

## Općenito

Mreže niskog i srednjeg napona vode, u sve većoj mjeri, pored struje osnovne frekvencije 50 Hz također i struje viših harmonika.

Sadržaj viših harmonika ovisan je o više čimbenika i stoga vrlo različit. Višim harmonicima mogu električni potrošači biti preopterećeni.

Ometajuća djelovanja uslijed viših harmonika u opskrbenj mreži i na priključenim potrošačima bit će vlasnicima električnih pogona tek tada poznate, kada nastupe skupe smetnje u radu i pojavi se potreba za većim popravcima.

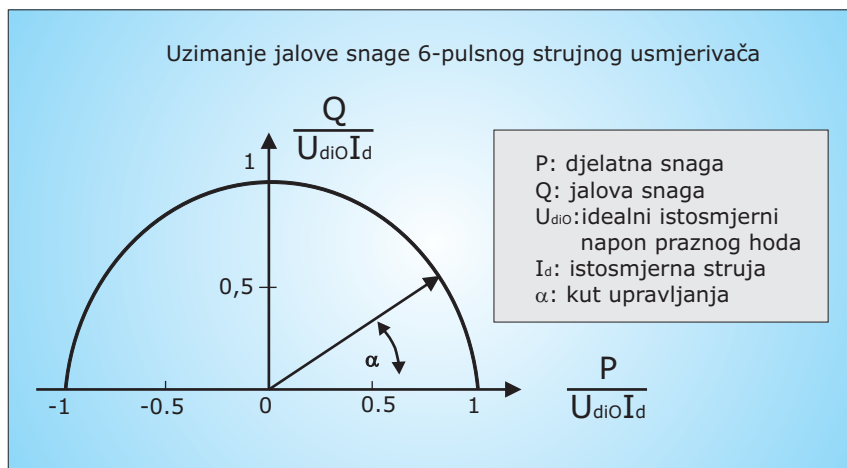
## Nastajanje viših harmonika

Idealne struje i naponi sinusnog oblika pojavljuju se samo u mrežama s linearnim potrošačima.

U današnjim suvremenim industrijskim mrežama se uz linearne potrošače sve više ugrađuju nelinearni potrošači čiji pretežni dio čine strujni usmjerivači.

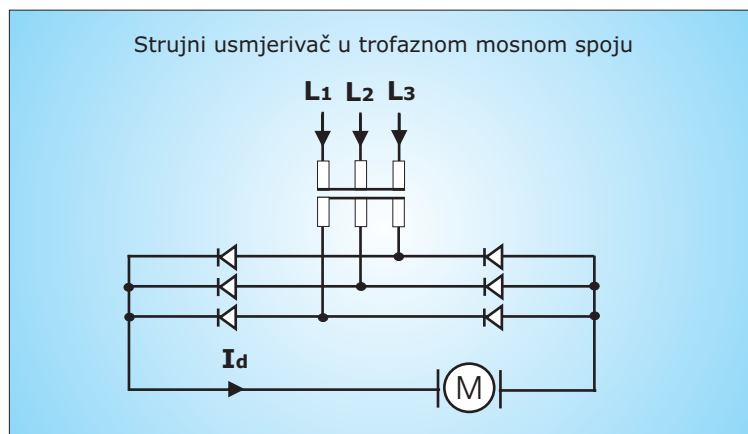
Strujni usmjerivači trebaju induktivnu jalovu snagu i oni proizvode više harmonike.

Kašnjenje strujnog toka prema prolazu kroz nulu faznog napona, uslijed početnog kuta  $\alpha$  strujnog usmjerivača, određuje potrebu jalove snage strujnog usmjerivača. Ona može biti maksimalno toliko velika kolika je nazivna snaga strujnog usmjerivača. (Slika 1)



