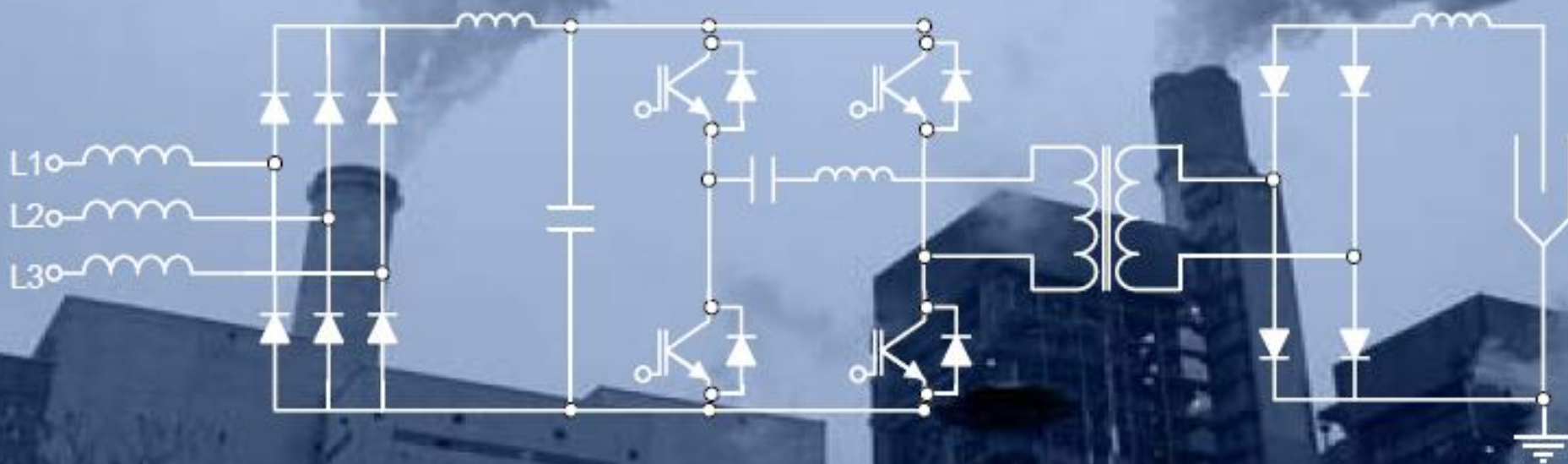


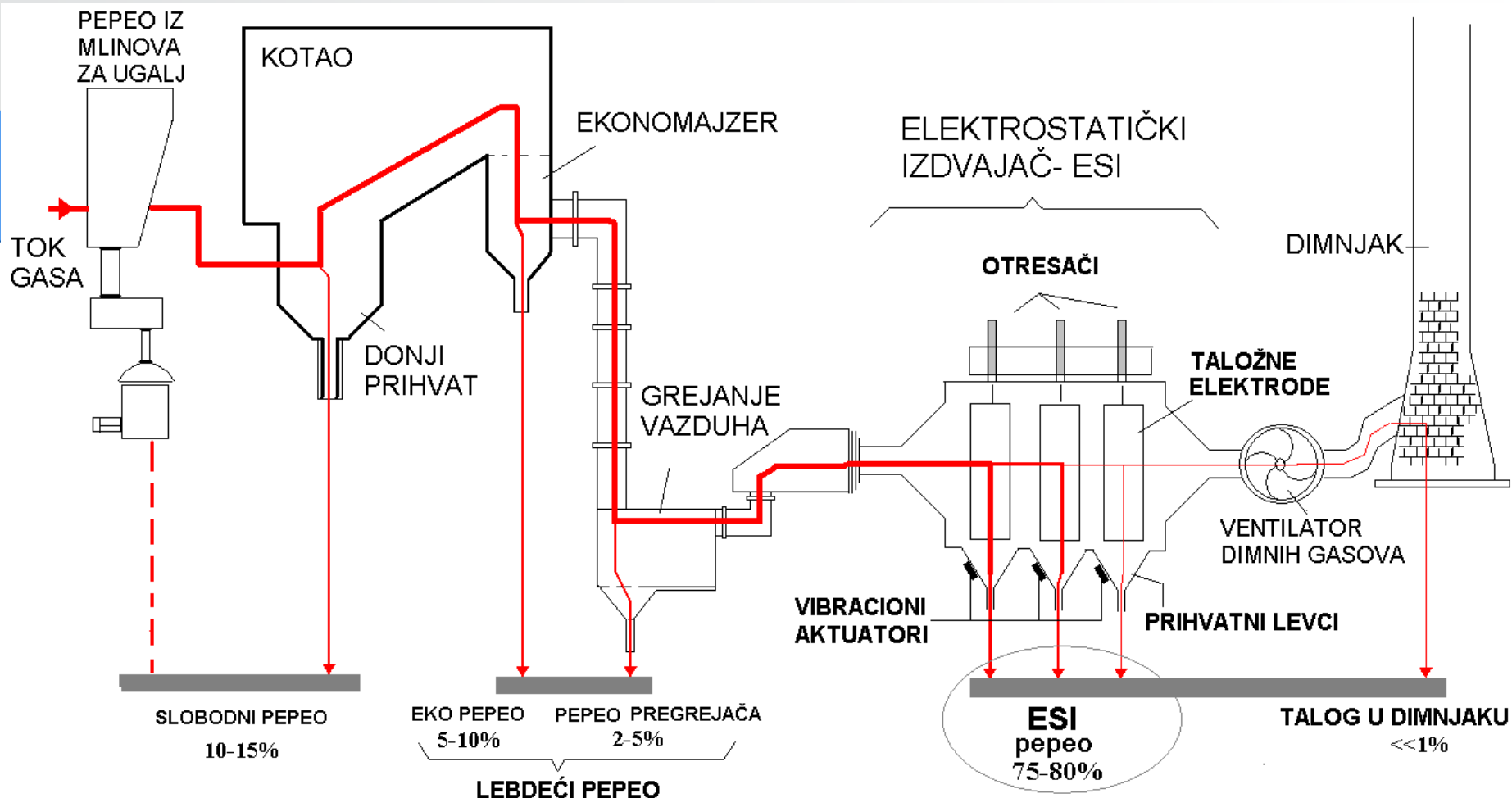


UREĐAJI ENERGETSKE ELEKTRONIKE ZA SMANJENJE EMISIJA ČVRSTIH ČESTICA NA TERMoeLEKTRANAMA

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

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 dimnih gasova ali i ostalih polutanata (oksida sumpora, azota.....)



- Tipična distribucija pepela u procentnom iznosu na jednom tipičnom termoenergetskom postrojenju
- Najveći deo pepela 75-80%, je lociran u prihvratnim levcima koji se nalaze direktno ispod VN izdvađačkih komora ESI.
- Veoma mali deo pepela ($< < 1\%$) se taloži na dnu izlaznog dimnjaka

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

VN napojne jedinice

zprašenost na izlazu
kotla $30\text{-}50\text{g/m}^3$

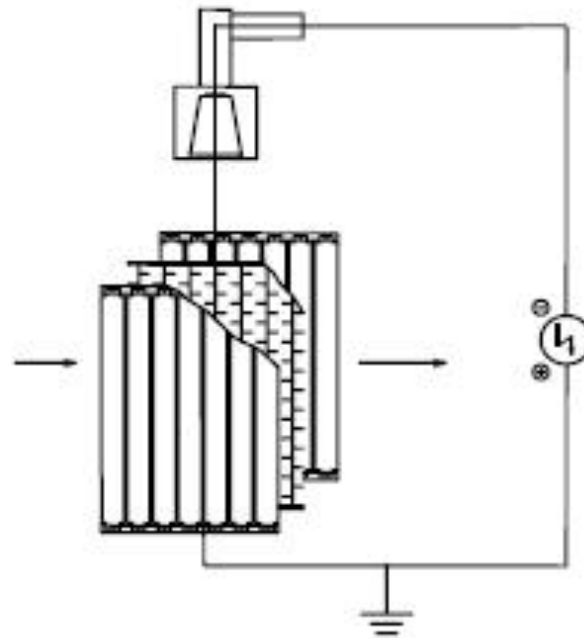
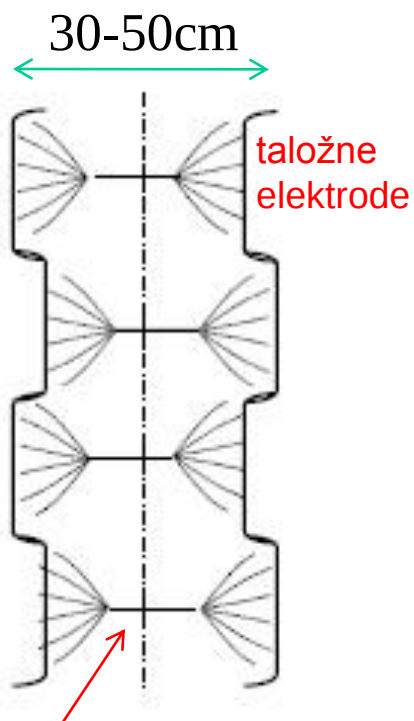
dozvoljena
zprašenost
 $25\text{-}50\text{mg/m}^3$

taložne
komore

TIPIČNO POSTROJENJE ELEKTROSTATIČKIH IZDVAJAČA (ESI)

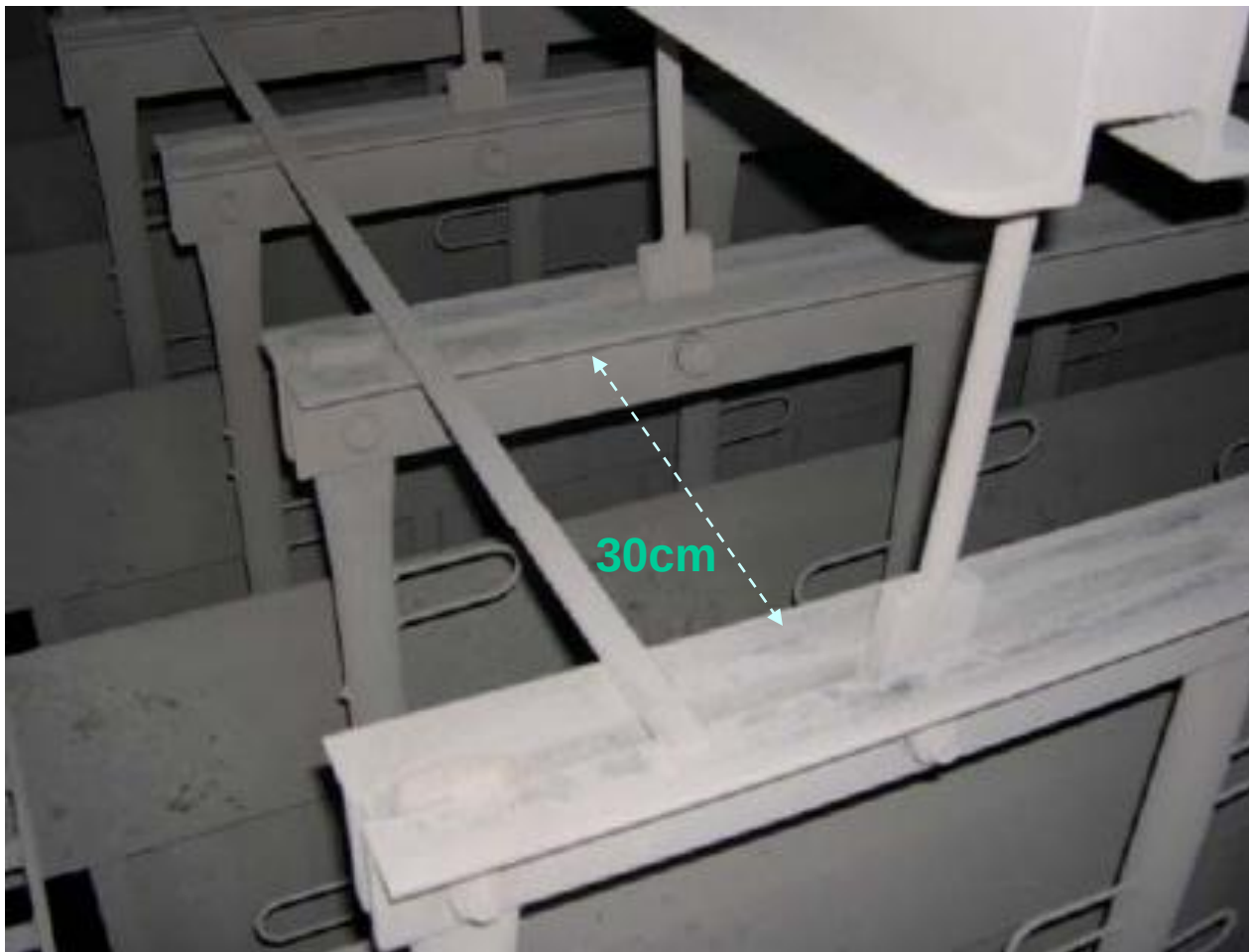
50mg/m^3 : $50\text{g/m}^3 = 1:1000 \rightarrow 0.1\%$ $\Rightarrow$ efikasnost izdvajanja 99,9%

Princip elektrostatičkog izdvajanja



- **Emisione elektrode** se dovode na negativan napon -50kV...-100kV
- Korona stvara negativne jone, čestice dimnog gasa se naelektrisavaju difuzijom i električnim poljem
- Električno polje potiskuje ka uzemljenoj taložnoj elektrodi migracionom brzinom 10-20cm/s

Sistem taložnih elektroda (realni snimak na postrojenju)



Ukupna površina:
20.000-60.000 m²
TIPIČNO: 40.000m²

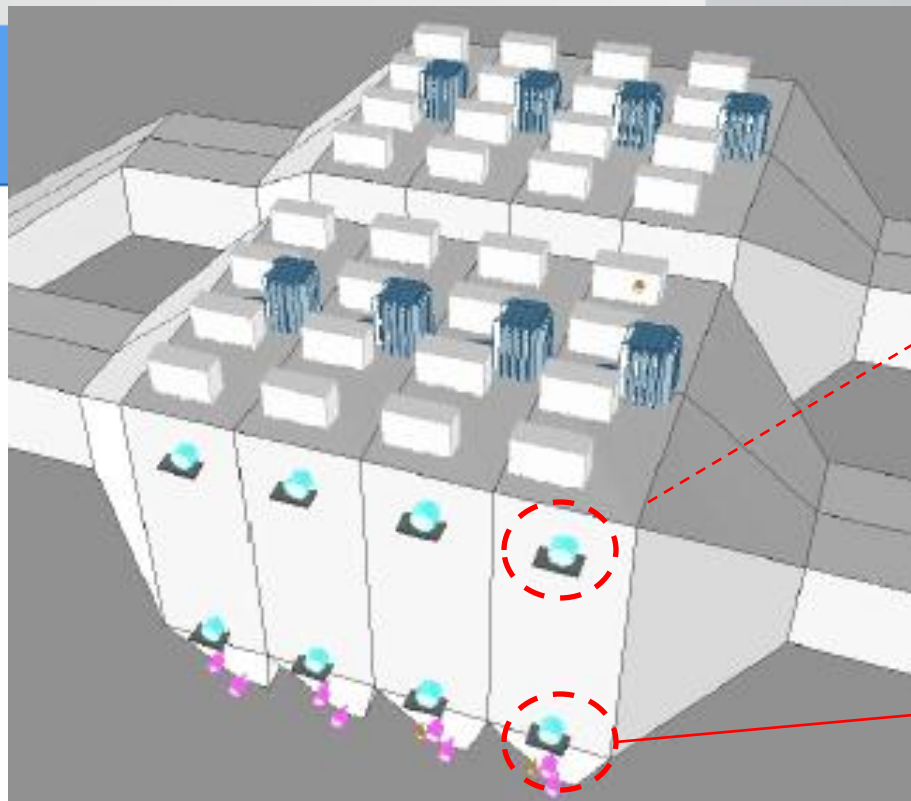
Rastojanje: 20-40cm
TIPIČNO: 30cm

Sistem emisionih elektroda (realni snimak na postrojenju)



