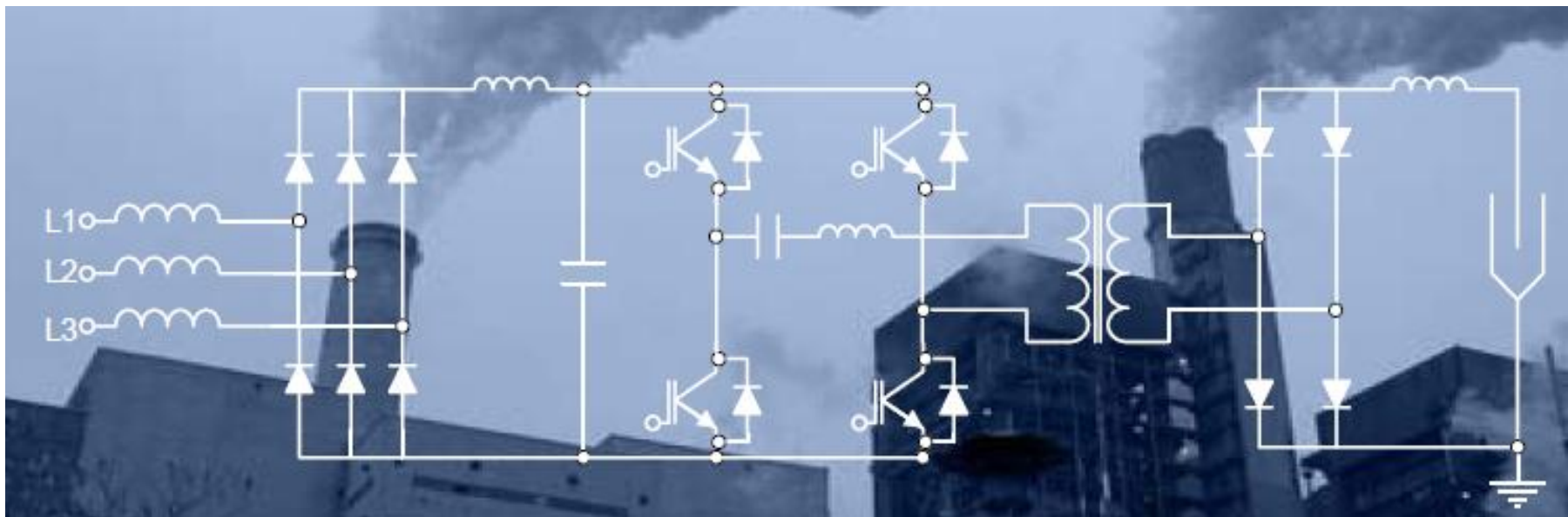




ULOGA ENERGETSKIH NAPAJANJA U SISTEMIMA ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA NA TERMoeLEKTRANAMA



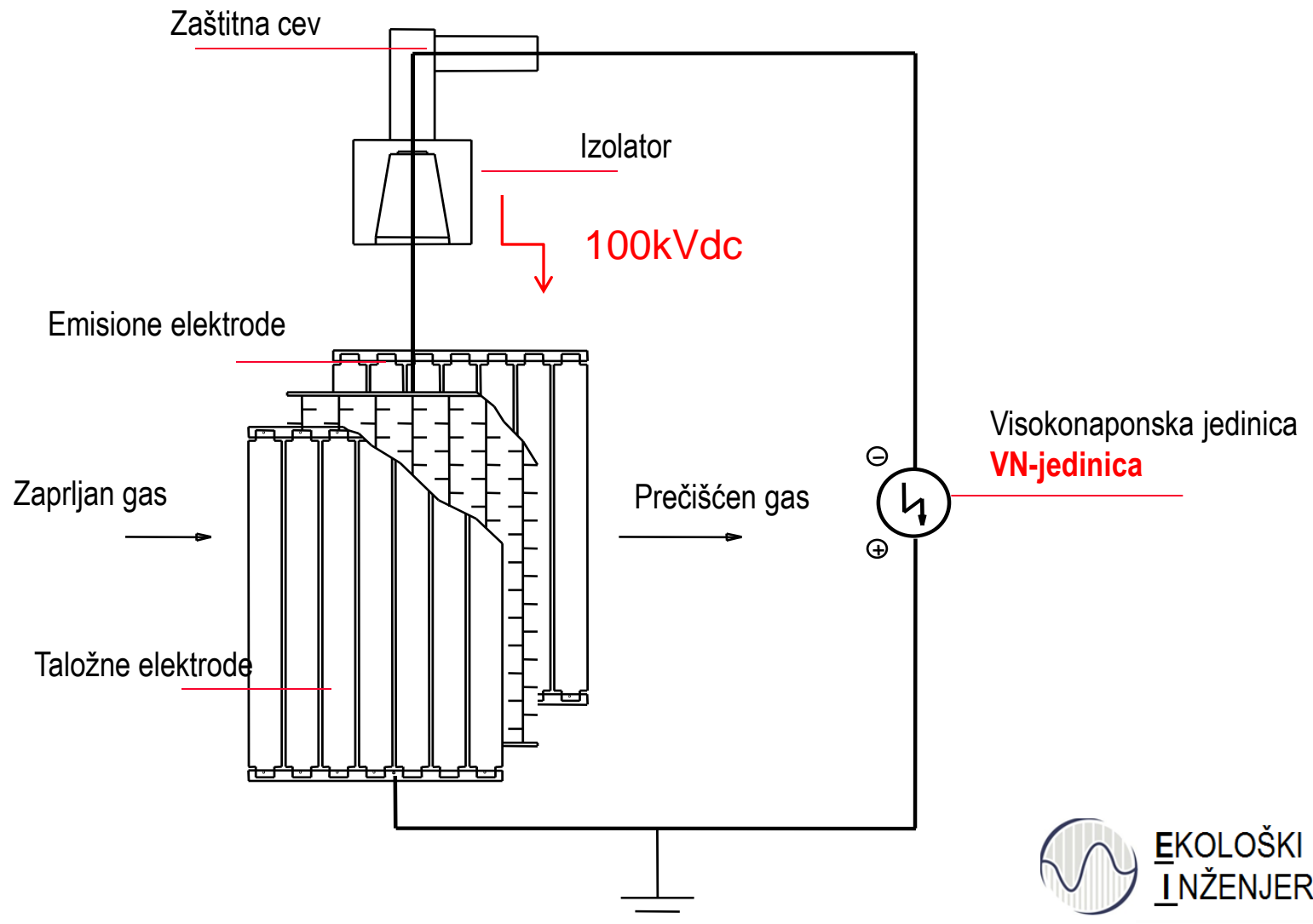
Predmetni profesor: Dr Željko V. Despotović, dipl.el.inž
zeljkod@viser.edu.rs

UVOD

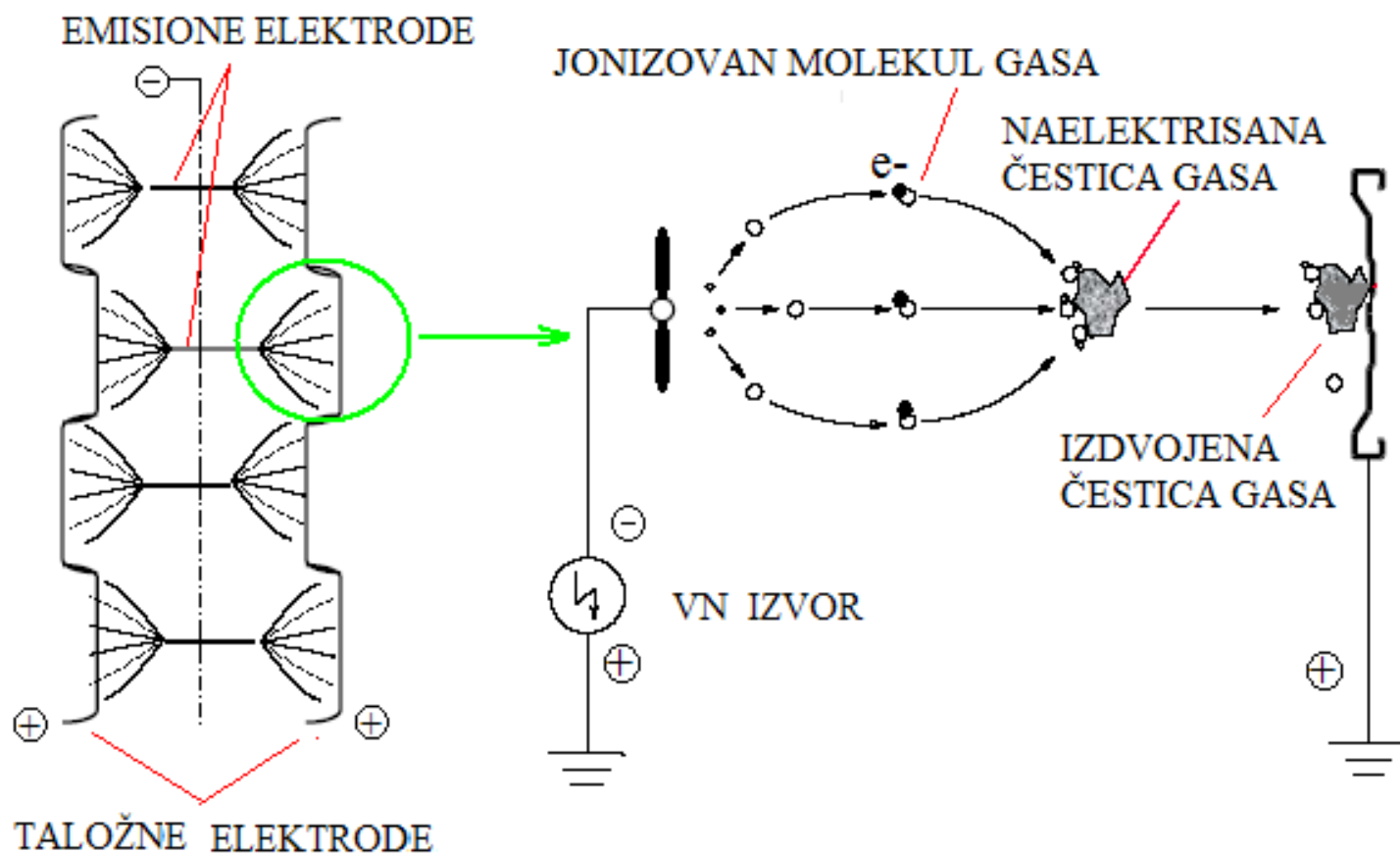
- Elektrostatičko izdvajanje je jedna od najpraktičnijih metoda za izdvajanje čestica ugljene prašine i pepela iz struje dimnih gasova na kotlovskim postrojenjima termoelektrana (TE)
- Izdvajanjem čestica ugljene prašine i pepela se značajno smanjuje negativni uticaj ovih otpadnih materija na ekosistem.
- Svetske norme, koje su prihvaćene i kod nas, zahtevaju granične vrednosti emisije (GVE) manje od 50mg/m^3 , a u nekim zemljama Evrope, manje i od 25mg/m^3 .
- Pošto treba očekivati neprekidno smanjenje GVE u bliskoj budućnosti, pravi je trenutak za razmatranje prihvatljivih i perspektivnih tehnologija, kao i razvoj novih energetski efikasnih tehnologija za smanjenje emisije pomenutih polutanata.