Slika 1

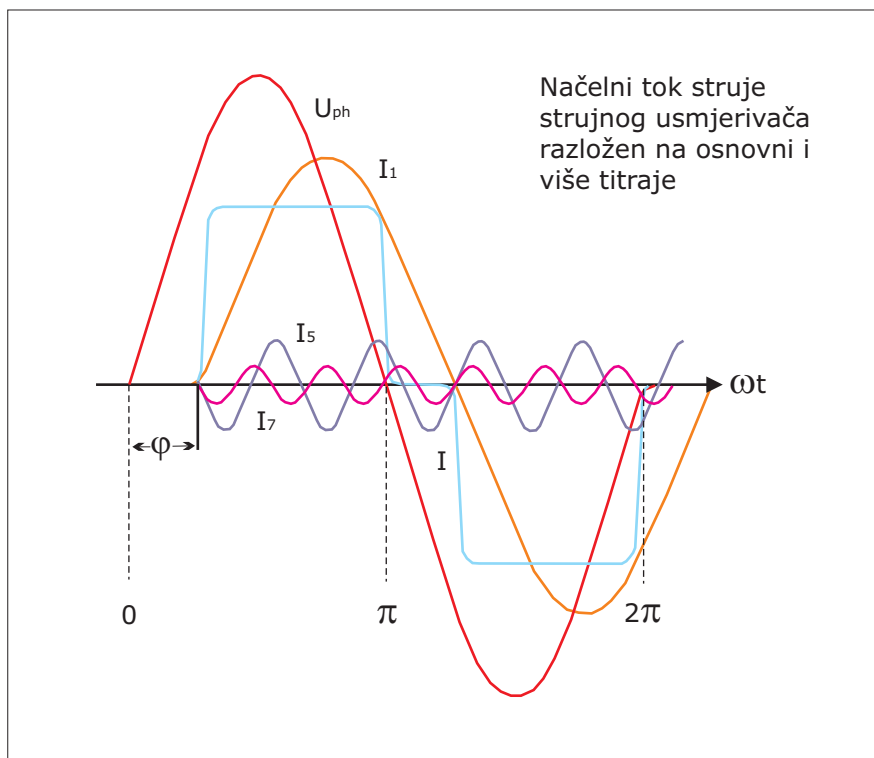
Uz neophodno uzimanje jalove snage predstavlja svaki strujni usmjerivač generator viših harmonika. Pritom su generirane frekvencije viših harmonika ovisne o broju pulseva, tj. kako se često za vrijeme jedne periode događa usmjeravanje (ispravljanje). Najčešće primjenjivani trofazni mosni spoj prema slici 2 je šest-pulsni.



Slika 2

**6**

Razloži li se dobivena opteretna struja strujnog usmjerivača s pomoću Fourierove analize, dobivaju se pored osnovnog titraja frekvencije mreže, redom viši titraji. (Slika 3)



**Slika 3**

$$v = p \cdot k \pm 1$$

$$uz \quad v = f_v / f_1$$

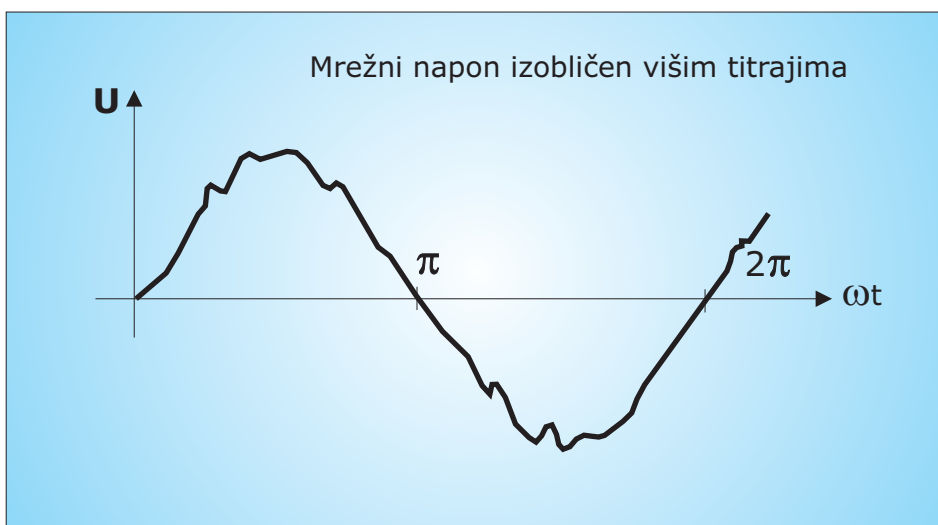
$f_v$ : frekvencije višeg titraja

$f_1$ : frekvencija osnovnog titraja (mrežna frekvencija = 50 Hz)

$p$ : broj pulseva

$k$ : prirodni broj (1,2,3...)

