktni provodnik, vrste klizača pantografa i materijala od koga je sačinjen (grafit, čelik-bakar, aluminijum, bakar), stanja klizanih površina klizača i kontaktne sile.

Hemijski uticaji nastaju usled aerozagađenja i soli u vazduhu.

Kontaktna mreža mora biti otporna s električnom i mehaničkom pogledu na sve uticaje prouzrokovane atmosferskim uslovima: vetar, kiša, sneg i led.

2.9. Sastav kontaktne mreže

Rečeno je već da se kontaktna mreža sastoji od nosećeg užeta i kontaktnog voda. Noseće uže ima presek 65 mm^2 , sačinjeno je od 37 provodnika preseka $1,5 \text{ mm}^2$. Izrađeno je od bronz, čija je provodnost 60% u odnosu na etalon bakra. Spoljni prečnik iznosi 10,5 mm, teško je 0,6 kp/m, a sila kidanja je 4300 kp.

Kontaktni provodnik ima presek 107 mm^2 , a njegov oblik prikazan je na slici. Izrađen je od tvrdog elektroličkog bakra čija je provodnost 98% u odnosu na etalon. Prečnik mu je 12, 24 mm. Dva podužna žleba služe za pričvršćenje vešaljki, pri čemu je donja površina sasvim slobodna da bi se omogućilo klizanje pantografa bez ikakvih udara. Teško je 0,95 kp/m a sila zatezanja je 3905 kp.

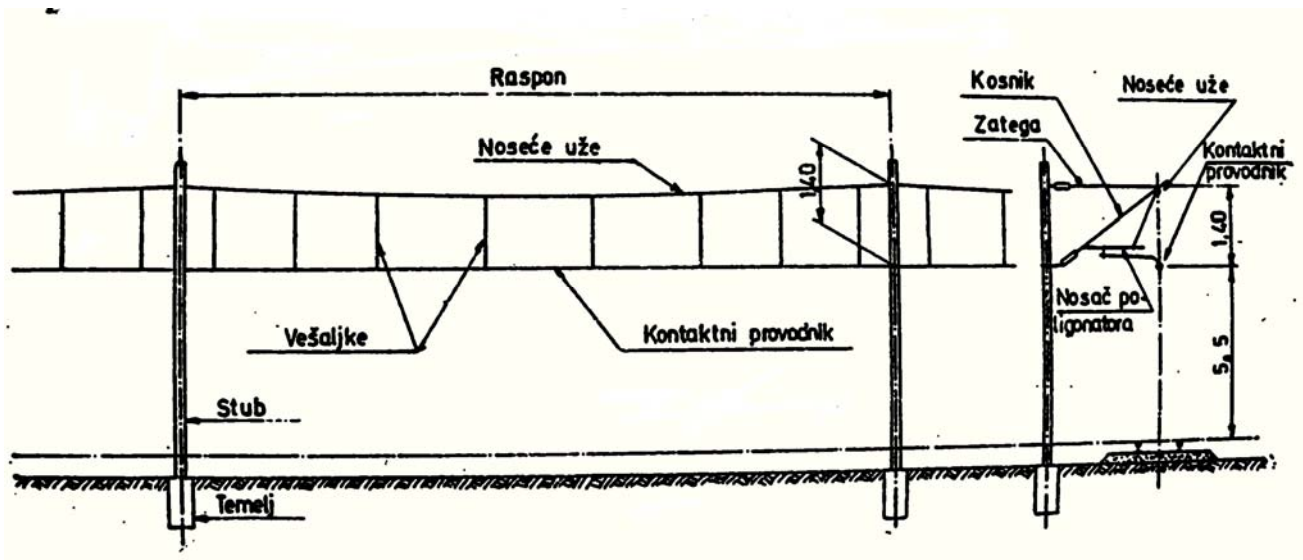
Ekvivalentni presek bakra bio bi:

- Za noseće uže 39 mm^2
- Za kontaktni vod 105 mm^2

Ukupni ekvivalentni presek iznosio bi, prema tome, 144 mm^2 .

Kontaktni vod obešen je za noseće uže pomoću vešaljki koje su napravljene od okruglog bakarnog provodnika prečnika 5 mm. Maksimalno rastajanje između dveju uzastopnih vešaljki je 9 m. Srednja težina ovakve kontaktne mreže iznosi 1,6 kp/m.

Kontaktna mreža obešena je iznad koloseka po kome se kreću vozila za stubove kontaktne mreže. Noseće uže veša se za stub pomoću jedne izolovane cevi tzv. kosnika konzole i jedne izolovane šipke zvane zatega konzole (sl.22.).