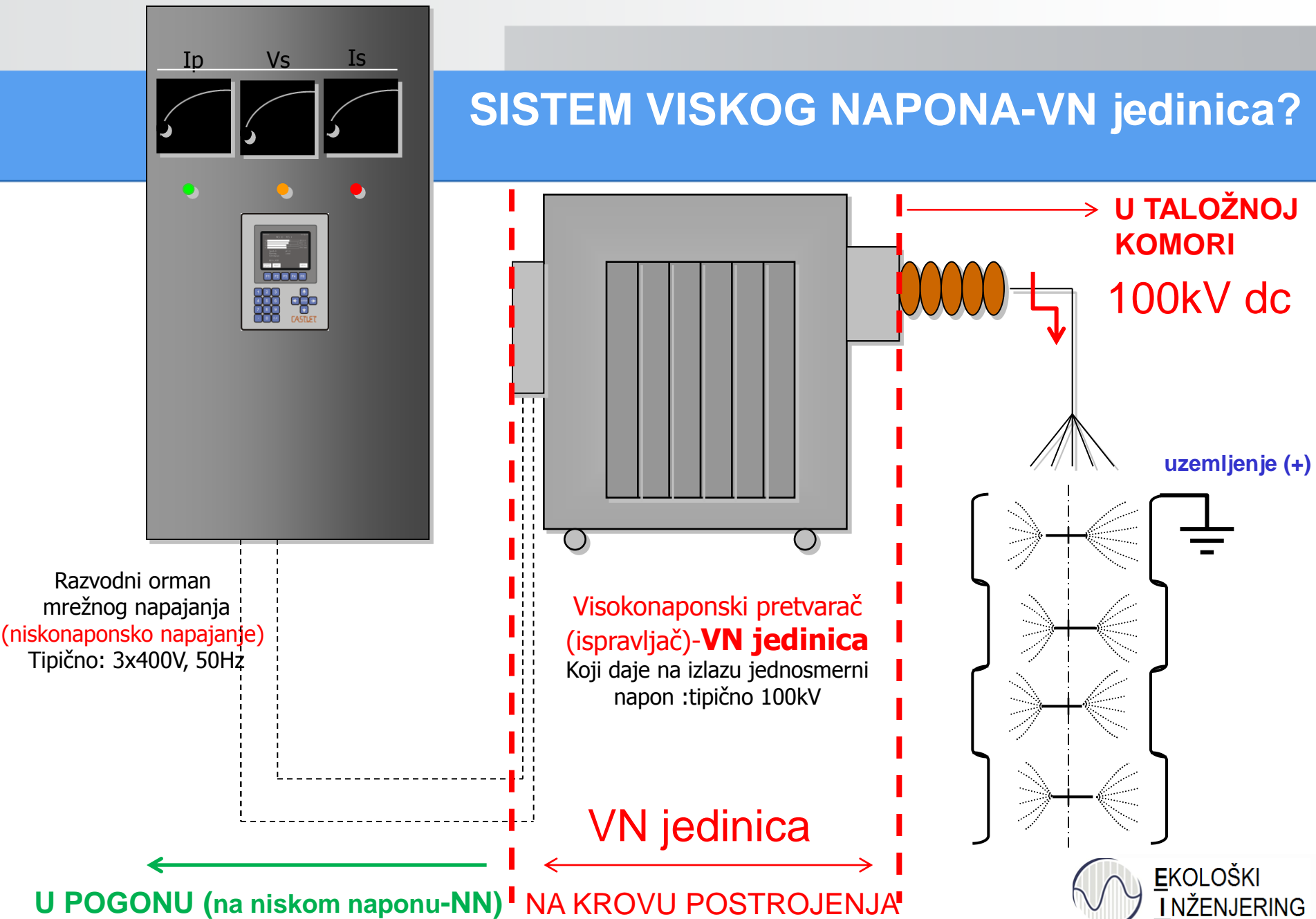
PRINCIP RADA-Primena visokog napona



Mehanizam naelektrisavanja čestica

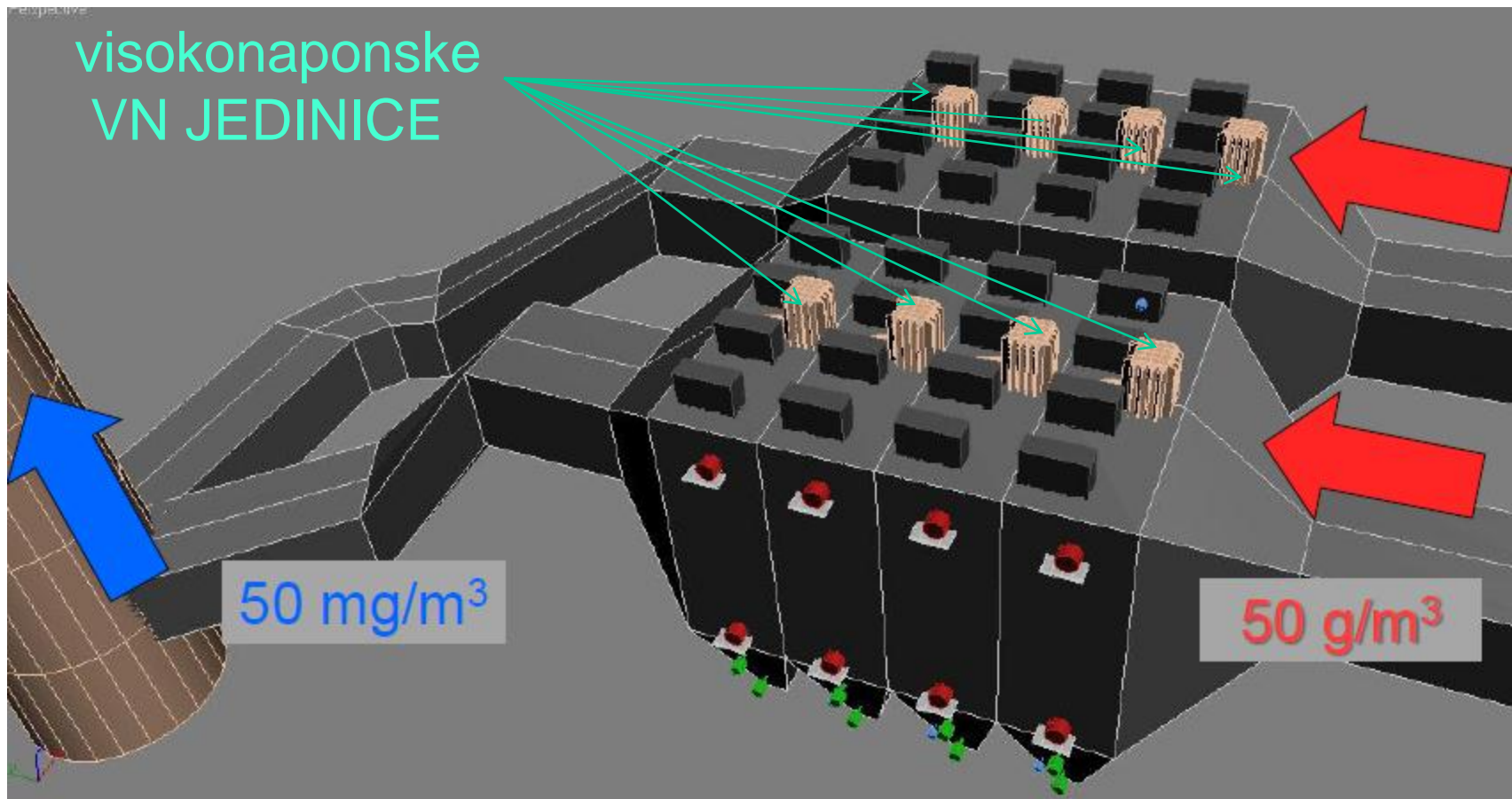


SISTEM VISKOG NAPONA-VN jedinica?



EKOLOŠKI
INŽENJERING

OVAKO TO IZGLEDA NA BLOKU TERMOELEKTRANE



20-25% težine uglja je sadržano u dimnom gasu!!

VN napojne jedinice

zprašenost na izlazu kotla 30-50g/m³

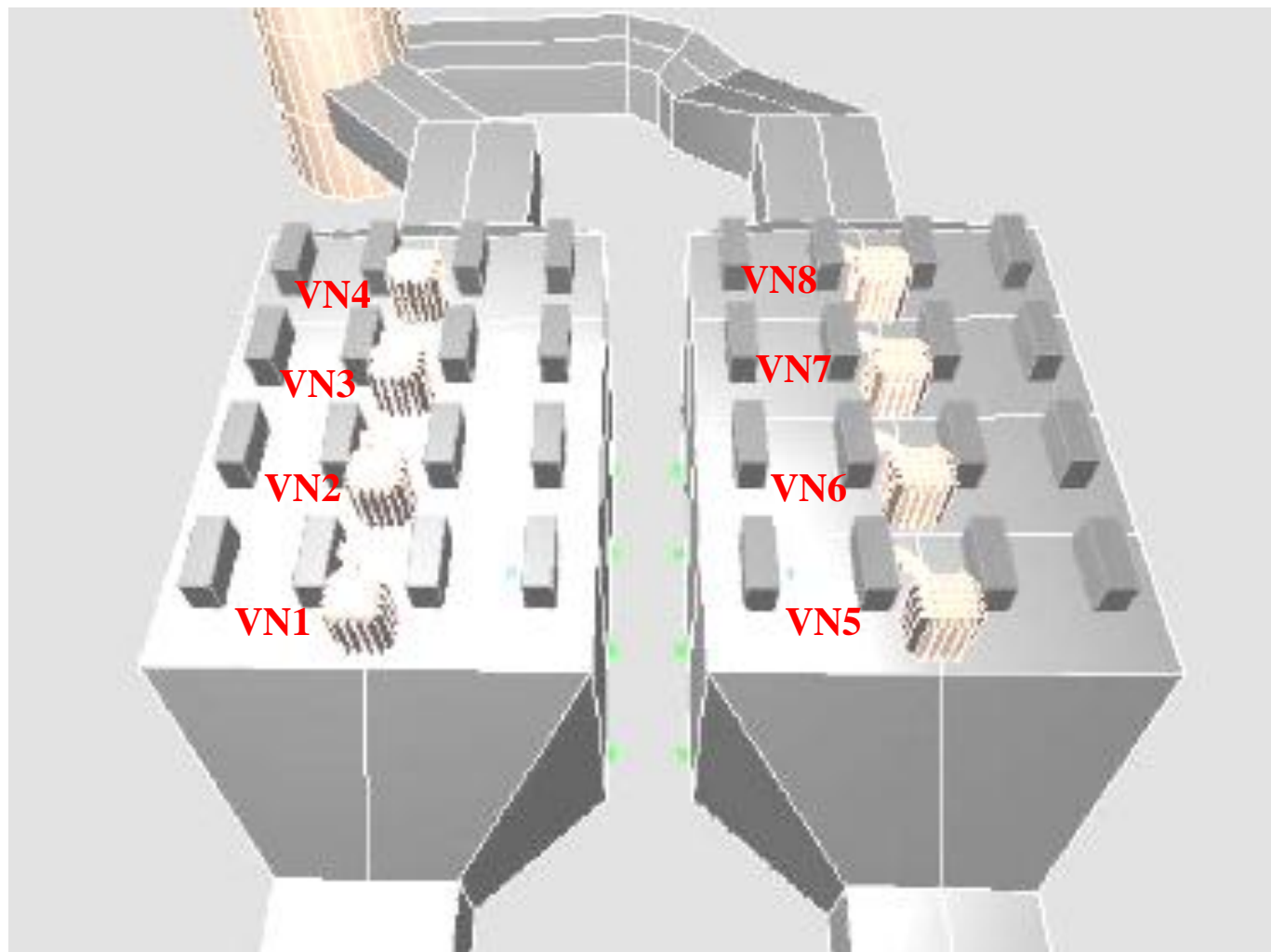
**dozvoljena
zprašenost
25-50mg/m³**

**taložne
komore**

TIPIČNO POSTROJENJE ELEKTROSTATIČKIH IZDVAJAČA (ESI)

50mg/m³: 50g/m³=1:1000 → 0.1% => efikasnost izdvajanja 99,9%

Energetski zahtevi za ESI postrojenjem



**Izlazni parametri
VN jedinica
(tipično za jedan
blok na TE):**

- taložne komore
100kV DC /1A
100kW

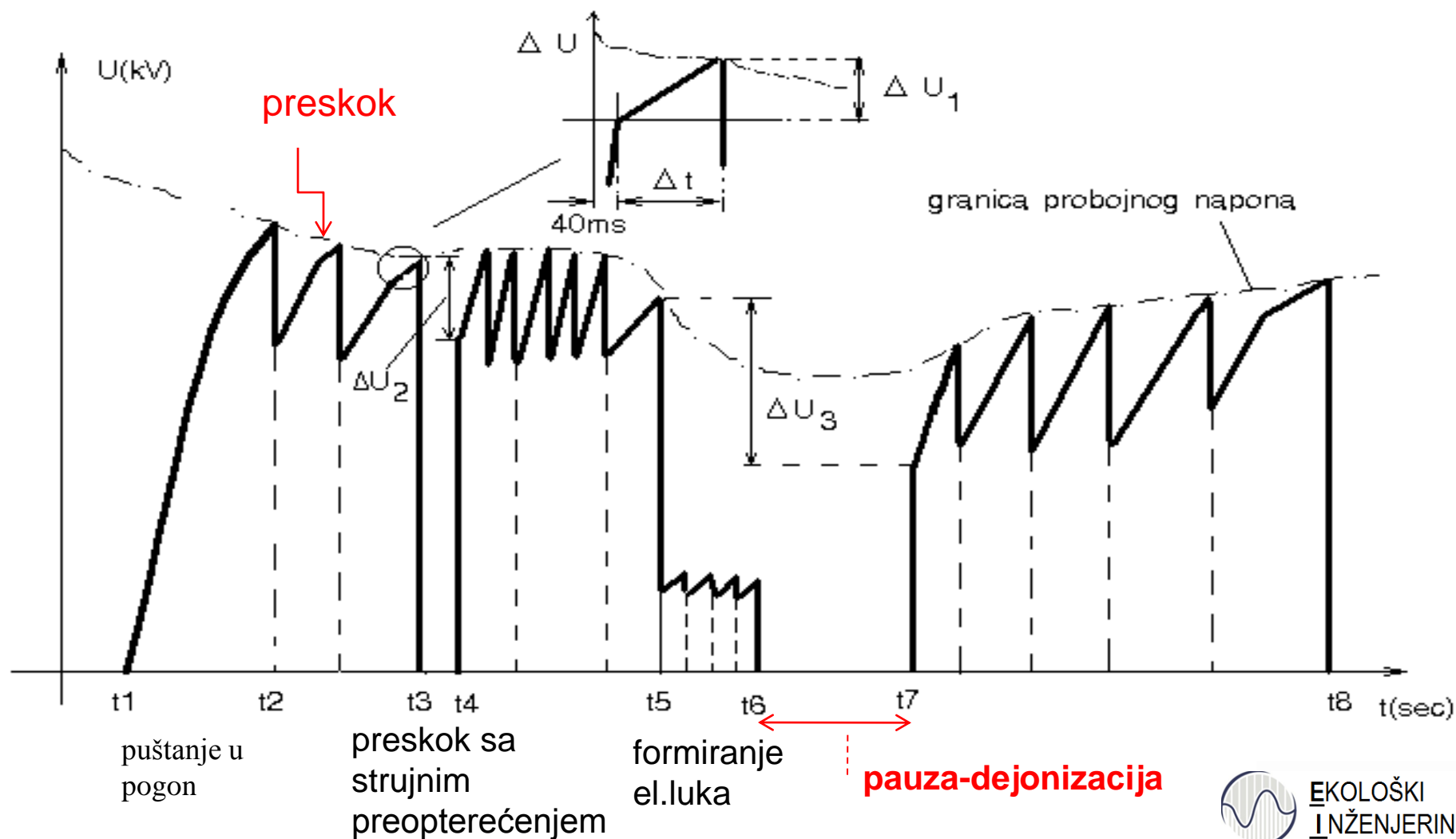
- ulazno napajanje
3x400V, 50Hz
120-130kVA

- 8 VN jedinica troši
ukupnu prividnu
snagu ≈ 1 MVA!!!

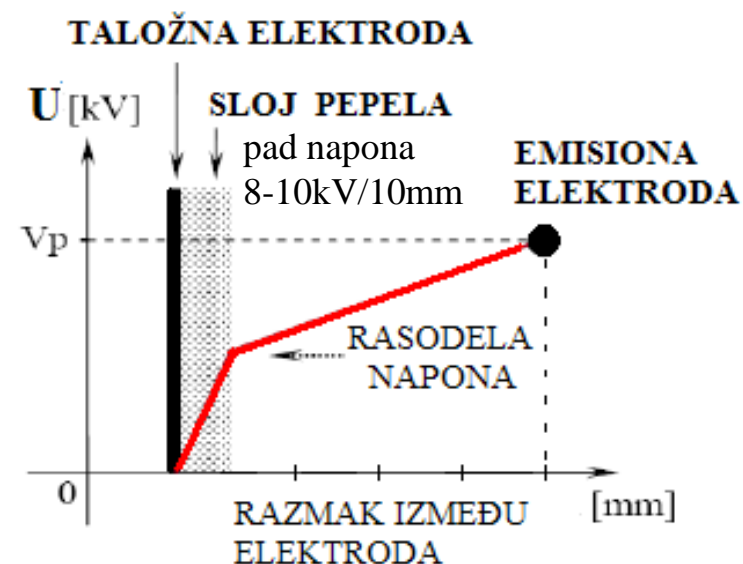


**EKOLOŠKI
INŽENJERING**

Karakteristična vremenska promena napona na elektrodama ESI tokom jednog ciklusa izdvajanja

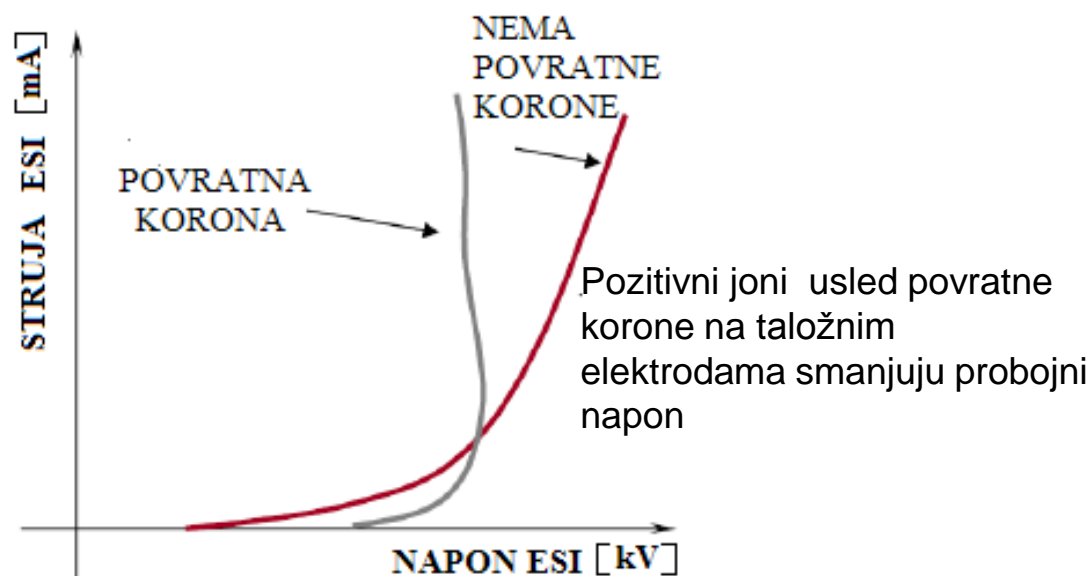


Efekat povratne korone u taložnoj komori



(a)

raspodela potencijala,



(b)

I-V karakteristika

Usled dugotrajnog izdvajanja čestica dimnog gasa na taložnim elektrodama se formira sloj pepela, koji kada dostigne odgovarajuću debljinu, nepovoljno utiče na dalje izdvajanje. Ključni efekat koje se pri tome javlja je **povratna korona**, koja postaje dominantna pogotovu kada se radi o slabo ili srednje provodnom pepelu (specifična provodnost oko $10^{12}\Omega\text{m}$)

Negativni efekti povratne korone

- Na taložnoj elektrodi kod pepela srednje provodnosti (oko $10^{12}\Omega\text{m}$) stvaraju se udubljenja (tzv. krateri) sa lokalnim žarenjem pepela, jonizacijom i izbacivanje materijala u među elektrodni prostor.
- Pozitivni joni na taložnim elektrodama smanjuju probojni napon. Posledica ovoga je smanjenje brzine migracije čestica.
- U izlaznoj sekciji brzina migracije može biti redukovana sa 20cm/s na svega 2-3cm/s.
- Kao posledica ovih efekata je i značajno smanjenje izdvajanja čestica
- Povratna korona na emisionim elektrodama smanjuje efekat korisne korone i jonizaciju.
- To umanjeње može biti i do 40%.

