

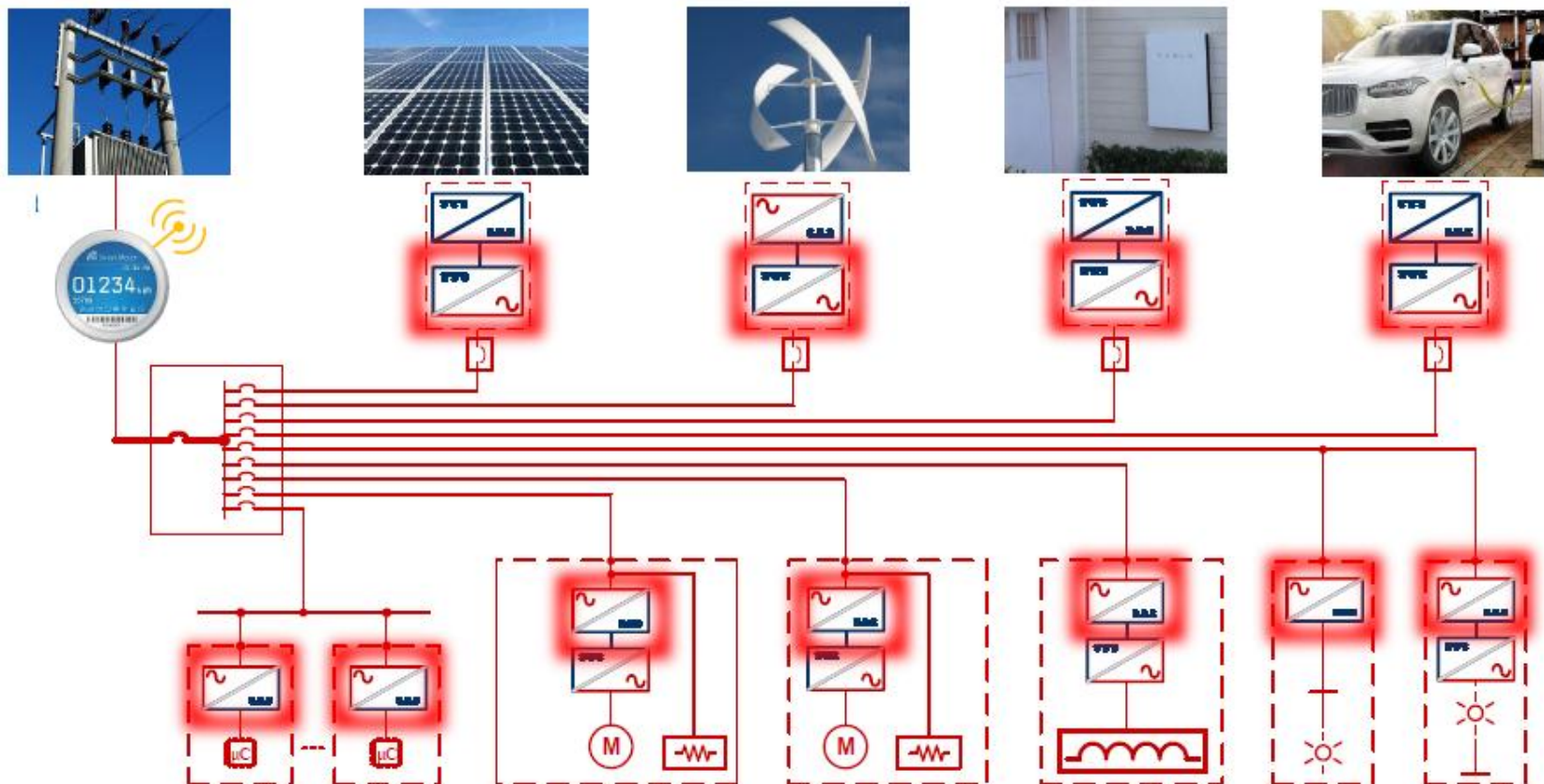
VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
STRUKOVNIH STUDIJA-VIŠER, BEOGRAD

STUDIJSKI PROGRAM: MASTER STUDIJE-ELEKTROTEHNIČKO INŽENJERSTVO

PREDMET : PROJEKTOVANJE ELEKTROENERGETSKIH PRETVARAČA



# UTICAJ ENERGETSKIH PRETVARAČA NA GENERISANJE VIŠIH HARMONIKA U NAPOJNOJ MREŽI



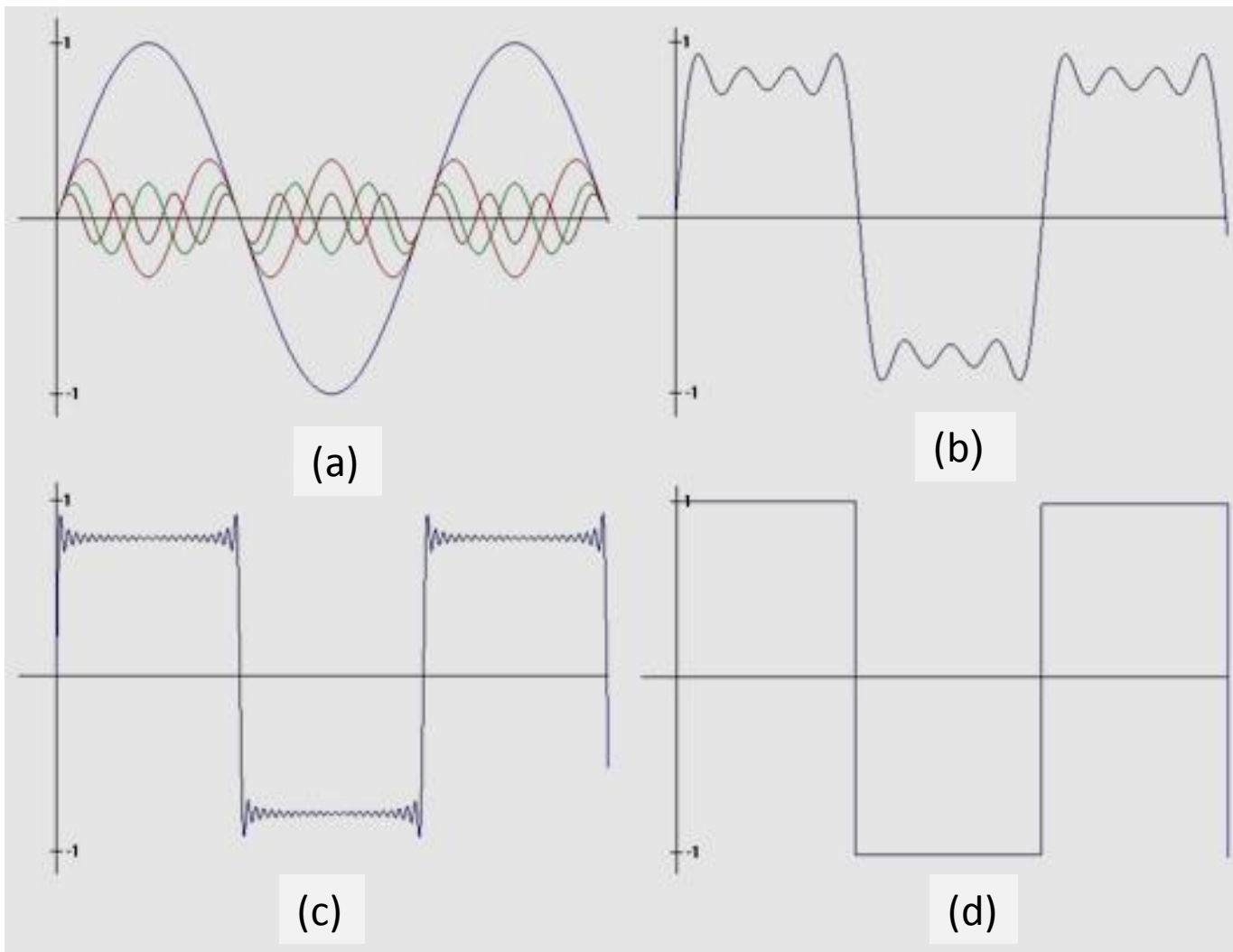
Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

# UVOD

- Električna energija se obično prenosi u vidu tri naponska, odnosno strujna talasa koji formiraju sinusni (kosinusni) trofazni sistem
- Jedna od bitnih karakteristika ovih talasnih oblika je što moraju biti što biži po svojim vrednostima sinusnom (kosinusnom) talasnom obliku.
- Ako su ovi talasni oblici izobličeni iznad određenih limita, oni moraju biti korigovani da bi zadovoljili prethodni zahtev
- Izvori izobličenja i harmonika u mrežama su: električne lučne peći, statički elektroenergetski pretvarači, sistemi osvetljenja i sl.
- Osnovni cilj predavanja je da obezbedi sveobuhvatnije razumevanje problema koji potiču od izvora izobličenja i harmonika uključujući i njihove uzroke
- U predavanju će biti predstavljeni neki tipični problemi i koji su posledica viših harmonika u mreži, kao i rešenja koja daju zadovoljavajuće rezultate u praktičnim primenama

# ŠTA SU UOPŠTE HARMONICI?

- U AC industrijskim energetske mrežama promene struje i napona u vremenu,  $i(t)$  i  $u(t)$ - (vremenski talasni oblici) se u opštem slučaju razlikuju od čistog harmonijskog sinusnog (kosinusnog) talasa



Posmatrajmo uopšteno pravogaoni talasni oblik struje ili napona dat na sl. (d). Ovaj talasni oblik se približno može predstaviti sa talasnim oblikom na sl.(b) kao zbir četiri prostoperiodična sinusna talasa, odnosno četiri HARMONIKA kao što pokazuje slika (a).

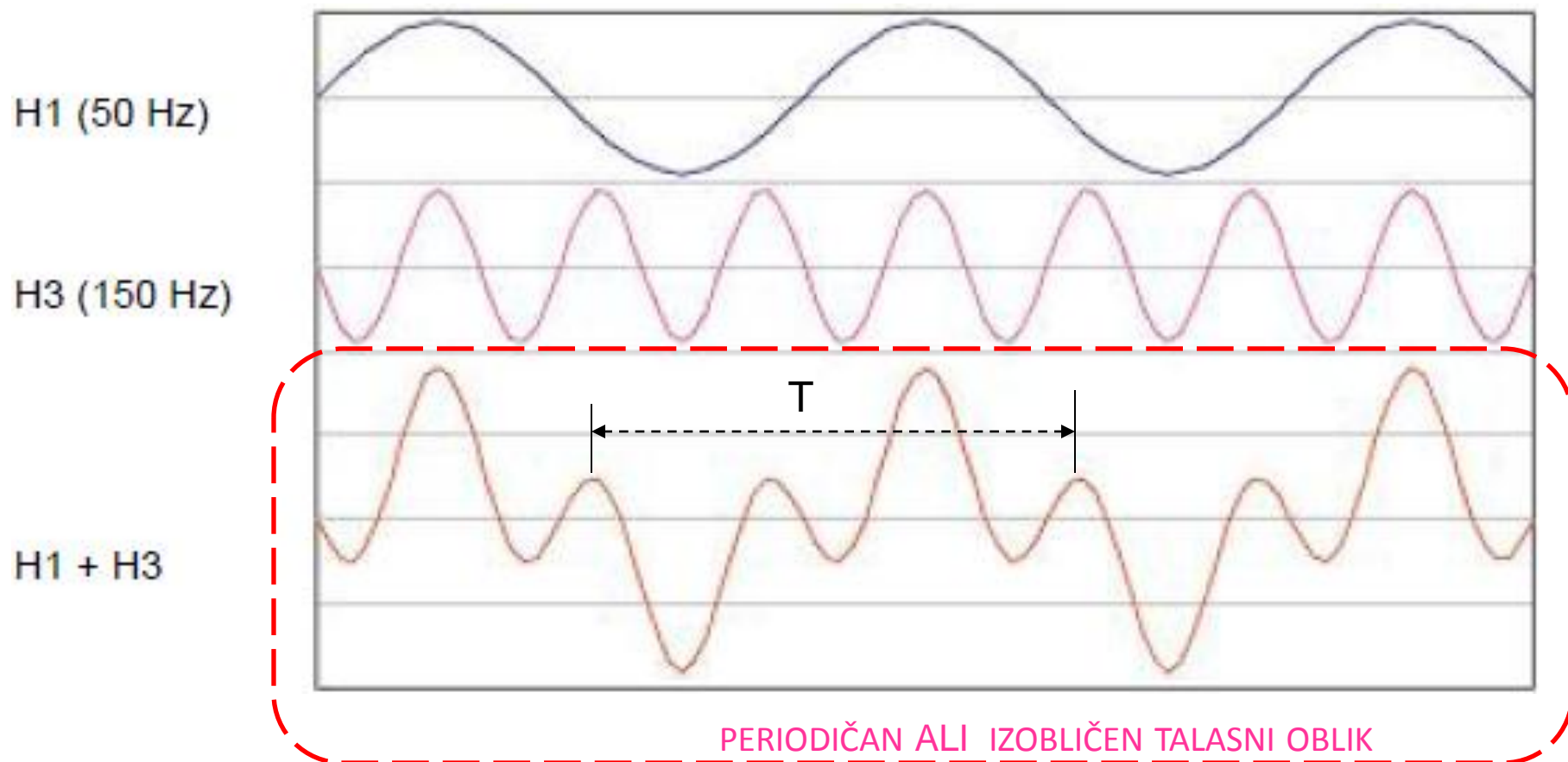
To su harmonici učestanosti:

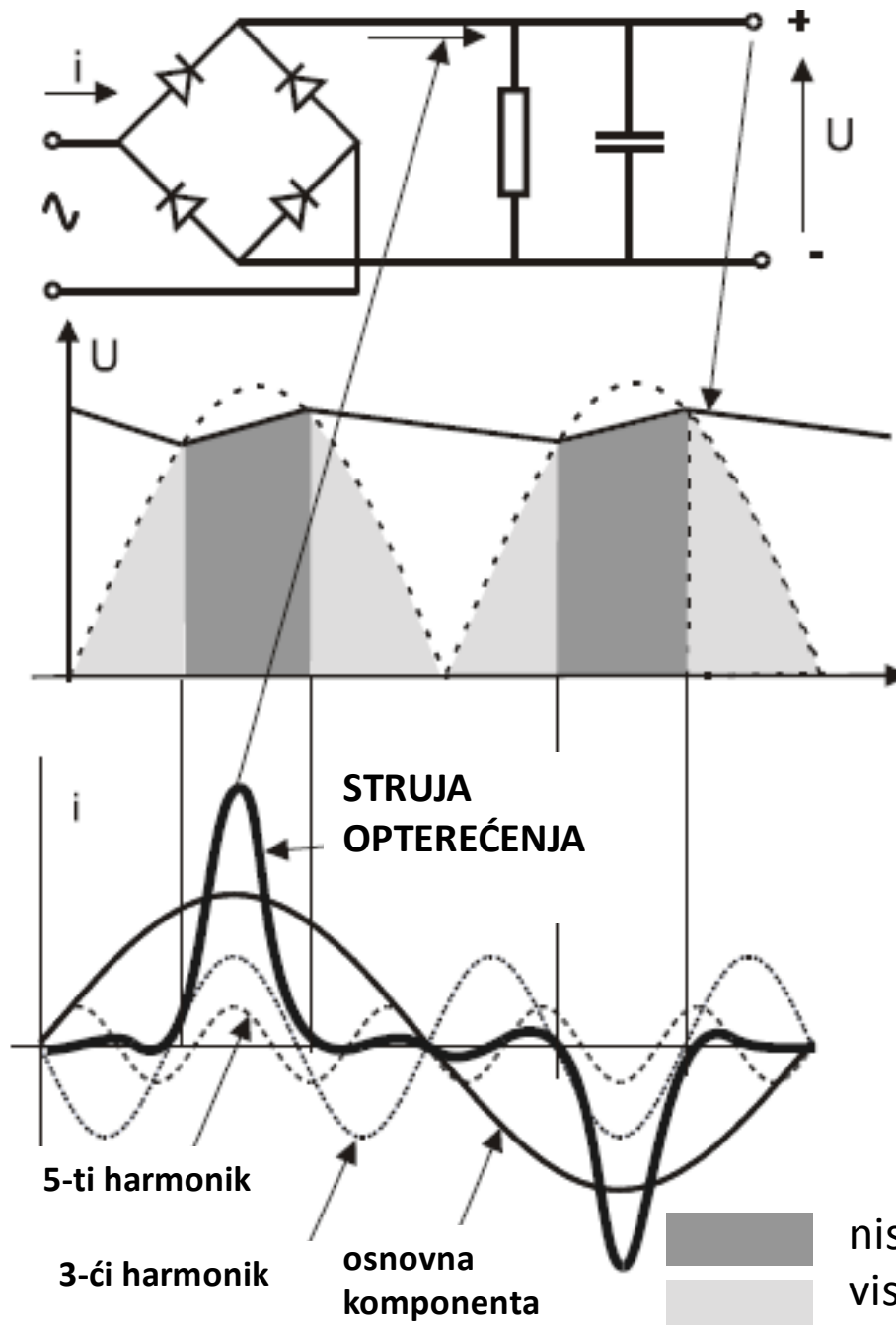
**$f_1$ -osnovni harmonik i ostali viši harmonici :**

**$f_3=3f_0, f_5=5f_0, f_7=7f_0$**

Na sl.(c) je dat talasni oblik kao zbir osnovnog Harmonika  $f_0$  i 22 viša harmonika  $3f_1, 5f_1, 7f_1, 9f_1, \dots$

# ZBIR OSNOVNOG HARMONIKA I TREĆEG HARMONIKA





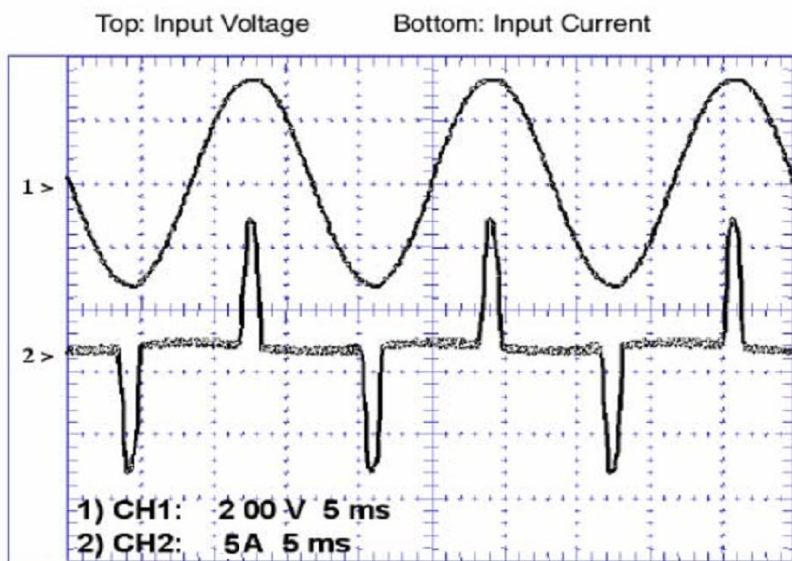
Tipično nelinearno opterećenje- izvori napajanja (PC napajanje, tazni ispravljači)

Izvor viših harmonika što se tiče struje

STRUJA OPTEREĆENJA je "bogata" harmonijskim sadržajem

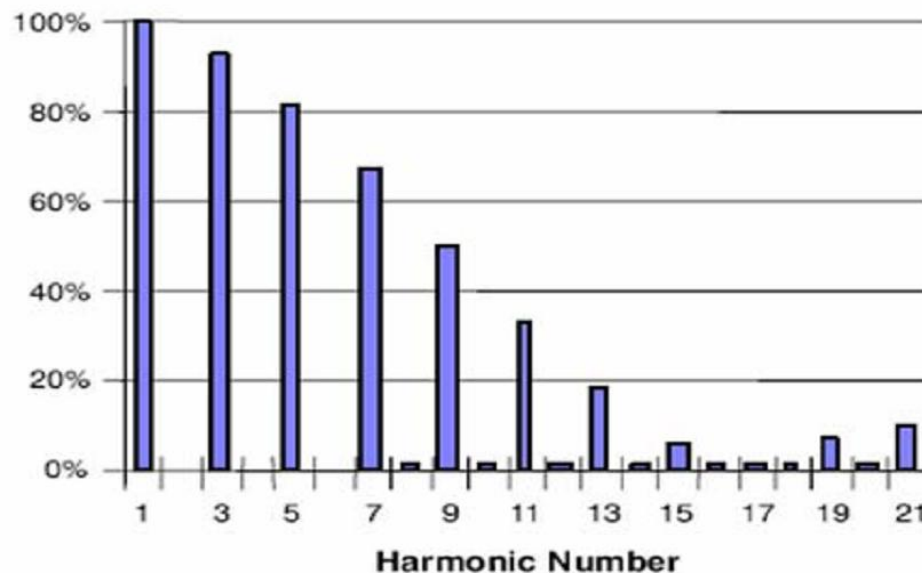
niska impedansa  
visoka impedansa

# REALAN SNIMAK ULAZNOG NAPONA I ULAZNE STRUJE JEDNOG PC NAPAJANJA 220W (220V/1A)



OCILOSKOPSKI SNIMAK

VRŠNA VREDNOST ULAZNE STRUJE 10A  
TRAJANJE STRUJNOG PIKA OKO 1ms



SADRŽAJ HARMONIKA

# ŠTA SU HARMONIJSKE KOMPONENTE?

- Termin HARMONIJSKA komponenta ili HARMONIK se odnosi na bilo koju od sinusnih komponenti, čija je učestanost jednaka celobrojnom umnošku učestanosti osnovne komponente  $f_1$ .
- Amplituda harmonika je u opštem slučaju određeni % od amplitude osnovne (fundamentalne) komponente  $f_1$ .

# ŠTA JE RED HARMONIKA?

- Red harmonika (harmonijski broj)-  $n$
- HARMONIC ORDER (engl.)
- Red harmonika (harmonijski broj) je odnos učestanosti  $n$ -tog harmonika  $f_n$  i učestanosti osnovne (fundamentalne) komponente  $f_1$

$$n = \frac{f_n}{f_1}$$

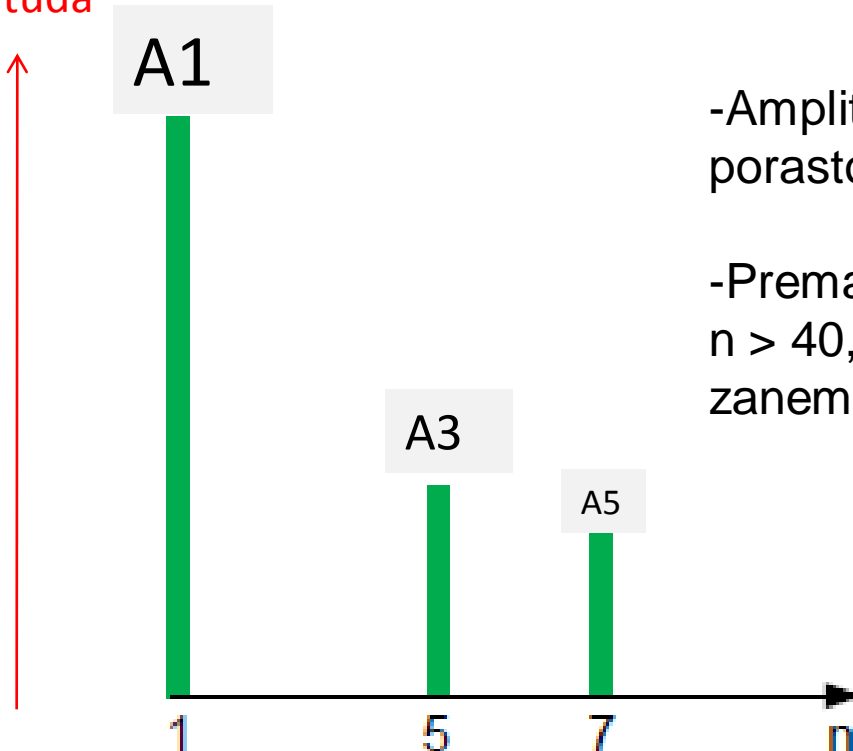
U energetici je obično  $f_1=50\text{Hz}$  (60Hz)

Red harmonika osnovne učestanosti je jednak 1

# ŠTA JE SPEKTAR HARMONIKA?

- Spektar harmonika je raspodela amplituda različitih harmonika u funkciji reda harmonika
- Često se spektar harmonika daje pregledno u obliku histograma

amplituda



-Amplituda harmonika opada sa porastom reda harmonika

-Prema standardima za red harmonika  $n > 40$ , amplituda harmonika se zanemaruje

red harmonika

# ŠTA JE FURIJEOV RED?

- Bilo koji periodični talasni oblik  $y(t)$ , неправи­lan ili izobličen, može se predstaviti matematičkim redom – FURIJEOVIM REDOM u formi:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

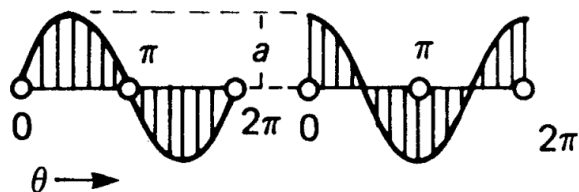
Fazni ugao n-tog harmonika

Amplituda DC komponente  
(u opštem slučaju za distributivnu mrežu jednaka nuli)

Efektivna vrednost (RMS) n-tog harmonika

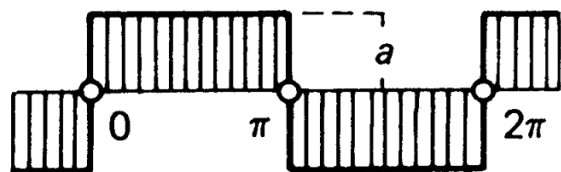
**KAKO IZGLEDAJU FURIJEОВI REDОВI NEKIH IZOBLIČENIH TALASNIH OBLIKA KOJI SE NAJČEŠĆE SUSREĆU U ENERGETSKIM POSTROJENJIMA?**

## TALASNI OBLIK

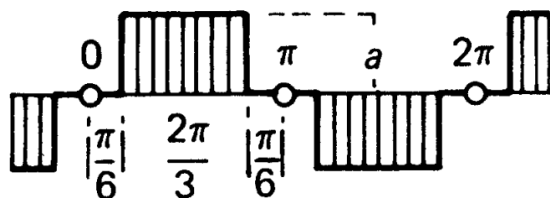


Sine:  $a \sin \theta$

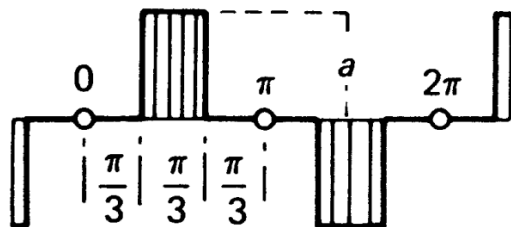
Cosine:  $a \sin \theta$



$$a \frac{4}{\pi} \left[ \frac{\sin \theta}{1} + \frac{\sin 3\theta}{3} + \frac{\sin 5\theta}{5} + \frac{\sin 7\theta}{7} + \dots \right]$$

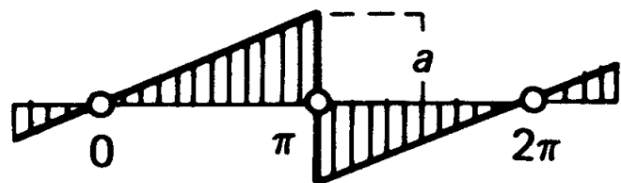
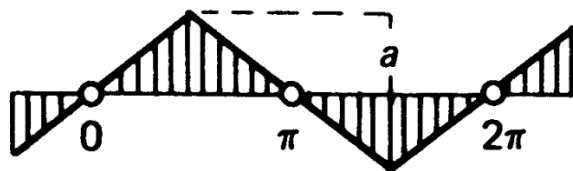
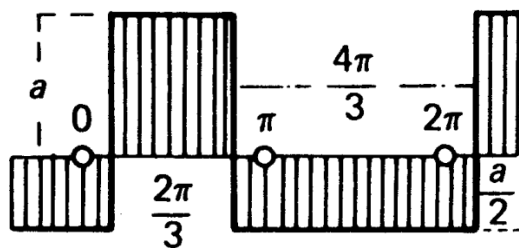
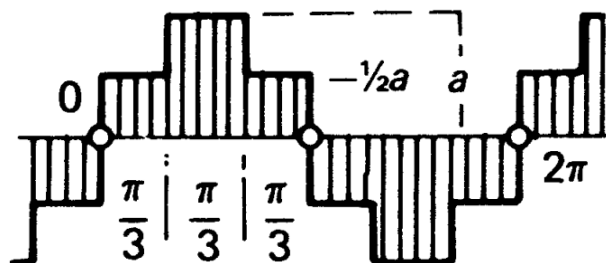


$$a \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \left[ \frac{\sin \theta}{1} - \frac{\sin 5\theta}{5} - \frac{\sin 7\theta}{7} + \frac{\sin 11\theta}{11} + \frac{\sin 13\theta}{13} - \frac{\sin 17\theta}{17} - \dots \right]$$



$$a \frac{4}{\pi} \left[ \frac{\sin \theta}{2 \cdot 1} - \frac{\sin 3\theta}{3} + \frac{\sin 5\theta}{2 \cdot 5} + \frac{\sin 7\theta}{2 \cdot 7} - \frac{\sin 9\theta}{9} + \frac{\sin 11\theta}{2 \cdot 11} \right. \\ \left. + \frac{\sin 13\theta}{2 \cdot 13} - \frac{\sin 15\theta}{15} + \frac{\sin 17\theta}{2 \cdot 17} + \dots \right]$$