Struje viših titraja uzrokuju na mrežnim impedancijama izobličenje mrežnog napona (Slika 4)



**Slika 4**

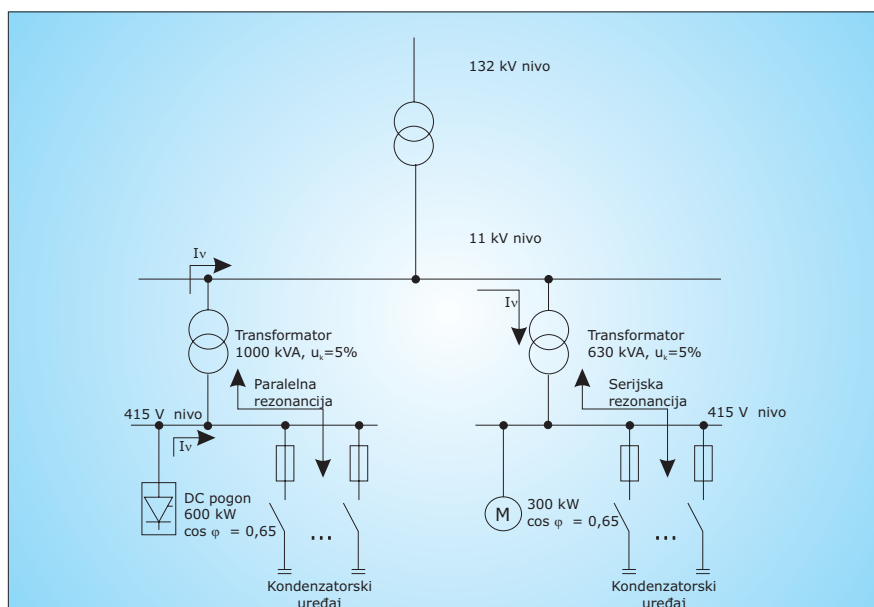
Ako se u pogonima s prisustvom viših harmonika za kompenzaciju jalove snage primijene neprigušeni kondenzatori može doći do povećanih problema.

### Rezonancija

- Harmonici mogu preopteretiti kondenzatore za kompenzaciju jalove snage prenaponima i povećanim strujama na frekvencijama viših harmonika zbog smanjenja reaktancije kondenzatora na višim frekvencijama.
- Mnogo kritičnija situacija je kada kompenzacijski kondenzator i induktiviteti transformatora i mreže čine jedan paralelni titrajni krug. Njihova impedancija poprima pri rezonantnoj frekvenciji titrajnog kruga vrlo visoku razinu. Leži li rezonantna frekvencija u blizini frekvencija, koje su uzrokovane izvorom viših harmonika, tada će ove struje viših titraja biti narinute na visoku impedanciju titrajnog kruga. Time prouzročeni veliki pad napona ima sa svoje strane za posljedicu vrlo velike struje titrajnog kruga koje na postrojenje mogu djelovati kao smetnja ili razaranja.

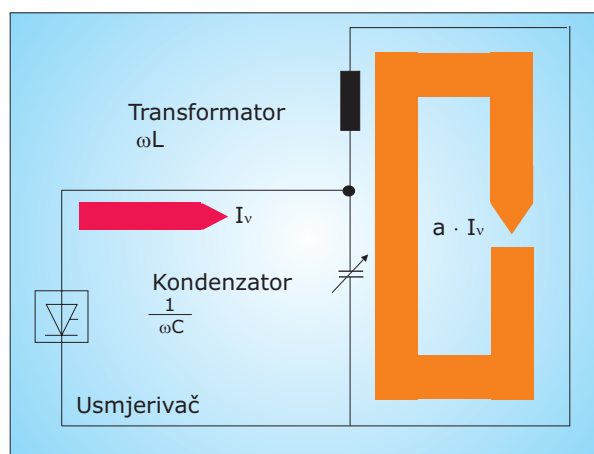
**Primjeri pojave paralelne i serijske rezonancije u jednom elektroenergetskom postrojenju prikazani su na slici 5.**