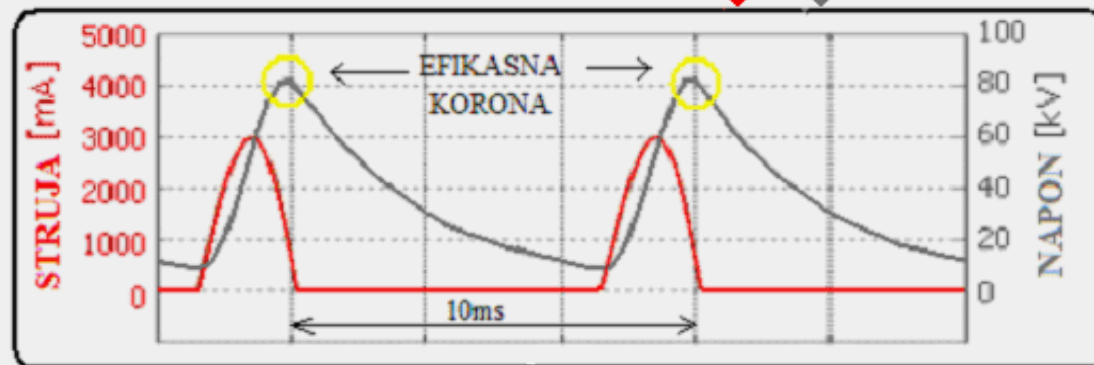
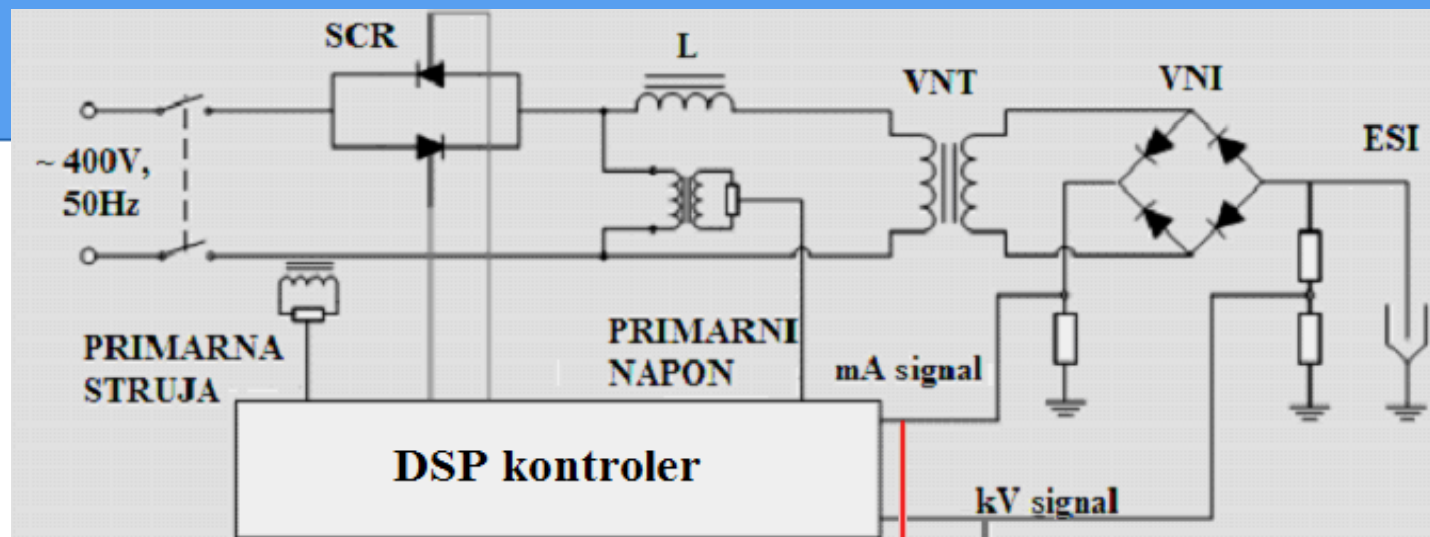


Kako redukovati uticaj povratne korone?

- Većina ovih problema kao i povećanje efekata elektrostatičkog izdvajanja se mogu rešiti uvećanjem ukupne površine elektroda i zapremine izdvajača.
- Međutim ovo rešenje je ekonomski veoma nepovoljno.
- Prilagođenjem napajanja proces izdvajanja se može optimizovati, a brzina migracije povećati. Primena adekvatnog napajanja omogućava uvećanje ostvarive srednje vrednosti napona, povećanje srednje vrednosti struje, smanjenje potrebne površine i težine elektroda, smanjenje energije luka i značajno skraćivanje intervala dejonizacije (tzv. bez naponske pauze).
- Povratna korona se značajno može redukovati korišćenjem intermitentnog napajanja sa dovoljnim trajanjem intervala isključenosti- tzv. *vreme dejonizacije*, u toku kojih se pozitivni joni mogu rekombinovati.
- Inteligentnom intermitentnim režimom kao i metodom rane detekcije povratne korone, migraciona brzina se može značajno uvećati (tipično sa 4-5cm/s na 10-15cm/s).



Topologija tiristorskog 50Hz-nog napajanja ESI

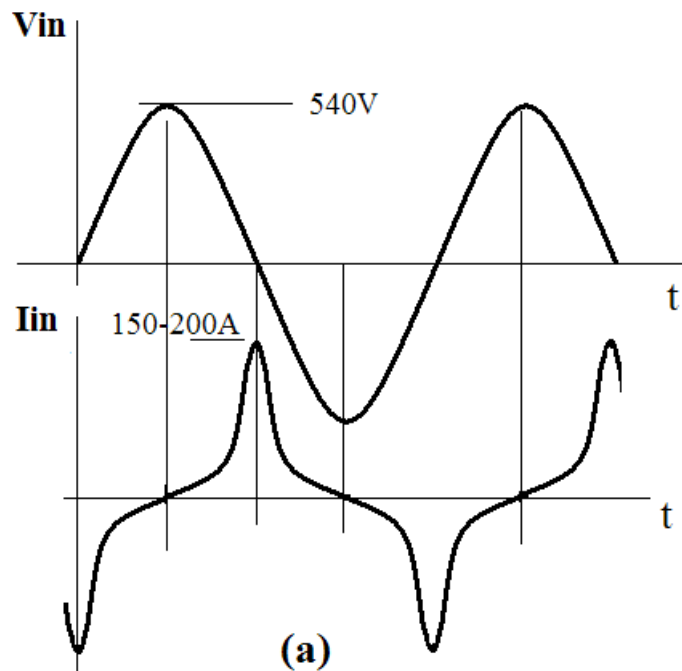


Kod ovog tipa napajanja efikasna korona je prisutna pri vršnim vrednostima napona, odnosno svega 1-2ms na svakih 10ms

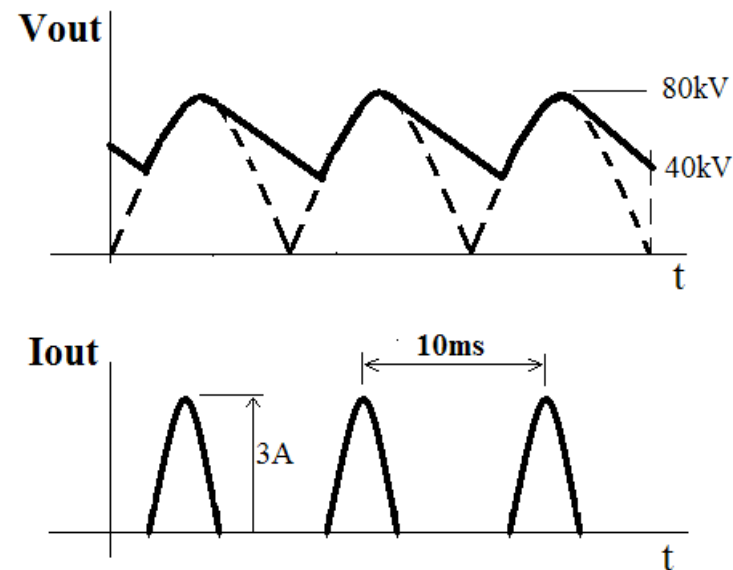
Dugi intervali dejonizacije nakon varničenja smanjuju efikasnost izdvajanja. Pored ovoga, kod uspostavljanja luka struja se ne može prekinuti tokom jedne mrežne poluperiode, do komutacije tiristora. Energija luka dobija se iz izvora zahvaljujući primarnoj struji koja postoji sve do komutacije tiristora. Tipična energija luka je 150-200J.

Problemi koji smanjuju energetske efikasnost tiristorskih napojnih jedinica ESI

Problemi ulazne snage koju napojna jedinica uzima iz mreže 0.4kV. Konvencionalno dvofazno 50Hz-*no* napajanje se odlikuje lošim faktorom oblika linijske struje, velikom reaktivnom, te stoga i prividnom snagom, kao i malim stepenom korisnog dejstva.

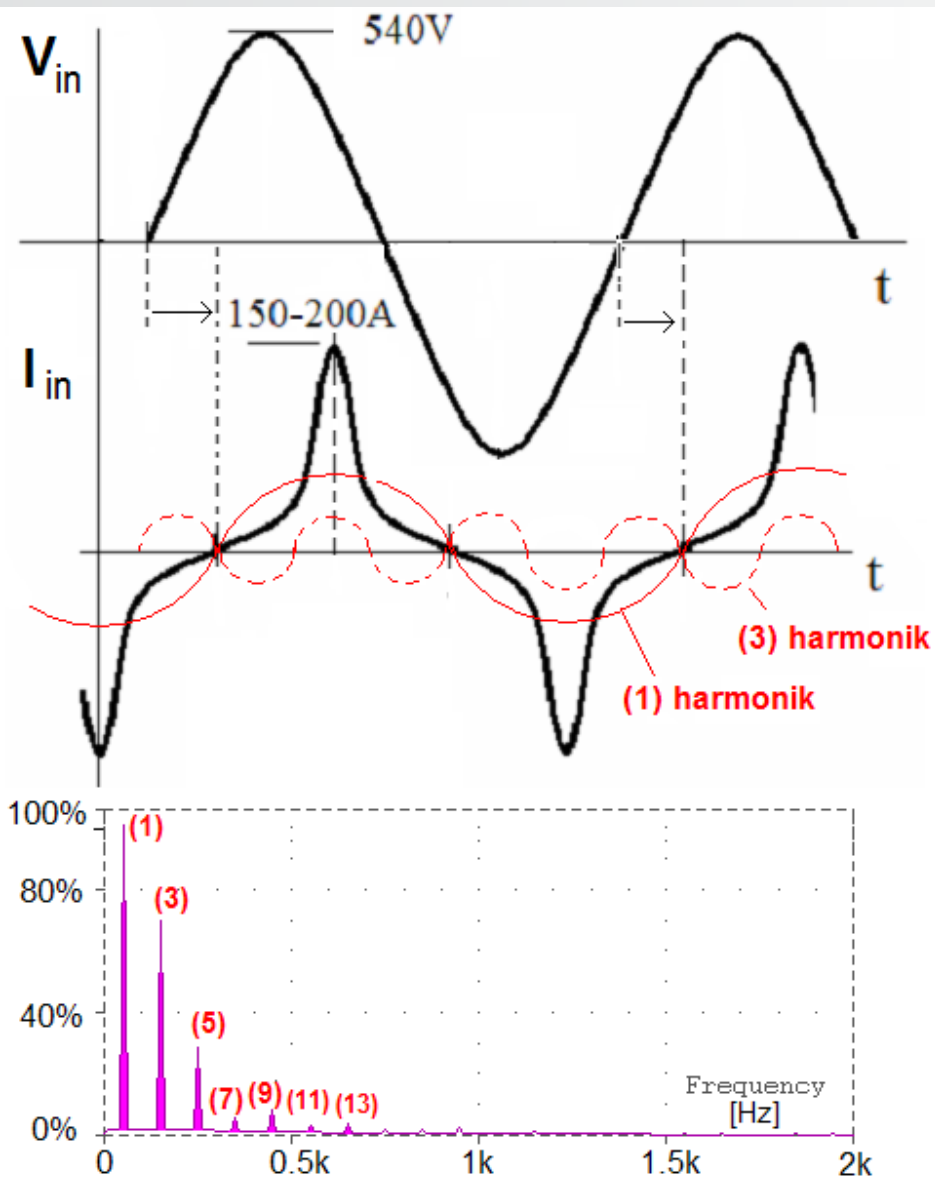


Ulazni mrežni napon i struja



(b)

Izlazni mrežni napon i struja



- Struja koja se uzima iz mreže je složenoperiodična veličina sa relativno visokim učešćem harmonika niskih učestanosti.

- Osim toga osnovni harmonik struje je fazno pomeren u odnosu na mrežni napon.

- Ove osobine su nepoželjne zato što se energija prenosi samo aktivnom komponentom osnovnog harmonika, a to je komponenta koja je u fazi sa naponom.

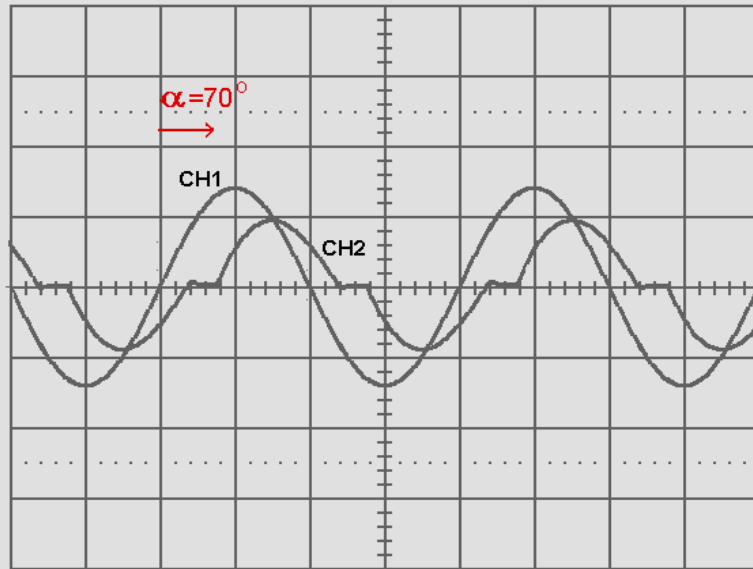
- Sve komponente struje, osim aktivne, dovode do nepotrebnog povećanja efektivne vrednosti struje koja se uzima iz mreže.

- Postojanje struja viših harmonika dovodi do izobličenja mrežnog napona, naročito na SN 6kV strani što može predstavljati smetnju u radu ostalih potrošača priključenih na iste sabirnice.

Faktor snage osnovnog harmonika kod ovih sistema jako loš, odnosno $\cos\varphi < 0.65$!!!

Ukupni faktor snage, koji obuhvata uticaj i viših harmonika, $\lambda = P/S < 0.5$!!!