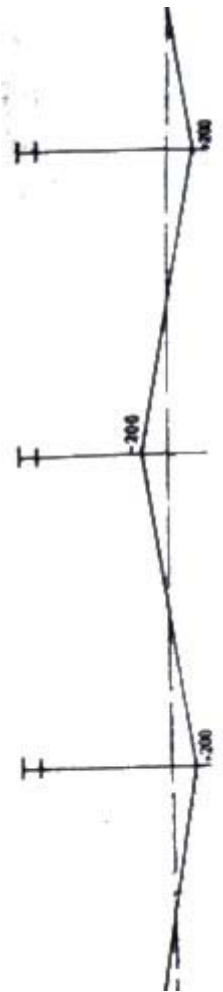
Slika 22. - Kontaktna mreža obešena iznad koloseka po kome se kreću vozila za stubove kontaktne mreže

Maksimalno rastojanje između stubova je 63 m.

2.10. Poligonacija kontaktne mreže

Da se klizač pantografa ne bi trošio samo na jednom mestu izvodi se tzv. poligonacija kontaktne mreže. Poligonacija se sastoji u tome što se kontaktni vod vodi cik-cak kao što je to šematski prikazano na slici 22. Drukčije rečeno, kontaktni vod je u tačkama vešanja, kod svakog stuba, pomeren u odnosu na osu koloseka. Ovo pomeranje izvedeno je alterantivno s jedne i druge strane ose koloseka, uvek za 200 mm. Poligonacija se izvodi po pravilu samo za kontaktni vod, dok se noseće uže nalazi vertikalnoj osi koloseka. Poligonacija se izvodi u svakoj tački vešanja sa izuzetkom tunela ili slučajeva kada je to iz bilo kog razloga nemoguće ili nekorisno. Poligonacija se izvodi pomoću poligonatora koga nosi nosač poligonatora. Prema tome da li se kontaktni vod nalazi s jedne ili druge strane ose koloseka, on vrši pritisak na poligonator i njegov nosač i to silom koja je uperena ka stubu ili od stuba, tj. spolja. Poligonator, zbog svoje zglobne veze sa nosačem, ne može trpeti nikakvu silu pritiska nego samo silu zatezanja. Imamo dva načina postavljanja: kratak držač poligonator koji je podvrgnut istezanju i jedan duži poligonator koji podvrgnut pritisku. U slučaju duplog koloseka, dva stuba koji se nalaze jedan naspram drugog uvek su opremljeni na suprotan način.

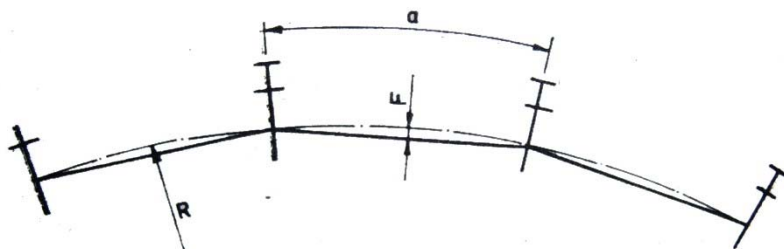
Nosač poligonatora je u stvari čelična galvanizirana cev, pričvršćena za kosnik konzole pomoću zgloba. Održava se u horizontalnom položaju pomoću vešaljke od tvrdog bakra prečnika 7 mm^2 , koja je pričvršćena za stezaljku nosećeg užeta. Poligonator je od lake legure i pričvršćen je za svoj nosač zglobno. Sadrži i prsten tzv. antivetar koji ima za cilj da spreči preterano pomeranje kontaktnog voda i poligonatora koje može nastati usled bočnog vetra.



Slika 23. - Poligonacija kontaktne mreže

2.11. Kontaktna mreža u krivini

U krivini dve šine istog koloseka nisu na istom nivou jer postoji tzv. nadvišenje šine. Osa jedne lokomotive, koja saobraća na ovom koloseku nije vertikalna. Zbog toga treba razlikovati osu pantografa i vertikalnu osu koloseka koja prolazi kroz sredinu ovoga. Sredina klizača pantografa opisuje u prostoru krivu identičnu onoj koju opisuje kolosek



Slika 24. – Poligonalna kontaktna mreža

Predpostavimo da se svaka tačka vešanja kontaktnog voda nalazi na ovoj krivoj. Kontaktni vod zbog mehaničkog natezanja, pravolinijski je između dveju tačaka vešanja. Prema tome on opisuje strane jednog poligona upisanog u ovu krivu. Zato se kontaktna mreža, sagrađena na ovom principu, naziva poligonalna kontaktna mreža (kao na slici 24.).

U sredini rastojanja, vrednost odstupanja provodnika u odnosu na krivu F data je približno obrascem:

$$F \approx \frac{a^2}{8R}$$

Gde su: a- rastojanje između tačaka vešanja. R- poluprečnik krivine.