## TALASNI OBLIK



## FURIJEOV RED

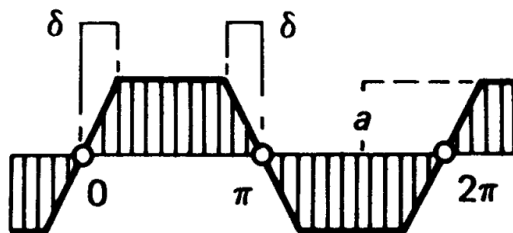
$$a \frac{3}{\pi} \left[ \frac{\sin \theta}{1} + \frac{\sin 5\theta}{5} + \frac{\sin 7\theta}{7} + \frac{\sin 11\theta}{11} + \frac{\sin 13\theta}{13} + \frac{\sin 17\theta}{17} + \dots \right]$$

$$a \frac{3\sqrt{3}}{2\pi\zeta} \left[ \frac{\sin \theta}{1} - \frac{\sin 5\theta}{5} - \frac{\sin 7\theta}{7} + \frac{\sin 11\theta}{11} + \frac{\sin 13\theta}{13} - \dots \right. \\ \left. - \frac{\cos 2\theta}{2} - \frac{\cos 4\theta}{4} + \frac{\cos 8\theta}{8} + \frac{\cos 10\theta}{10} - \dots \right]$$

$$a \frac{8}{\pi^2} \left[ \frac{\sin \theta}{1} - \frac{\sin 3\theta}{9} + \frac{\sin 5\theta}{25} - \frac{\sin 7\theta}{49} + \frac{\sin 9\theta}{81} - \frac{\sin 11\theta}{121} + \dots \right]$$

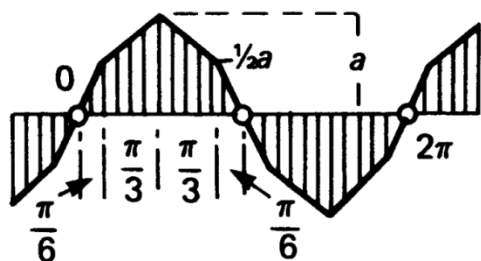
$$a \frac{3}{\pi} \left[ \frac{\sin \theta}{1} - \frac{\sin 2\theta}{2} + \frac{\sin 3\theta}{3} - \frac{\sin 4\theta}{4} + \frac{\sin 5\theta}{5} - \dots \right]$$

## TALASNI OBLIK

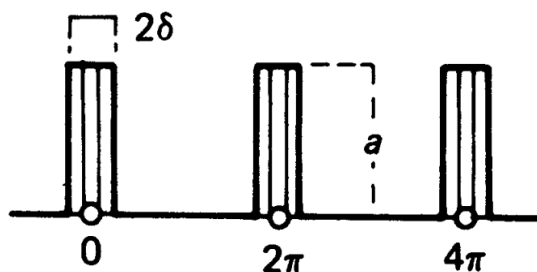


## FURIJEOV RED

$$a \frac{4}{\pi \delta} \left[ \frac{\sin \delta \cdot \sin \theta}{1} + \frac{\sin 3\delta \cdot \sin 3\theta}{9} + \frac{\sin 5\delta \cdot \sin 5\theta}{25} + \dots \right]$$

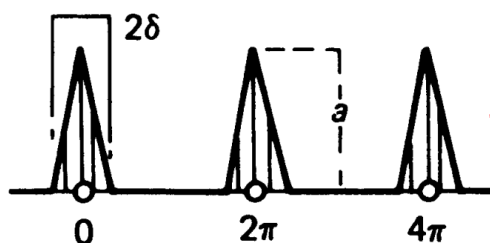


$$a \frac{9}{\pi^2} \left[ \frac{\sin \theta}{1} + \frac{\sin 5\theta}{25} - \frac{\sin 7\theta}{49} + \frac{\sin 11\theta}{121} - \frac{\sin 13\theta}{169} + \dots \right]$$



DC komponenta

$$\uparrow a \frac{\delta}{\pi} + a \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\sin \delta \cdot \cos \theta}{1} + \frac{\sin 2\delta \cdot \cos 2\theta}{2} + \frac{\sin 3\delta \cdot \cos 3\theta}{3} + \dots \right]$$

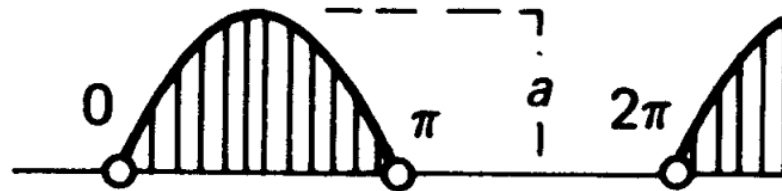


$$a \frac{\delta}{2\pi} + a \frac{4}{\pi \delta} \left[ \frac{\sin^2(\frac{1}{2}\delta)}{1} \cos \theta + \frac{\sin^2 2(\frac{1}{2}\delta)}{4} \cos 2\theta + \frac{\sin^2 3(\frac{1}{2}\delta)}{9} \cos 3\theta + \dots \right]$$

Dirakovi  
Impulsi  $\delta \ll \pi$

$$a \frac{\delta}{2\pi} + a \frac{\delta}{\pi} [\cos \theta + \cos 2\theta + \cos 3\theta + \dots] \quad \delta \ll \pi$$

# POLUTALASNI ISPRAVLJAČ



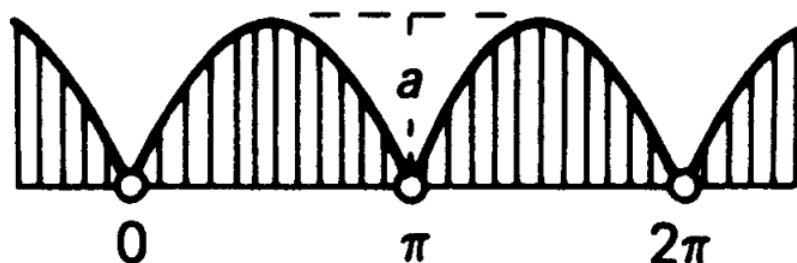
Signal kod polutalasnog ispravljača

$$a \frac{1}{\pi} + a \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\pi \sin \theta}{4} - \frac{\cos 2\theta}{1 \cdot 3} - \frac{\cos 4\theta}{3 \cdot 5} - \frac{\cos 6\theta}{5 \cdot 7} - \dots \right]$$

Furijev red

jednosmerna (DC) komponenta signala

# PUNOTALASNI ISPRAVLJAČ



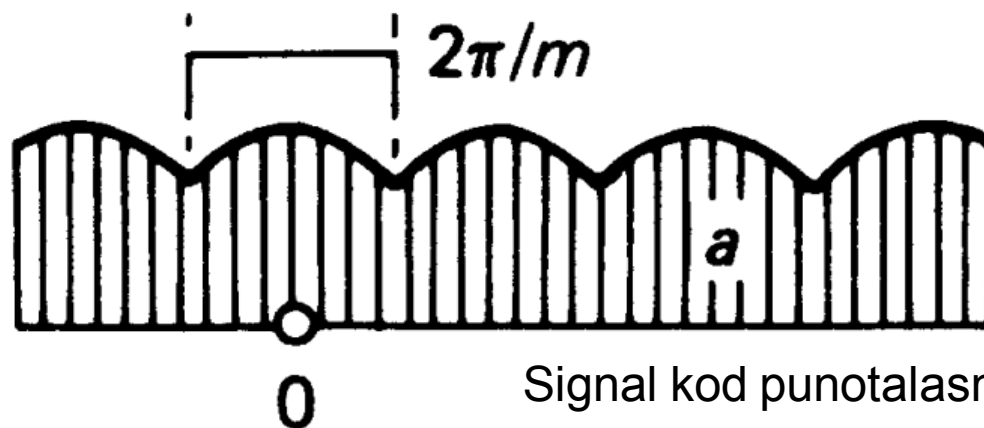
Signal kod punotalasnog ispravljača

$$a \frac{2}{\pi} - a \frac{4}{\pi} \left[ \frac{\cos 2\theta}{1 \cdot 3} + \frac{\cos 4\theta}{3 \cdot 5} + \frac{\cos 6\theta}{5 \cdot 7} + \frac{\cos 8\theta}{7 \cdot 9} + \dots \right]$$

Furijeov red

jednosmerna (DC) komponenta signala

# m-pulsni ispravljač



Signal kod punotalasnog ispravljača

$$a \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} + a \frac{2m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \left[ \frac{\cos m\theta}{m^2 - 1} - \frac{\cos 2m\theta}{4m^2 - 1} + \frac{\cos 3m\theta}{9m^2 - 1} - \dots \right]$$

Furijev red

jednosmerna (DC) komponenta signala

m-ceo broj ,  $m > 1$

$m = 3$  (trofazni tropulsni ispravljač)

$m = 6$  (trofazni šestopulsni ispravljač)

# EFEKTIVNA VREDNOST IZOBLIČENOG TALASNOG OBLIKA

- Za čisto periodični talasni oblik (sinusni, odnosno kosinusni) efektivna vrednost je jednaka **MAX VREDNOST**/ $\sqrt{2}$
- Za izobličen talasni oblik, u ustaljenom stanju, energija disipirana Džulovim efektom, je jednaka zbiru energija disipacije svake pojedinačne harmonijske komponente (harmonika):

$$\cancel{RI^2 t} = \cancel{RI_1^2 t} + \cancel{RI_2^2 t} + \dots + \cancel{RI_n^2 t}$$
$$I^2 = I_1^2 + \dots + I_n^2 = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

# HARMONIJSKI ODNOS-SADRŽAJ HARMONIKA

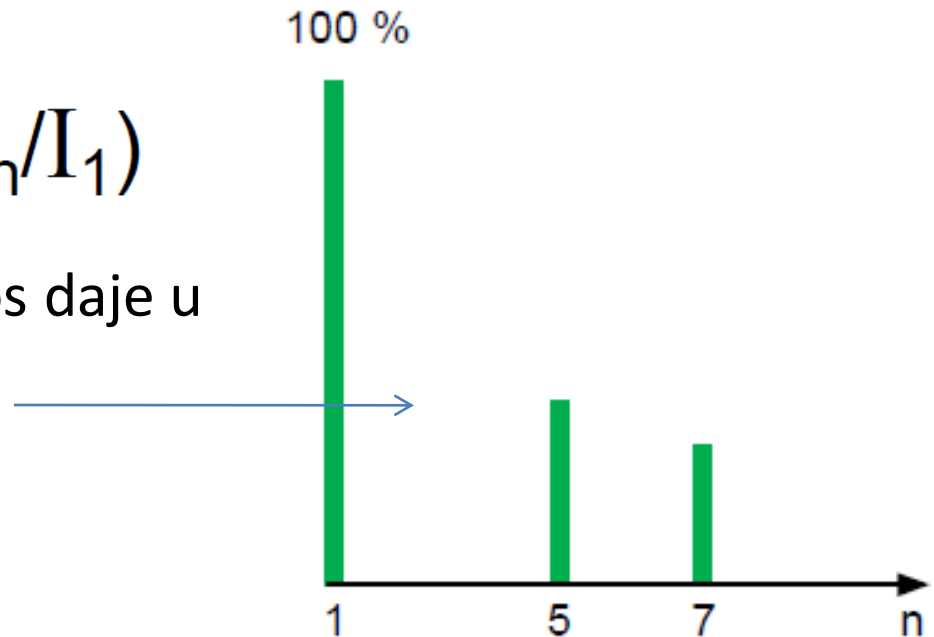
- Obično se radi o procentualnom iznosu
- Odnos RMS vrednosti n-tog harmonika i RMS vrednosti osnovnog harmonika
- Harmonijski odnos n-tog harmonika  $I_n$  (*nije nominalna vrednost*):

$$I_n/I_1$$

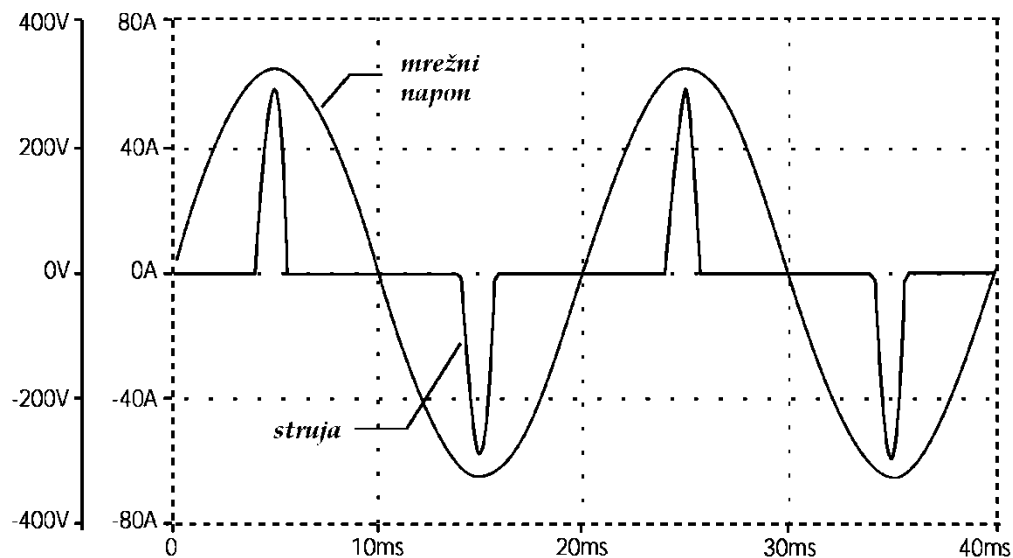
Ili u procentima (%)

$$100(I_n/I_1)$$

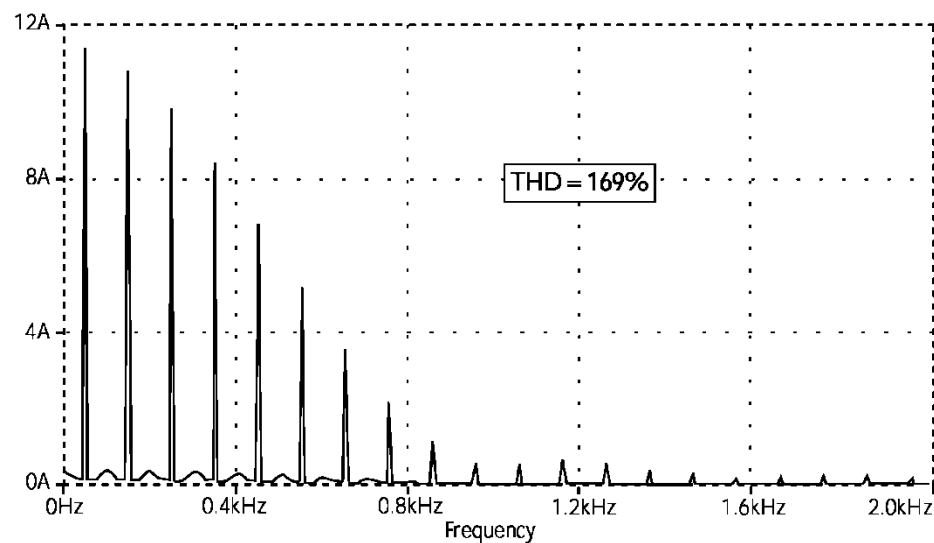
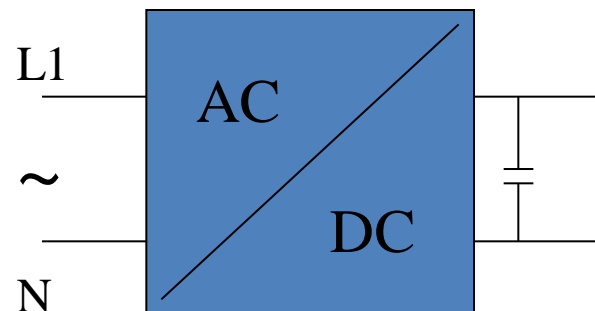
Obično se harmonijski odnos daje u funkciji reda harmonika-n