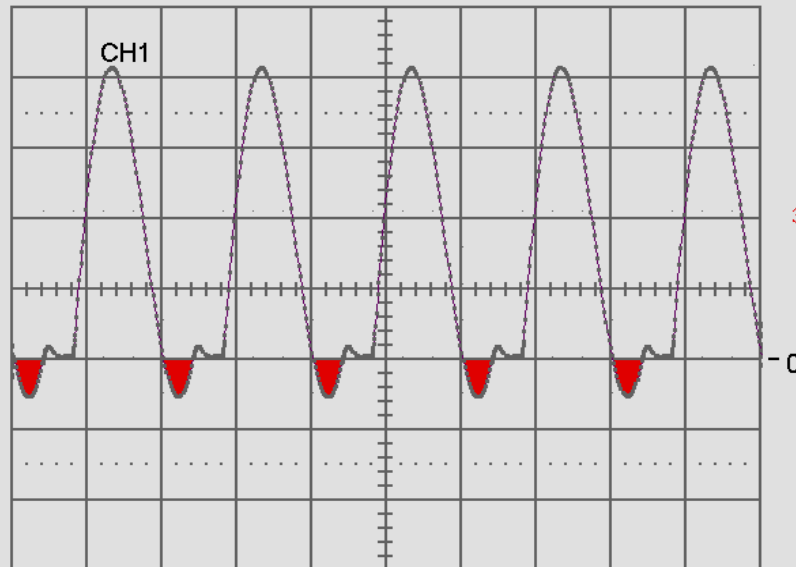
Realni talasni oblici i spektri za 50Hz-ni sistem (fazni ugao 70°)



CH1: mrežni napon (linijski napon) 400V/c

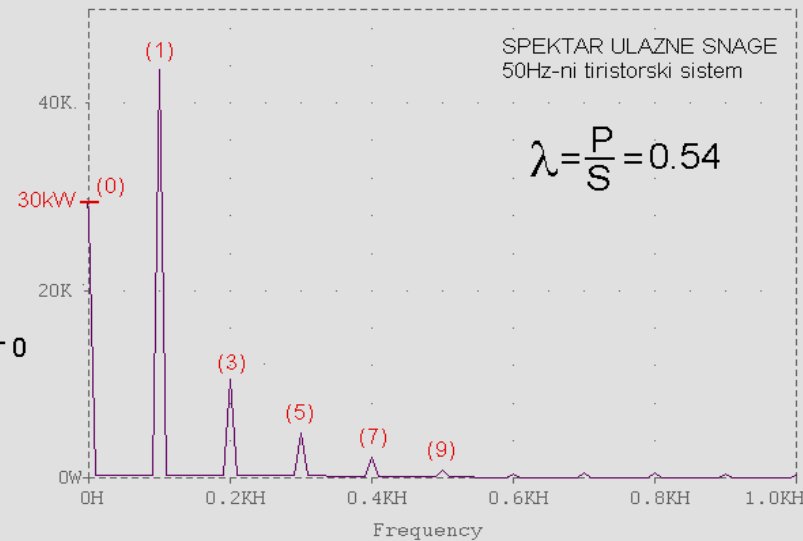
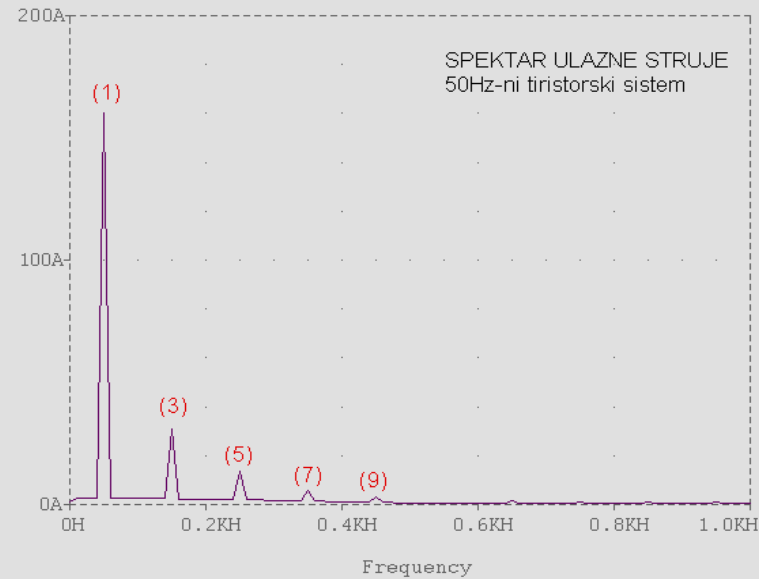
TIME: 5ms/c

CH2: mrežna struja 200A/c

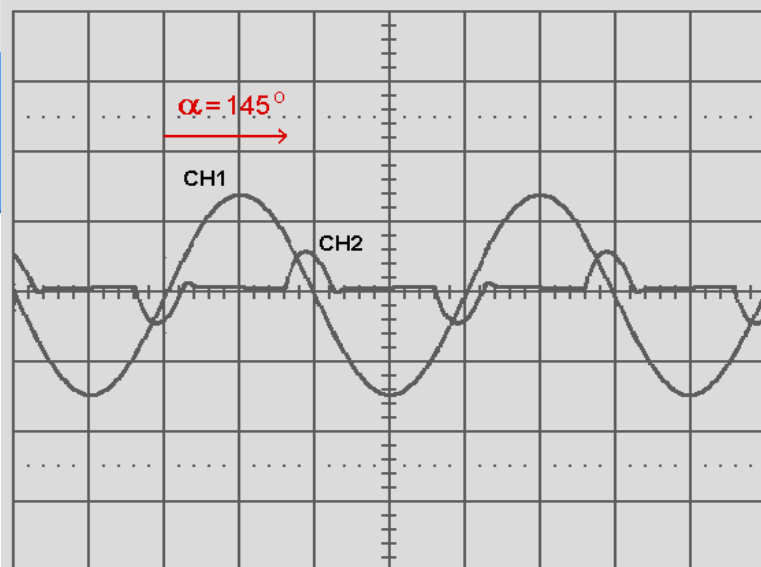


CH1: trenutna ulazna snaga 20kVA/c

TIME: 5ms/c



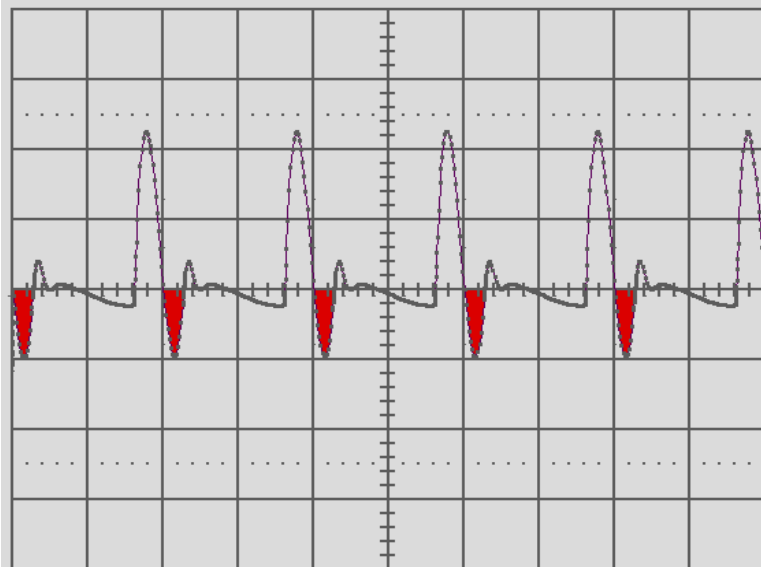
Realni talasni oblici i spektri 50Hz-ni sistem (fazni ugao 145°)



CH1: mrežni napon (linijski napon) 400V/c

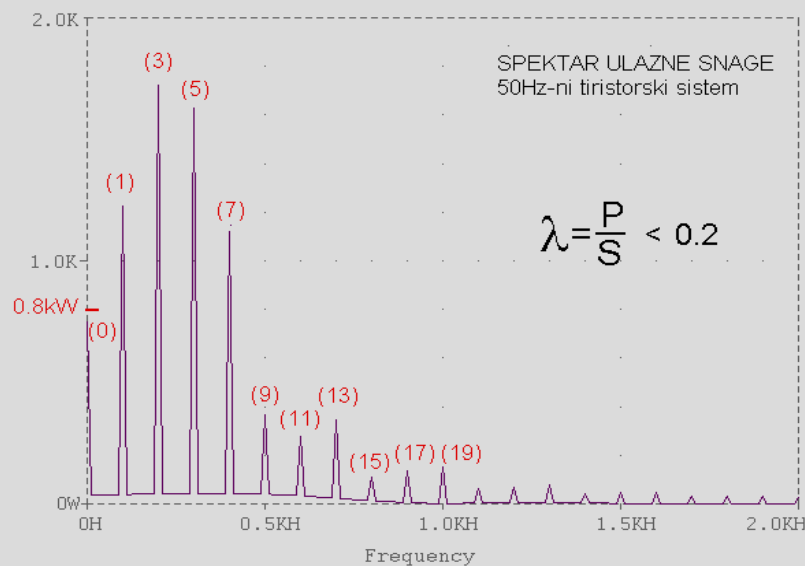
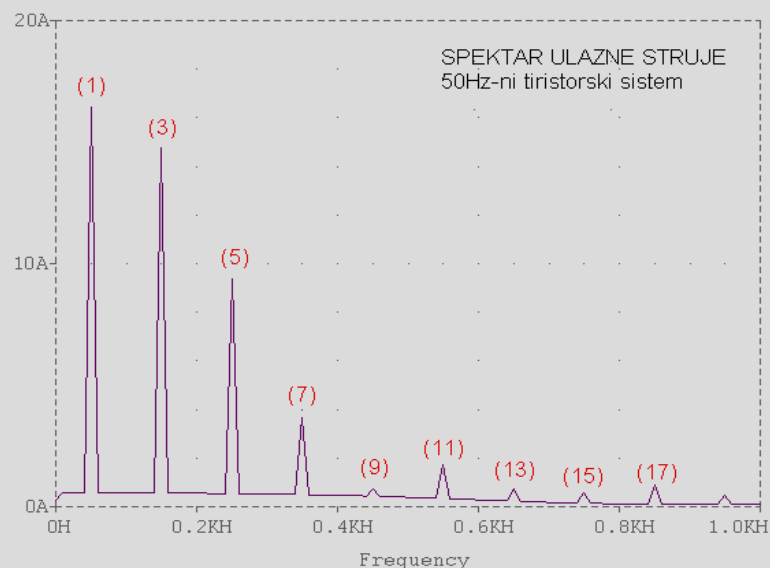
TIME: 5ms/c

CH2: mrežna struja 100A/c

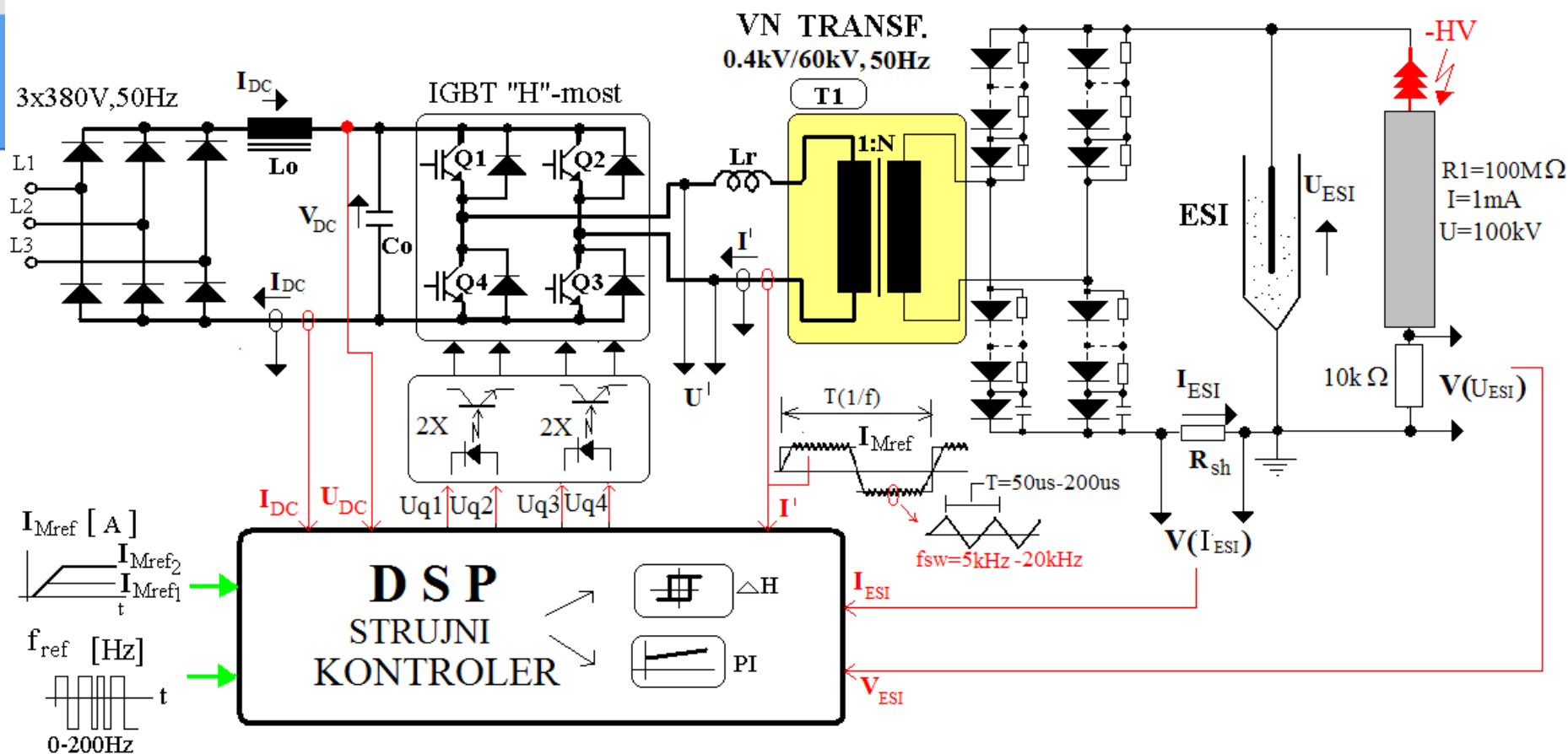


CH1: trenutna ulazna snaga 3 kVA/c

TIME: 5ms/c

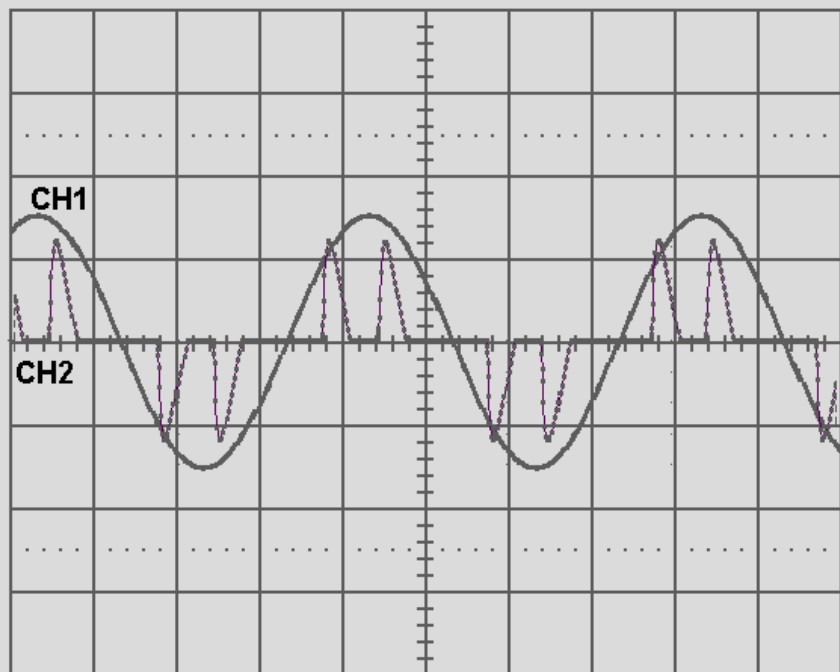


Topologija retrofitnog (hibridnog) napajanja ESI

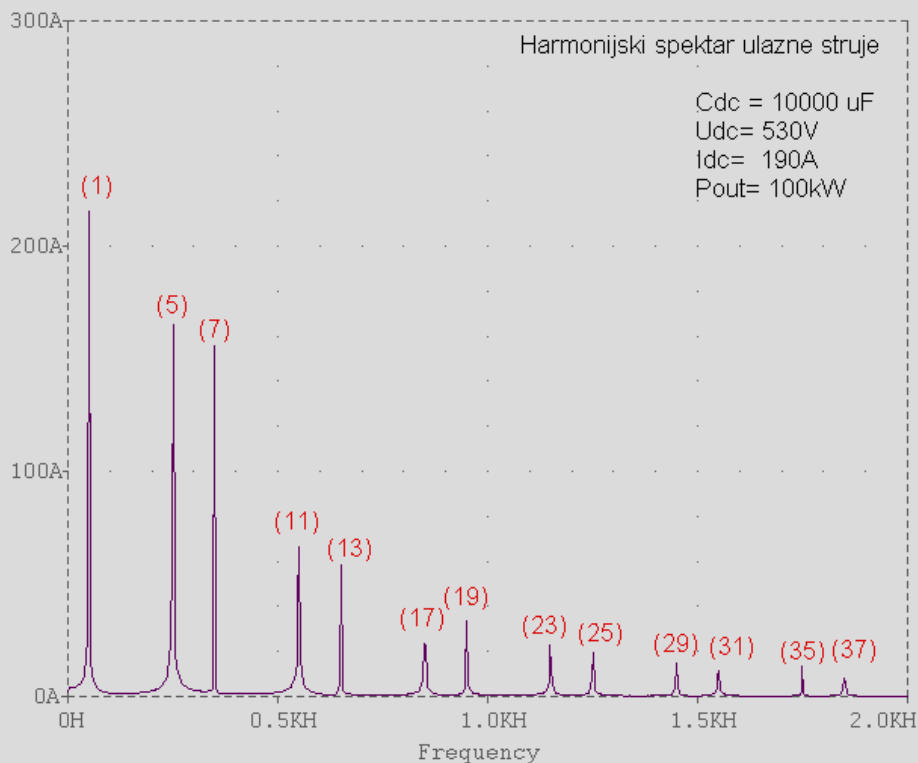


Zadržava standardni 50Hz-ni VN transformator (VNT), ali sa značajnom izmenom pretvaračkog dela koji je sada baziran na visokofrekventnoj (VF) topologiji energetskog pretvarača sa programiranom strujnom kontrolom i korišćenjem IGBT tranzistorskog H-mosta. Osnovna komponenta primarne struje VNT je učestanosti 200-800Hz, sa superponiranom talasnosti struje ($< 1\%$) čija je učestanost 5-10kHz.