Očigledno je da će, pri istom rastojanju ukoliko je poluprečnik krivine manji i odstupanje provodnika biti veće. Ovo odstupanje ne sme preći izvesne granice da se kontaktni vod ne bi našao van klizača pantografa. Orjentaciona dozvoljena rastojanja imaju sledeće vrednosti (mogu biti i nešto modifikovane):

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| • u pravcu $R > 1800$ | rastojanje $a = 63\text{m}$ |
| • $1800 > R \geq 1350$ | $a=58,5$ |
| • $1350 > R \geq 1050$ | $a=54$ |
| • $1050 > R \geq 850$ | $a=49,5$ |
| • $850 > R \geq 650$ | $a=45$ |
| • $650 > R \geq 500$ | $a=40,5$ |
| • $500 > R \geq 400$ | $a=36$ |

2.12. Sekcionisanje kontaktne mreže

Uslovi eksploatacije i održavanja kontaktne mreže zahtevaju njenu podelu na sekcije koje se mogu električno izolovati. Pored toga, mora postojati mogućnost izolovanja dveju sekcija koje se napajaju iz različitih faza.

U principu sekcionisanje se može izvesti na dva načina:

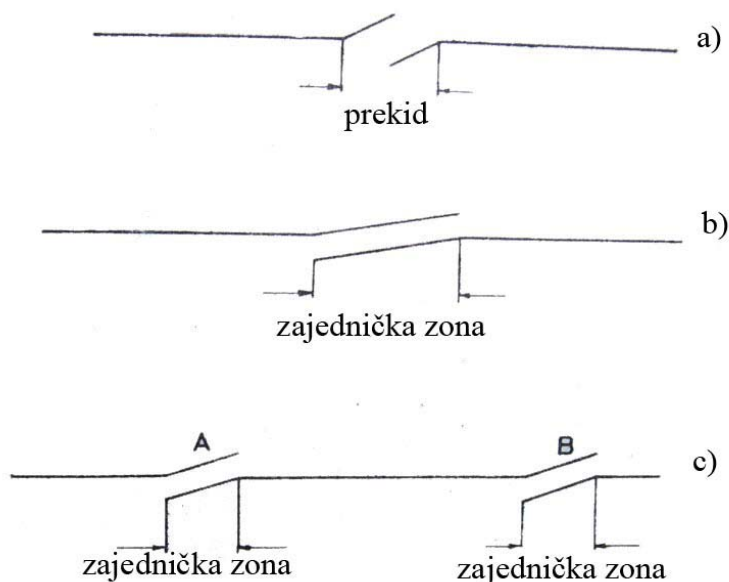
- Vazdušnim odvajanjem na glavnim kolosecima
- Sekcionim izolatorima na sporednim kolosecima.

Sasvim uprošćeno u šematskom obliku, vazdušno sekcionisanje može biti prikazano kao na slici 25. Kao što se vidi, kontaktna mreža je prekinuta. Između dva dela kontaktne mreže može postojati:

- a) Prekid
- b) Preklop bez neutralnog voda
- c) Preklop sa neutralnim vodom

U prvom slučaju (a) postoji interval bez provodnika. Tada se mora spuštati pantograf, zbog toga se ovaj način malo koristi. U slučaju (b) postoji jedna zajednička zona, a u trećem slučaju dve zajedničke zone a i b.

Sekcionisanje se obavlja na osovinskom stubu koji nosi sekcioner (rastavljač). Uloga rastavljača je da omogući ili prekine električni kontinuitet kola. Razmak od 0,5m između dva voda čini tzv. vazdušni razmak koji razdvaja dve susedne sekcije. Sekcionisanje izolovanim preklopom primenjuje se u pravcu i to na četiri međustubna rastojanja.



Slika 25. – Vazdušno sekcionisanje

U blizini nekih elektrovnih podstanica kao i u sredini odstojanja između dveju susednih elektrovnih podstanica postavlja se neutralna sekcija (deo mreže koja ima na krajevima izolovane preklope). Neutralna sekcija ima za cilj da onemogući spajanje, preko pantografa lokomotive dva dela kontaktne mreže koji se napajaju iz elektrovnih podstanica pri čemu postoje razlike u naponu i fazi. Lokomotiva prelazi ovu deonicu iz zaleta, pa je dužina dela bez struje ograničena na 30m.

2.13. Oprema sporednih koloseka i oprema tunela

Sporedni koloseci opremaju obično prostim kontaktnim mrežama pri čemu nema nosećeg užeta već postoji samo kontaktni vod. Tada se primenjuje tzv. tramvajsko vešanje. Poligonacija kontaktnih provodnika izvodi se na isti načina kao kod glavnih koloseka.

Kada se elektrifikuje više od tri koloseka, primenjuju se elastični portali. Za mali broj koloseka primenjuju se nezavisni stubovi. Opremu čini jedan nekompenzovani kontaktni vod od bakra, preseka 107mm^2 .