**Rezonancija je jedan od glavnih razloga kvarova i smanjenja uporabnog vijeka uređaja za kompenzaciju jalove snage.**

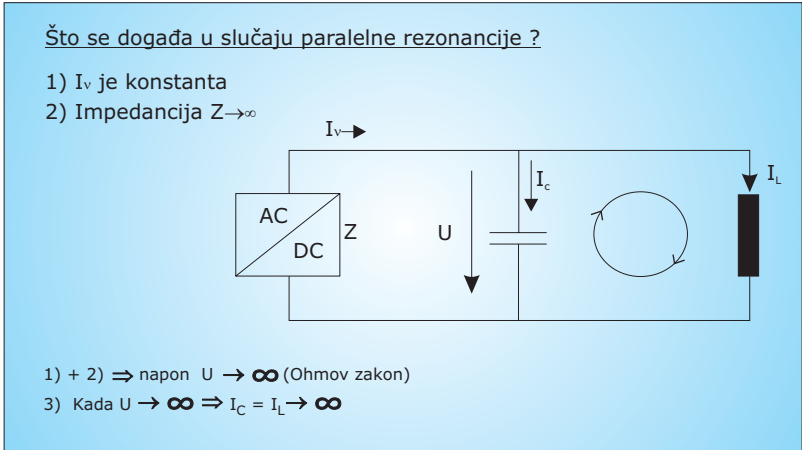


Slika 5

### Paralelna rezonancija



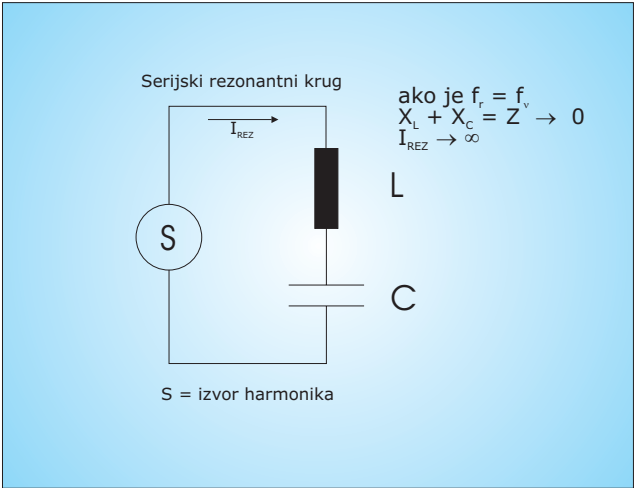
Slika 6



Slika 7

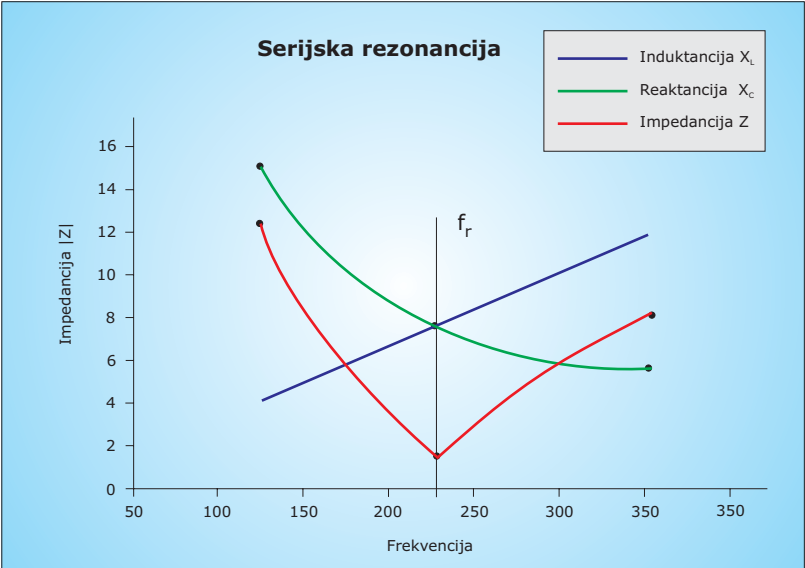
Serijska rezonancija

Serijski rezonantni krug tvori serijski spoj induktivnog otpora  $X_L$  i kapacitivnog otpora  $X_C$  spojen na izvor viših harmonika (Slika 8).