Talasni oblik i spektar mrežne struje ESI retrofitne napojne jedinice sa C filtrom

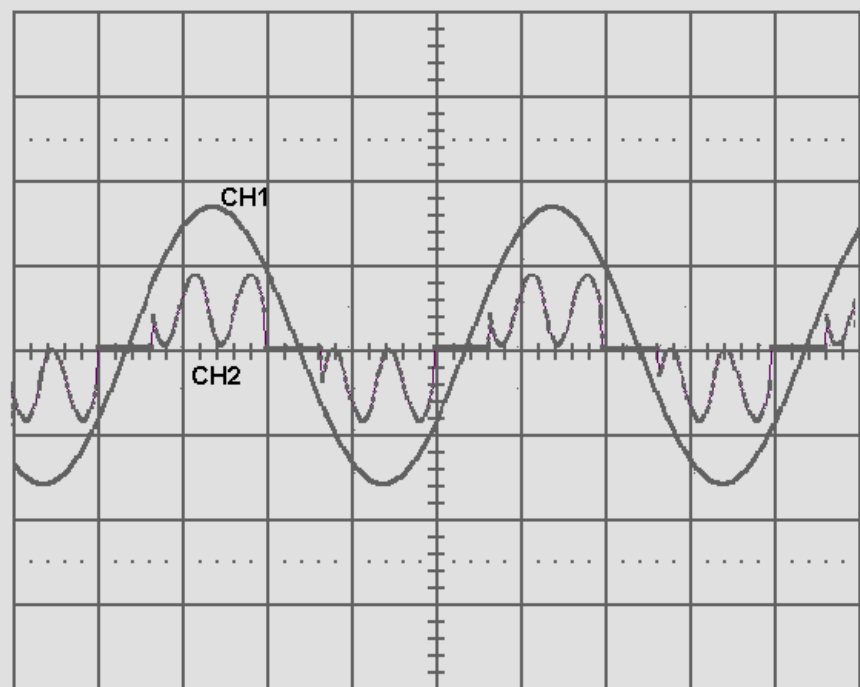


CH1: mrežni napon (napon jedne faze) 200V/c
CH2: mrežna struja (struja jedne faze) 500A/c
TIME: 5ms/c

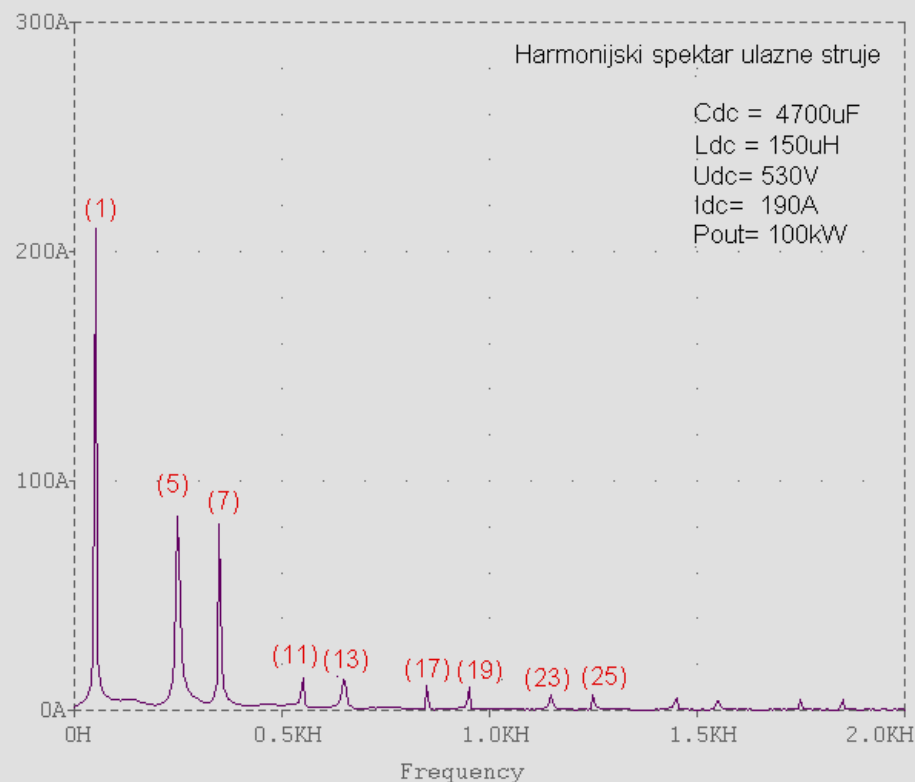


- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, ali zato dominiraju ostali
- Osnovni harmonik mrežne struje prednjači mrežnom naponu za relativno mali ugao (faktor snage prvog harmonika ima kapacitivni karakter)
- Bogat sadržaj harmonika uslovljava relativno velike efektivne vrednosti ulazne struje; Vršni ("crest factor") visok

Talasni oblik i spektar mrežne struje ESI retrofitne napojne jedinice sa LC filtrom ($L=0.15\text{mH}$)

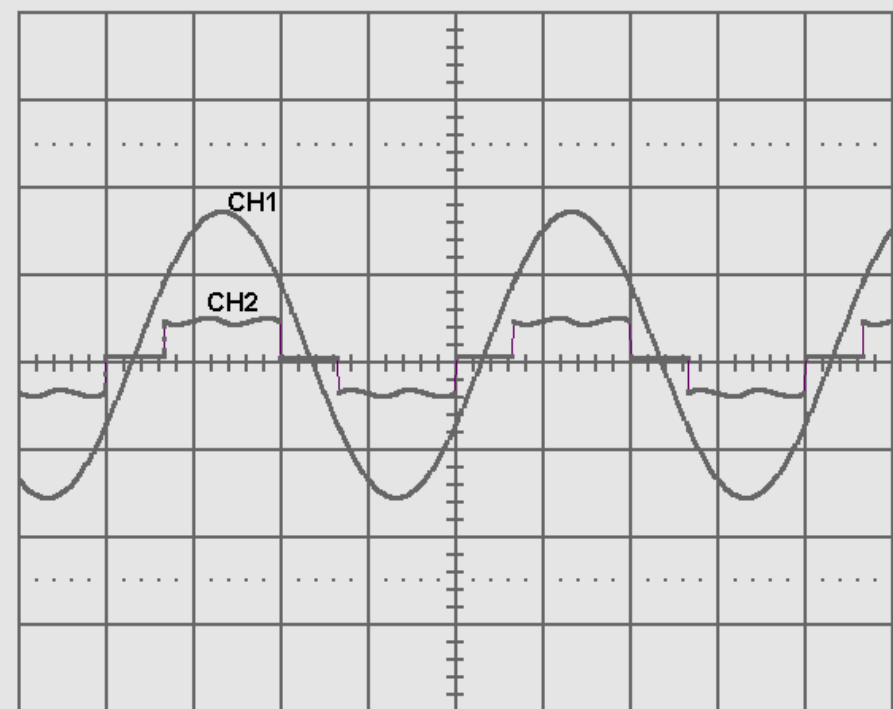


CH1: mrežni napon (napon jedne faze) 200V/c TIME: 5ms/c
CH2: mrežna struja (struja jedne faze) 500A/c



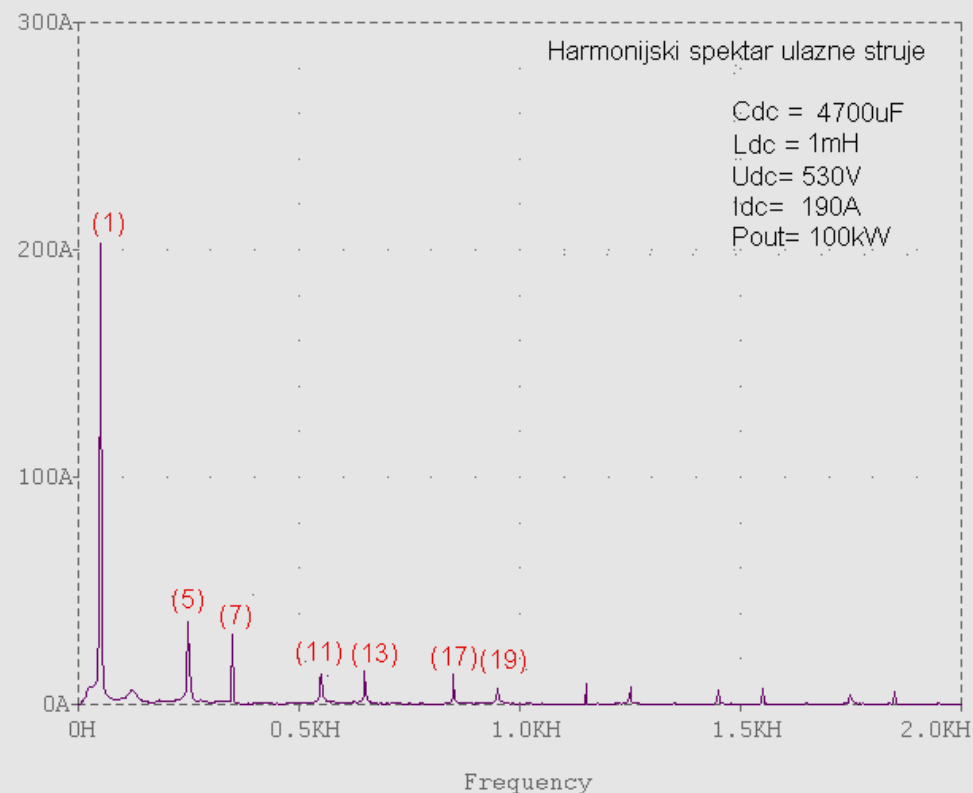
- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, ali zato redukovani ostali viši harmonici (5 i 7) i značajno redukovani 1 harmonici (11-25)
- Osnovni harmonik je skoro u fazi sa mrežnim naponom (faktor snage prvog harmonika ima omski karakter)
- Vršni ("crest factor") je relativno mali

Talasni oblik i spektar mrežne struje ESI retrofitne napojne jedinice sa LC filtrom ($L=1\text{mH}$)



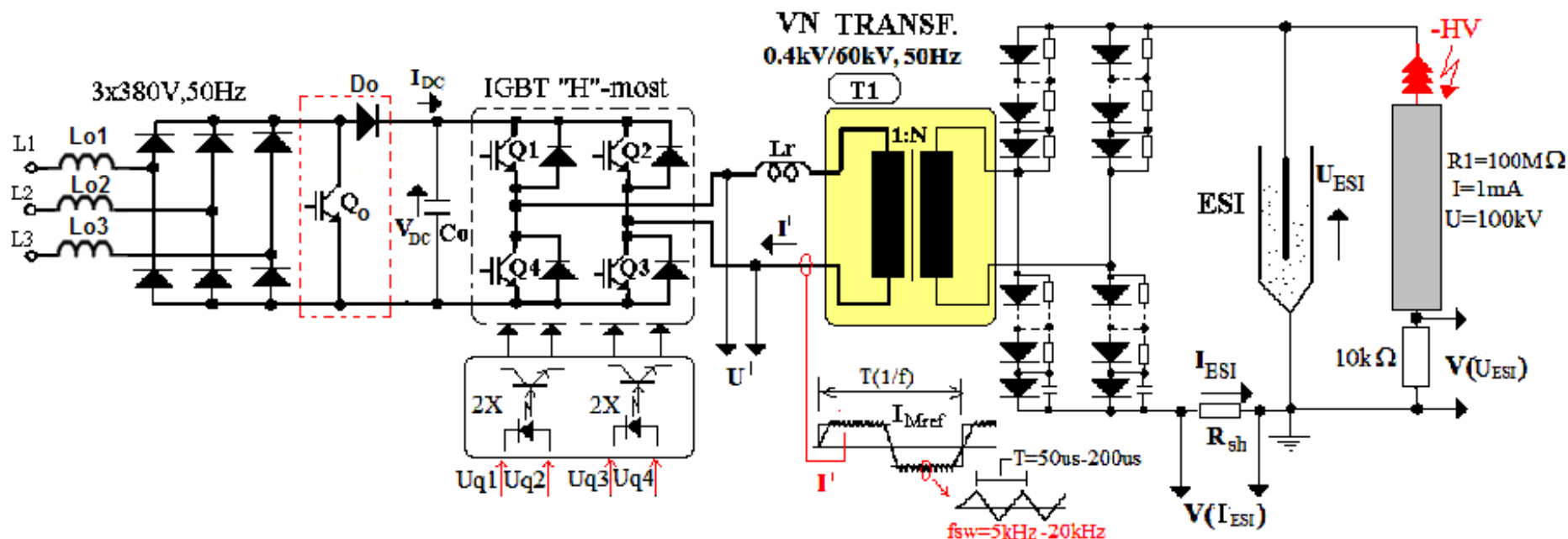
CH1: mrežni napon (napon jedne faze) 200V/c TIME: 5ms/c