Elektrifikacija tunela predstavlja poseban problem. Tuneli su građeni za parnu vuču, sa smanjenim gabaritom, u najvećem broju slučajeva je to vlažna sredina, zato se problem tunela mora prilagoditi potrebama elektrifikacije (mora se obezbediti dovoljno vazdušno zaštitno rastojanje između delova pod naponom i mase, mora se smanjiti sistemska visina zbog profila tunela, mora se izvesti kompenzacija...).

2.14. Izolatori, rastavni uređaji, sekcioni izolatori, rastavljači, stubovi

U principu razlikujemo tri grupe s obzirom na njihovu konstrukciju:

1. izolatori sa masivnim jezgrom
2. izolatori za lance vešanja i zatezanja
3. potporni izolatori

Sekcioni izolatori služe da električno odvoje elementarne sekcije sporednih koloseka. Oni se sastoje iz jednog ili dva izolatora od masivnog jezgra koji su postavljeni iznad kontaktne ravni.

Vođenje pantografa obezbeđeno je pomoću ravnih bakarnih traka postavljenih s jedne i druge strane izolatora.

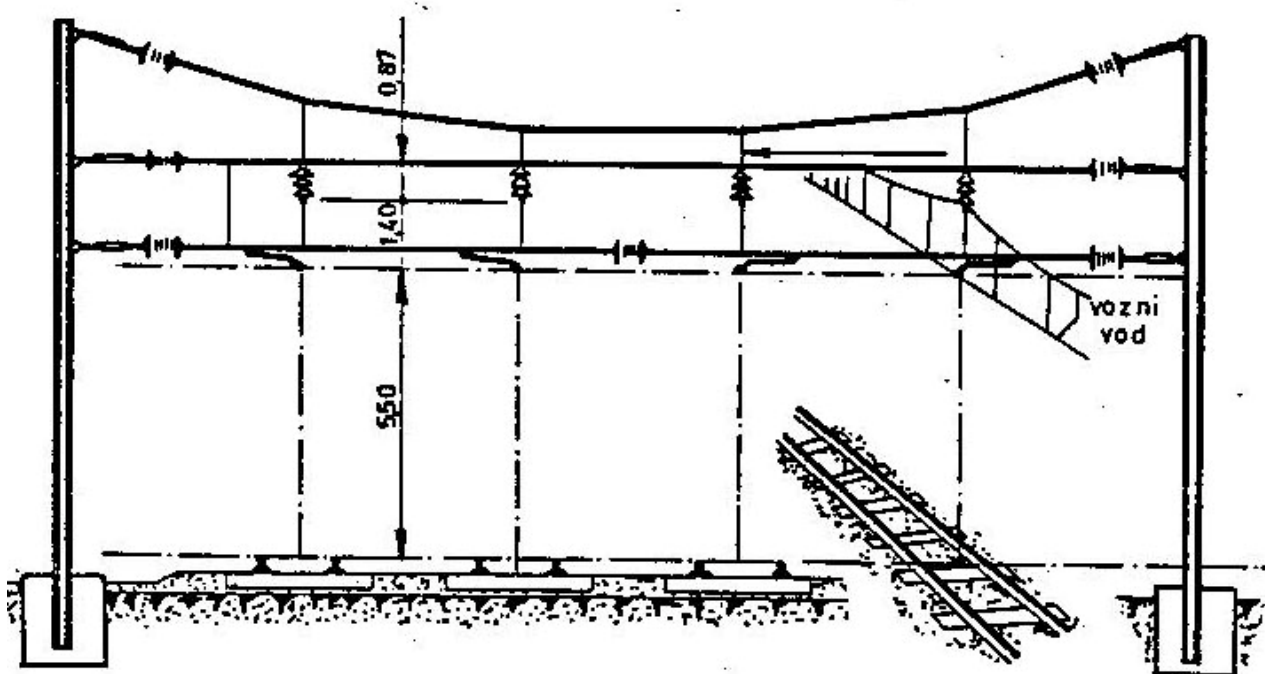
Rastavljači služe za prekidanje i uspostavljanje strujnih kola komandne mreže ali bez opterećenja. Upotrebljavaju se uglavnom tri tipa:

1. obrtni rastavljači
2. rastavljači sa vertikalnim otvorom nagore
3. rastavljači sa vertikalnim otvorom nadole

Stubovi kontaktne mreže su prema nameni i vrsti opterećenja: noseći, zatezni, preklopni.

Prema materijalu od koga se izrađuju oni su betonski ili čelični. Čelični stubovi koji su sa širom primenom na elektrificiranim železničkim prugama, su od bezšavnih cevi, od specijalnih profila, ili rešetkasti vareni. Rastojanje stubova u nosećim zateznim poljima, zavise od sistema napajanja, vrste mreže, terenskih uslova,... Kod lančaste kompenzovane mreže ovi su rasponi od 50-80m.

