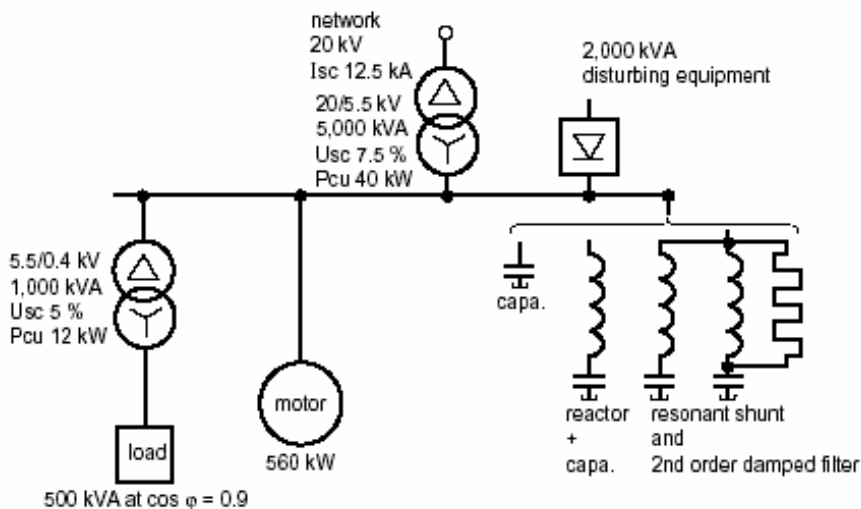


PROJEKTNI ZADATAK 9

Primena oslabljenih filtera

Na slici 1 je prikazana instalacija jednog industrijskog kompleksa, koji se na javnu distributivnu mrežu priključuje, preko sopstvenog transformatora, na naponski nivo 20 kV. Pored visokonaponskog motora (čiji stepen iskorišćenja iznosi 95 %, a faktor snage 0.88) i niskonaponskih potrošača, jedan od prijemnika je šestopulsni ispravljač snage 2 MVA. Ovaj ispravljač generiše više harmonike struje, koji će dovesti do izobličenja napona i koji mogu izazvati opasnu pojavu antirezonanse u kolu koje sačinjavaju energetski vodovi i transformatori (kao dominantno induktivni elementi) i baterije za kompenzaciju reaktivne snage (kao dominantno kapacitivni elementi). Harmonijski sastav struje ispravljača je približno definisan izrazom $I_n = I_1/n$, gde je I_1 struja osnovnog harmonika i I_n struja harmonika reda n ; može se smatrati da ispravljač generiše harmonike reda $k p \pm 1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$), gde je $p = 6$ za šestopulsni ispravljač.



Slika 1

Potrebno je analizirati tri moguće kombinacije (sklopa) kojima se na sabirnicama 5.5 kV generiše potrebna reaktivna snaga za popravak faktora opterećenja od 1000 kVAR:

- Standardna samostalna kondenzatorska baterija, koja se naponski može “preopteretiti” 5 %, a strujno 30 % u odnosu na nazivne efektivne vrednosti.
- Standardna kondenzatorska baterija “zaštićena” prigušnicom čija je induktivnost tako odabrana da je rezonantna učestanost ovog LC spoja $4.8 f_1$ (f_1 je učestanost osnovnog harmonika).

- c) Rezonantni filter za peti harmonik i oslabljeni filter drugog reda za sedmi harmonik. Faktor dobrote rezonantnog filtra ima vrednost 75. Faktori q i Q , za oslabljeni filter drugog reda imaju vrednost $q = 75$, odnosno u opsegu $Q \in [2, 10]$.

Pri analizi uzeti u obzir prva četiri viša harmonika koja se javljaju kod ispravljača. Analize treba da obuhvate sledeće proračune i provere, grupisane po sklopovima a), b) i c):

- a) Proveriti uslove da faktor izobličenja napona na sabirnicama 5.5 kV ne bude veći od 5 % (uslov za prijemnike koji se priključuju na ove sabirnice, prema standardima i uslov za primenu standardnih kondenzatora) i da strujno opterećenje (efektivna vrednost) kondenzatora ne pređe za više od 30 % nazivnu vrednost.
- b) Izračunati procentualne vrednosti petog, sedmog, jedanaestog i trinaestog harmonika napona na sabirnicama 5.5 kV i njegov faktor izobličenja - da li se one nalaze u dozvoljenim granicama od 5 %, 4 %, 2.5 %, 2 % i 5 %, respektivno. Izračunati faktor izobličenja za mrežu 20 kV (za napon u tački priključenja industrijskog transformatora 20 kV/5.5 kV).
- c) Odrediti parametre rezonantnog i oslabljenog filtra tako da harmonici napona petog i sedmog harmonika na sabirnicama 5.5 kV budu približno jednaki (da se razlikuju za manje od 10 %). Ukoliko je moguće, ovakvo rešenje ostvariti pomoću standardnih kondenzatora u filtrima, koji mogu da podnesu povećanje efektivne vrednosti struje od 30 %; nominalna vrednost se određuje kao ona koja bi proticala kroz kondenzator usvojenog kapaciteta koji je priključen na nominalni fazni napon ($5.5 \text{ kV}/\sqrt{3}$) čija je učestanost jednaka učestanosti osnovnog harmonika.