CH2: mrežna struja (struja jedne faze) 500A/c



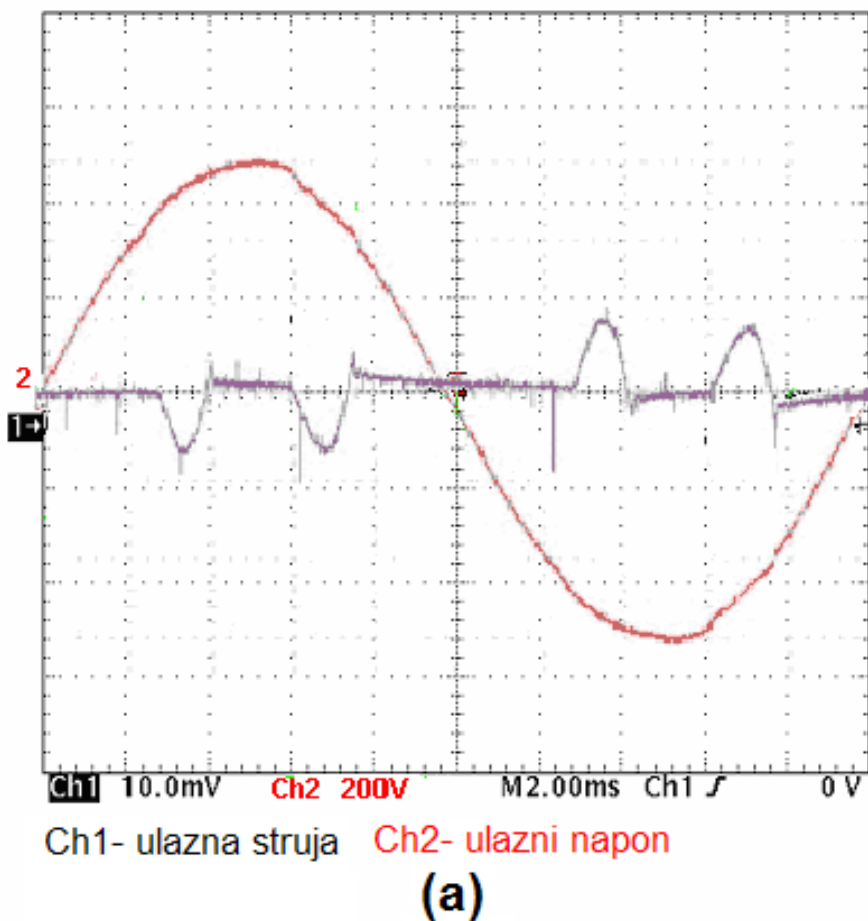
- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, i značajno su redukovani svi viši harmonici
- Osnovni harmonik je u fazi sa mrežnim naponom (faktor snage prvog harmonika ima omski karakter)
- Vršni ("crest factor") je mali

Kolo za aktivnu korekciju faktora snage

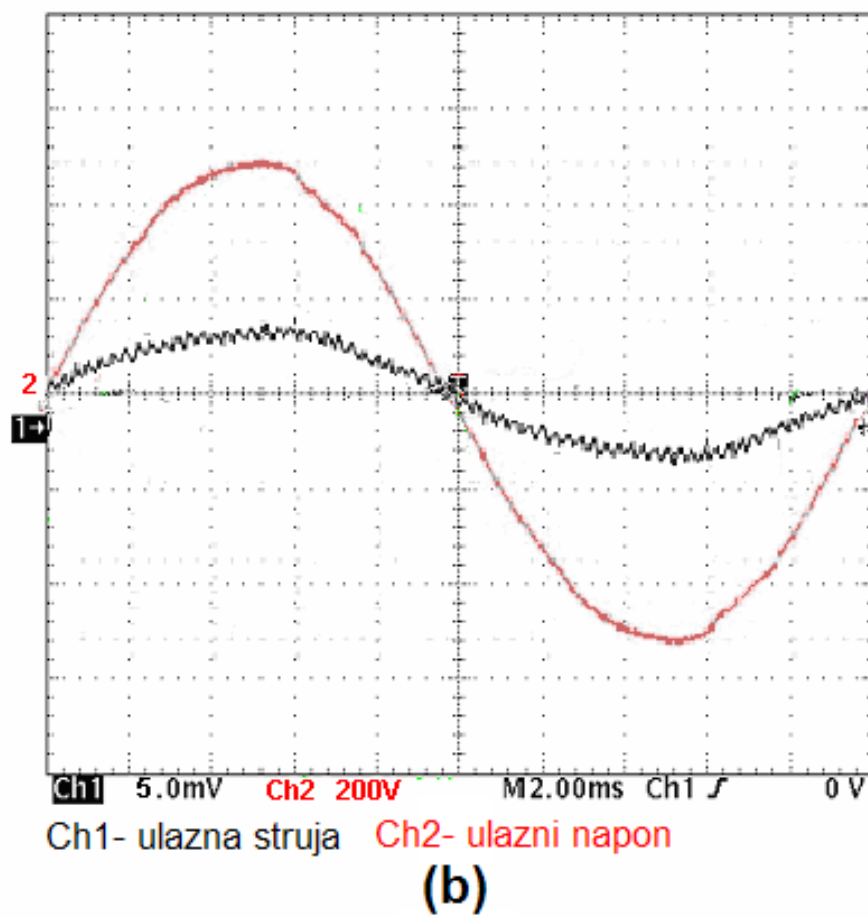


- Umesto prigušnice u DC međukolu se stavlja trofazna prigušnica na ulazu prema mreži
- U DC međukolo se ugrađuje aktivno kolo sa IGBT tranzistorom Q_o i diodom D_o .
- Elektrolit C_o ostaje u DC međukolu kolu
- L_{o1} - L_{o3} , Q_o , D_o i C_o čine AKTIVNI FILTAR kojim se vrši tzv. aktivna korekcija faktora snage
- Napon u DC među kolu zbog podizača napona je uvećan (650-700V)
- Elementi C_o i D_o , kao i zahtevi za povišenim naponom poskupljuju rešenje
- **Ovom topologijom je postignuto značajno poboljšanje ulaznog faktora snage!!!**

Talasni oblik ulazne struje pri aktivnoj korekciji faktora snage

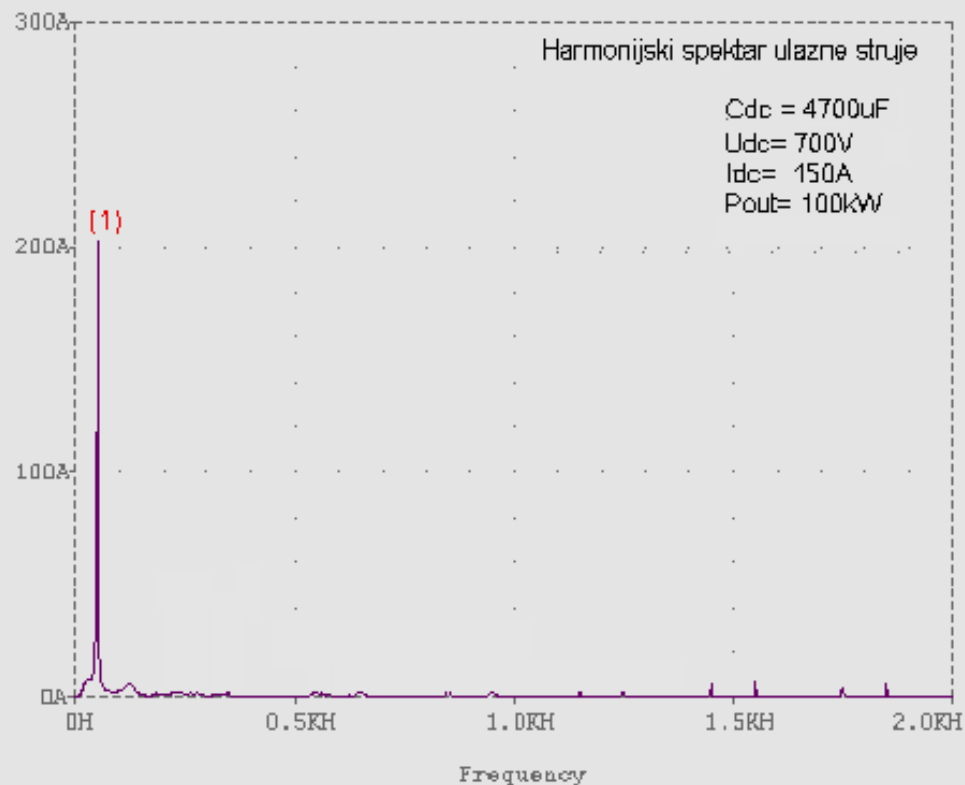
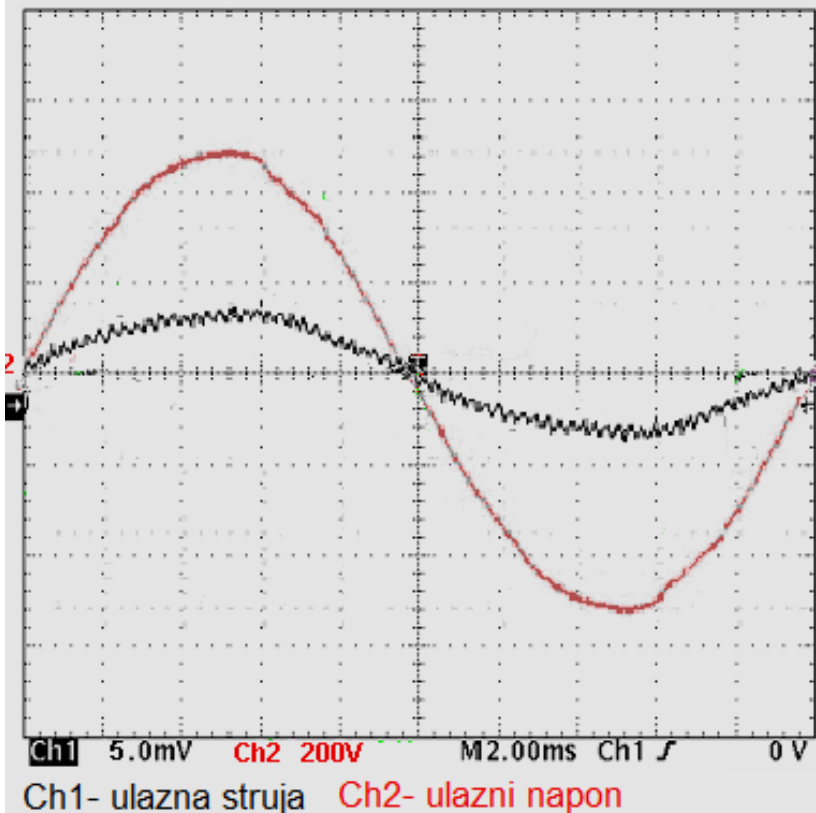


Talasni oblici za slučaj Lo - Co pasivnog filtra u DC međukolu



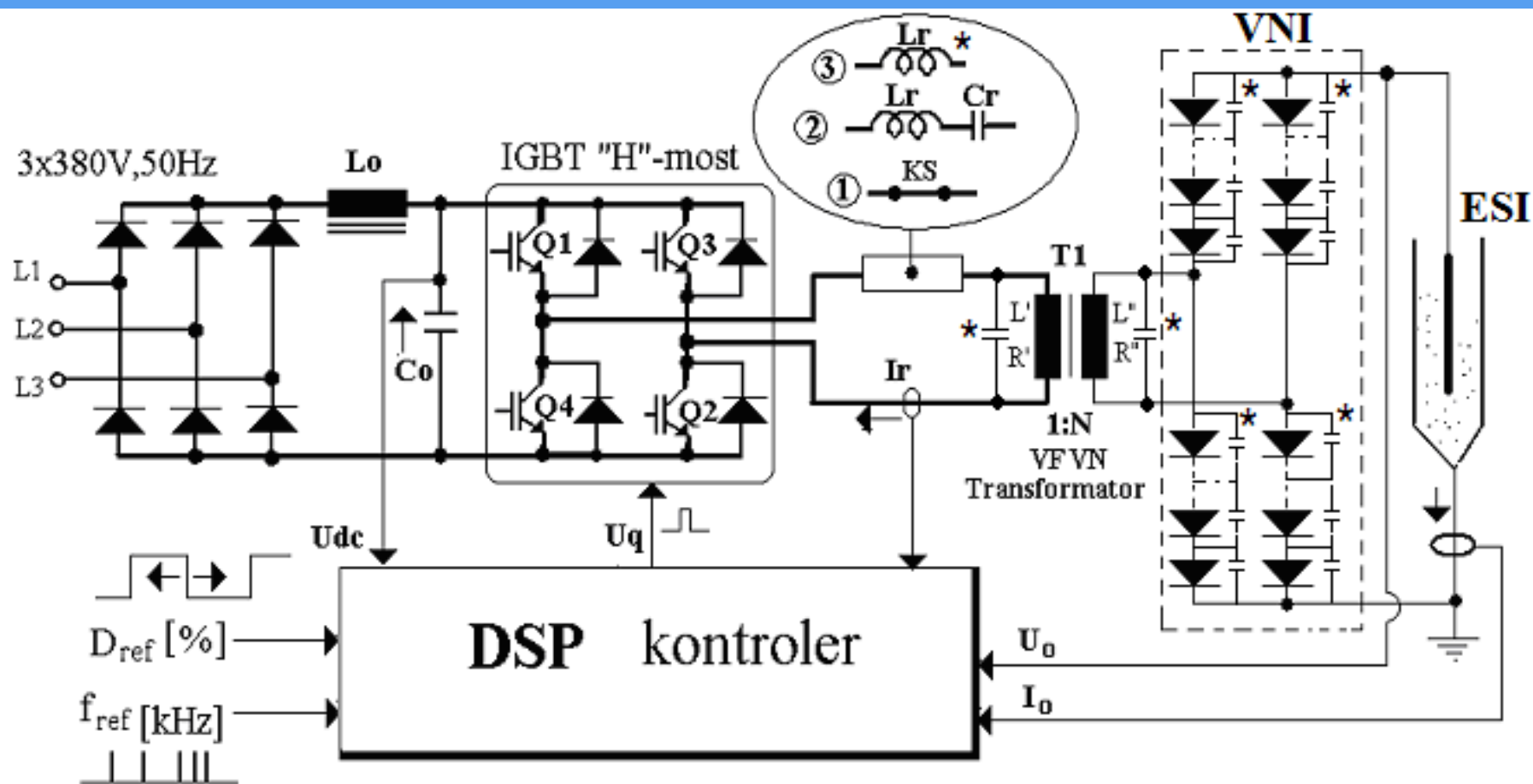
Talasni oblici za slučaj aktivnog filtra

Talasni oblik i spektar mrežne struje ESI napojne jedinice sa aktivnim kolom za korekciju faktora snage



U ulaznoj struji se pojavljuje samo osnovni harmonik 50Hz, koji je pri tome u fazi sa naponom mreže. Na ovaj način se iz mreže uzima samo aktivna snaga, dok je reaktivna jednaka nuli

Multirezonantno VN VF napajanje bazirano na IGBT tehnologiji



(1)- rad u tzv. "hard switching" režimu (2)-Rezonantna topologija (NWL), (3) Multirezonantna topologija

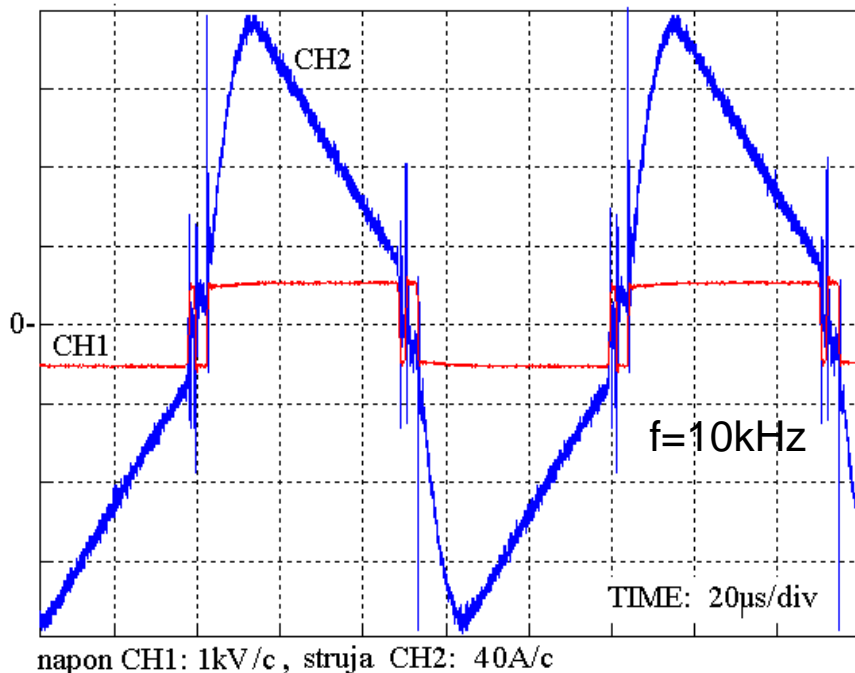
Multirezonatna topologija

- Multi-rezonantna topologija podrazumeva korišćenje prigušnice L_r u primaru VFVN transformatora i kapacitivnosti koje inherentno postoje u primaru i sekundaru ovog transformatora, kao i kapacitivnosti koje se paralelno vezuju sa diodama u VN ispravljaču.
- Kapacitivnosti u primaru i sekundaru transformatora nisu koncentrisane već su raspodeljene duž ovih namotaja, a i kapacitivnosti u VN ispravljaču su koncentrisane na svakoj pojedinačnoj diodi (vezane su paralelno) ali zbog velikog broja dioda u VNI (128 dioda u svakoj grani ispravljača) one se mogu smatrati kao raspodeljene.
- Prigušnica L_r i ove ekvivalentirane raspodeljene, odnosno distribuirane kapacitivnosti čine ekvivalentno rezonantno kolo i podešavanjem prekidačke učestanosti je moguće postići brzu promenu polariteta napona primara VFVN transformatora pri nultoj primarnoj struji, što značajno dovodi do smanjenja prekidačkih gubitaka u pretvaraču i do značajnog povećanja energetske efikasnosti samog pretvarača i celokupnog sistema.
- Pored redukcije gubitaka značajno je redukovano i niz drugih efekata koji su povezani sa katalitičkom degradacijom transformatora i dielektričnim starenjem njegove izolacije .