Na staničnim kolosecima se umesto stubova koriste gipki i kruti portali koji nose kontaktnu mrežu za više koloseka. Gipki portali čine dva stuba na krajevima snopa koloseka, između kojih se zateže užad za vešanje voznog voda (na slici 26. je gipki portal za četiri koloseka) kruti portali su od bočnih stubova i poprečne grede, kao nosača vertikalnih konzola sa izolatorima i poligonatorima za svaki kolosek.



Slika 26. – Gipki portal za četiri koloseka

2.15. Povratni vod

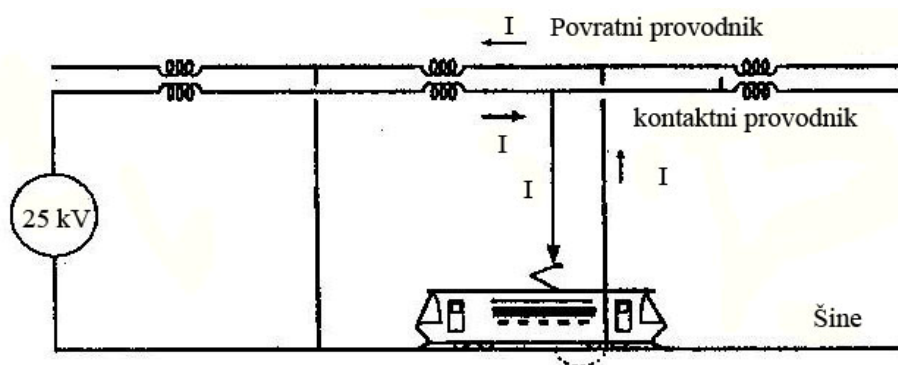
Povratnim vodom zatvara se strujno kolo za napajanje električnih vučnih vozova električnom energijom. Povratni vod sastoji se od povratnog voda elektrovučnih podstanica i povratnog voda kontaktne mreže. Priključak povratnog voda EVP na povratni vod KM izvodi se kablovski. Povratni vod kontaktne mreže može da bude vazdušni i šinski.

Vazdušni povratni vod ima određene prednosti u pogledu uticaja struje vuče na različite instalacije u zemlji. Zato se vazdušni povratni vod primenjuje na određenim deonicama elektrificiranih pruga, šira primena je ograničena troškovima (za poseban vazdušni vod, za usisne transformatore, za opremu za vešanje...). Šinski povratni vod sačinjavaju jedna ili obe šine koloseka, šinski prespoj i

međušinski i međukolosečni prevezi. Ovo je najjednostavniji i najjeftiniji povratni vod. Povratni vod mora imati što manju otpornost. Električni kontakt između vučnih motora lokomotive i šina ostvaruje se preko točkova i posebnih veza s kliznim kontaktom.

Nedostaci šinskog povratnog voda jesu: stalno obezbeđenje kontinuiteta povratnog voda i pojava lutajućih struja. Šine od kojih se gradi kolosek imaju određenu dužinu i povezuju se mehaničkim vezama. Na određenim mestima postoje dilatacioni sastavi. U stanicama postoje skretnice. Na svim ovim mestima neophodni su šinski prespoji.

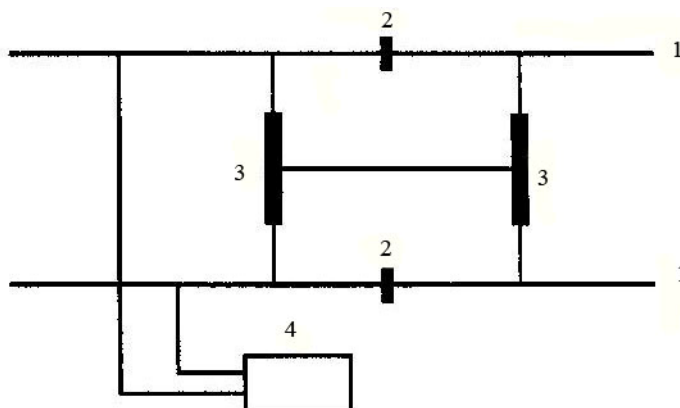
Šine se koriste i kao deo strujnog kola za signalno-sigurnosne uređaje. Zato se na određenim mestima moraju galvanski prekinuti izolovanim šinskim sastavima (kao na slici 27.).