-Ovaj sistem odlučujuće utiče na koronu

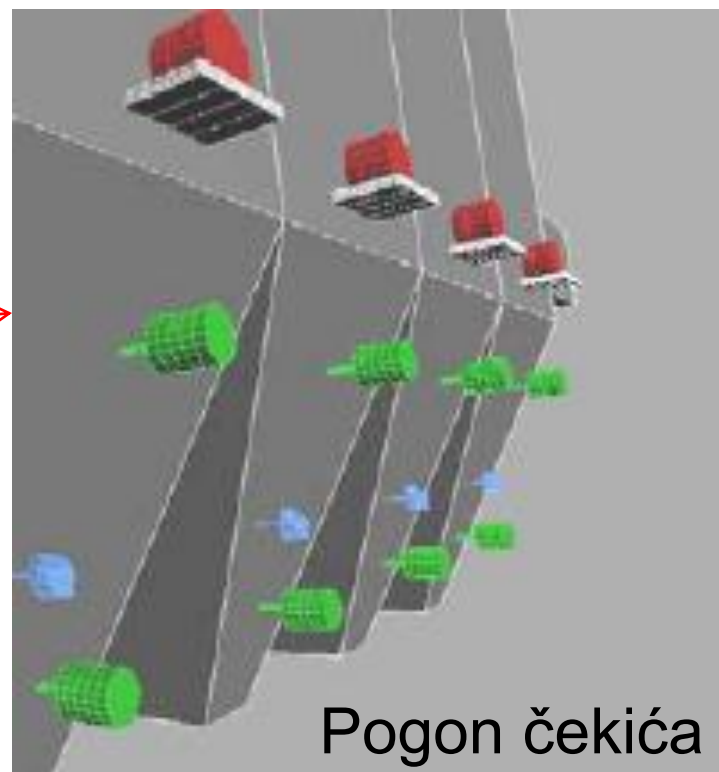
-Mali poluprečnik krivine na ivicama uvećava polje



SISTEM POGONA OTRESAČA

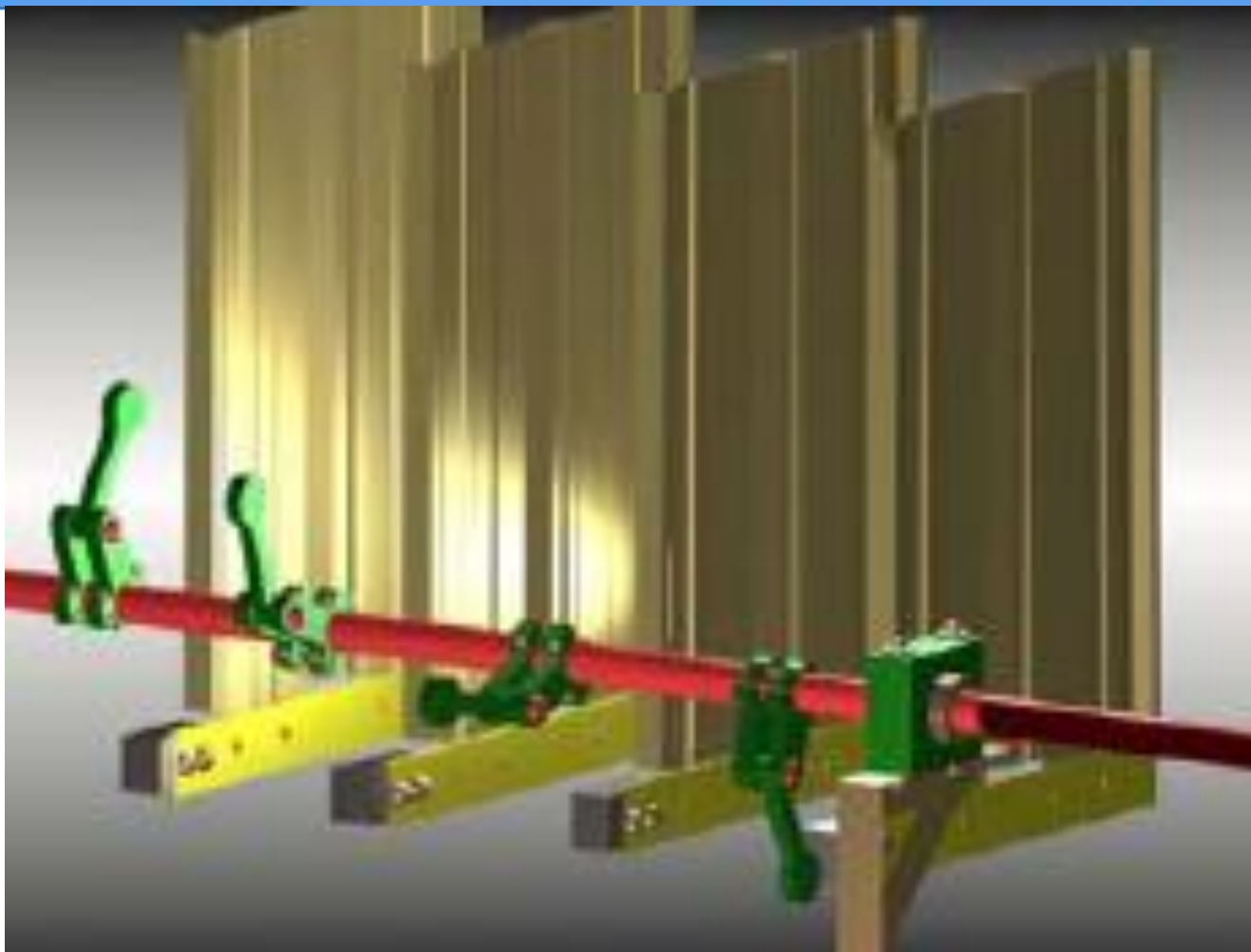


Sistem za vešanje taložnih elektroda



Pogon čekića

UDARNI SISTEM (rotirajući čekići) za OTRESANJE

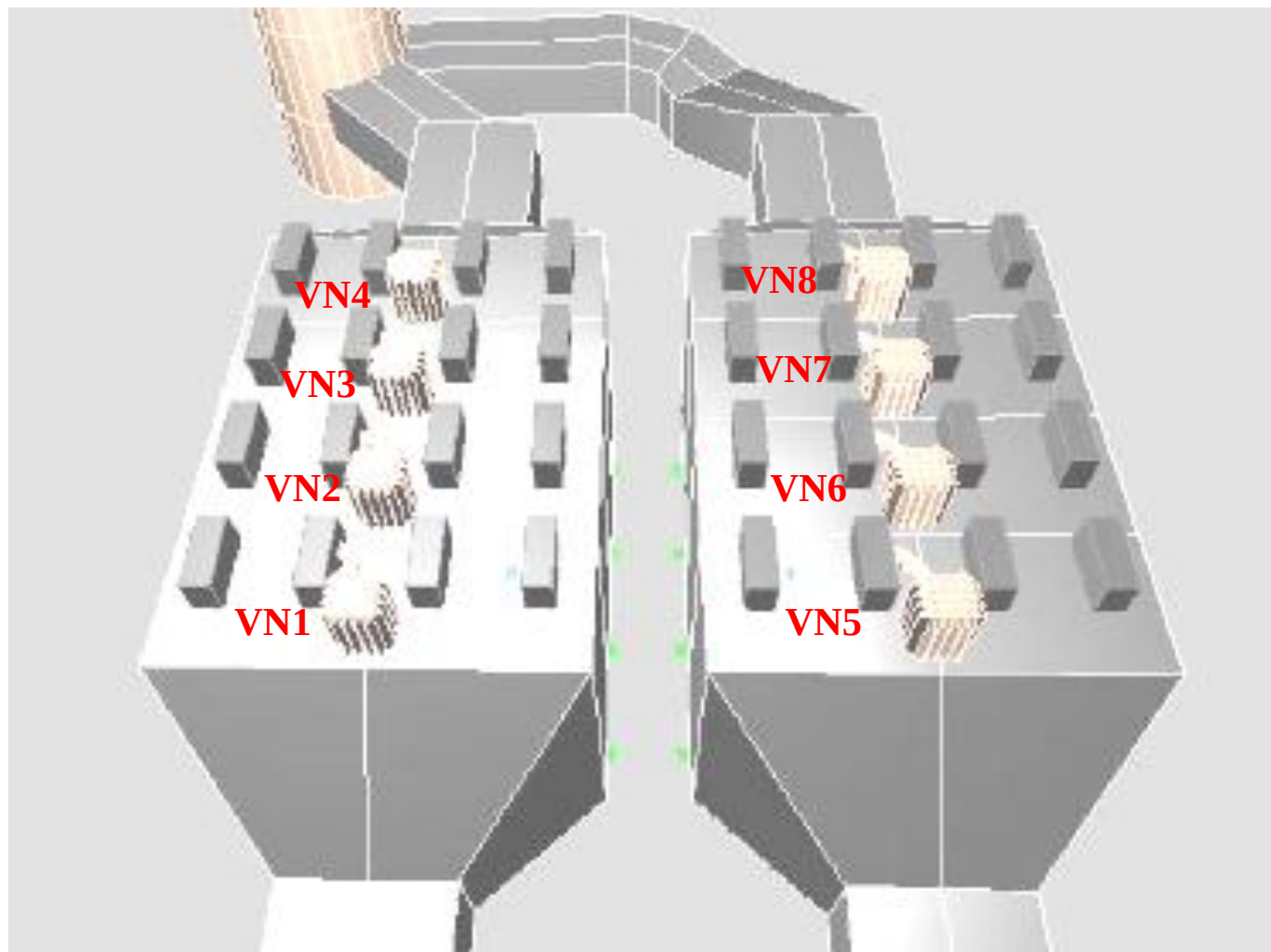


Sistem otresanja je veoma bitan sa stanovišta povratne korone

Ustvari veoma je bitno USKLAĐIVANJE sistema elektrostatičkog izdvajanja i sistema udarnog otresanja

POVRATNA KORONA?