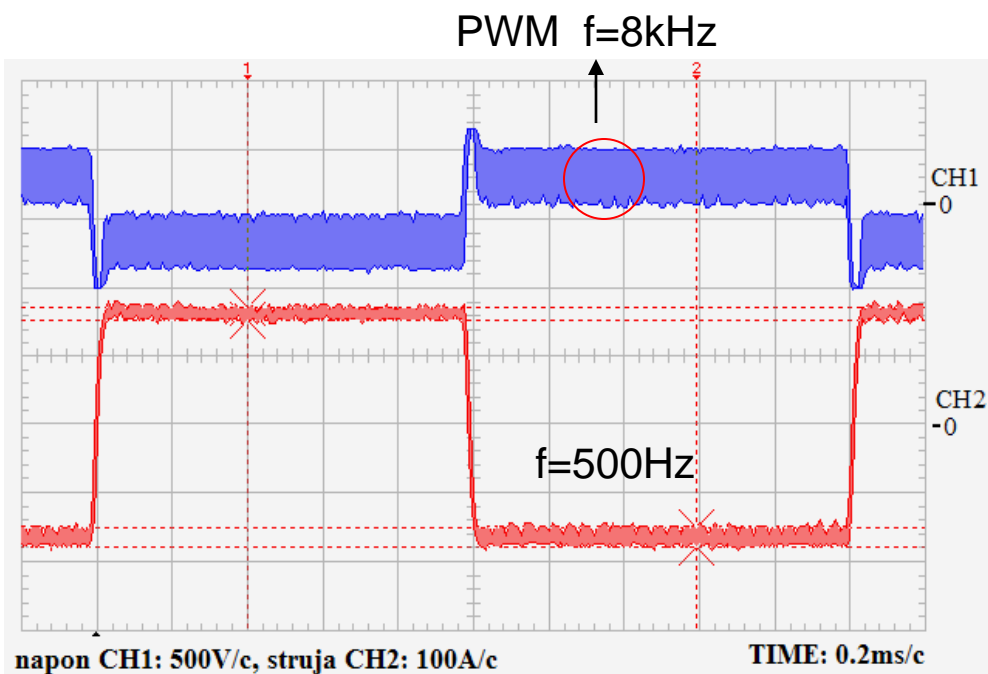


PREKIDAČKI EFIKASNIJA MULTI REZONANTNA TOPOLOGIJA

Energetski efikasniji režim prekidanja pri maloj struji primara (10-20A) u odnosu na slučaj retrofitnog napajanja, kada se prekidanje ostvaruje pri značajnoj struji od 150A



Snimci napona i struje primara transformatora multi-rezonantnog VF napajanja pri punom opterećenju; $U_o=100\text{kV}$, $I_o=1\text{A}$

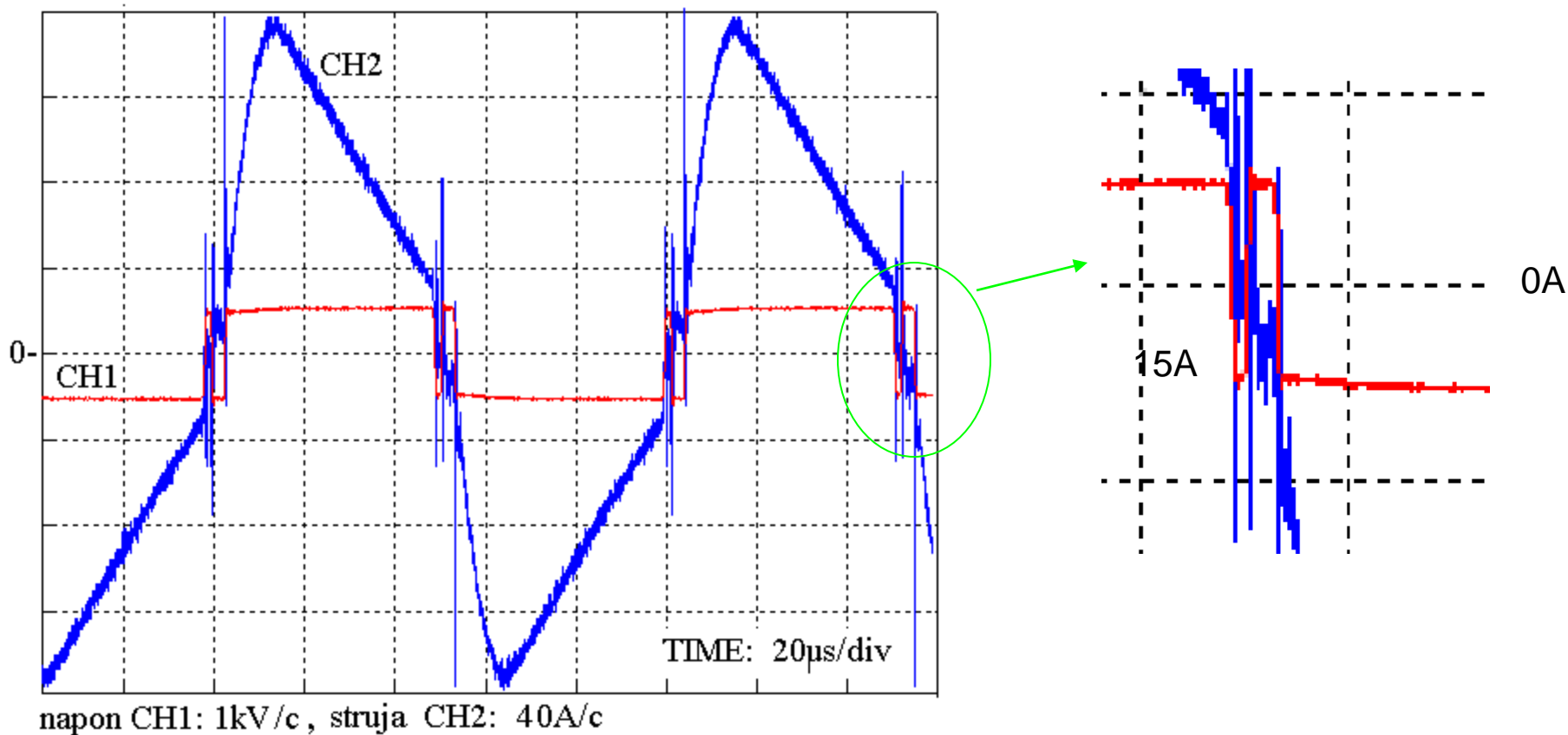


Snimci napona i struje primara 50Hz-nog transformatora retrofitnog napajanja pri punom opterećenju; $U_o=100\text{kV}$, $I_o=1\text{A}$



EKOLOŠKI
INŽENJERING

Prekidanje pri maloju struji značajno povećava energetska efikasnost multi-rezonantne topologije



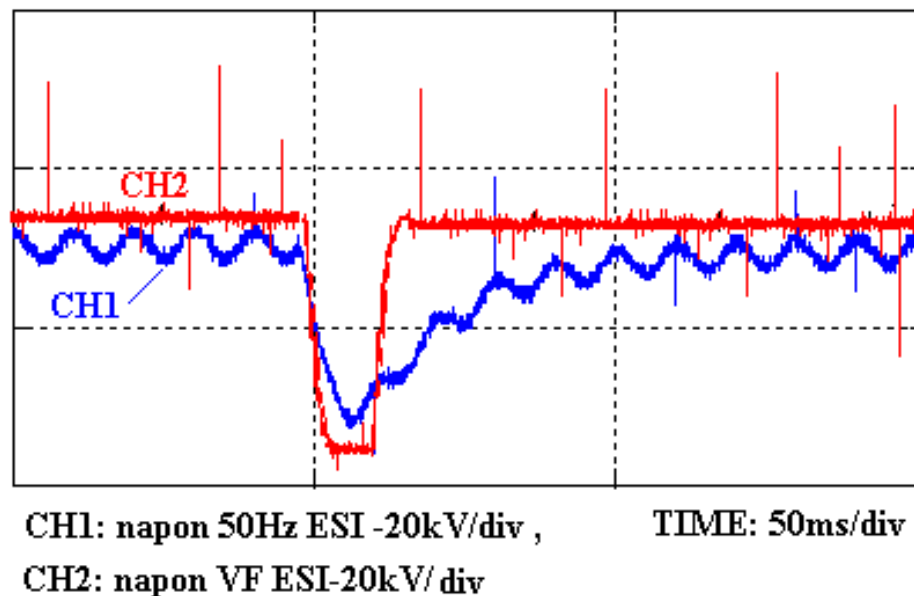
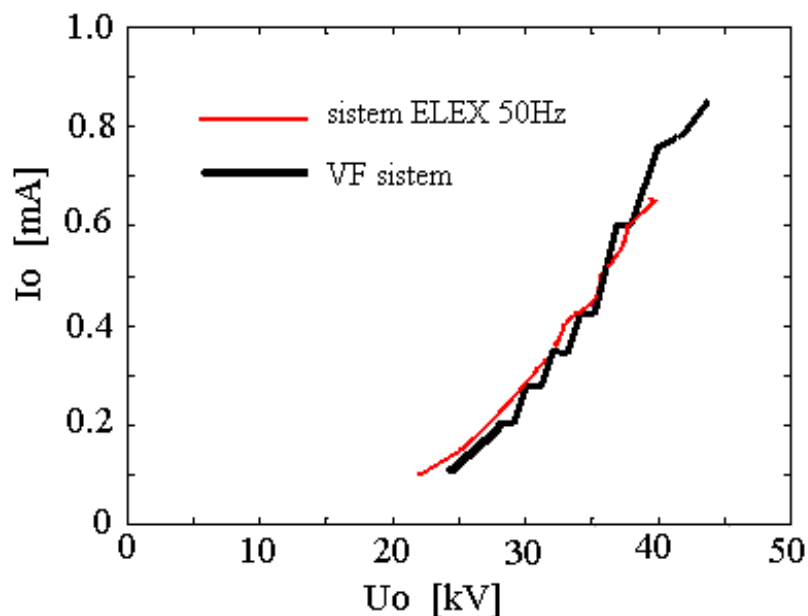
POREĐENJE KARAKTERISTIKA 50Hz-nih i VF sistema

Kriterijumi:

- Maksimalna efikasnost izdvajanja
- Uticaj na mrežu
- Stepenn korisnog dejstva i ušteda električne energije, potrošnja snage
- Upravljačke karakteristike
- Težina i cene opreme
- Merenje emisija u $[mg/m^3]$ i smanjenje ekoloških taksi



I kriterijum: Maksimalna efikasnost izdvajanja



Za optimalne performanse tj. maksimalnu efikasnost izdvajanja, veoma je važno da ESI radi što je moguće bliže granici proboja. Ovaj uslov omogućava najviši mogući napon i maksimalnu jačinu polja, te je efikasnost izdvajanja, koja je proporcionalna kvadratu električnog polja, maksimalna. Kod 50 Hz sistema, do proboja dolazi pri vršnim vrednostima ispravljene sinusoide mrežnog napona. Stoga amplituda polutalasa ne sme preći probojni napon. Drugim rečima, srednja vrednost napona kod 50 Hz napajanja je manja usled značajne valovitosti struje na učestanosti od 100 Hz. VF napajanje daje zanemarivu valovitost, manju od 1%. Ostvariva srednja vrednost napona je do 98.5% vršne vrednosti.

Zaključak : VF sistem omogućava bolje i efikasnije izdvajanje



EKOLOŠKI
INŽENJERING

II Kriterijum: Energetski povoljan uticaj na napojnu mrežu

- Iz prethodno pomenutog reaktivna i prividna snaga su jako velike, tako da je faktor snage osnovnog harmonika kod ovih sistema jako loš, odnosno $\cos\varphi < 0.65$, dok je ukupni faktor snage, koji obuhvata uticaj i viših harmonika, $\lambda = P/S < 0.5$.
- Pošto se u slučaju VF napajanja (retrofitno, rezonantno, multirezonantno) naizmenični ulazni napon ispravlja, filtrira i onda vrlo brzo prekida (tipično sa 5-10kHz) u malim paketima energije, talasnost izlaznog napona je samo 3-5% od jednosmernog naponskog nivoa u poređenju sa 35-45%, koji se ima kod tiristorskog napajanja 50Hz. Pokazalo se da VF napajanje stoga ima ulazni faktor snage osnovnog harmonika $\cos(\varphi) > 0.95$, dok je ukupni faktor snage $\lambda = P/S \approx 0.76$.
- Kod *intermitentnog rada* 50Hz-nog sistema, zbog asinhronog sadejstva pulsacija struje u različitim sekcijama, na glavnom napojnom transformatoru na srednje-naponskoj strani (nominalnog napona 6kV) se javljaju značajna izbijanja (tzv. "flikeri").
- Kod prekidačkog VF napajanja ova pojava inherentno odsutna jer se pulsacije struje filtriraju u jednosmernom međukolu L_o - C_o .
- **Zaključak :** Distorzija, fliker, reaktivna i prividna snaga su znatno veći na 6 kV, kod 50 Hz-nog napajanja nego kod VF napajanja