Slika 8

Frekventnu karakteristiku impedancije serijskog titrajnog kruga prikazuje slika 9.



Slika 9

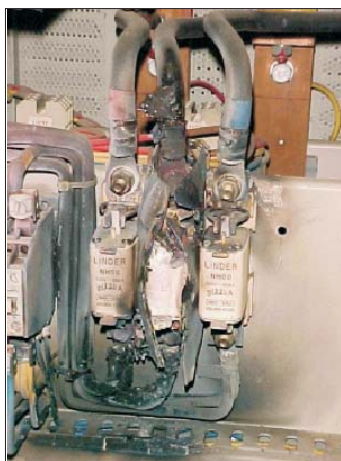
U pogonskom sistemu s prisutnim harmonicima na primarnoj strani transformatora, transformator zajedno s kondenzatorima na niskonaponskoj strani tvori serijski rezonantni krug za višenaponsku stranu. Ako je rezonantna frekvencija LC kombinacije blizu egzistirajuće harmoničke frekvencije dolazi do naponskog i strujnog preopterećenja.

### Problemi uzrokovani harmonicima

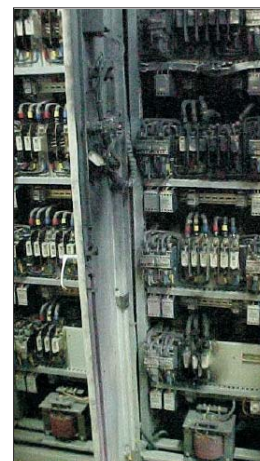
Slike 10, 11 i 12 pokazuju praktične posljedice rezonancije na frekvencijama viših harmonika.



Slika 10



Slika 11



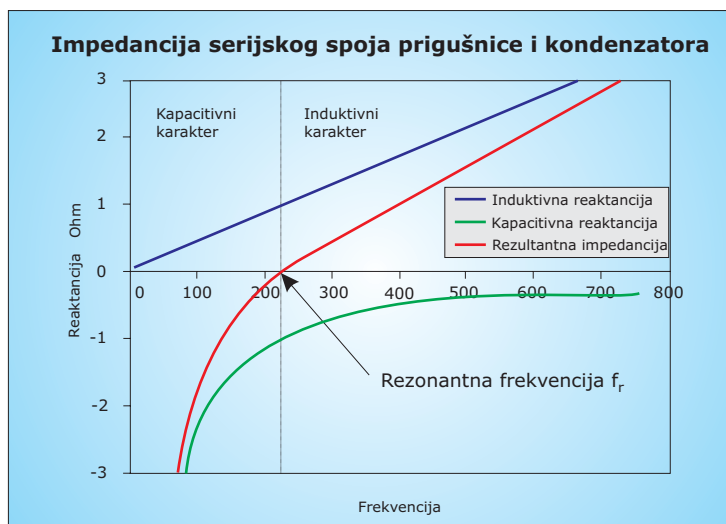
Slika 12

### Mjere za sprječavanje rezonancije

Rezonantna frekvencija  $f_r$  induktiviteta transformatora i pogonskih potrošača s kapacitetom kondenzatorskih uređaja uvijek postoji. Samo je pitanje da li će se pojaviti viši harmonik čija je frekvencija blizu rezonantne frekvencije  $f_r$  pa da nastanu rezonantni problemi s prije navedenim posljedicama.

Da bi se učinci rezonancije izbjegli, spaja se u seriju s kompenzacijskim kondenzatorom antirezonantna prigušnica. Serijski titrajni krug od svitka prigušnice i kondenzatora ugađa se na rezonantnu frekvenciju, koja leži ispod najnižeg dolazećeg višeg harmonika. Pritom se snaga prigušnice određuje u postotku (faktor prigušenja  $p$ ) prema snazi kondenzatora, u odnosu na osnovni titraj. Prigušeni kondenzatori nazivaju se i razgođeni filterski krugovi.