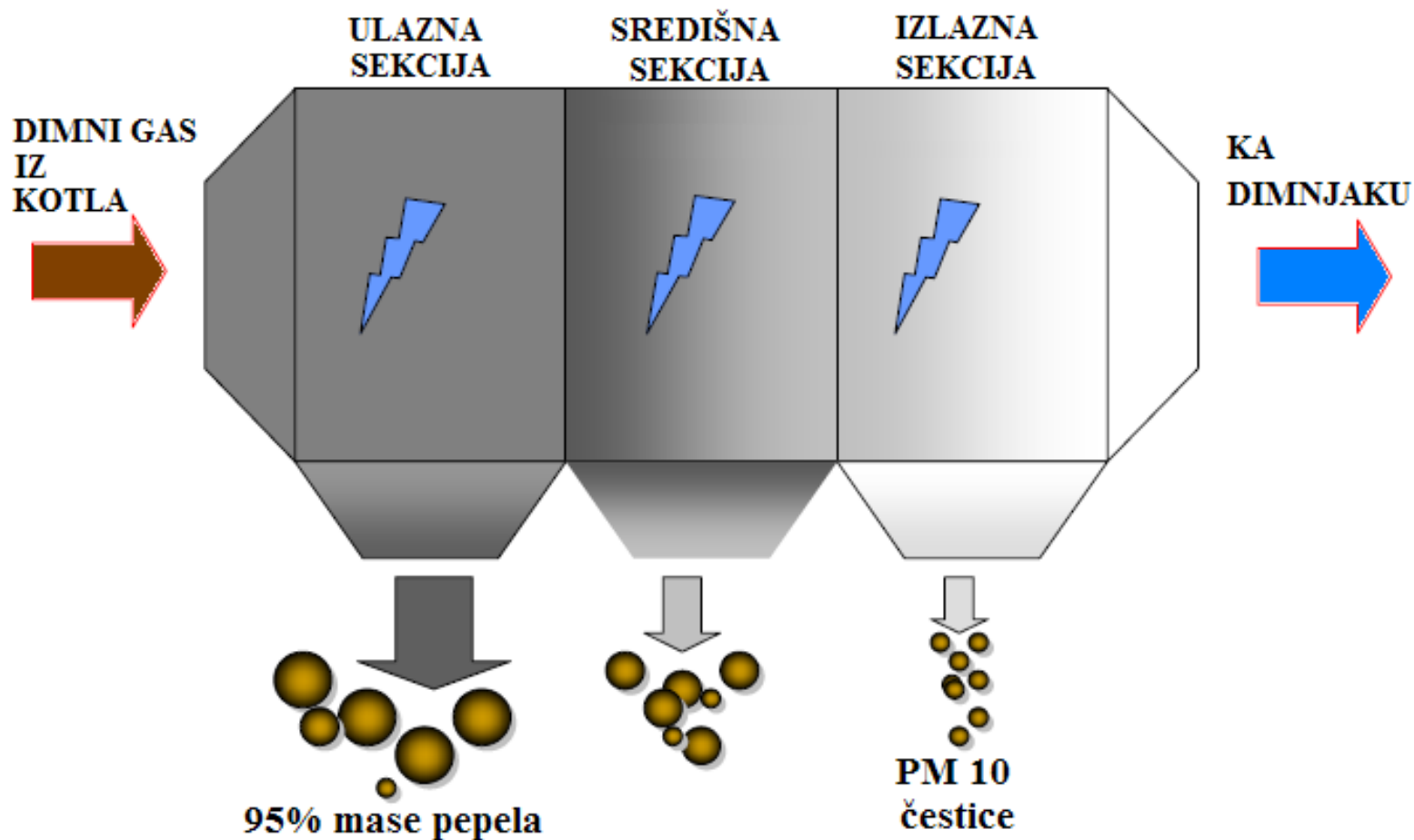
Energetski zahtevi za ESI postrojenjem



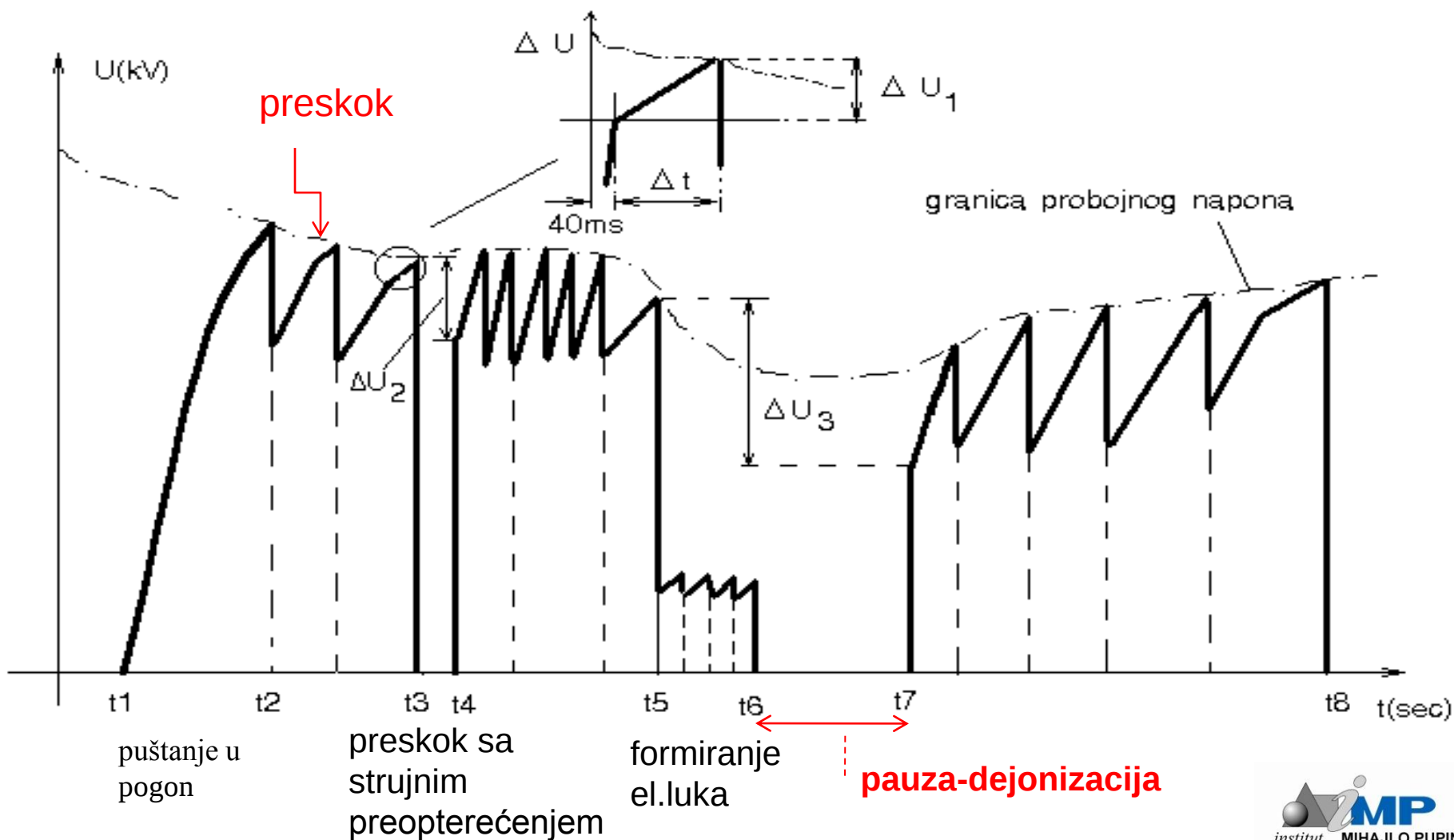
Izlazni parametri VN jedinica (tipično za jedan blok na TE):

- taložne komore
100kV DC /1A
100kW
- ulazno napajanje
3x400V, 50Hz
120-130kVA
- 8 VN jedinica troši
ukupnu prividnu
snagu ≈ 1 MVA

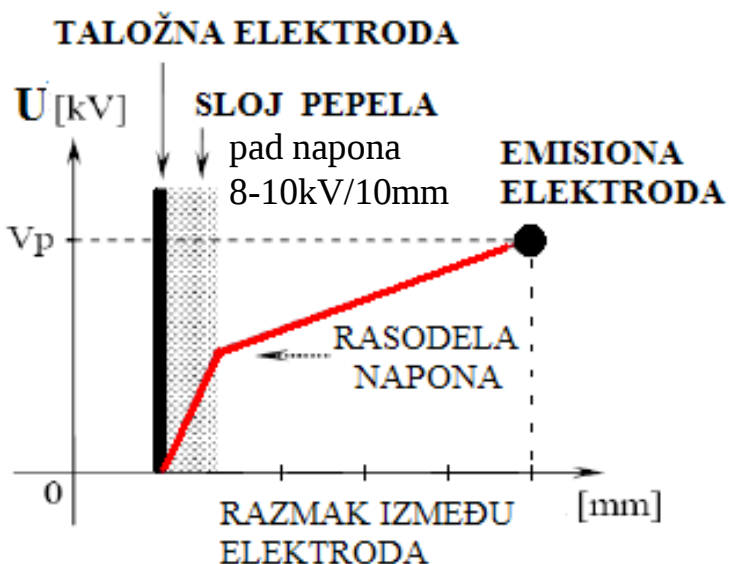
IZGLED TROSEKCIJSKOG IZDVAJAČA



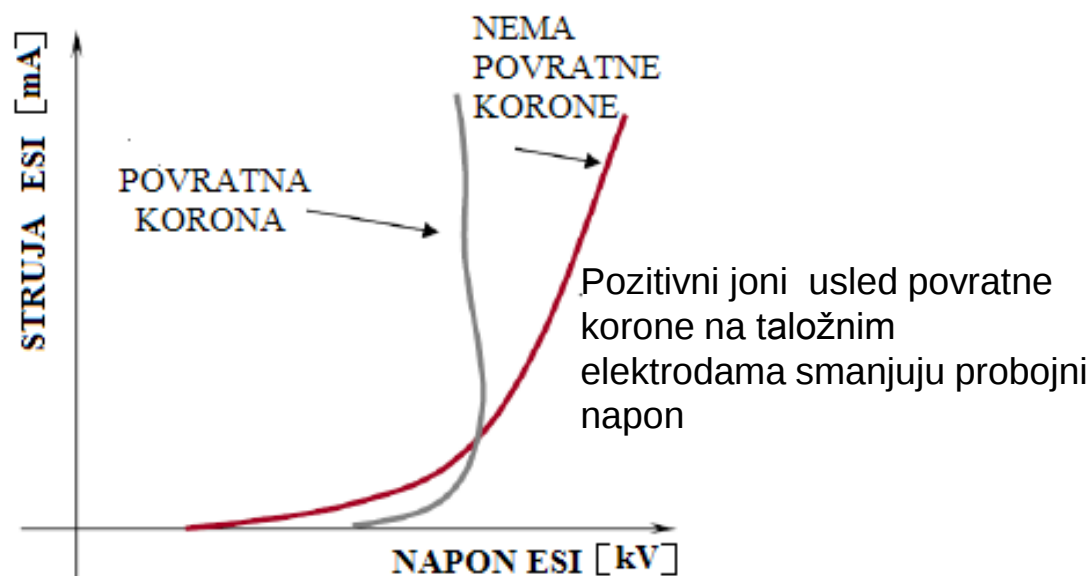
Karakteristična vremenska promena napona ESI tokom jednog ciklusa izdvajanja



Efekat povratne korone u taložnoj komori



raspodela potencijala,



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 $10^{12}\Omega m$)

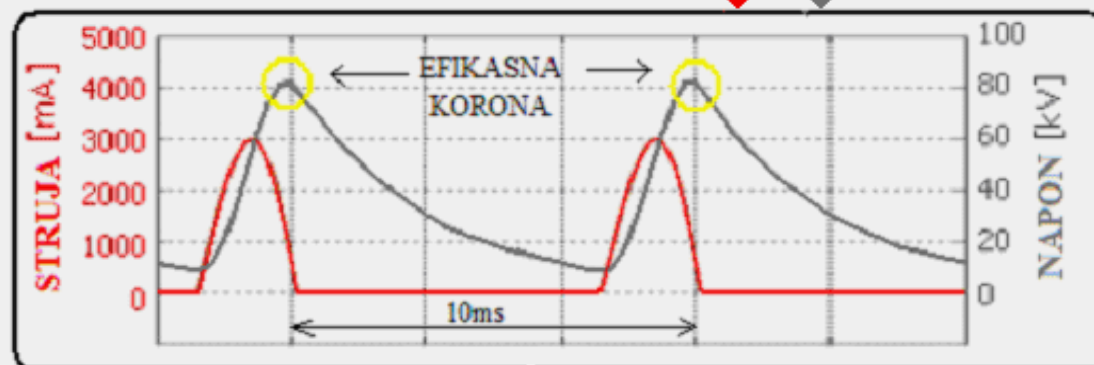
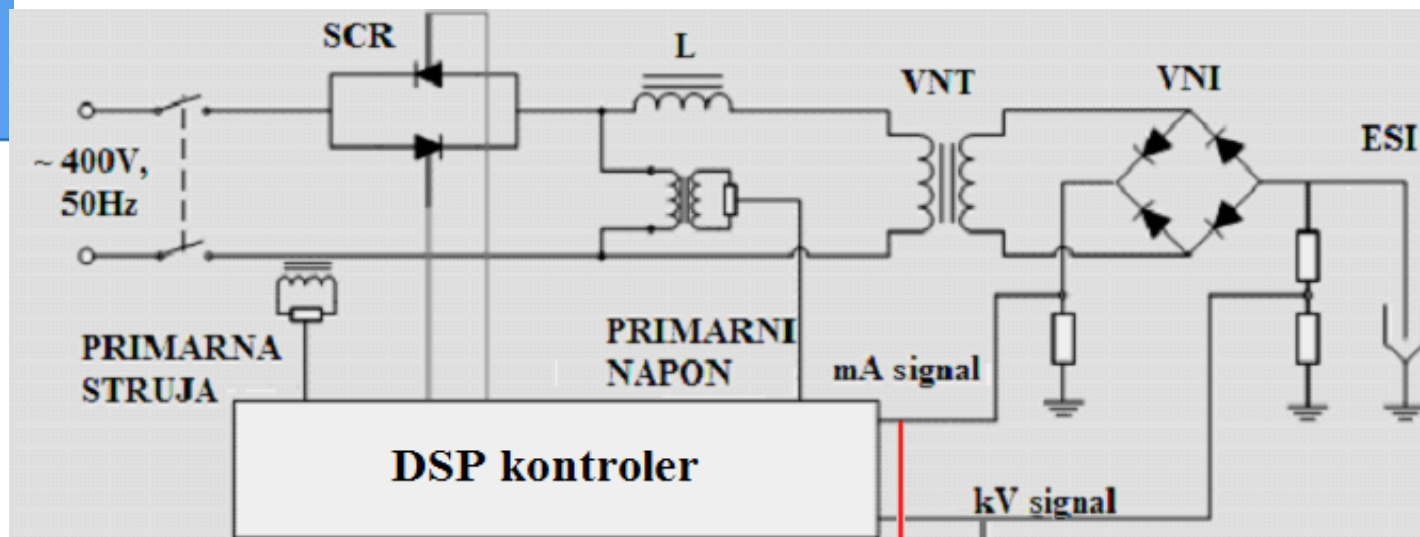
Negativni efekti povratne korone

- 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.

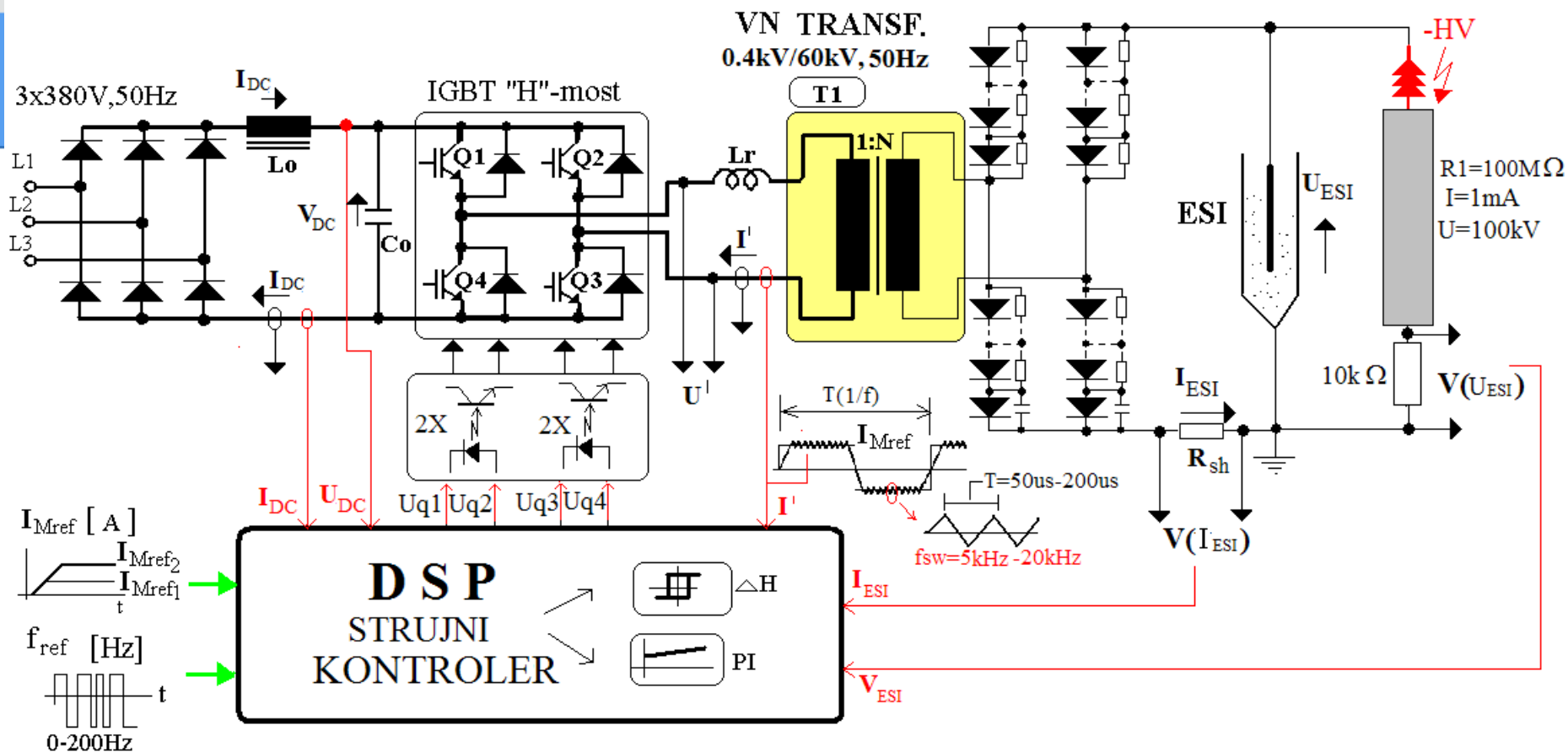
PROBLEMI KOD 50Hz-nog NAPAJANJA

- Kod uspostavljanja luka struja se ne može prekinuti tokom jedne mrežne poluperiode, do komutacije tiristora
- Ograničenje u korišćenju efikasne korone
- Velika energija luka degradira kako taložne tako i emisione elektrode
- Loš faktor oblika linijske struje
- Velika reaktivna te stoga i prividna snaga
- Mali stepen korisnog dejstva