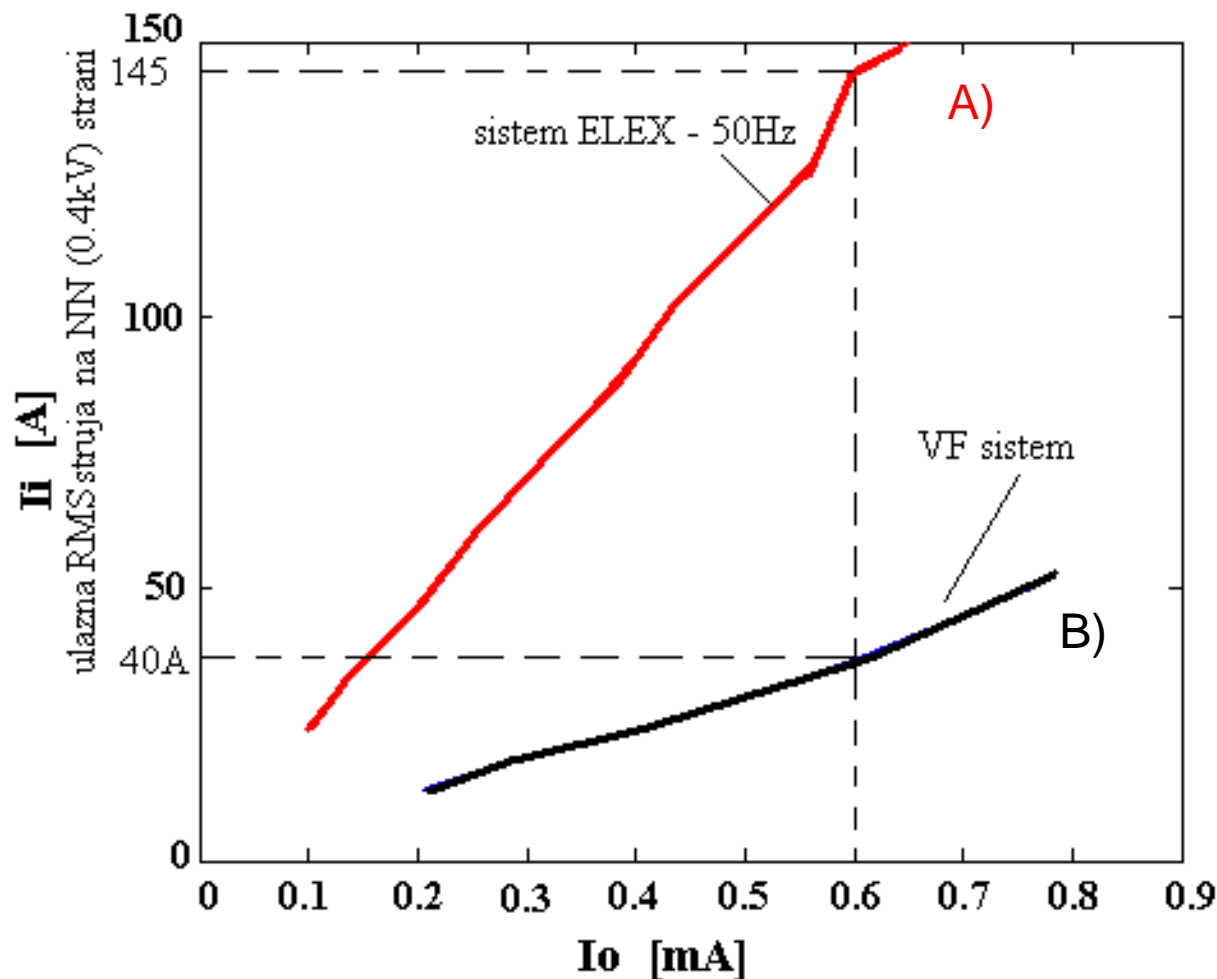


III kriterijum- Stepen korisnog dejstva i ušteda električne energije

- Kako 50Hz-no tiristorsko napajanje ima značajno veću ulaznu reaktivnu i prividnu snagu, strujno opterećenje namotaja i poluprovodničkih elemenata je veće.
- Kao rezultat toga je relativno mali stepen korisnog dejstva.
- U istraživanjima je izmeren stepen korisnog dejstva napojne sekcije, tipično $\eta \approx 60\%$, dok je kod multi-rezonantnog VF prekidačkog napajanja ima $\eta > 95\%$ (na jedinici 100kV/1A, odnosno 100kW izlazne snage izmereni su ukupni električni gubici od 3-4kW).
- Treba napomenuti da je veoma bitan momenat u eksploataciji VF sistema i ušteda električne energije. Tako uz poboljšanje stepena korisnog dejstva od 35%, na jedinici 100 kV/1A se štedi oko 350 MWh godišnje.
- Na osnovu ovoga se može dati procena perioda u kome će se investicija u VF napajanje isplatiti. Ako pretpostavimo da je prosečna cena uvoza struje 6Eu-centi/kWh, lako dolazimo do konstatacije da bi po ovoj ceni, godišnje uštede u električnoj energiji (t.j. računajući tu samo uštede aktivne energije) mogle iznositi oko 21500Eu.
- Obzirom da je cena jedne ovakve napojne jedinice red veličine 30000 Eu, sledi zaključak da će se troškovi instalacije nove VF jedinice za napajanje, parametara 100 kV/1A, isplatiti za oko 1.4 godine.

Zaključak : VF napajanje daje veći stepen korisnog dejstva i obezbeđuje veće uštede električne energije od 50 Hz-nog napajanja.

Poređenje u pogledu potrošnje snage



Poređenje je dobijeno pri istim uslovima izdvajanja i izlaznim parametrima ESI napojnih jedinica:
-izlazni napon 35kV,
-izlazna struja 0.6A

A) $S_1 = 400V \times 145A = 58kVA$
 $\cos \varphi = 0.52$
 $P_1 = 30kW$
 $\eta_1 = 20kW / 30kW = 0.66$ (66%)

B) $S_1 = \sqrt{3} \times 400V \times 40A = 27.7kVA$
 $\cos \varphi = 0.8$
 $P_1 = 22kW$
 $\eta_2 = 20kW / 22kW = 0.9$ (91%)



IV kriterijum- Upravljačke karakteristike i pauza za de-jonizaciju

- Kao što je napred rečeno upravljačke veličine se kod VF sistema mogu zadavati i menjati svakih 100 μs , dok se kod 50Hz sistema upravljanje može menjati svakih 10ms.
- Stoga su brzina reagovanja i kvalitet upravljanja VF sistema značajno bolji.
- Pored ovoga, pod izvesnim okolnostima, varnica u radu ESI se može javiti i do 100 puta u minuti, kada napajanje mora biti na kratko ukinuto kako varnica ne bi prešla u električni luk.
- Kod 50Hz-nih sistema upravljačkim algoritmom se postiže prekidanje struje u ESI u trajanju od najmanje jedne periode na mrežnoj učestanosti. To praktično znači da je izdvajač potpuno neefikasan 100 puta po 20ms u toku jednog minuta.
- Pored toga, svaki put od 100 puta, postojaće vremenski period neefikasnog rada izdvajača zbog uspostavljanja željenog napona u izdvajaču u trajanju od oko 100ms i više.
- Kod VF sistema se napon može brzo ukinuti i ponovo uspostaviti, te ovakve pauze nisu potrebne.

Zaključak : Upravljačke karakteristike VF sistema su značajno bolje



V kriterijum- Težina i cena opreme

- Kako kod tiristorskih sistema ispravljački VN transformator radi na mrežnoj učestanosti, njegove fizičke dimenzije i težina, zavisno od nominalne snage, biće značajne.
- Tipična 100kV-na jedinica ima dimenzije 600x800x1200mm, i težinu od 1500kg i više.
- Gotovo isključivo su ti transformatori uljno izolovani, što zahteva da zidovi oklopa transformatora budu čvrsti, što uvećava troškove izrade.
- Odgovarajući VF transformator ima težinu od oko 400 kg.
- Dakle, skoro četiri puta je lakši od 50 Hz ekvivalenta.
- Njegova cena u serijskoj proizvodnji je za 20% manja.
- Pored ovoga cena građevinskih radova pri gradnji novih VN postrojenja u slučaju 50Hz-nog sistema je mnogo veća od one koja se ima pri gradnji novih VF sistema.



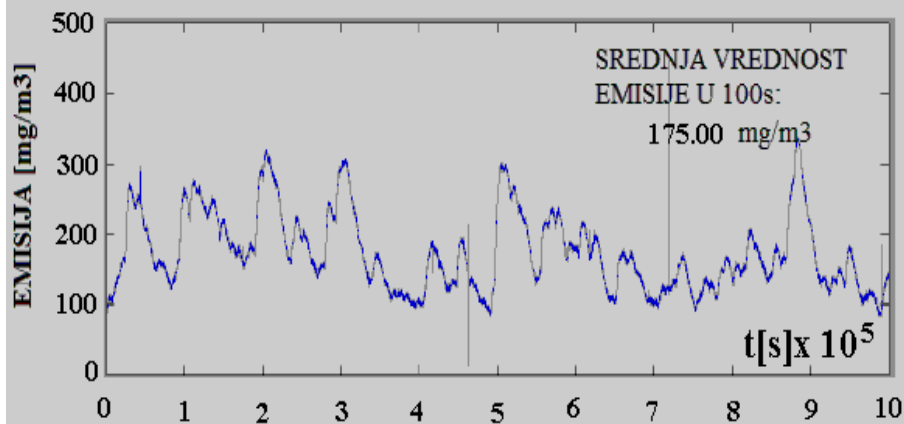
VI kriterijum-Smanjenje ekoloških taksi

- **Korišćenje VF rešenja, kao što je pomenuto ima značajan efekat na smanjenje emisije, a to utiče na smanjenje ekoloških taksi.**
- Prema podacima iz Sl. Glasnika RS, 113/05, od 6/07, kriterijumi za obračun naknade obračunavaju se po toni emisije dimnim gasom, za čestice koje završe u atmosferi, odnosno po toni odloženog otpada, za materije koje se odlažu sa šljakom na odgovarajuću deponiju.
- Prema članu 27. Uredbe objavljene u pomenutom Sl. Glasniku RS, plaća se 20% punog iznosa naknade zaključno sa 2008. godinom.
- Za godine 2009. – 2011. plaća se 40% punog iznosa naknade.
- Za godine 2012. - 2015. plaća se 70% punog iznosa naknade, dok se od 1. januara 2016. plaća pun iznos naknade.
- Prema pomenutom Sl.Glasniku, aero-zagađivačima (od kojih su najveći termoelektrane) naplaćuju se ekološke takse za emitovani leteći pepeo, kao i za ugljene, sumporne i azotne okside.



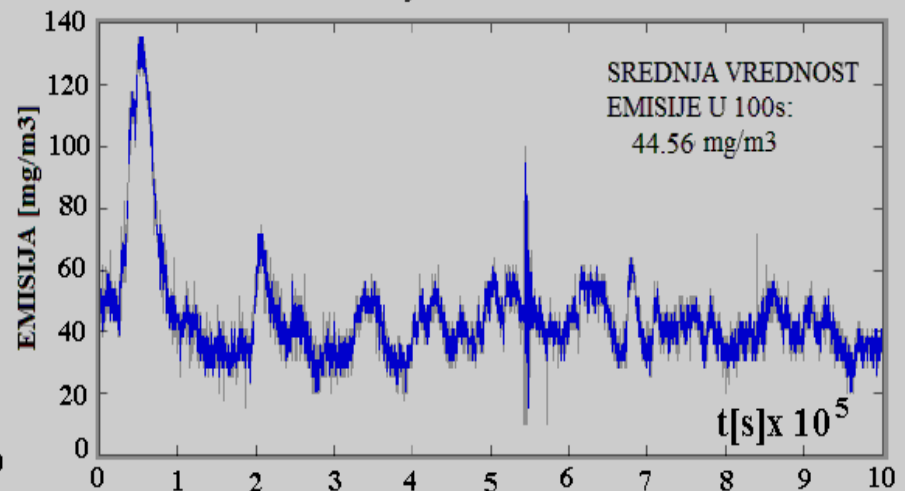
Merenje emisija i poređenje 50Hz-nih VNVF sistema

MERENJE EMISIJE -ukljucena dva 50Hz sistema



(a)

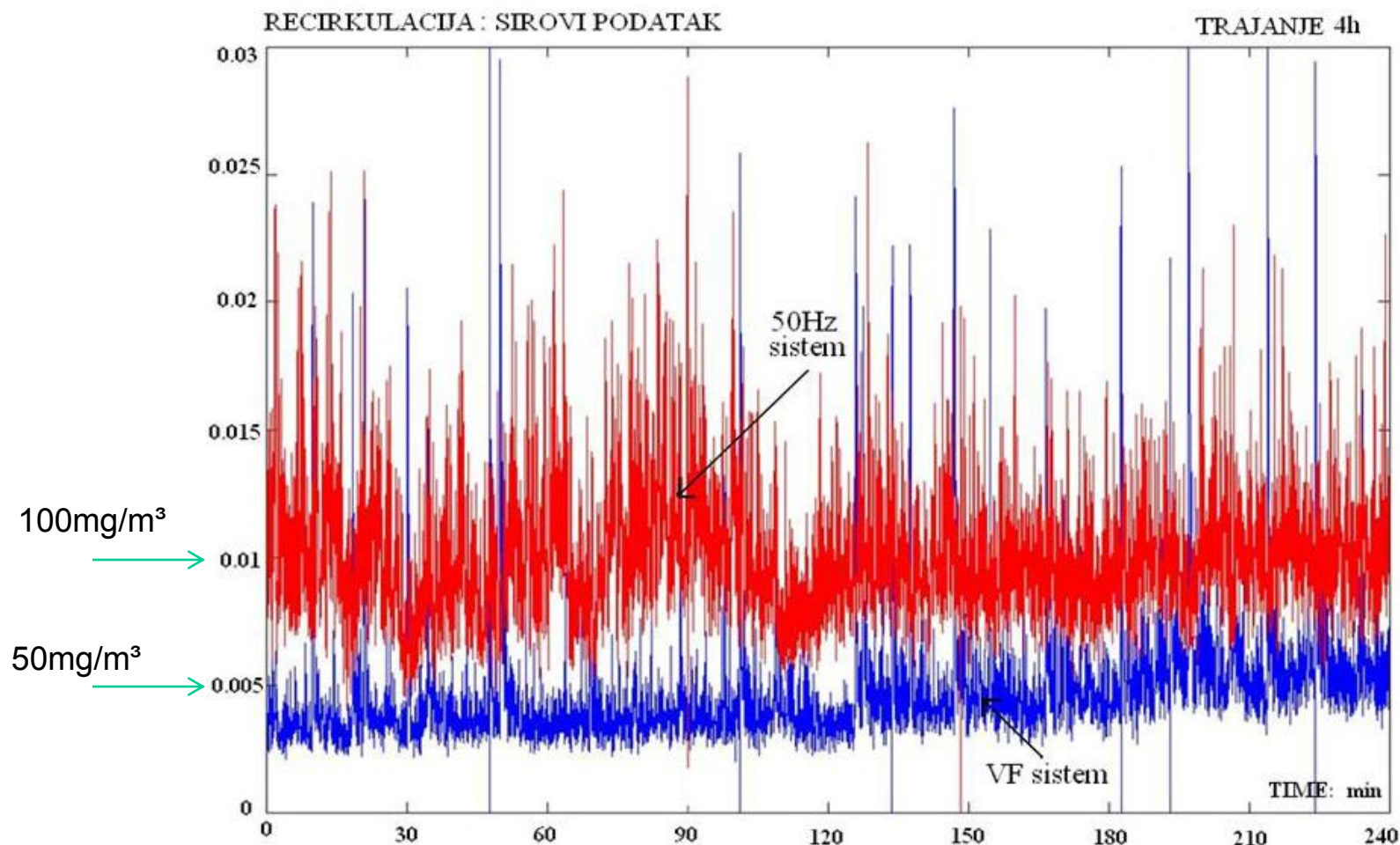
MERENJE EMISIJE -ukljucena dva VF sistema



(b)

Izmerene vrednosti koncentracije na TE “Morava”
(a) VF sistem , (b) sistem 50Hz

Merenje emisija i poređenje 50Hz-nih VNVF sistema-TE „Morava“



ZAKLJUČAK

- U predavanju su sa stanovišta energetske efikasnosti pregledno dati problemi rada konvencionalnih tiristorskih napojnih jedinica ESI, kao i načini za njihovim prevazilaženjem korišćenjem savremenih VF sistema napajanja.
- Optimizacijom VF napajanja ESI (retrofitno-hibridno napajanje i multi-rezonantna topologija) se mogu postići značajna poboljšanja u smislu izdvajanja čestica, energetske efikasnosti, minimiziranja dimenzija i cene samog ESI postrojenja, u odnosu na postojeće 50Hz-ne sisteme bazirane na tiristorskoj faznoj kontroli.
- Eksperimentalnim rezultatima je pokazano da se korišćenjem VF napajanja mnogo *preciznija kontrola* struje i napona ESI.
- Pored toga kod VF napajanja je moguće ostvariti *veoma brz odziv* pri pojavi preskoka (korone).
- Značajno poboljšanje VF sistema se ogleda i u *značajno boljem faktoru snage*, koji je u ovom slučaju blizak jedinici, a kao posledica toga ima se značajno bolji stepen iskorišćenja napojnih jedinica i shodno tome njihova *veća energetska efikasnost*. Nakon ovoga su prikazani rezultati koji se odnose na merenje koncentracija čestica dimnog gasa u povratnom vodu ESI postrojenja.



Hvala na pažnji



Mart, 2020.

Dr Željko Despotović, dipl.el.inž



**EKOLOŠKI
INŽENJERING**