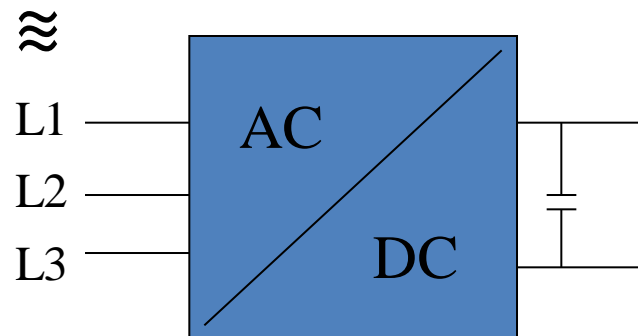
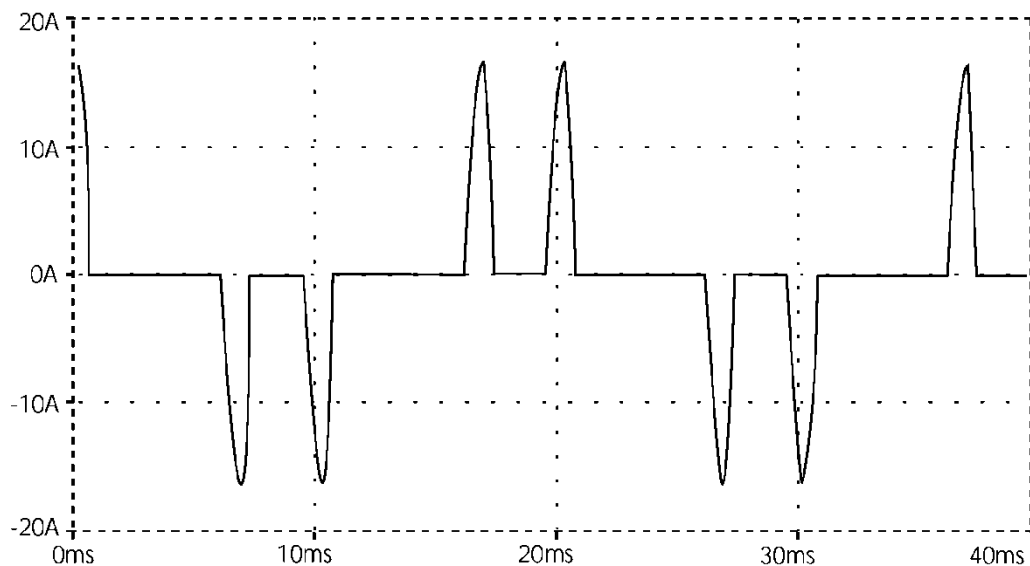
# HARMONICI-monofazni nelinearni prijemnik



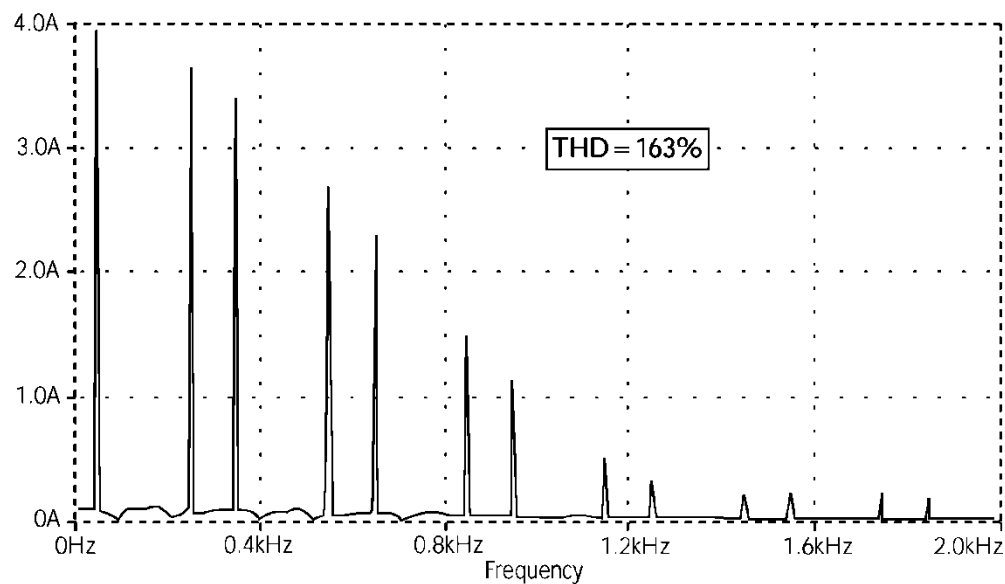
Tipični talasni oblik ulazne struje monofaznog AC-DC pretvarača snage 1.5kW



# HARMONICI-trofazni nelinearni prijemnik



Tipični talasni oblik ulazne struje trofaznog AC-DC pretvarača snage 1.5kW



# UKUPNO HARMONIJSKO IZOBLIČENJE- T H D

- Total Harmonic Distortion (THD)
- Ponekad se samo naziva distorzija, a označava se sa **D**
- THD kvantitativno izražava termički efekat viših harmonijskih komponenti (sve ostale osim osnovnog harmonika)
- THD se izračunava na osnovu dve definicije odnosno na dva načina!!!!!!
- Jedna uzima u obzir odnos svih viših harmonika i osnovne komponente, dok druga uzima u obzir odnos svih viših harmonika i ukupne efektivne vrednosti

# OSNOVNA JEDNAČINA ZA THD

- Prema standardu IEC 61000-2-2

$$D = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{Y_1}$$

Po ovoj definiciji D može imati vrlo velike vrednosti ( $\gg 1$ )

# DRUGA DEFINICIJA ZA THD

- U slučaju kada hoćemo da vrednosti D normalizujemo na opseg  $0 < D < 1$  koristimo definiciju:

$$D = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n^2}}$$

NAPOMENA: *Ukoliko nije drugačije naznačeno koristićemo definiciju po IEC 61000-2-2*

# GLAVNE SMETNJE IZAVANE HARMONICIMA STRUJE I NAPONA

- Harmonici struje i napona superponirani na osnovni harmonik imaju složeni uticaj na opremu i uređaje koji su povezani u napojnoj mreži
- Negativan uticaj ovih viših harmonika zavisi od tipa opterećenja i obuhvata:
  - trenutne efekte
  - dugotrajne efekte (posledica grejanja)

# TRENUTNI EFEKTI VIŠIH HARMONIKA

- Harmonici napona mogu remetiti rad kontrolera koji se koriste u upravljačkim elektronskim sistemima (na primer poremećaj sinronizacije tiristorskih pretvarača)
- Harmonici mogu prouzrokovati dodatne greške u brojilima sa obrtnim diskom (na primer brojilo klase tačnosti 2 će povećati grešku za 0.3% usled 5-tog harmonika u struji i naponu, sadržaja 5%)
- MTK uređaji daljinske kontrole u distributivnim preduzećima mogu biti značajno ometani prisustvom viših harmonika u mreži
- Vibracije i šum
- Interferenca komunikacionih i kontrolnih kola

# VIBRACIJE I ŠUM

- Elektrodinamičke sile proizvedene trenutnim vrednostima struja (sa visokim harmonijskim sadržajem) mogu izazvati buku i vibracije, odnosno tzv. *akustički šum*
- Naročito se ovo odnosi na elektromagnetne uređaje (transformatori, električne mašine, reaktori,...)
- Pulsirajući mehanički obrtni momenat usled harmonika struja, odnosno harmonika obrtnih polja mogu proizvesti vibracije u obrtnim mašinama

# INTERFERENCA KOMUNIKACIONIH I KONTROLNIH KOLA

- Poremećaj se primećuje kada se komunikaciona i upravljačka kola nalaze na strani izobličenog mrežnog napajanja
- Parametri koji se moraju uzeti u obzir uključuju dužinu paralelnih kola, međusobno rastojanje između njih, učestanosti viših harmonika i sl.
- Step en sprege raste sa povećanjem učestanosti odnosno sadržaja harmonika

# DUGOTRAJNI EFEKTI VIŠIH HARMONIKA

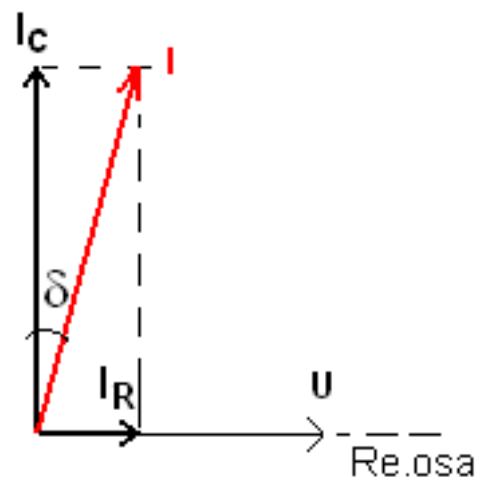
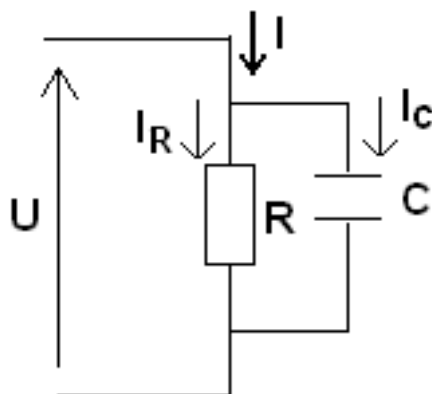
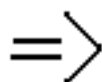
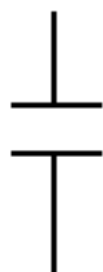
- Pored mehaničkog zamora i vibracija jedan o dugotrajnih efekata koji ima značajan uticaj je grejanje
- Kada se govori o termičkim efektima misli se na:
  - grejanje kondenzatora
  - dodatne gubitke u obrtnim mašinama i transformatorima
  - grejanje kablova i ostale opreme

# TERMIČKI EFEKTI U KONDENZATORIMA

- Grejanje kondenzatora je posledica dva efekta: gubitaka usled provodnosti i dielektričnog histerezisa
- U prvoj aproksimaciji proporcionalno je kvadratu efektivne vrednosti struje
- Kondenzatori su jako osetljivi na preopterećenje, kako zbog prevelike osnovne harmonijske komponente, tako i zbog prisustva viših harmonika napona
- Preveliko grejanje može dovesti do dielektričnog proboj
- Merilo ovih gubitaka je tzv. TANGENS GUBITAKA kondenzatora koji je određen fazorskim dijagramom snaga

# TANGENS GUBITAKA

realni  
kondenzator



Fazorski  
Dijagram  
Napona i struja

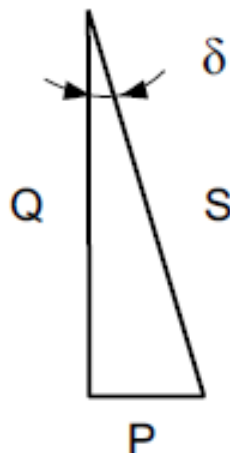
$$\operatorname{tg} \delta = I_R / I_C$$

$$I_R = U / R$$

$$I_C = U / X_C$$

$$X_C = 1 / \omega C$$

Fazorski  
Dijagram  
snaga



$$\tan \delta = \frac{P}{Q}$$

$$\operatorname{tg} \delta = 1 / \omega C R$$

Tipične vrednosti  $1 \dots 2 \cdot 10^{-4}$

UČESTANOST ZNAČAJNO UTIČE NA TANGENS GUBITAKA

# GREJANJE USLED DODATNIH GUBITAKA U OBRTNIM MAŠINAMA I TRANSFORMATORIMA

- Dodatni gubici u statoru (bakar+gvožđe) i gubici u rotoru (prigušni namotaji i magnetna kola) prouzrokovani značajnom razlikom u brzini između indukovanih obrtnih polja usled harmonika i brzine rotora
- Rotorske indukovane struje, temperature namotaja i ostale veličine je jako teško izmeriti
- Dopunski gubici u transformatorima usled površinskog-skin efekta (porast otpornosti Cu namotaja usled povišenih učestanosti), histerezisni i gubici usled vrtložnih struja (magnetnim limovima)
- Gubici usled vrtložnih struja zavise od kvadrata učestanosti

# GREJANJE U KABLOVIMA USLED VIŠIH HARMONIKA

- Gubici u kablovima se povećavaju usled harmonika struje, što dovodi do njihovog dodatnog zagrevanja
- Dodatno zagrevanje je prouzrokovano mnoštvom uticaja
- Povećanje RMS vrednosti struje za istu snagu potrošnje
- Porast otpornosti usled površinskog efekta
- Porast dielektričnih gubitaka u izolaciji sa porastom učestanosti (ako je kabl podvrgnut naponskom distorzijom)
- Blizinski efekat provodnika u odnosu na metalni kablovski plašt uzemljen na oba kraja
- Proračun gubitaka je obuhvaćen standardom IEC 60287

# GREJANJE ELEKTRIČNE OPREME USLED VIŠIH HARMONIKA

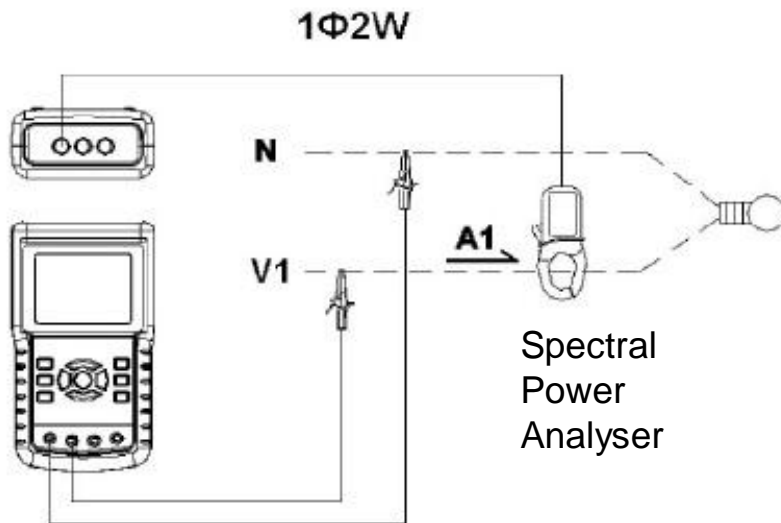
- Uopšteno govoreći, sva električna oprema (električni razvodni ormani) koja je pod dejstvom naponskih harmonika, a takođe i strujnih (koji su posledica naponskih), je izložena porastu energije gubitaka.
- Ova energija mora biti redukovana ili čak potpuno smanjena
- Tako na primer kondenzator za kompenzaciju reaktivne energije treba da bude predimensionisan oko 1.3 puta, ali ovaj faktor ne uzima u obzir povećano zagrevanje u provodnicima usled površinskog (skin) efekta.