KONKRETNI PROJEKTI u okviru kojih su razvijena i realizovana tiristorska napajanja ESI

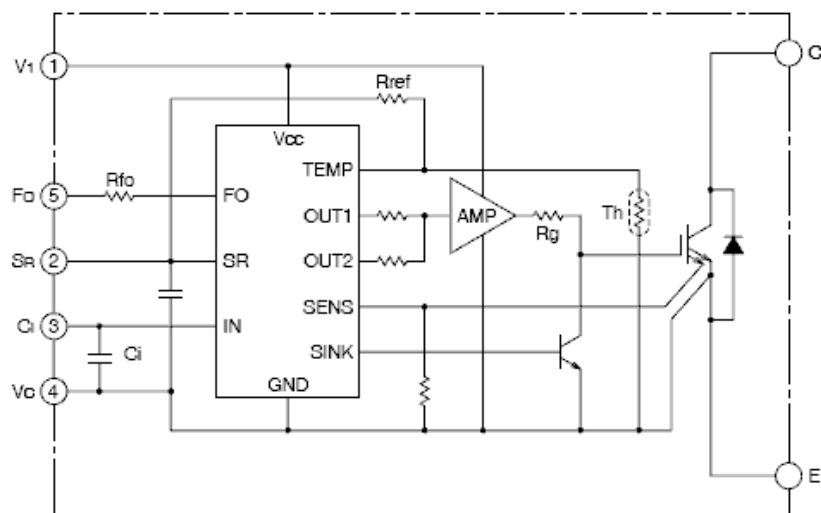
- U periodu 2000-2002 u sklopu rekonstrukcije postrojenja na TE "Kolubara"-V.Crljeni, u saradnji Instituta "Mihajlo Pupin", Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i firme SCHRAKOM- Srbija izvršena je optimizacija rada analognog upravljačkog sistema tiristorskog pretvarača visokonaponskog elektrostatičkog filtera proizvodnje SCHRACK na kotlu 6 bloka A5 .
- U okviru projekta Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja **TR6610-**
"Razvoj tehnologije i uređaja za efikasnu elektrofiltraciju dima u termoelektranama i toplanama ", u okviru programa tehnološkog razvoja u oblasti energetske tehnologije i rudarstva, u periodu 2005-2008, u saradnji Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, Instituta "Nikola Tesla" i Instituta "Mihajlo Pupin", razvijena je nova tehnologija bazirana na tiristorskoj kontroli i intermitentnom režimu rada čime je značajno uvećana efikasnost elektrostatičkog izdvajanja čvrstih materija na termoblokovima.

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.

INTELIGENTNI IGBT PREKIDAČKI MODULI

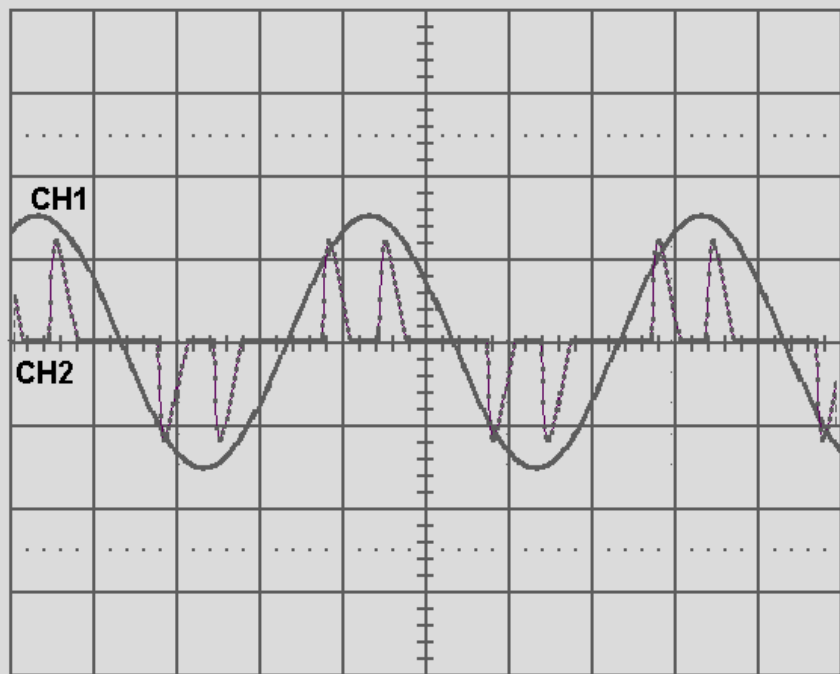


Interna arhitektura IGBT modula

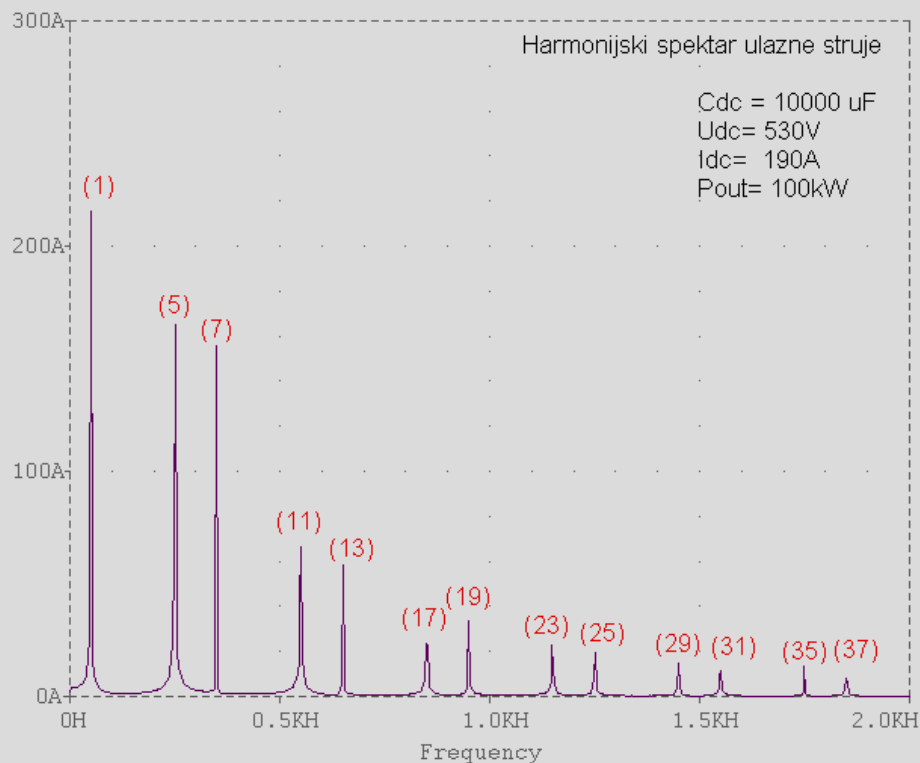
- Radne struje 300A-500A, radni napon 1200V
- Pobuda prekidača u H - mostu je ostvarena preko inteligentnih drajverskih kola integrisanih u samom IGBT modulu.
- U drajverskom kolu su integrisane prekostrujna i nad temperaturna zaštita modula.



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

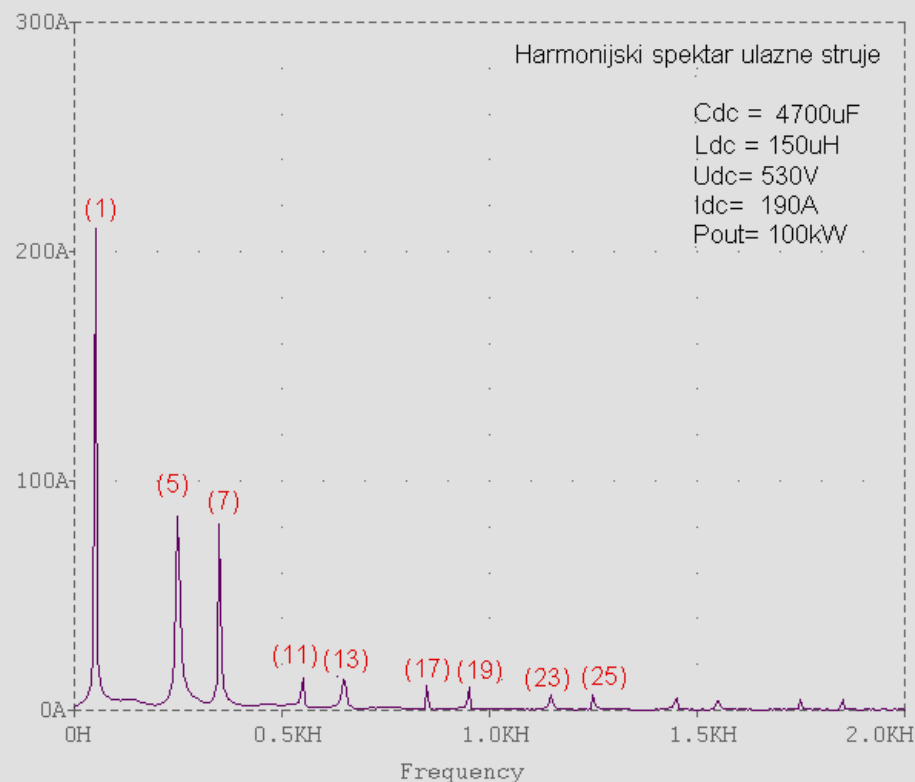
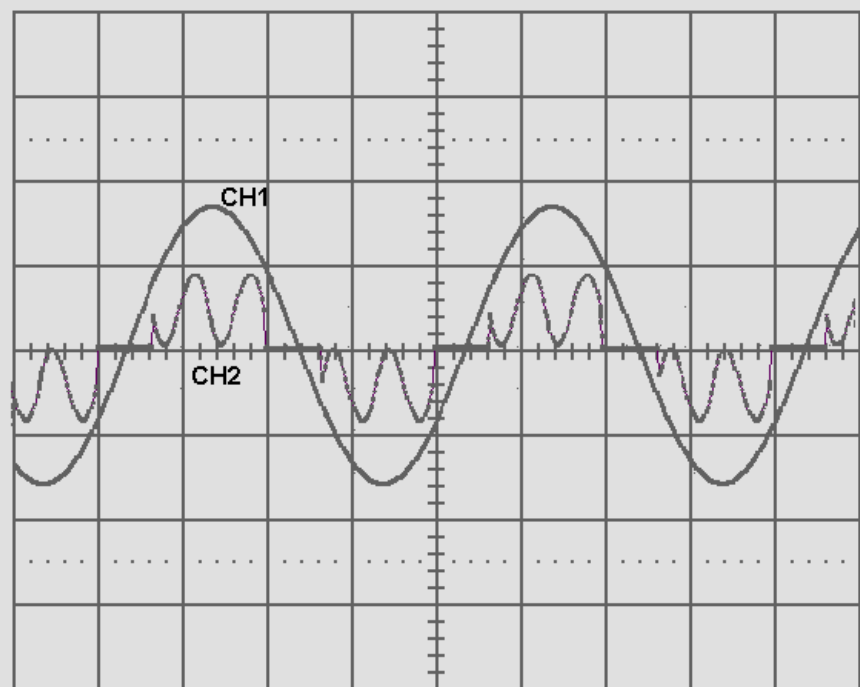


CH1: mrežni napon (napon jedne faze) 200V/c TIME: 5ms/c
CH2: mrežna struja (struja jedne faze) 500A/c



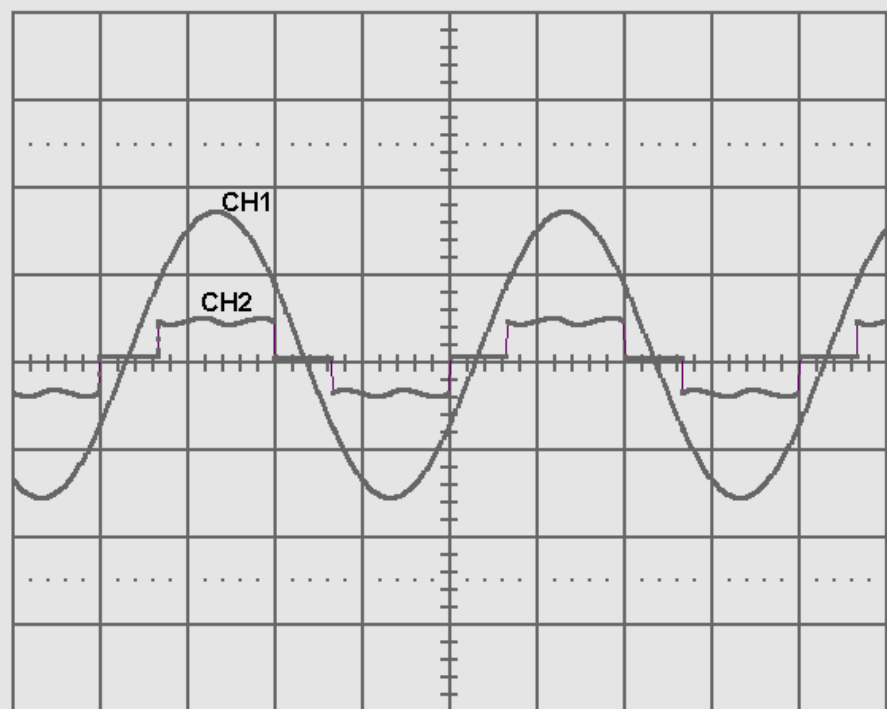
- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, ali zato dominiraju ostali
- Osnovni harmonik mrežne struje prednjači mrežnom naponu za relativno mali ugao (faktor snage prvog harmonika ima kapacitivni karakter)
- Bogat sadržaj harmonika uslovljava relativno velike efektivne vrednosti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