Ukoliko efektivna vrednost struje (I_{eff}) prelazi vrednost 1.3 veću od nominalne (I_n), kao uslov koji je neophodno ispuniti postaviti $I_{eff} \leq 1.3 I_n$; i za ovaj slučaj odrediti i preostale parametre rezonantnog i oslabljenog filtra.

Za prvo rešenje kod koga se ispunjava strujni uslov za standardne kondenzatore (rešenje sa približno jednakim petim i sedmim harmonikom napona ili bez tog uslova) izračunati i sledeće veličine:

1. harmonike struje (uključujući osnovni) koji protiču kroz prigušnicu oslabljenog filtra,
2. faktor izobličenja napona na krajevima kondenzatora,
3. harmonike struje (uključujući osnovni) koji protiču kroz otočni otpornik (R) oslabljenog filtra i
4. dati frekventne karakteristike rezonantnog filtra i oslabljenog filtra, prikazane na istoj slici radi poređenja.

Za sva rešenja dati frekventnu zavisnost modula impedanse koja "se vidi" na sabirnicama 5.5 kV.

Analitičkim putem proveriti validnost izraza (1) iz teksta o oslabljenim filtrima, datog u prilogu.

PRILOG - TEORIJSKE OSNOVE O OSLABLJENIM FILTRIMA

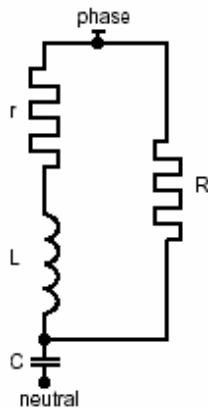
U slučaju da prijemnik generiše kontinualne harmonijske spektre, rezonantni filtri nisu pogodni za sprečavanje štetnih dejstava viših harmonika. U slučaju primene rezonantnih filtera pri kontinualnim spektrima može doći do pojave antirezonanse. U slučajevima kontinualnih spektara nije dovoljno vršiti filtraciju pojedinih harmonika primenom rezonantnih filtera, već se mora vršiti i slabljenje antirezonanse. Osim toga, kod kontinualnih spektara bi trebalo postaviti nekoliko rezonantnih filtera, podešenih na različite učestanosti, što bi povećalo cenu tehničkog rešenja. Ovo su osnovni razlozi zbog kojih se koriste “oslabljeni filtri”, koji imaju širi i blaži frekventni opseg dejstva od rezonantnih filtera. Oslabljeni filtri su poznati i kao filtri za slabljenje viših učestanosti (viših od podešene rezonante učestanosti). Pored navedenih odlika šireg spektra delovanja i smanjenja antirezonanse, oslabljeni filtri imaju i dobru osobinu ograničenih tranzijentnih vrednosti struje i napona pri njihovom priključenju.

Na slici I je prikazan sastav oslabljenog filtra drugog reda. Nulti reaktivni otpor filtra se postiže pri učestanosti f_r jednakoj

$$f_r = \frac{1 + Qq}{2\pi q \sqrt{(Q^2 - 1)LC}}, \quad (1)$$

koja predstavlja vrednost veću od rezonante učestanosti rezonantnog LC filtra identičnih vrednosti L i C , koja iznosi

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (2)$$



Slika I

Faktori Q i q se definišu na sledeći način:

$$q = \frac{X_0}{r} \quad (3)$$

$$Q = \frac{R}{X_0} \quad (4)$$

X_0 predstavlja karakterističnu impedansu, jednaku

$$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (5)$$

Oslabljeni filter se projektuje tako da njegova rezonantna učestanost odgovara prvom karakterističnom harmoniku iz spektra, koji je obično i najveći. Filter za niže učestanosti predstavlja kompleksnu impedansu sa kapacitivnim reaktivnim delom; zbog postojanja otpornih komponenti, antirezonansa je oslabljena (ona nastaje pri paralelnoj vezi mrežne induktivnosti i “kapaciteta” oslabljenog filtra i kapaciteta baterija za popravak faktora snage). Za rezonantnu učestanost filtra slabljenje koje se oslabljenim filtrom može postići je manje od onog koje bi se dostiglo kod rezonantnog (aktivni deo impedanse je veći od vrednosti r , koja figuriše i kod rezonantnih filtera, kao unutrašnja otpornost prigušnice).

Reaktivna snaga koju generiše oslabljeni filter za osnovni harmonik je približno jednaka vrednosti koju daje rezonantni filter identičnih vrednosti L i C :

$$Q_1 = \frac{n_r^2}{n_r^2 - 1} U_1^2 C 2\pi f_1 \quad (6)$$

(izraz važi za trofaznu vezu identičnih filtera postavljenih u zvezdu; U_1 je efektivna vrednost linijskog napona)

Oslabljeni filter se može koristiti samostalno, u paraleli sa još jednim oslabljenim filtrom ili u paraleli sa rezonantnim filtrom, pri čemu je rezonantna učestanost rezonantnog filtra niža od rezonantne učestanosti oslabljenog filtra.

Oslabljeni filtri se najčešće izvode u navedenoj formi filtra drugog reda, ali se mogu sresti i neke njihove drugačije izvedbe.