# KAKO IZMERITI SADRŽAJ HARMONIKA, THD....?

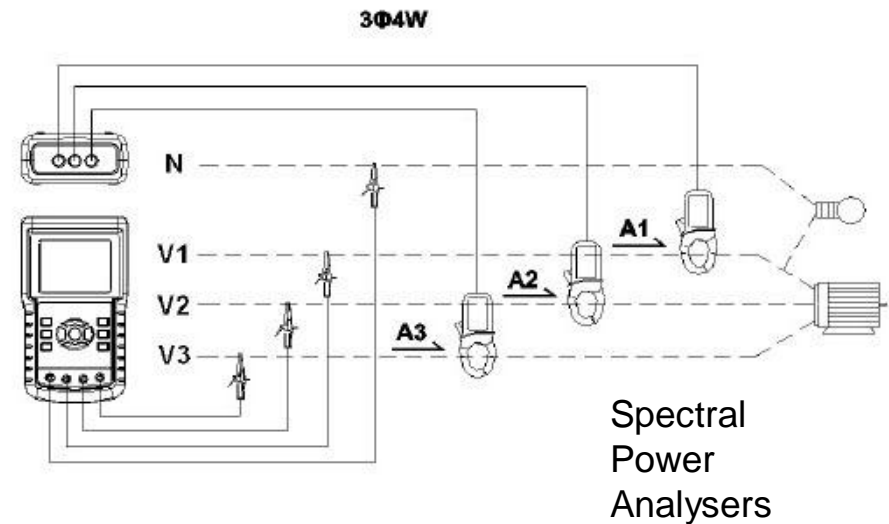
- Harmonijska distorzija struja i napona se meri korišćenjem spektralnih analizatora, koji obezbeđuju merenje amplitude svake harmonijske komponente.
- Veoma bitno je koristiti strujne i naponske senzore koji moraju imati zahtevanu tačnost (klasu tačnosti) , kao i dovoljno širok frekventni propusni opseg
- Efektivna vrednost izobličene struje se može oceniti, odnosno izmeriti na tri načina
  - *Merni elementi koji mere trenutnu stvarnu vrednost struje i stvarnu vrednost RMS (true RMS)*
  - *Rekonstrukcijom spektra koji je dobijen spektralnom analizom*
  - *Estimacijom na osciloskopskom displeju*

# TROFAZNO i MONOFAZNO MERENJE

## spektralni analizatori



Monofazno merenje

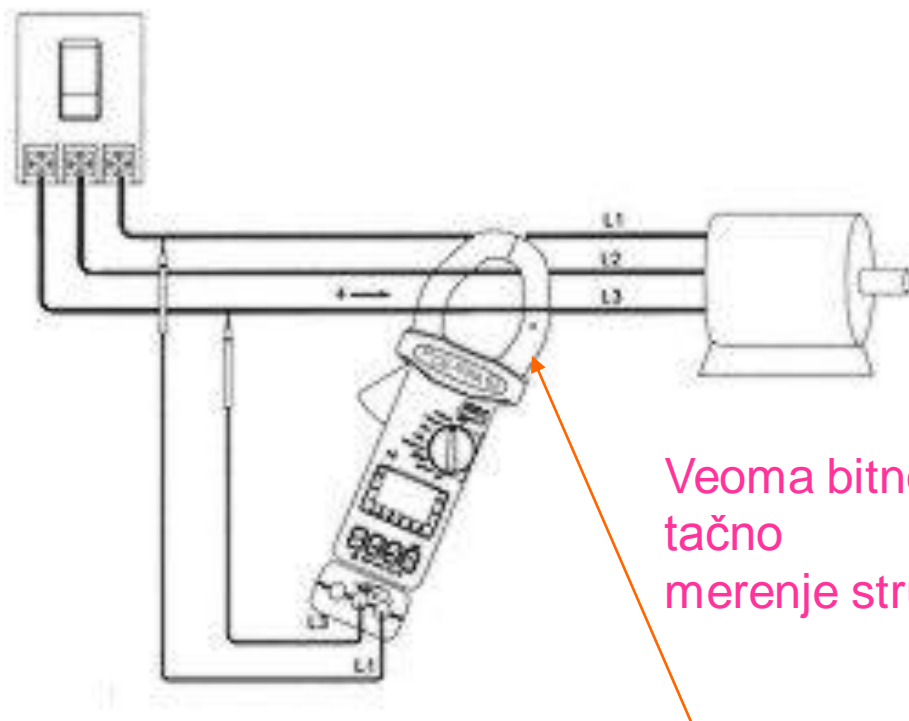


Trofazno merenje

# SPEKTRALNI ANALIZATORI (Spectral Power Analyser)



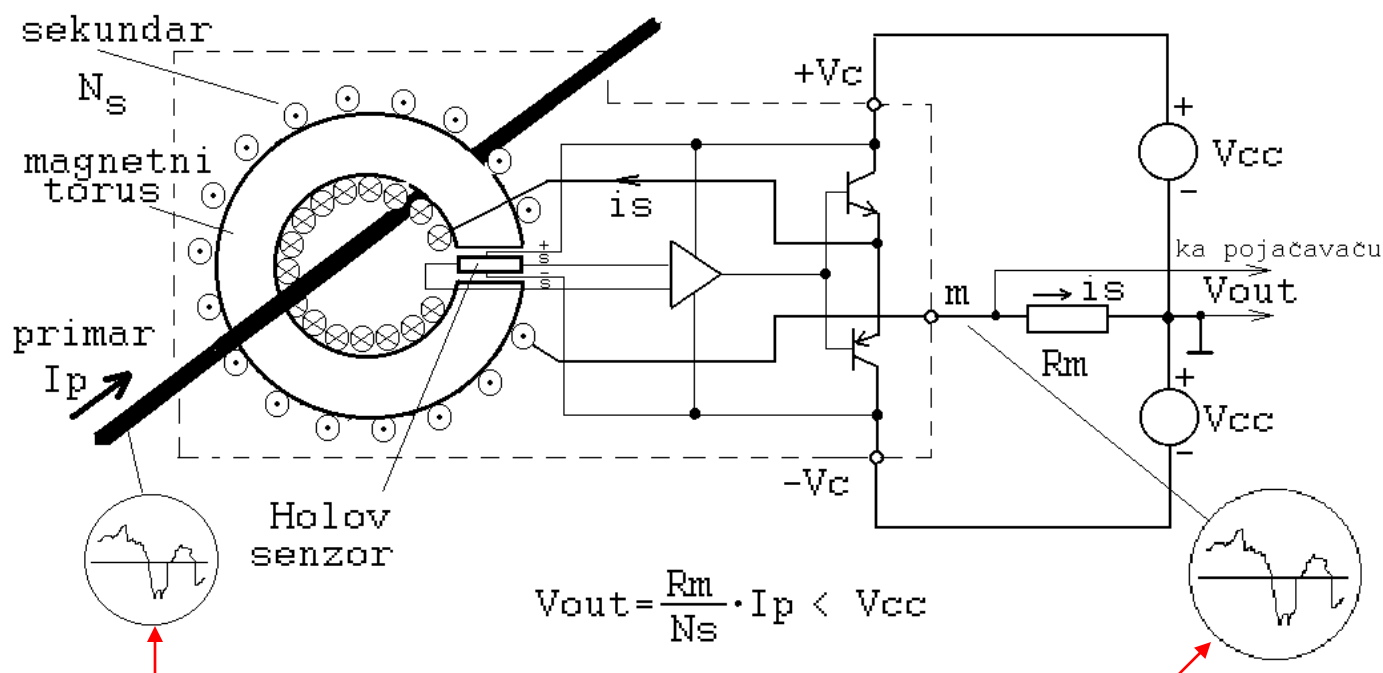
Spektralni analizatori



Veoma bitno je  
tačno  
merenje struje

LEM modul

# MERENJE TRENUTNE VREDNOSTI STRUJE-LEM senzor



Precizno merenje trenutne vrednosti struje u širokom frekventnom opsegu (merenje veoma brzih pojava na nivou 100-200ns se ostvaruje strujnim LEM modulima). Glavni deo davača predstavlja Holov senzor koji se stavlja u procep torusa kroz koji se provlači provodnik čija se struja meri. Senzor se napaja sa eksternim naponom (tipično  $\pm 12VDC$ ), a na izlazu daje napon koji je proporcionalan indukciji u procepu odnosno vrednosti primarne struje. Signal sa senzora se pojačava i vodi na izlazni tranzistorski stepen (naponski sleditelj) koji se pobuđuje u ritmu napona na senzoru. Izlazni tranzistori ustvari napajaju namotaj na torusu tako da kompenzuju struju primara te je magnetno polje u vazдушnom procepu jednako nuli. Na otporniku se meri ova kompenzujuća struja koja je preslikana struja primara u odnosu. Prednost ovog davača sa povratnom spregom je što nema problema vezanih za zasićenje magnetnog materijala torusa i što je propusni opseg davača od DC do par stotina MHz (tipično do 200MHz). **Proticanjem kompenzacione struje kroz merni otpornik dobija se željeni napon na izlazu davača.**

# HARMONICI-PRIHVATLJIVE GRANICE, PREPORUKE I STANDARDI

## OPŠTA OGRANIČENJA:

- Sinhronne mašine : dozvoljeno izobličenje struje statora 1.3....1.4%;
- Asinhronne mašine : dozvoljeno izobličenje struje statora 1.5 .....3.5%;
- Kblovi: dozvoljeno izobličenje jezgro-plašt , naponska distorzija do 10%;
- Energetski kondenzatori: distorzija struje 83%, pri preopterećenju od 30% (1.3 puta); prekoračenje napona može dostići 10%.

# **STANDARDIZOVANI LIMITI ZA HARMONIKE**

- Serija standarda IEC-61000 za elektromagnetnu kompatibilnost definišu neke limite
- IEC 555

**NEPARNI HARMONICI  
NE VEĆI OD  $n=1$**

**NEPARNI  
HARMONICI  
DELJIVI SA  $n=3$**

**PARNI HARMONICI**

RED HARMONIKA $n$	NAPONSKI HARMONICI %	RED HARMONIKA $n$	NAPONSKI HARMONICI %	RED HARMONIKA $n$	NAPONSKI HARMONICI %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	$0.2+0.5 \times 25/n$				

Poređenje nivoa kompatibilnosti za individualne harmonijske komponente napona u NN distributivnoj mreži (IEC 61000-2-2).