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



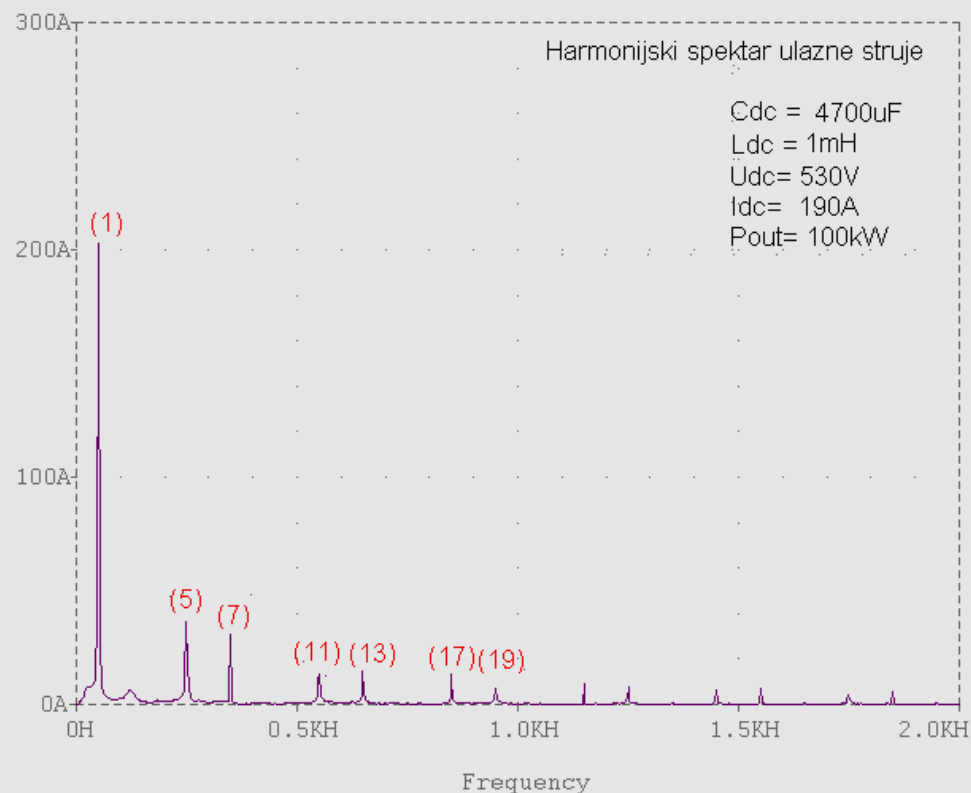
- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, ali zato redukovani ostali viši harmonici (5 i 7) i značajno redukovani 1 harmonici (11-25)
- Osnovni harmonik je skoro u fazi sa mrežnim naponom (faktor snage prvog harmonika ima omski karakter)
- Vršni ("crest factor") je relativno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

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



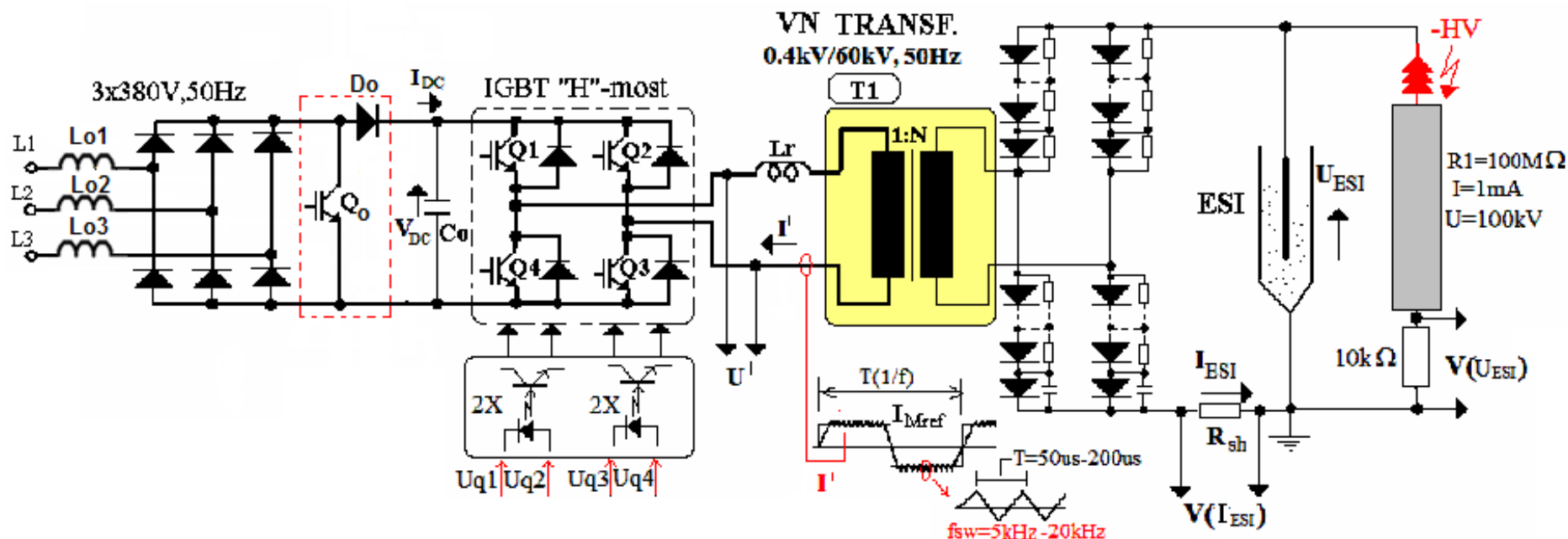
CH1: mrežni napon (napon jedne faze) 200V/c TIME: 5ms/c

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



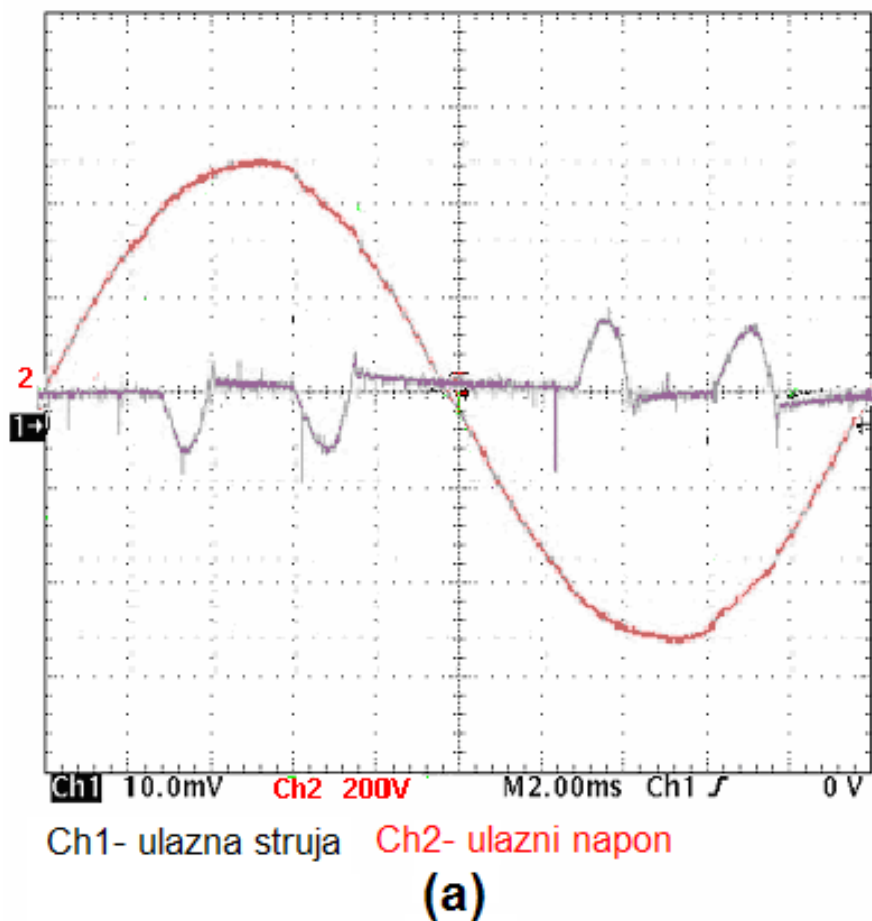
- Nema trećeg harmonika i svih harmonika deljivih sa tri u spektru, i značajno su redukovani svi viši harmonici
- Osnovni harmonik je u fazi sa mrežnim naponom (faktor snage prvog harmonika ima omski karakter)
- Vršni ("crest factor") je mali

Kolo za aktivnu korekciju faktora snage

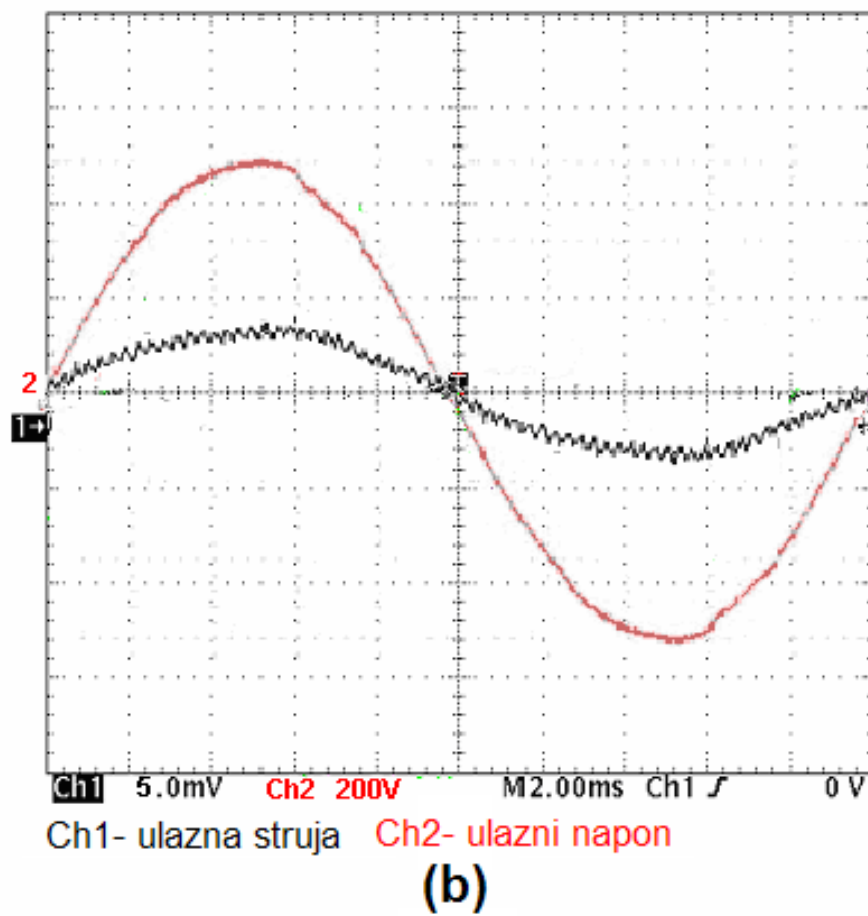


- Umesto prigušnice u DC međukolu se stavlja trofazna prigušnica na ulazu prema mreži
 - U DC međukolo se ugrađuje aktivno kolo sa IGBT tranzistorom Q_0 i diodom D_0 .
 - Elektrolit C_0 ostaje u DC međukolu kolu
 - L_{01} - L_{03} , Q_0 , D_0 i C_0 čine AKTIVNI FILTAR kojim se vrši tzv. aktivna korekcija faktora snage
 - Napon u DC među kolu zbog podizача napona je uvećan (650-700V)
 - Elementi C_0 i D_0 , 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

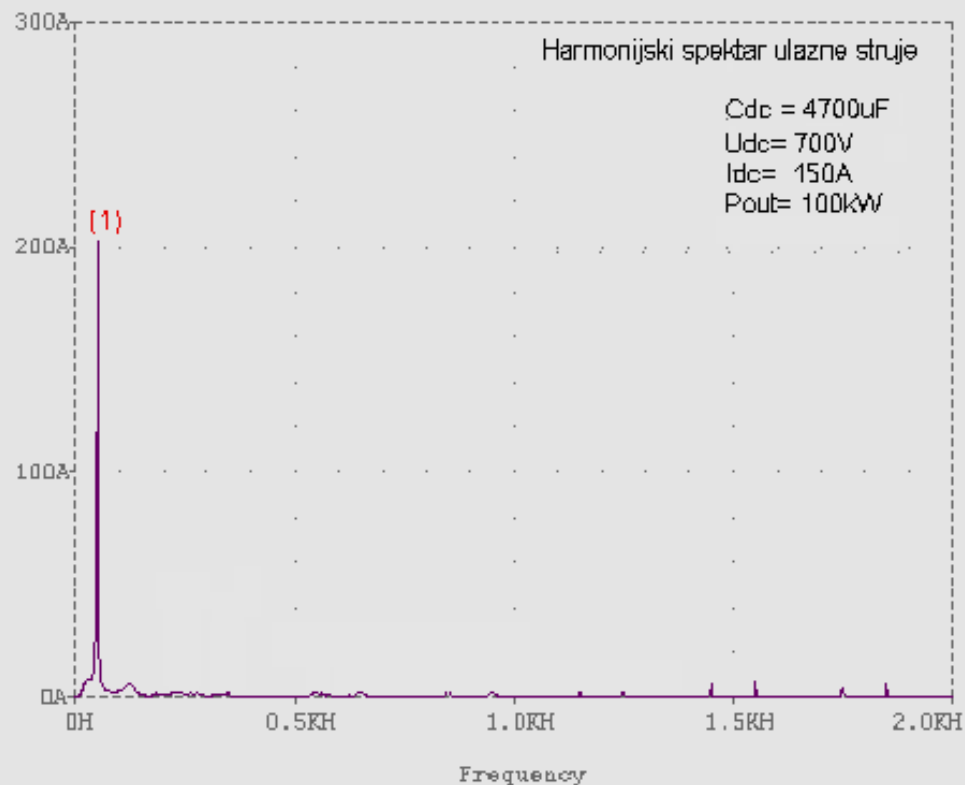
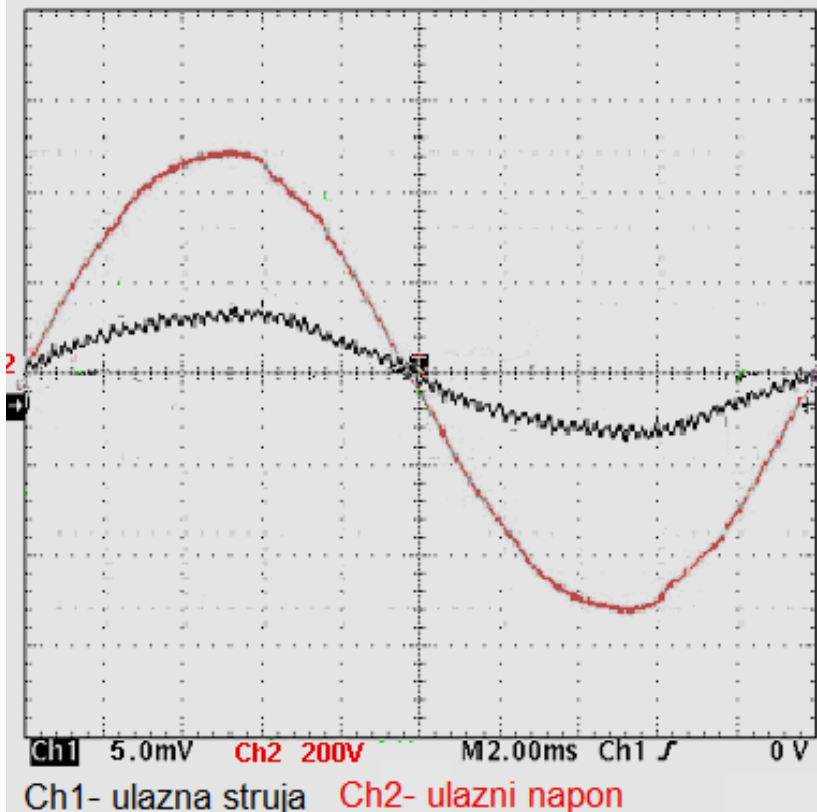