Slika 27. – Vazdučni povratni vod

Pružni rele pobuđuje se neizmeničnom strujom učestanosti $83 \frac{1}{3}$ Hz i daje informaciju da je prostorni odsek pruge slobodan. Prelaskom voza u prostorni odsek šine se kratko spajaju preko osovinskih sklopova, rele se deaktivira i daje informaciju da je prostorni odsek zauzet. Kontinuitet povratnog voda na mestima galvanskog prekida šina ostvaruje se kolosečnim prigušnicama. Kolosečne prigušnice predstavljaju veliku reaktansu za neizmeničnu struju signalno-sigurnosnog uređaja učestanosti $83 \frac{1}{3}$ Hz, a struju vuče propuštaju s malim otporom (slika 28.). Postoje različiti signalno-sigurnosni sistemi, prema tome i različiti načini obezbeđenja kontinuiteta povratnog voda.

Lutajuće struje posledica su povećanog otpora šinskog povratnog voda. One predstavljaju deo struje vuče koji nalazi put manjeg otpora kroz zemljište. Lutajuće struje imaju štetno dejstvo na metalna postrojenja, instalacije i električne vodove na koje naiđu.



Slika 28. – Šema veza kolosečne prigušnice
(1-šine; 2-izolovani šinski sastavi;
3-kolosečne prigušnice;
4-pružni rele)

2.16. Uzemljenje

Metalne konstrukcije u blizini voznog voda, koji normalno nisu pod naponom, mogu da dođu pod napon u sledećim slučajevima:

- pri proboju izolatora kontaktne mreže
- pri direktnom dodiru s delom kontaktne mreže pod naponom
- pri nastajanju električnog luka usled malog rastojanja od dela kontaktne mreže pod naponom
- usled induktivnog i kapacitivnog dejstva kontaktne mreže.

Usled ovoga mogu da nastanu nedozvoljeno velike vrednosti napona koraka i napona dodira. Da bi se sprečili nesrećni slučajevi sve metalne konstrukcije u blizini kontaktne mreže moraju da budu uzemljene povezivanjem sa najbližim uzemljivačem. Uzemljenje ima dve funkcije: smanjenje vrednosti napona koraka i napona dodira, i aktiviranje zaštite radi isključenja napona. Najefikasniji uzemljivač jeste šina povratnog voda. Za šinu se vezuju svi stubovi kontaktne mreže. I druge metalne konstrukcije koje se nalaze na rastojanju do 8m od bliže šine moraju biti uzemljene povezivanjem sa šinom ili s posebnim uzemljivačem.

2.17. Padovi napona, uticaj faktora snage, stepen iskorišćenja

Kod naizmeničnog sistema nije dovoljno posmatrati samo omski otpor, već impedansu, tj. dve njene komponente omski i induktivni otpor. Povećanje preseka bakra utiče samo na omsku vrednost otpora. I još nije dovoljno posmatrati samo veličinu struje koju apsorbuje jedno vozilo već i faktor snage. Za isti ekvivalentni presek bakra, impedansa vučnog kola varira u zavisnosti od: prirode zemljišta, broja i rasporeda susednih koloseka i rastojanja.

Sa porastom rastojanja impedansa opada.

U najprostijem slučaju jednog vozila koje se napaja iz jedne elektrovučne podstanice, pad napona biće dat poređenjem dvaju vektora U_1 (napon na izlazu iz elektrovučne podstanice) i U_2 (napon na pantografu vozila). Zbog složenosti proračuna pada napona ne vrši se algebarski račun već grafički. Iako postoji paralelan rad u proračunima se smatra da je vozilo jednostrano napajano. Može se napraviti dijagram napona, polazeći od najudaljenijeg vozila i približavajući se elektrovučnoj podstanici.

Faktor snage znatno utiče na pad napona u mreži. Kod direktno napajanih jednofaznih motora za učestanost 50 Hz faktor snage je vrlo loš i ima zadovoljavajuću vrednost u oblasti velikih brzina, gde je reda 0,9. Pri nižim brzinama on naglo opada sa brzinom, tako da je reda 0,6 za 20% v_m . Što se tiče jednofaznih lokomotiva sa pretvaračima, one imaju faktor snage koji je skoro nezavisan od brzine i koji je reda 0,8 do 0,85.

Pretpostavimo slučaj jednog vozila na rastojanju L od elektrovučne podstanice. Ono apsorbuje snagu P_1 pri $\cos \varphi_1$: $P_1 = U_1 I \cos \varphi_1$. Ovo je aktivna snaga vozila. Aktivna snaga elektrovučne podstanice biće uvećana za dzulovske gubitke, tako da će stepen iskorišćenja biti:

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + RI^2}, \text{ gde je } R=rL.$$