Dijagram na slici 13 prikazuje frekventnu karakteristiku impedancije razgođenog filterskog kruga (serijskog spoja prigušnice i kondenzatora).



Slika 13

Tablica pokazuje faktore prigušenja uobičajene u praksi.

Kao što se vidi, s rastućim razgođenjem ( $p$  vrijednost) smanjuje se usisno djelovanje a time i učinak čišćenja mreže.

Faktor prigušenja	Rezonantna frekvencija	Usisavanje 5. harmonika
$p = 5,67 \%$	210 Hz	30 % - 50 %
$p = 7 \%$	189 Hz	10 % - 20 %
$p = 14 \%$	134 Hz	0

U postrojenjima gdje snaga nelinearnih potrošača iznosi preko 50 % ili kod zahtjeva za smanjenje vlastitih viših harmonika, treba rabiti ugođene filterske krugove.

Kod ugođenih filterskih krugova prigušnice se dimenzioniraju tako, da zajedno s kondenzatorima čine serijske titrajne krugove. Rezonantna frekvencija jednog takvog filterskog kruga identična je s jednom od frekvencija višeg harmonika ili joj je vrlo blizu.

### Korekcija faktora snage i harmonički filteri

Prilikom instaliranja kondenzatora u svrhu korekcije faktora snage (PFC), ponekad se suočavamo s problemom harmonika. Harmonici se moraju uzeti u obzir kada se projektira PFC sistem kako bi se spriječilo nastajanje paralelnih i serijskih rezonantnih uvjeta koji bi oštetili cijeli električni sistem.

Kod povezivanja PFC kondenzatora, induktivitet transformatora zajedno s kondenzatorima tvori rezonantni strujni krug koji bi mogao biti pobuđen harmoničkom strujom koju stvara potrošač. Taj rezonantni strujni krug uvijek ima rezonantnu frekvenciju i ukoliko postoji harmonička struja iste frekvencije, strujni krug će doći u rezonanciju gdje visoke struje prolaze granama (L: induktivitet transformatora i C: kapacitet kondenzatora) preopterećujući ih i podižući napon na njima kao i cijelom električnom sistemu koji je paralelno priključen.

PFC neugođeno filtriranje je tehnika korekcije faktora snage kojom se izbjegava rizik rezonancije tako da se frekvencija rezonancije prebacuje na niže vrijednosti gdje nema harmoničkih struja.

To se postiže modificiranjem osnovnog LC strujnog kruga kojeg tvori transformator i kondenzatorski uređaj, uvođenjem filterske prigušnice u seriji s kondenzatorima, tvoreći tako složeniji rezonantni strujni krug, ali s rezonantnom frekvencijom nižom od prvog postojećeg harmonika. Na taj način je onemogućen nastanak pravih rezonantnih uvjeta.

Pored ovog glavnog cilja, prigušnica povezana u seriju s kondenzatorima tvori serijski rezonantni strujni krug s određenom frekvencijom ugađanja na kojoj će ta grana otvoriti niski put impedancije za harmoničku struju te određene frekvencije. Ukoliko odaberemo frekvenciju ugađanja blizu one koju ima jedna od harmoničkih struja, još će više struje tog harmonika prolaziti kroz nju umjesto kroz ostale potrošače povezane u paralelu dovodeći tako do efekta filtriranja.

Komponente za PFC neugođene filtere moraju biti pažljivo odabrane u skladu se željenom PFC svrhom, s harmonicima prisutnima u sistemu, s nekim karakteristikama sistema poput snage i impedancije kratkog spoja, sa željenim učinkom filtriranja i s karakteristikama konfiguracije rezonantnog strujnog kruga.

Na primjer, napon kondenzatora će biti viši od nominalnog mrežnog napona kada imaju serijski povezanu prigušnicu.

Prigušnice moraju biti odabrane prema induktivnoj vrijednosti potrebnoj za nastanak željene frekvencije ugađanja kao i dovoljno velikoj sposobnosti da apsorbira očekivane harmoničke struje. PFC neugođeno filtriranje je inženjerska specijalnost koja traži stručno znanje kako bi se ono obavilo na zadovoljavajući i siguran način. Na sljedećoj strani naći ćete smjernice za ispravan odabir uređaja za kompenzaciju jalove snage.