Talasni oblici za slučaj Lo - Co pasivnog filtra u DC međukolu



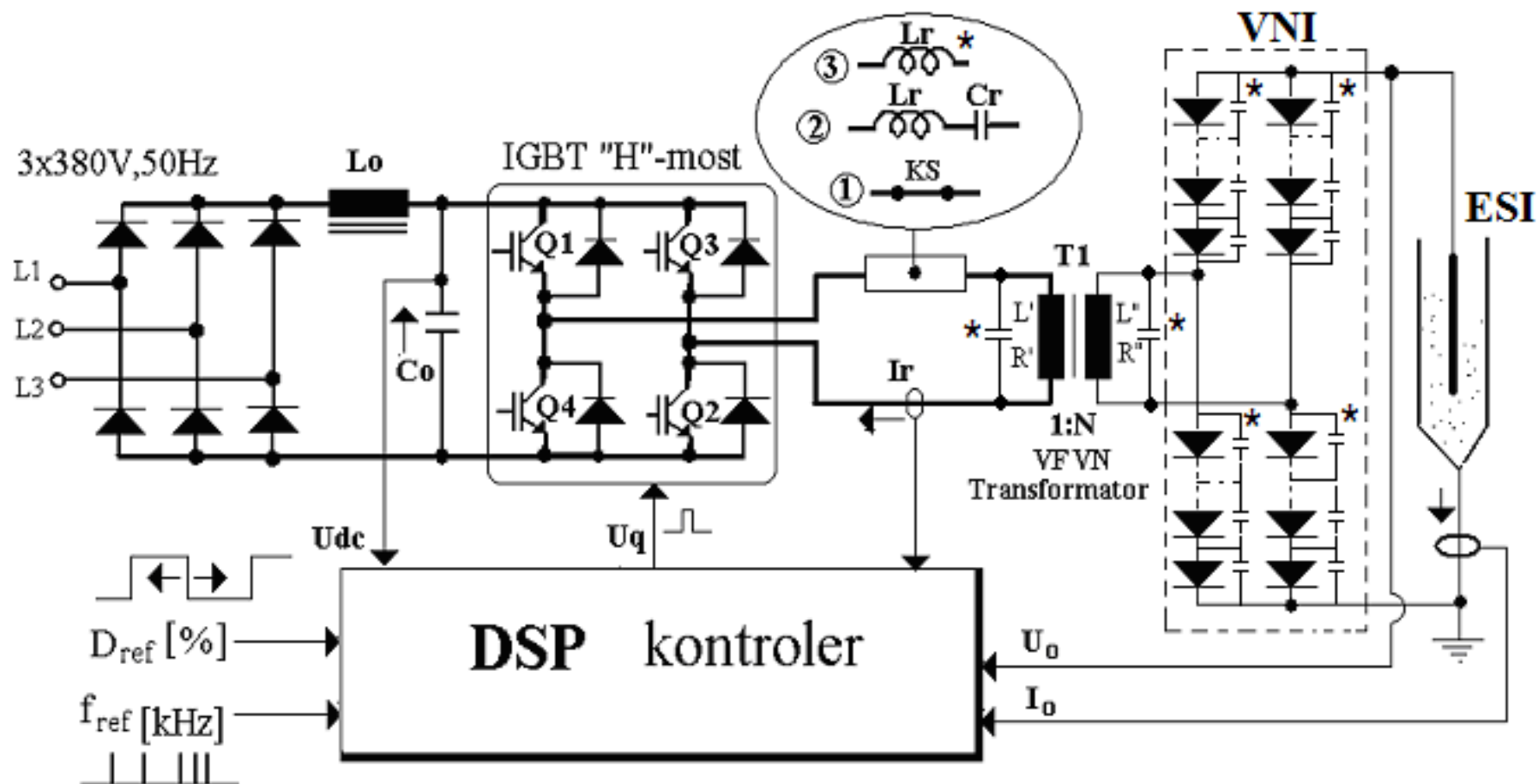
Talasni oblici za slučaj aktivnog filtra

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

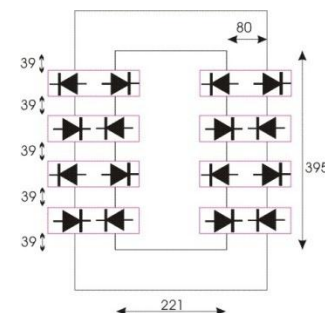
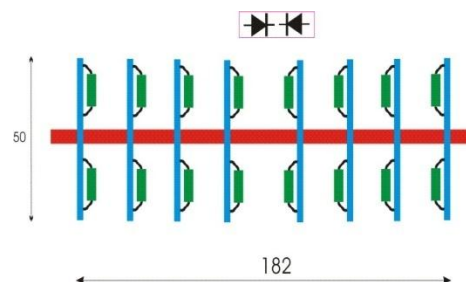
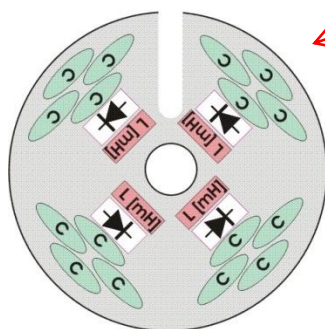
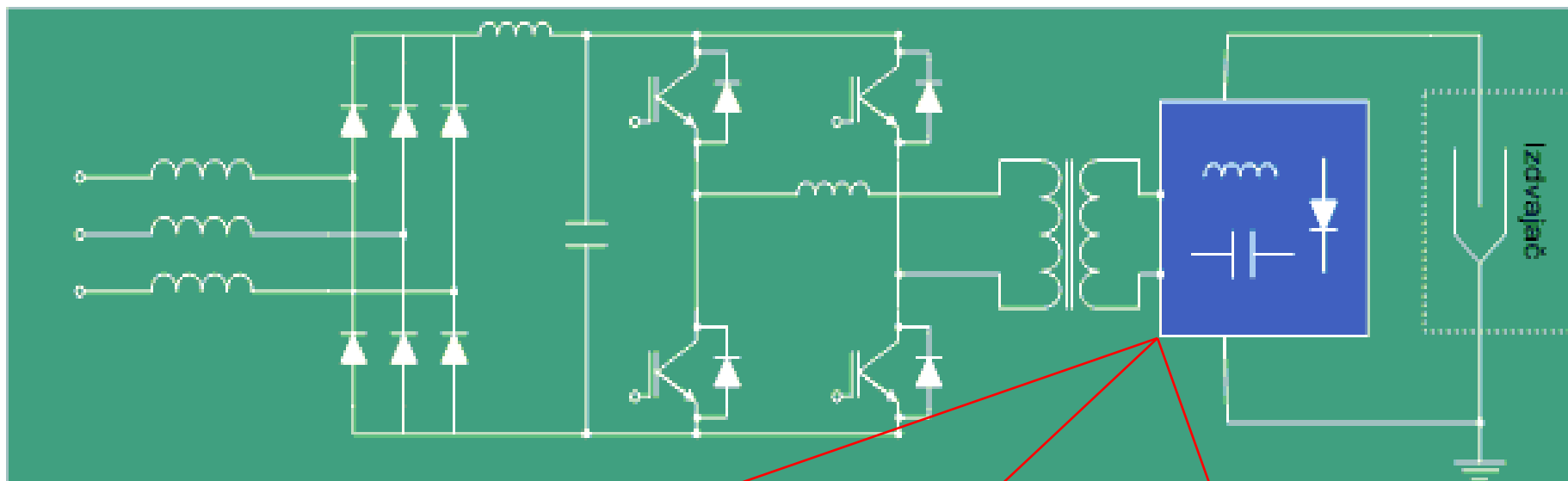


(1)- rad u tzv."hard switching" režimu (2)-Rezonantna topologija (NWL), (3) Multirezonatna topologija

Multirezonatna LC kola

- 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.

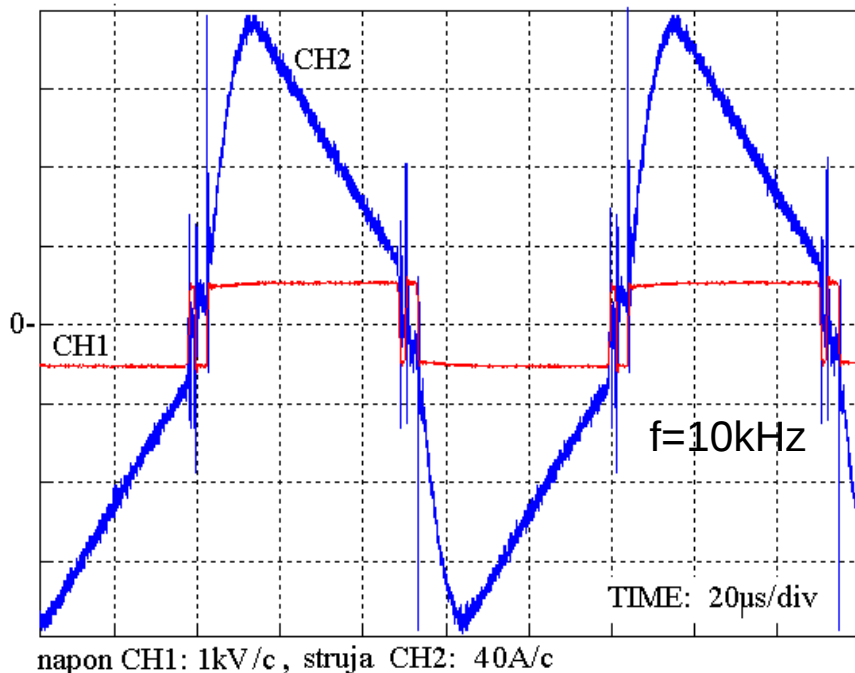
TOPOLOGIJA MULTI-REZONANTNOG VNVF NAPAJANJA AR70 (100)/1000



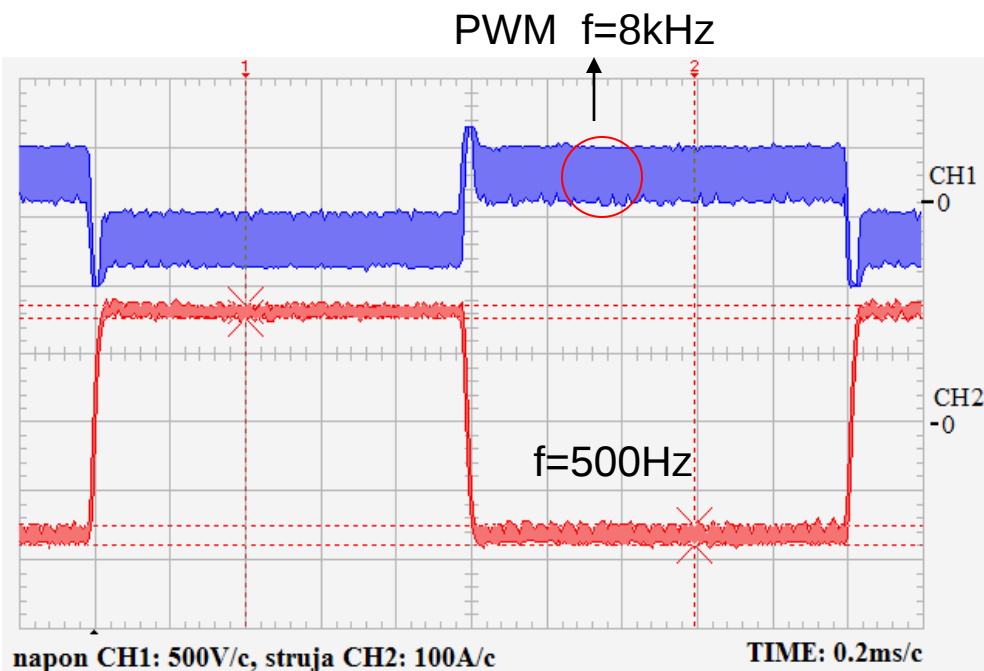
3x400V, 50Hz / 70kV (100kV) DC, 1000mA

PREKIDAČKA EFIKASNOST MULTI REZONANTNE TOPOLOGIJE

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

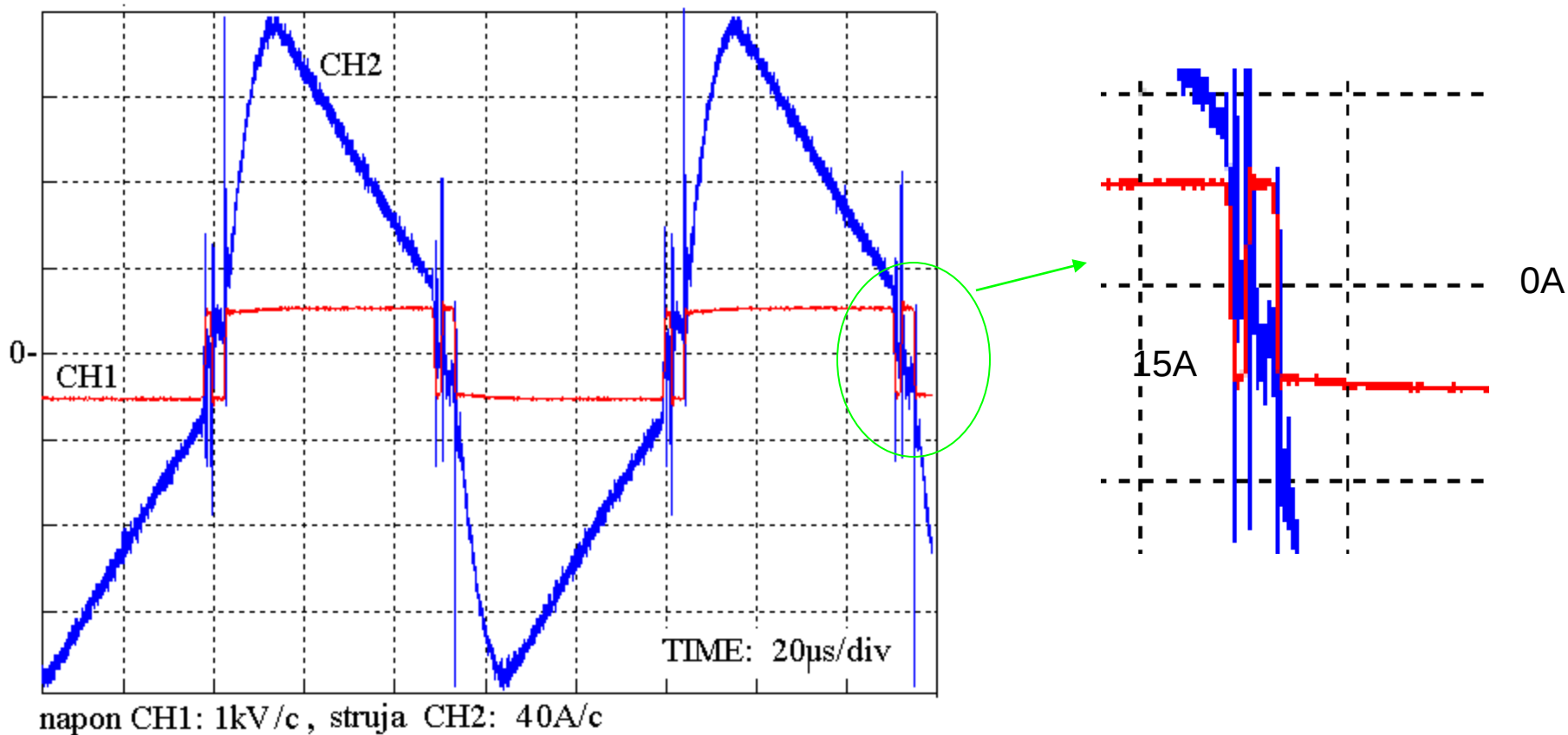


Snimci napona i struje primara transformatora multi-rezonantnog VF napajanja pri punom opterećenju; $U_o=100\text{kV}$, $I_o=1\text{A}$