2.18. Uticaj kontaktne mreže

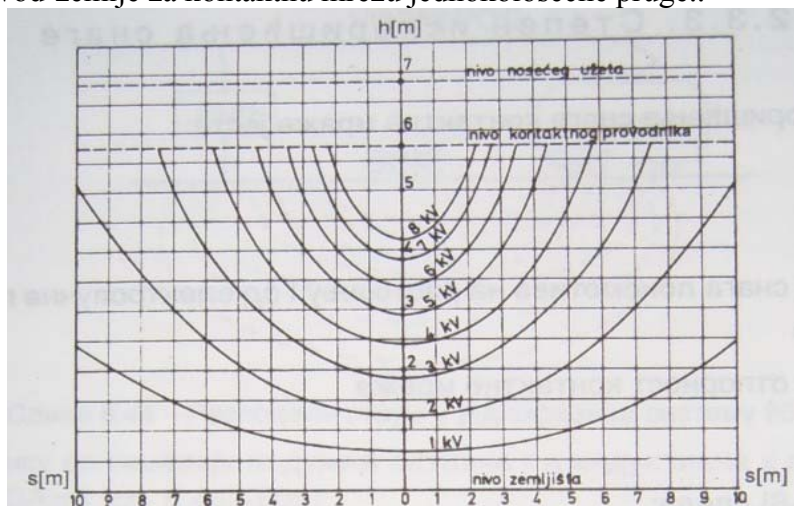
Vozni vod kontaktne mreže pod naponom stvara električno polje koje može imati vrlo velike vrednosti koje su opasne po život. Perturbaciono dejstvo kontaktne mreže 25kV 50Hz javlja se na svim metalnim instalacijama u blizini elektrifikovanih koloseka. Poremećaji se javljaju usled elektrostatičkog dejstva električnog polja koje stvara kontaktna meža i usled elektromagnetne indukcije koju stvara magnetno polje proizvedeno strujom u kontaktnoj mreži (promene struje su

posledica njenog naizmeničnog oblika, a smetnje se mogu javiti zbog harmonika pri jednosmernom napajanju preko usmerača). Poremećaji se javljaju u obliku: opasnosti za ljudstvo i instalacije (oštećenja i loš rad aparata kao i električni udari kojima je izloženo osoblje u dodiru sa vodovima) i smetnji usled parazitnih šumova (tzv. akustični udari).

Proučavanje elektrostatičkog dejstva kontaktnog voda teorijskim putem je kompleksan posao, zato se najčešće služimo eksperimentalno dobijenim rezultatima. Na slici 29 su prikazane ekvipotencijalne krive sistema vozni vod-zemlje za kontaktnu mrežu jednokolosečne pruge..

Zbog svega ovoga preduzimaju se odgovarajuće zaštitne mere:

- metalne konstrukcije lokomotiva, putničkih i teretnih kola moraju da budu uzemljene
- metalni tovari na otvorenim teretnim kolima moraju da budu uzemljeni
- pri radu na kontaktnoj mreži dvokolosečne pruge ona mora biti uzemljena zbog elektrostatičkog dejstva kontaktne mreže drugog koloseka.

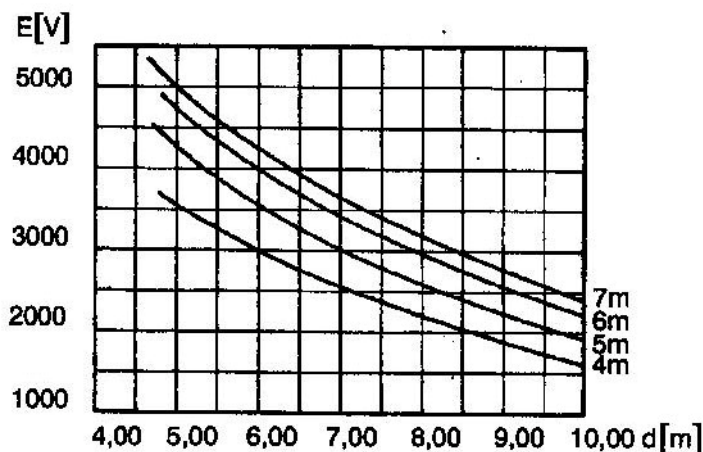


Slika 29 – Ekvipotencijalne krive za kontaktnu mrežu jednokolosečne pruge

Usled elektrostatičkog dejstva mogu da nastanu smetnje na bliskim telekomunikacionim vodovima. Na slici 30 su prikazane eksperimentalne krive napona pod koji dolazi jedan izolovani vazdušni vod paralelan voznom vodu u zavisnosti od njegove udaljenosti d od ravni voznog voda, za različite visine kontaktnog provodnika.