# LIMITI HARMONIJSKE EMISIJE PO IEC61000-3-2 i IEC 555-2

Harmonic Number (n)	Class A Limits **	Class B Limits **	Class C Limits *	Class D Limits *	IEC 555-2 limits for TV(>165W)
	(A <sub>rms</sub> )	(A <sub>rms</sub> )	% Of fundamental	mA/W of input power (50-600W)	(A <sub>rms</sub> ) Max DC current<0.05A
2	1.080	1.620	2	n/a	0.300
3	2.300	3.450	30 x PF	3.4	0.800
4	0.430	0.645	n/a	n/a	0.150
5	1.440	2.160	10	1.9	0.600
6	0.300	0.450	n/a	n/a	n/a
7	0.770	1.155	7	1.0	0.450
8	0.230	0.345	n/a	n/a	n/a
9	0.400	0.600	5	0.5	0.300
10	0.184	0.276	n/a	n/a	n/a
11	0.330	0.495	3	0.35	0.170
12	0.153	0.230	n/a	n/a	n/a
13	0.210	0.315	3	0.296	0.120
Even 14-40	1.84/n	2.760/n	n/a	n/a	n/a
Odd 15-39	2.25/n	3.338/n	3	3.85/n	1.5/n

## KLASA A:

-simetrični trofazni prijemnici  
-dimeri za svjetiljke  
-audio oprema

## KLASA B:

-Portabilni alati

## KLASA C:

-oprema za osvetljenje

## KLASA D:

-PC računari  
-PC monitori  
-TV prijemnici do 600W

# **ZAŠTO UOPŠTE REDUKCIJA “ZAGAĐENJA” NAPOJNE MREŽE VIŠIM HARMONICIMA?????**

- **POVEĆANJE EFIKASNOSTI NAPOJNE MREŽE**
  - niži gubici na mrežnoj impedansi
  - manje izobličenje napona (cross-coupling)
  - veća raspoloživa snaga izvora
  - veća efikasnost prenosnih puteva
  - bolji kvalitet električne energije
  - zadovoljenje propisa EMC
- **USAGLAŠAVANJE SA STANDARDIMA IEC 555, IEC61000, EN6055, IEEE 519, .... itd.**

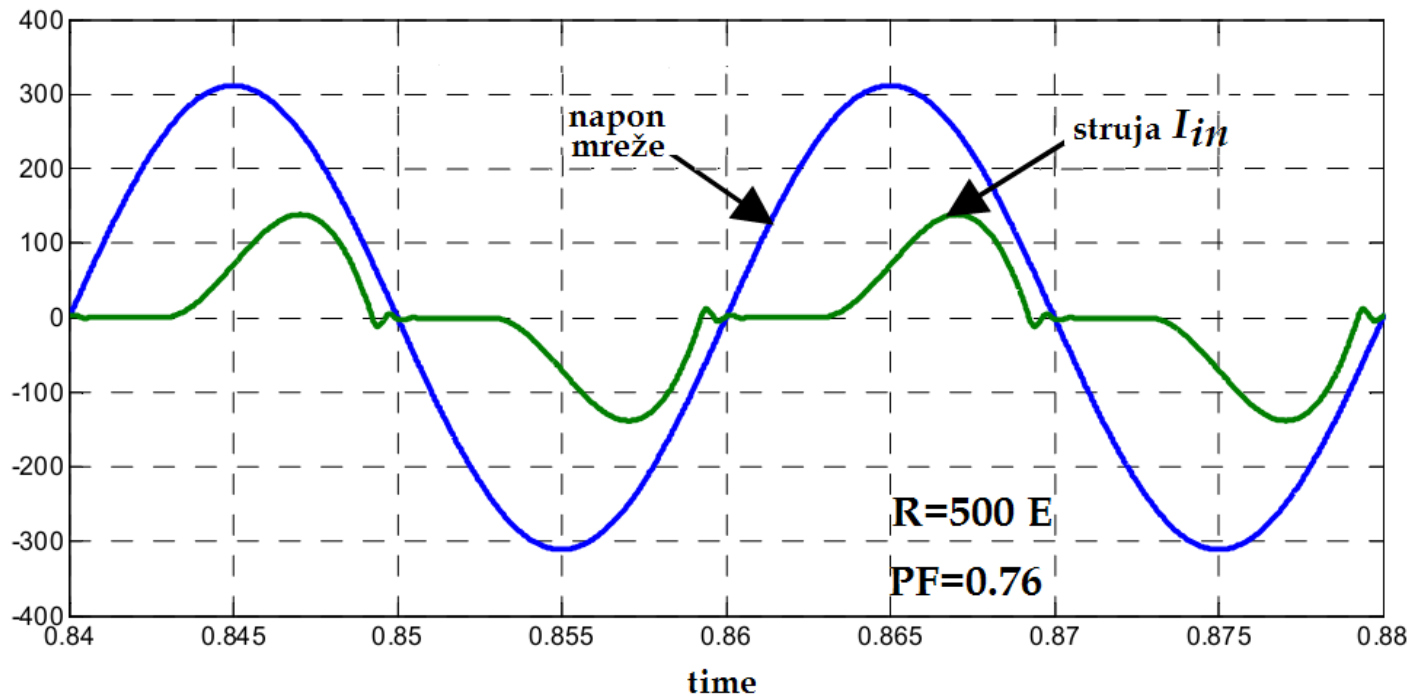
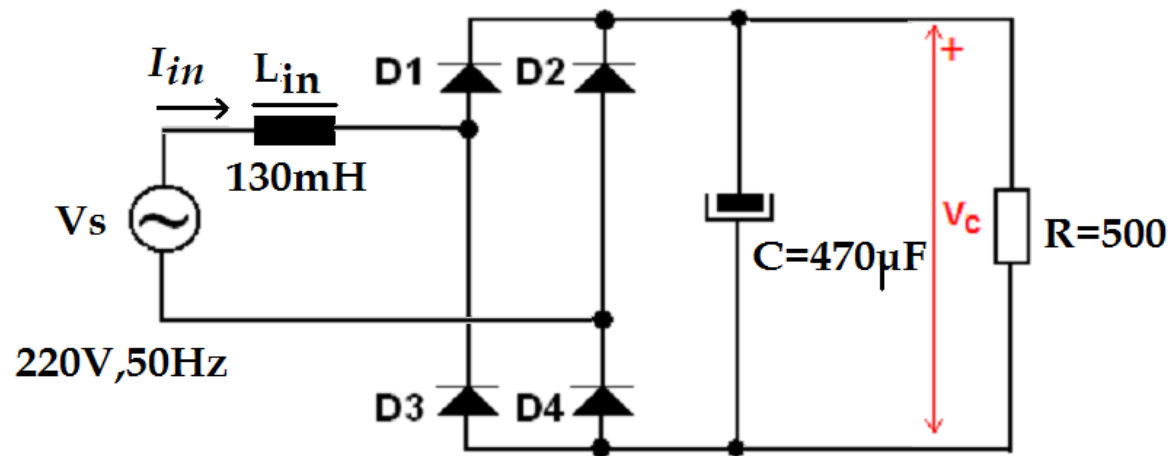
# METODE ZA ELIMINACIJU VIŠIH HARMONIKA??

- KORIŠĆENJE PASIVNIH KOMPONENTI
- KORIŠĆENJE AKTIVNIH KOMPONENTI
- NAPREDAN NAČIN: AKTIVNA KOREKCIJA  
FAKTORA SNAGE

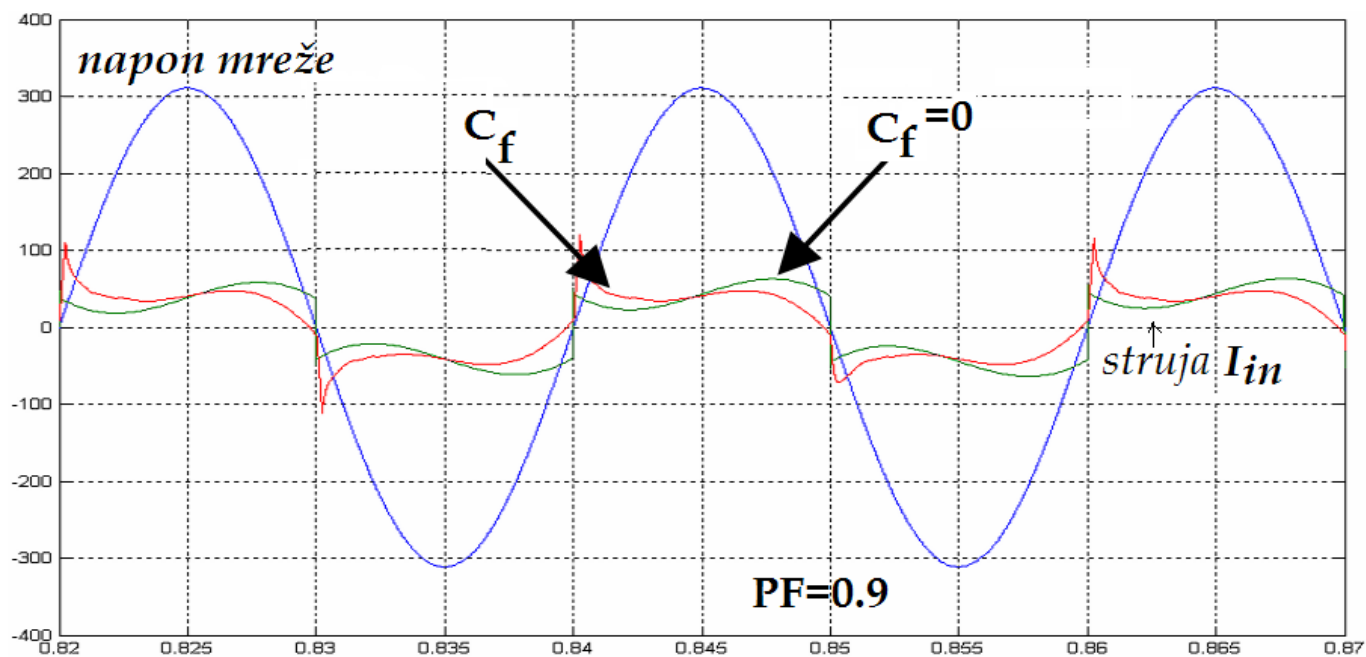
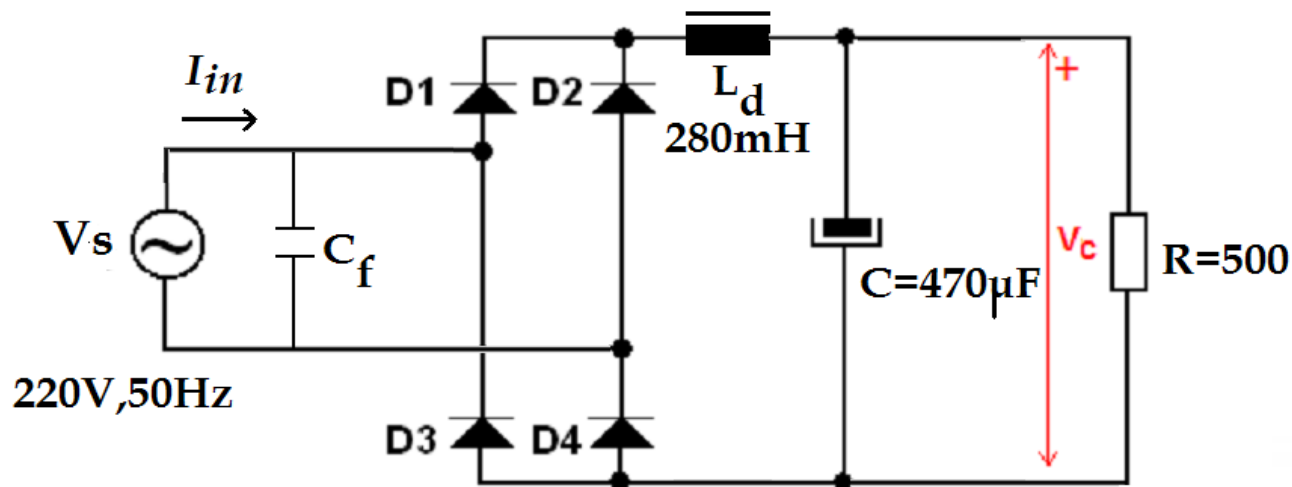
# **PASIVNE METODE ZA SUZBIJANJE VIŠIH HARMONIKA**

- **OVA METODA SE BAZIRA NA KORIŠĆENJU PASIVNIH ELEMENATA (PRIGUŠNICA I KONDENZATORA)**
- **ONA SE U NAPAJANJIMA MOŽE OSTVARITI NA VIŠE NAČINA :**
  - postavljanjem prigušnice na AC strani (ka mreži)
  - postavljanjem prigušnice na DC strani (na izlazu ispravljača)
  - korišćenjem serijski rezonantnog LC kola na AC strani (band-pass filter)
  - korišćenjem paralelnog LC kola na AC strani (band-stop filter)
  - korišćenjem harmonijskih filtera na AC strani (trap filter)
  - korišćenjem LCD filtera na DC strani

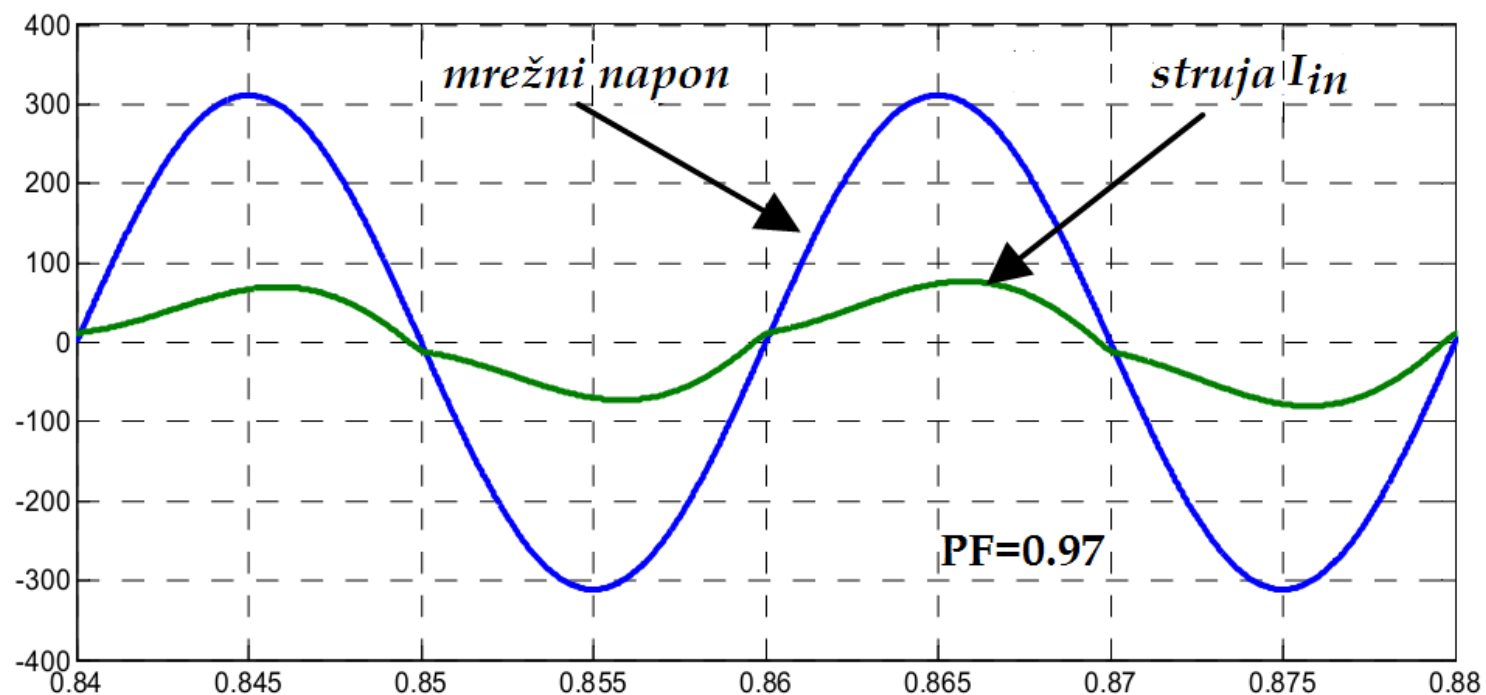
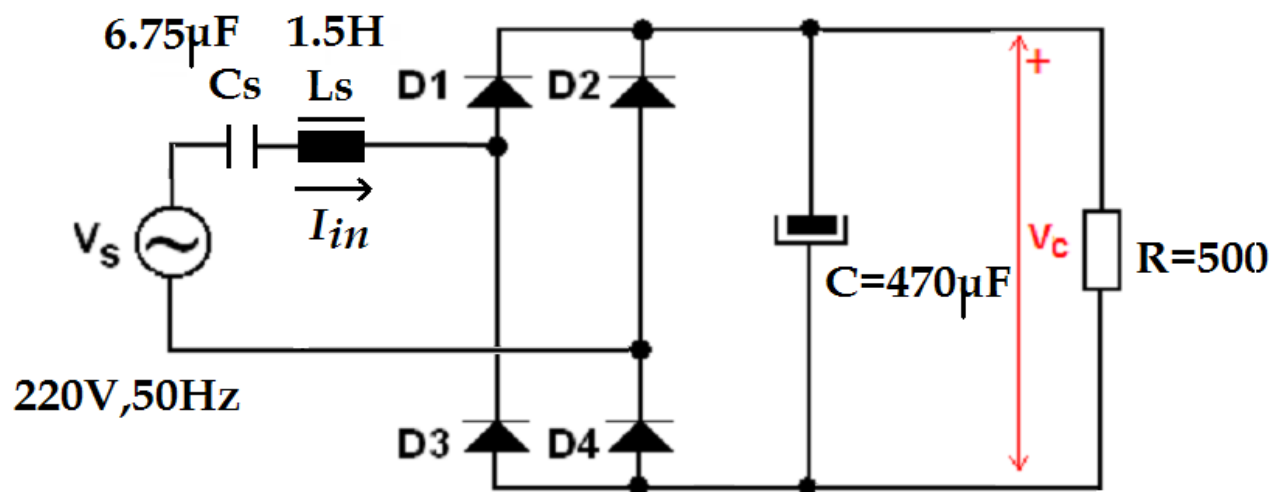
# PRIGUŠNICA NA AC STRANI (na strani mreže)