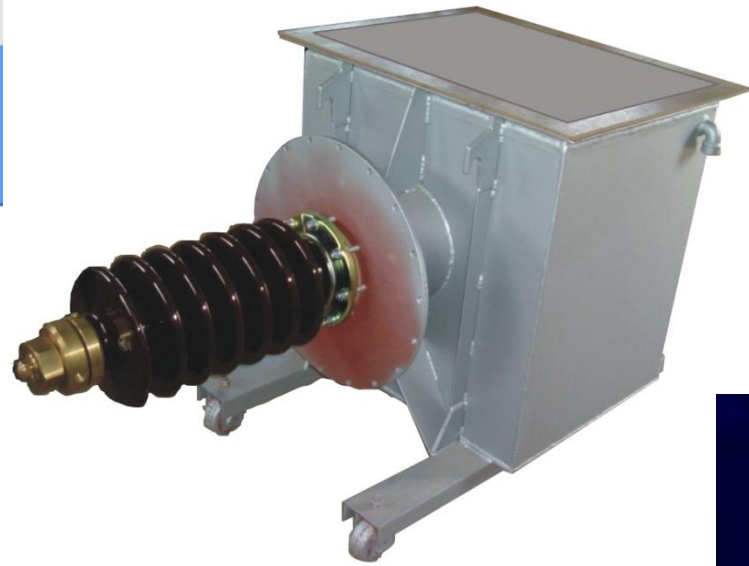
Snimci napona i struje primara 50Hz-nog transformatora retrofitnog napajanja pri punom opterećenju; $U_o=100\text{kV}$, $I_o=1\text{A}$

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



POBOLJŠANJA KOJE NUDI VF NAPAJANJE

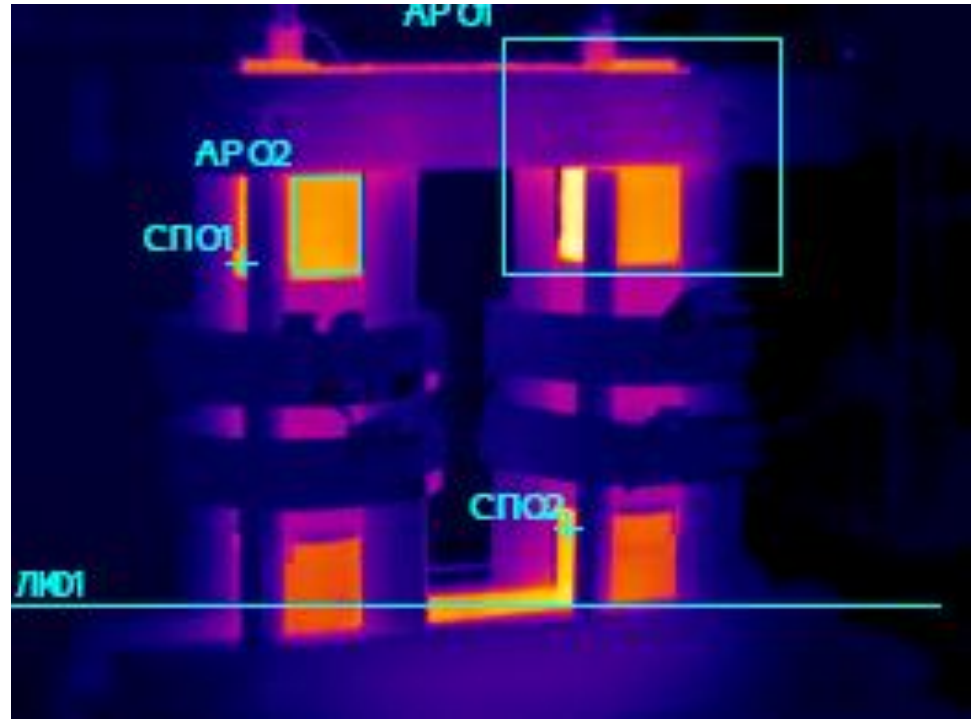
- Mnogo **precizniju kontrolu radnih parametara** ESI (kao što su napon i struja), od konvencionalnog 50Hz-nog
- **Znatno brži porast napona** ESI i *znatno brži odziv* na promene opterećenja u odnosu na konvencionalno 50Hz-nog
- Visoka učestanost obezbeđuje **značajno smanjenje veličine i težine** VN transformatora
- Kompaktniji dizajn uz **minimiziranje cene** ugradnje i održavanja.
- Visoka učestanost takođe obezbeđuje mnogo veću reaktansu transformatorskog jezgra i shodno tome **bolju efikasnost izvora napajanja**
- Naročita prednost VF napajanja ESI se odnosi na **sposobnost modulacije izlaznog napona**
- Uštede na elektrodnom sistemu do 30% (manje dimenzije i manja količina čelika)



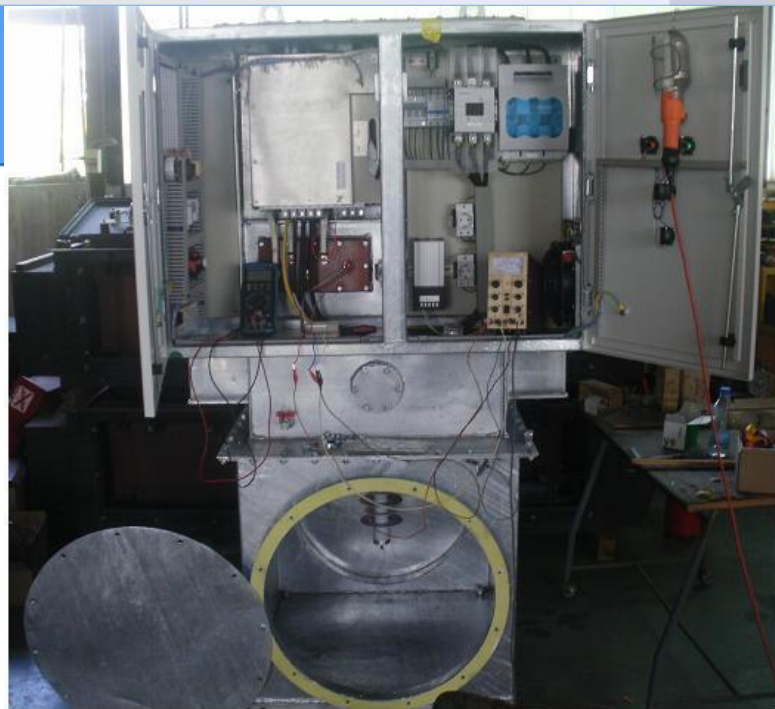
Izgled uređaja AR70/1000

3x400V, 50Hz/ 70kV DC , 1000mA

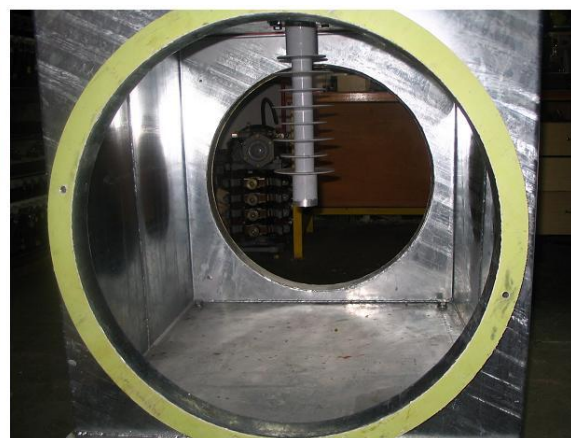
Raspodela
temperature u
feritnom jezgru



Izgled uređaja AR100/1000

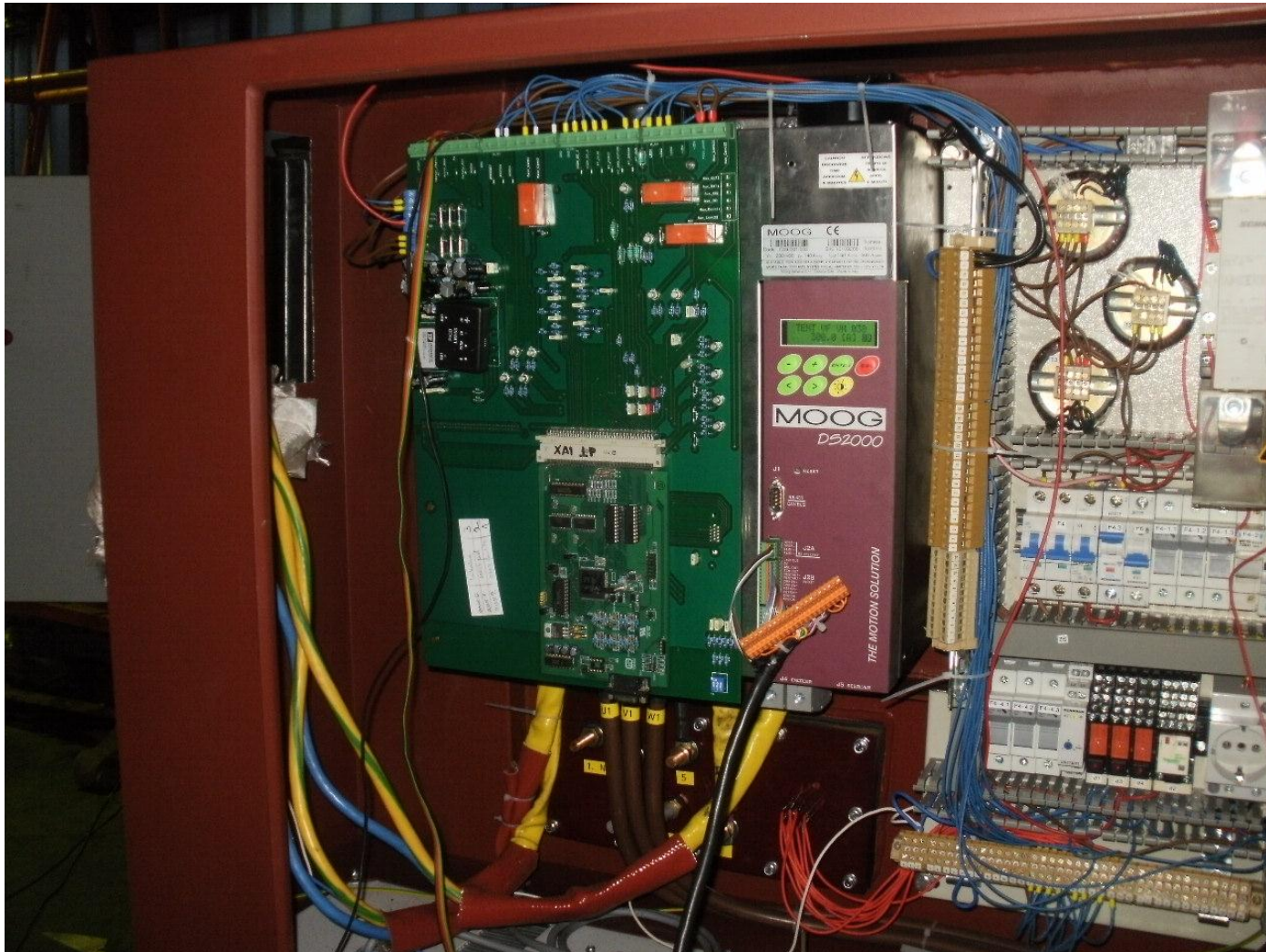


VN
ispravljač

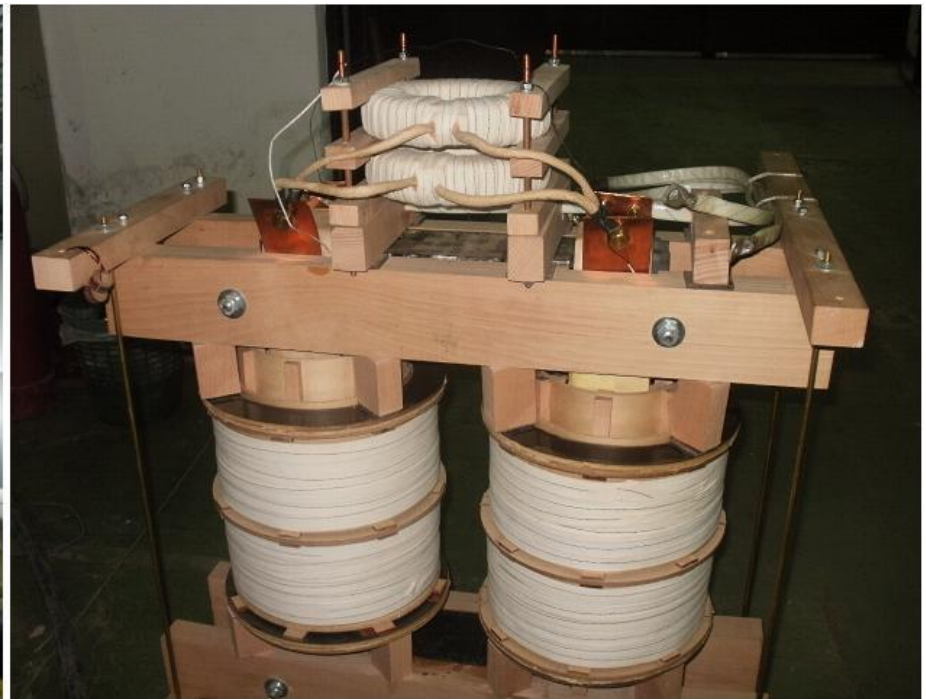


VN
Izlaz 100kVDC
/1A

Energetski pretvarač i DSP upravljački uređaj u sklopu napojne jedinice AR100/1000



Izgled VN VF transformatora u sklopu uređaja AR100/1000



VN VF transformator podizač napona 0.4kV/100kV, sa feritnim jezgrom, snage 100kW, radne učestanosti 10kHz