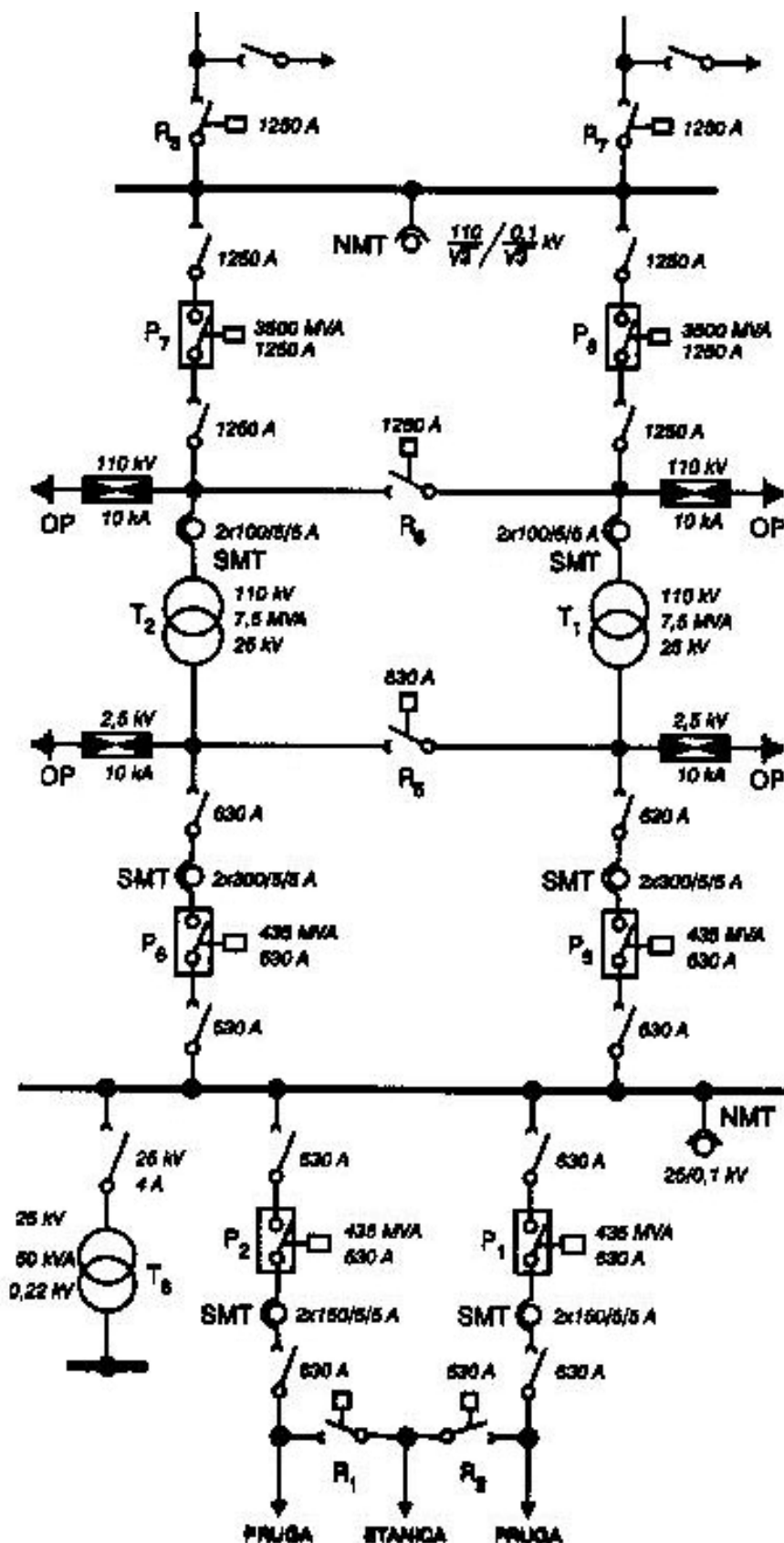
Naizmenična struja vuče koja protiče kroz vozno vod ima elektromagnetno dejstvo na bliske paralelne provodnike, usled čega nastaju indukovani naponi. Ovo se odnosi na sledeće provodnike:

- Susedni vozni vod koji nije pod naponom na dvokolosečnoj pruzi ili u stanic (pri radu na kontaktnoj mreži vozni vod mora da bude uzemljen sa obe strane mesta rada, na rastojanju manjem od 1 km)
- Dve šine jednog elektrificiranog koloseka (između šina može da se pojavi potencijalna razlika; prekinuta šina može da bude pod naponom koji je opasan po život)



Slika 30 – Krive napona na izolovanom vazdušnom vodu

- Žicovode za pokretanje skretnica i signala, zemljovodnu užad i metalne konstrukcije u stanicama
- Telekomunikacione vodove.



Slika 31 – Jednopolna šema EVP jednofaznog sistema 25 kV, 50 Hz

T – transformatori; P – prekidači; R – rastavljači; OP – odvodnici prenapona; SMT – strujni meri transformatori; NMT – naponski meri transformatori

LITERATURA

- Dr ing. Božidar Ž. Radojković, „Električna vuča“, Beograd 1986.
- Dr Zoran Milićević, „Električna vuča“, Beograd 2001.
- Dr Dimitrije Dinić, „Železnička električna vozila“, Beograd 1996.