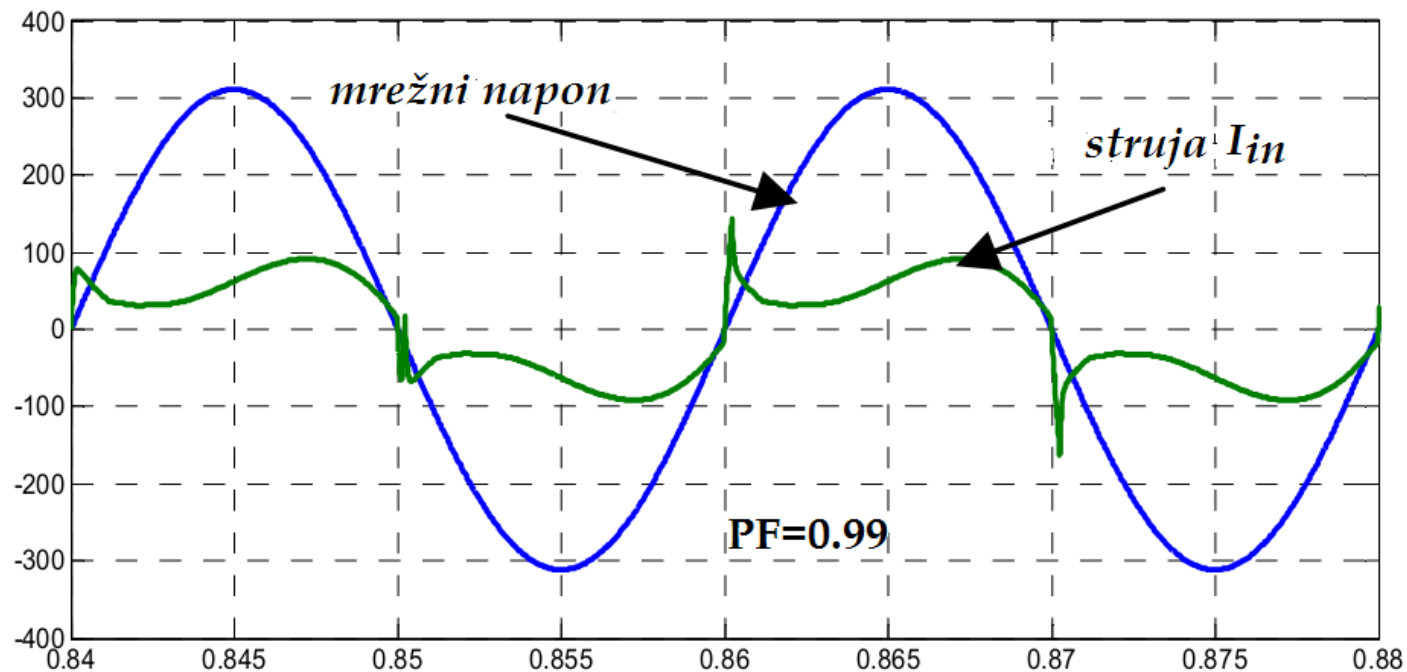
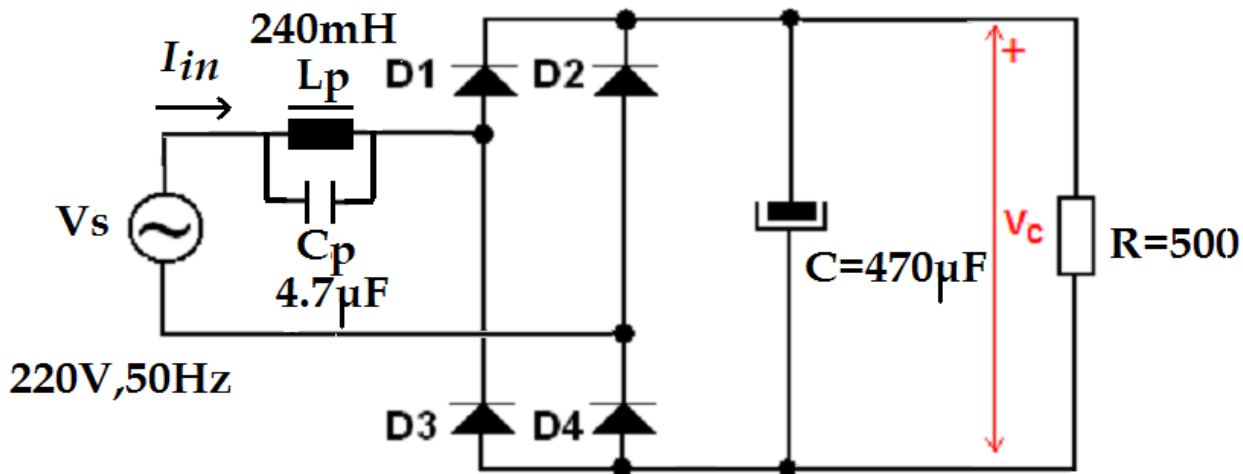
# PRIGUŠNICA NA DC STRANI (na izlazu diodnog ispravljača)



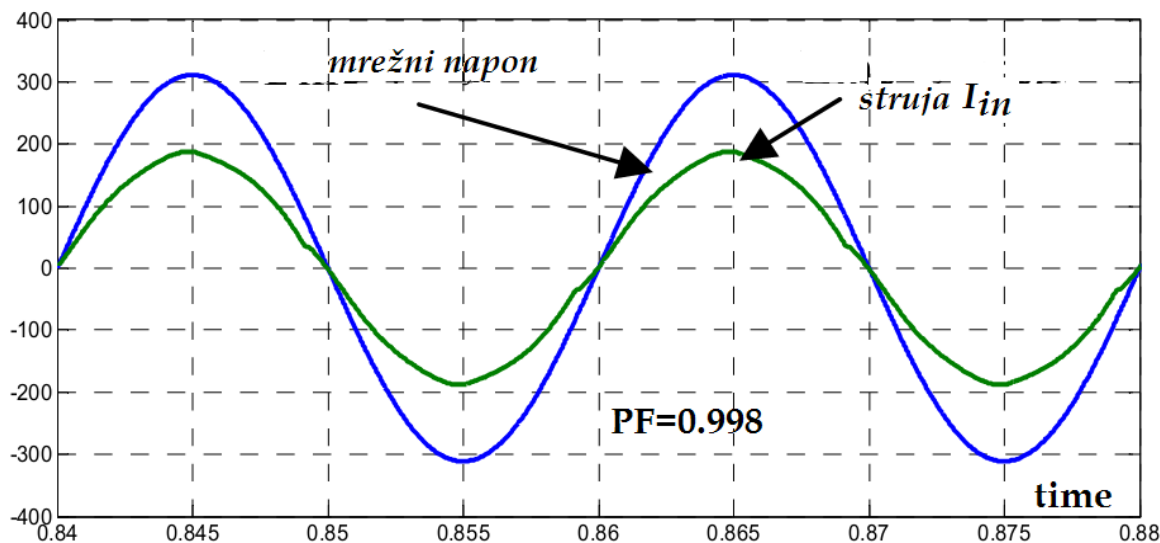
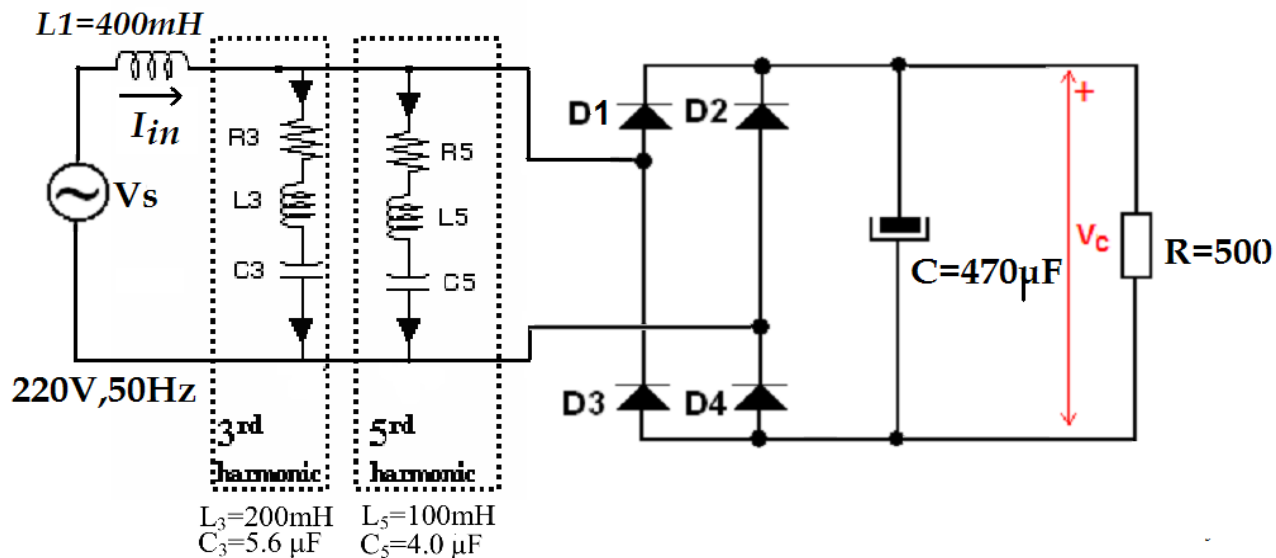
## BAND PASS SERIJSKI LC FILTER NA AC STRANI (na strani mreže)



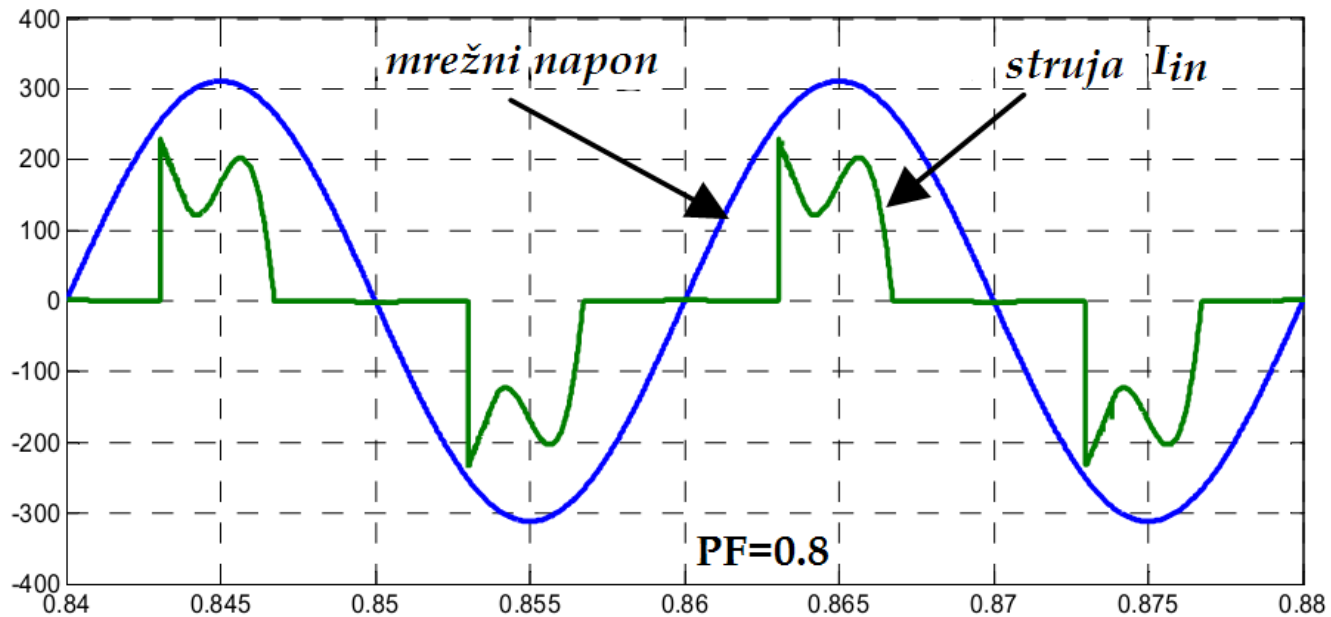
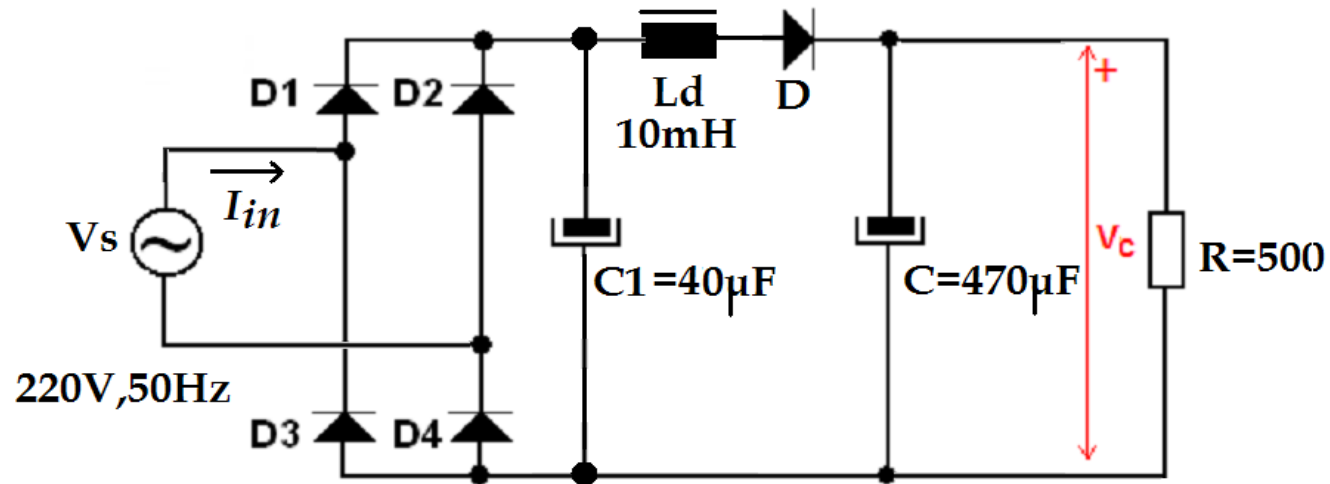
# BAND STOP PARALELNI LC FILTER NA AC STRANI