Izgled i mesto ugradnje hibridnog napajanja u realnom okruženju VF postrojenja na TE „Morava“



1-VF Rezonantni pretvarači
3x0.4kV, 50Hz/70kVDC/1A ,
proizvodnje NWL (2 kom)

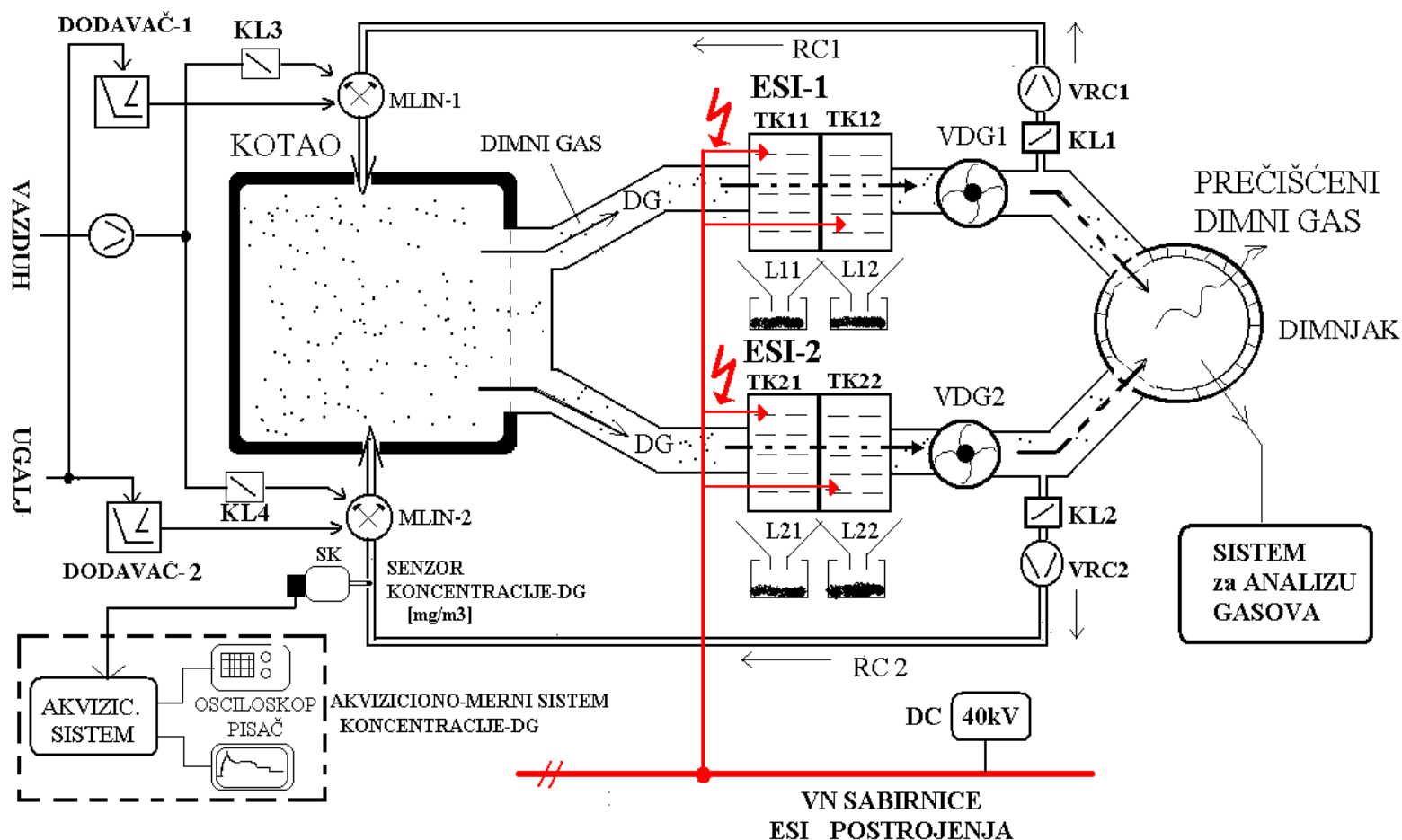
2-VF rezonantni pretvarač
AR70/1000, 3x0.4kV, 50Hz/70kV
DC/1A, proizvodnje ETF-Beograd
(1 kom.)

3-VNVF transformator podizač
napona 0.4 kV/70kV u sklopu
napajanja AR70/1000,

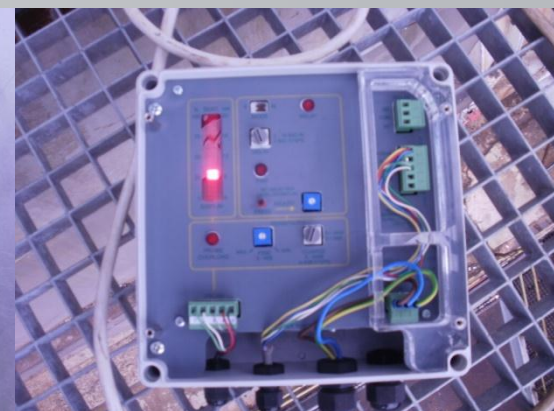
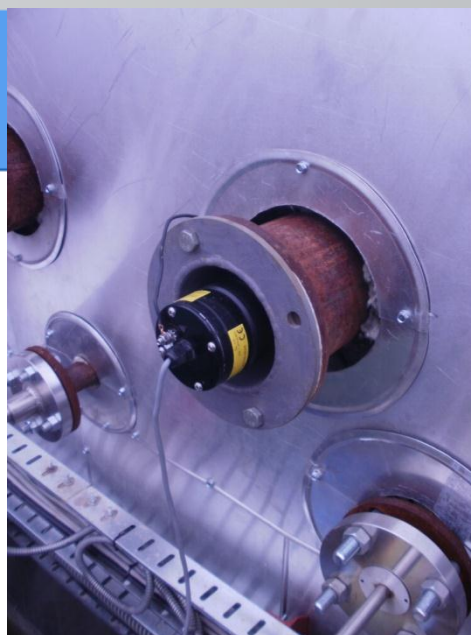
4- Hibridno napajanje ETF DBS
180 , 3x0.4kV,50Hz/70kV DC,
prividne snage 70kVA,
prilagođeno postojećem VN
transformatoru 50Hz.

5- Postojeći VN transformator
učestanosti 50Hz, 0.4/55kV,
prividne snage 55 kVA.

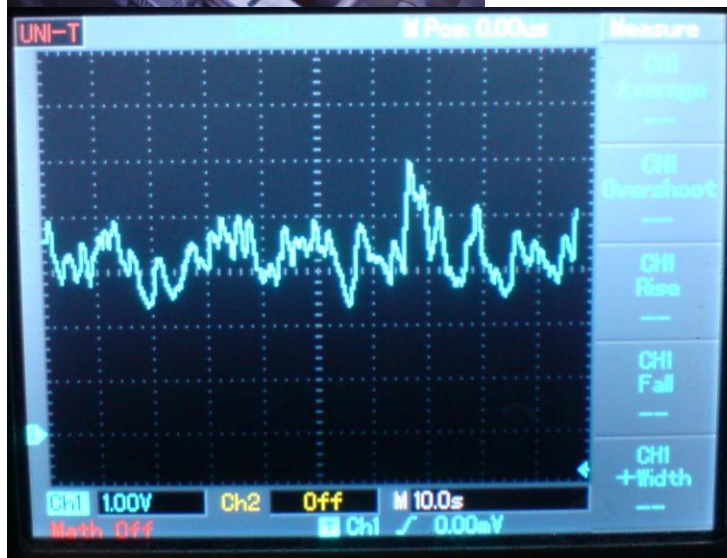
MERENJE EMISIJA-blok šema postrojenja ESI na TE "Morava"



DISPOZICIJA UGRAĐENE MERNE OPREME

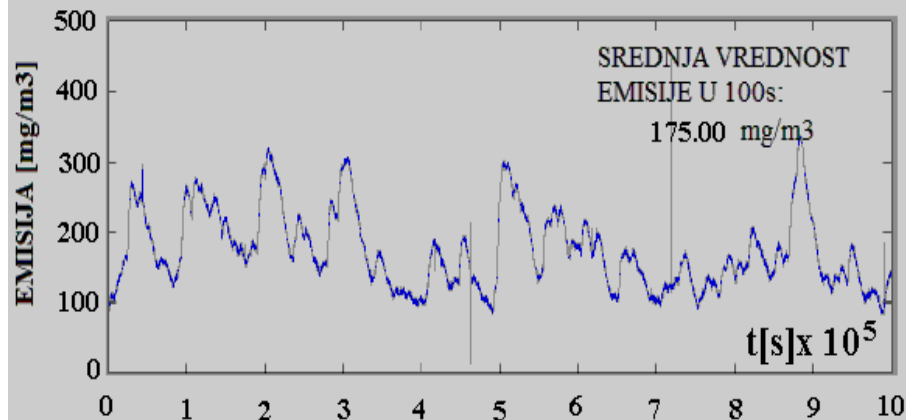


Merni sistem
KONCENTRACIJE
ČESTICA opseg
 $0\text{-}2000\text{mg}/\text{m}^3$



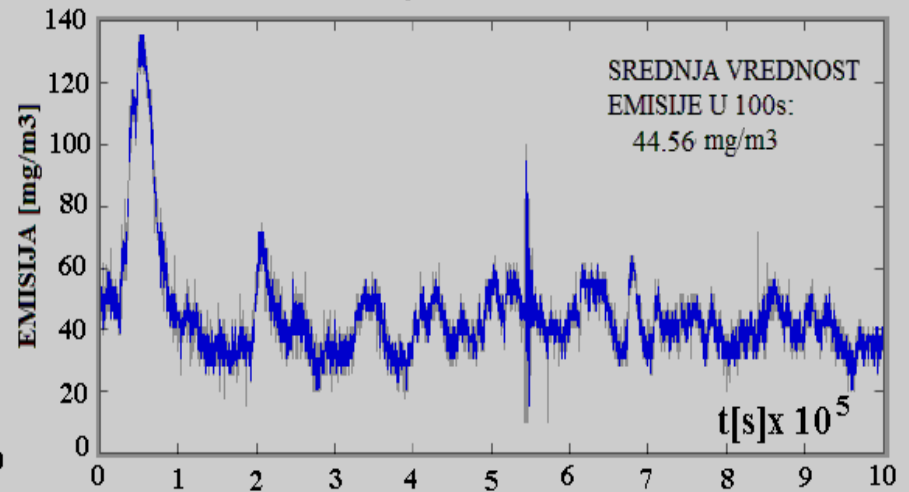
Merenje emisija i poređenje 50Hz-nih VNVF sistema

MERENJE EMISIJE -ukljucena dva 50Hz sistema



(a)

MERENJE EMISIJE -ukljucena dva VF sistema



(b)

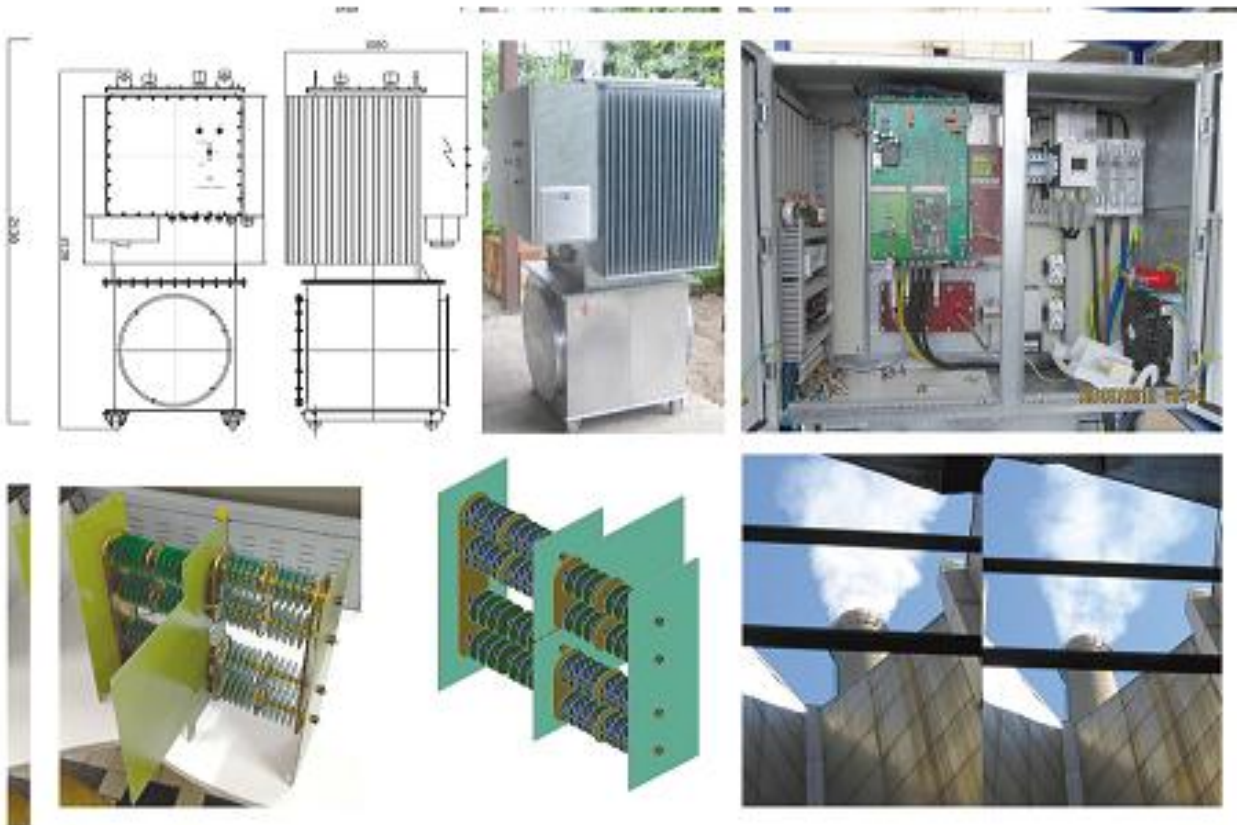
Izmerene vrednosti koncentracije na TE “Morava”

(a) VF sistem , (b) sistem 50Hz

PROJEKTI u okviru kojih su razvijena i realizovana VNVF napajanja

- U okviru projekta **TR21007**, Ministarstva nauke i zaštite životne sredine: *"Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagađenja u industriji i elektroprivredi"*, u okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008-2011, su razvijena i testirana dva tipa novih i savremenih napajanja ESI: retrofitno (hibridno) i VF napajanje bazirano na multirezonantnoj topologiji
- Poređenje eksploatacionih karakteristika VF sistema i tiristorskih 50Hz-nih sistema napajanja u kontroli ESI su sadržani u rezultatima istraživanja na Projektu **TR33022**, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije: *"Integrisani sistemi za uklanjanje štetnih sastojaka dima i razvoj tehnologija za realizaciju termoelektrana i energana bez aerozagađenja"*, u okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 01.01.2011-31.12.2015.

Hvala na pažnji !!!



Beograd, Decembar 2015