## 10 najboljih savjeta za vrhunske performanse PFC-DF (uređaja za kompenzaciju jalove snage)

**1.** Odredite potrebnu efektivnu snagu (kvar) kondenzatorskog uređaja kako biste dobili željeni PF (faktor snage  $\cos \varphi$ ).

**2.** Formirajte stupnjeve kondenzatora na takav način da osjetljivost uređaja bude oko 15-20% cjelokupne raspoložive snage. Osjetljiviji uređaji koji reagiraju s 5-10% cjelokupne snage nisu korisni jer bi doveli do velikog broja sklapanja, čime bi se oprema nepotrebno trošila jer je njen stvarni cilj postizanje visokog prosječnog faktora snage.

**3.** Pokušajte formirati uređaje sa standardnim vrijednostima stupnjeva efektivne snage, koji bi, po mogućnosti, bili višekratnici 25 kvar.

**4.** Izmjerite prisustvo harmoničkih struja u glavnom napojnom kabelu sistema bez kondenzatora, u svim mogućim uvjetima opterećenja. Izračunajte ukupnu harmoničku distorziju struje

$$\text{THD - I} = 100 \cdot \frac{\sqrt{[(I_3)^2 + (I_5)^2 + \dots + (I_N)^2]}}{I_1}$$

$$\text{Izračunajte svaku postojeću HD-}I_N = 100 \cdot \frac{I_N}{I_1}$$

**5.** Izmjerite da li postoje harmonički naponi koji bi mogli dolaziti iz mreže u vaš sistem, po mogućnosti izmjerite visoko naponsku stranu. Izračunajte napon ukupne harmoničke distorzije:

$$\text{THD - V} = 100 \cdot \frac{\sqrt{[(V_3)^2 + (V_5)^2 + \dots + (V_N)^2]}}{V_1}$$

**6.** Da li postoje harmoničke distorzije  $\text{TDH-I} > 10\%$  ili  $\text{TDH-V} > 3\%$ ? (mjereno bez kondenzatora) Ukoliko POSTOJE, koristite harmonički filter i idite na savjet broj 7.

Ukoliko NE POSTOJE, koristite standardni PFC (uređaj za korekciju faktora snage) i preskočite savjete 7, 8 i 9.

**7.** Da li postoji treća harmonička struja,  $\text{HD-I}_3 > 0,2 \text{ HD-I}_5$ ?

Ukoliko POSTOJI, koristite harmonički filter s  $p=14\%$ , i preskočite savjet broj 8.

Ukoliko NE POSTOJI, koristite harmonički filter s  $p=7\%$  ili  $5,67\%$  i idite na savjet broj 8.

**8.** THD-V je:

- 3 - 7% upotrijebite harmonički filter s  $p=7\%$  (standardna apsorpcija harmonika)
- 7 - 10% upotrijebite harmonički filter s  $p=5,67\%$  (za veću apsorpciju harmonika)
- > 10% upotrijebite specijalno dizajnirani harmonički filter

**9.** Odaberite ispravne komponente koristeći EPCOS tabele za harmoničke filtere, standardne vrijednosti efektivne snage, napon i frekvenciju svoje mreže te određeni faktor prigušenja p.

**10.** Uvijek koristite originalne EPCOS-ove specijalno dizajnirane komponente za harmoničke filtere. Molimo vas da uočite da su prigušnice specificirane za svoju efektivnu snagu na mrežnom naponu i frekvenciji. Ova snaga će biti stvarna efektivna snaga cijelog LC sklopa na osnovnoj frekvenciji. Kondenzatori harmoničkih filtera moraju se odabrati za više nazivne napone od onog mrežnog, zbog povećanja napona koji nastaje serijskim povezivanjem s prigušnicom.

## 11. NAJBOLJI SAVJET

**Ako nemate vremena i/ili mogućnosti postupanja po savjetima 1. do 10. obratite se ERG-u, koji će to učiniti za Vas.**