# KORIŠĆENJE HARMONIJSKIH “TRAP” FILTERA NA AC STRANI



## LCD (L-diode-C) filter na DC strani



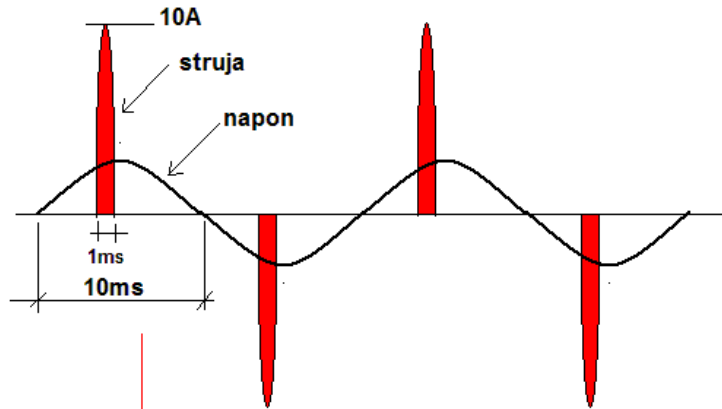
# PROBLEMI KOD PASIVNE REDUKCIJE VIŠIH HARMONIKA

- KORIŠĆENJE VELIKIH I GLOMAZNIH PASIVNIH ELEMENATA
- CENA OPREME
- ZNAČAJNA DISIPACIJA U PASIVNIM ELEMENTIMA
- PROBLEM KORIŠĆENJA PRIGUŠNICA NA DC STRANI (zasićenje, DC komponenta fluksa...)
- SMANJENJE DC NAPONA NA IZLAZU ISPRAVLJAČA (koji dalje napaja ostale sklopove: inverter, potrošač, .....

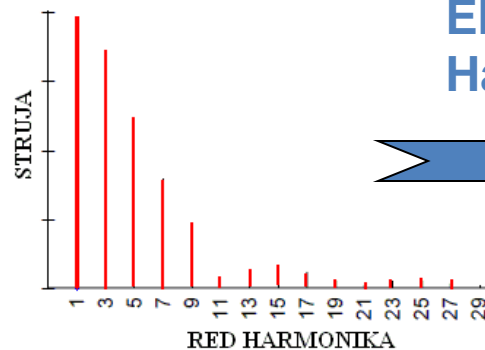
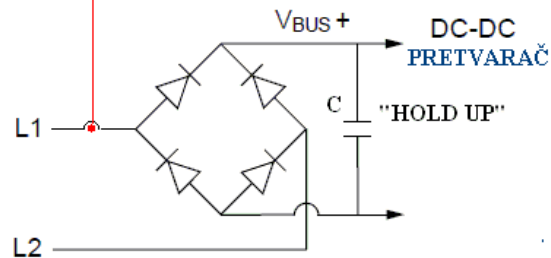
# REŠENJE ?

- **AKTIVNA KOREKCIJA  
FAKTORA SNAGE**
- **Active Power Factor  
Correction**

# POREĐENJE KLASIČNOG I SAVREMENOG REŠENJA ELIMINACIJE HARMONIKA

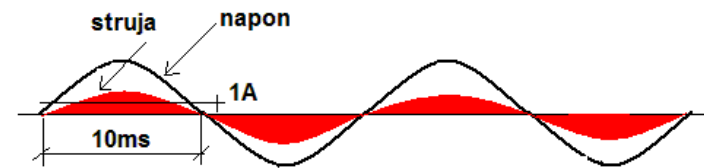


bez PFC (klasično)

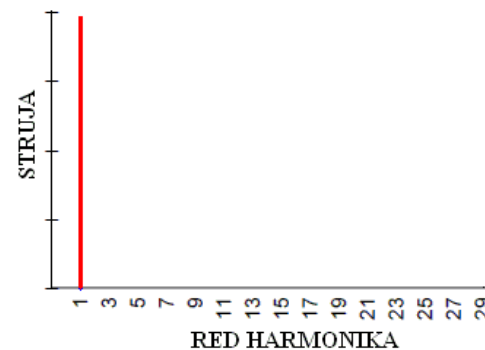
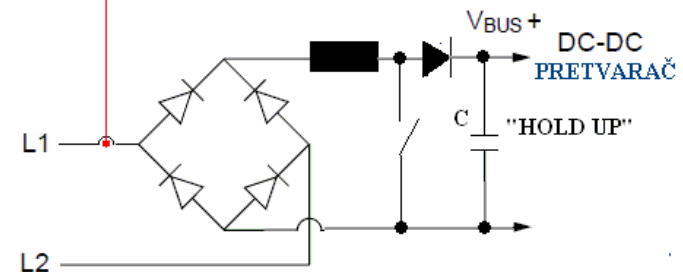


kriterijum  
 $P = \text{const}$

==



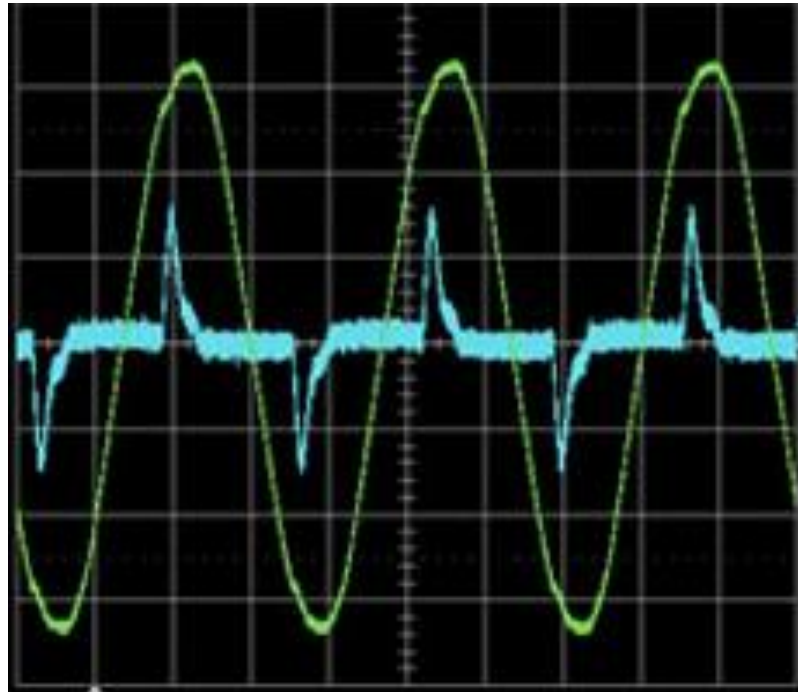
sa PFC (moderno)



Eliminacija  
Harmonika



# A KAKVI SU STVARNI TALASNI OBLICI ULAZNE STRUJE NAPAJANJA BEZ ELIMINACIJE HARMONIKA??????????



- Ulazna struja napajanja bez eliminacije harmonika

- Faktor snage: jako loš (MALI KVALITET)

ULAZNA STRUJA

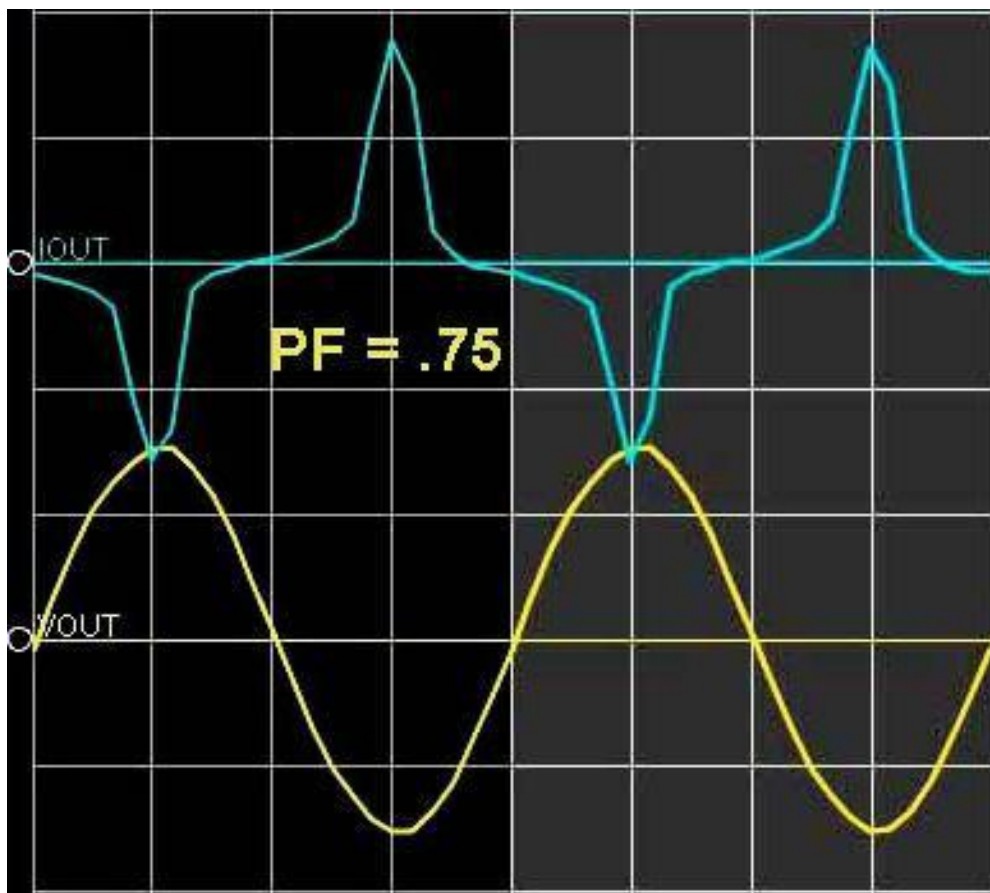


10A/c

MREŽNI NAPON



100V/c



- Ulazna struja napajanja sa prigušnicom postavljenom prema mrežnom napajanju
- Faktor snage:  $PF=0.75$

ULAZNA STRUJA

MREŽNI NAPON

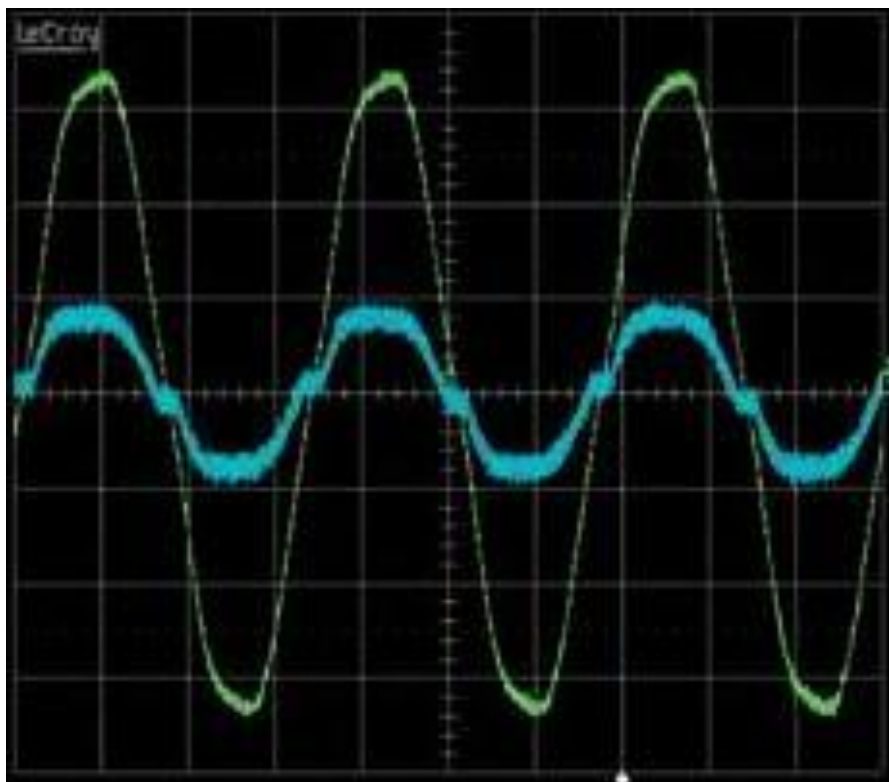


5A/c



200V/c

# U OVOM SLUČAJU NAPOJNA MREŽA “VIDI” ISPRAVLJAČ PRIBLIŽNO KAO OMSKU OTPORNOST



- Ulazna struja tipičnog napajanja sa korekcijom faktora snage
  - Faktor snage: **PF=1**
- KVALITETNI TALASNI OBLIK STRUJE**

ULAZNA STRUJA



1A/c

MREŽNI NAPON



100V/c

# ZAKLJUČAK

- **ELIMINACIJOM VIŠIH HARMONIKA SE POSTIŽU SLEDEĆI POZITIVNI EFEKTI:**

*+POVEĆANJE EFIKASNOSTI NAPOJNE MREŽE*

*+REDUKCIJA “ZAGAĐENJA” NAPOJNE MREŽE*

- **U VEĆINI ZEMALJA U SVETU SU USVOJENI STANDARDI ZA PFC : IEC 555, IEC61000, EN6055, IEEE 519, .... itd.**
- **U BUDUĆNOSTI TREBA OČEKIVATI USVAJANJE OVIH STANDARDA I KOD NAS**
- **DOBAR RAZLOG I MOTIV ZA PROUČAVANJE OVE OBLASTI!!!!**

**Hvala na pažnji!!!**

**PITANJA??**

**DILEME!!!**