

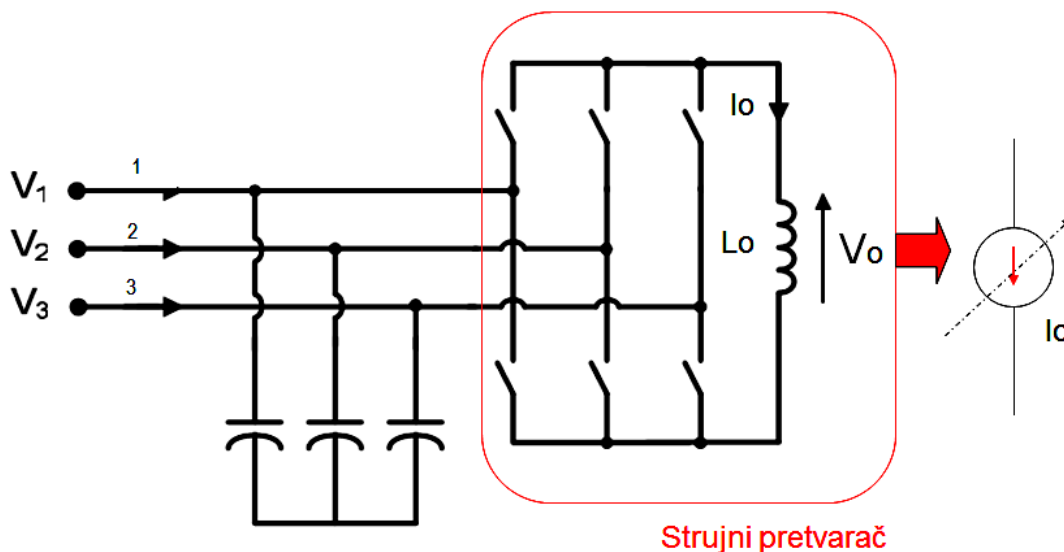
TRANZISTORSKI KOMPENZATORI REAKTIVNE ENERGIJE

U novije vreme značajan napredak u kompenzaciji reaktivne energije, odnosno reaktivne snage nalaze prekidački pretvarači bazirani na tranzistorskim (obično IGBT) topologijama. Ideja za primenom ovih tipova pretvarača je proistekla iz činjenice da se generiše ili apsorbira reaktivna energija, ali bez upotrebe velike (glomazne) i „zahtevne“ baterije kondenzatora ili reaktansi (prigušnica). Primenom ovih topologija energetskih pretvarača se značajno smanjuju troškovi koji se odnose na pasivne komponente, koje su uz to još i glomazne i skupe. Olakšavajuća činjenica u primeni prekidačkih (tranzistorskih) topologije je ta, što se cene snažnih elektronskih komponenata i pripadajuće upravljačke elektronike nalaze u stalnom opadanju. Na tehnološkom tržištu ovih prekidačkih sistema za kompenzaciju reaktivne energije, se izdvaja nekoliko rešenja, odnosno pristupa rešavanju tehničkih problema.

Standardni načini kompenzacije reaktivne energije, bazirane na primeni tranzistorskih elektroenergetskih pretvararača podrazumevaju korišćenje dve osnovne topologije VAr kompenzatora:

- topologija sa strujno kontrolisanim tranzistorskim pretvaračima
- topologije sa naponski kontrolisanim tranzistorskim pretvaračima

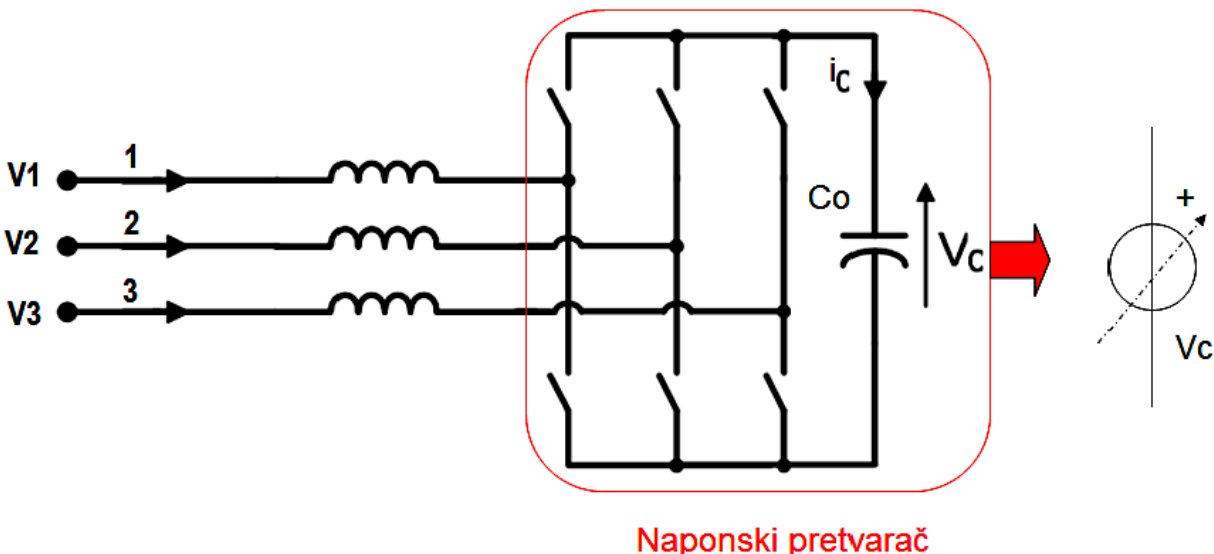
Na Sl.1 je prikazana osnovna topologija VAr kompenzatora baziranog na prekidačkoj strujnoj kontroli.



Sl.1. VAr kompenzator baziran na prekidački regulisanom strujnom pretvaraču

Osnovni elementi ove topologije su ulazni kapacitivni filter, fiksnog kapaciteta i izlazni punomosni prekidački (tranzistorski) pretvarač sa prekidačkom regulacijom struje kroz L_o prigušnicu, koja ustvari predstavlja opterećenje mosnog prekidačkog pretvarača. Prigušnica L_o se dimenzioniše tako da se cela grana u kojoj se ona nalazi, ponaša kao kontrolisani strujni ponor struje I_o . Izlazni napon pretvarača je V_o .

Na Sl.2 je prikazana osnovna topologija VAR kompenzatora baziranog na naponskoj prekidačkoj kontroli.



Sl.2. VAR kompenzator baziran na prekidački regulisanom naponskom pretvaraču

Osnovni elementi ove topologije su ulazni induktivni filter, fiksne vrednosti induktivnosti i izlazni punomosni prekidački (tranzistorski) pretvarač sa prekidačkom regulacijom napona na izlaznom kondenzatoru C_o , koji ustvari predstavlja opterećenje prekidačkog pretvarača. Kondenzator C_o se dimenzioniše tako da se cela grana u kojoj se on nalazi, ponaša kao kontrolisani naponski izvor konstantnog napona V_c . Struja punjenje kondenzatora je označena sa I_c .

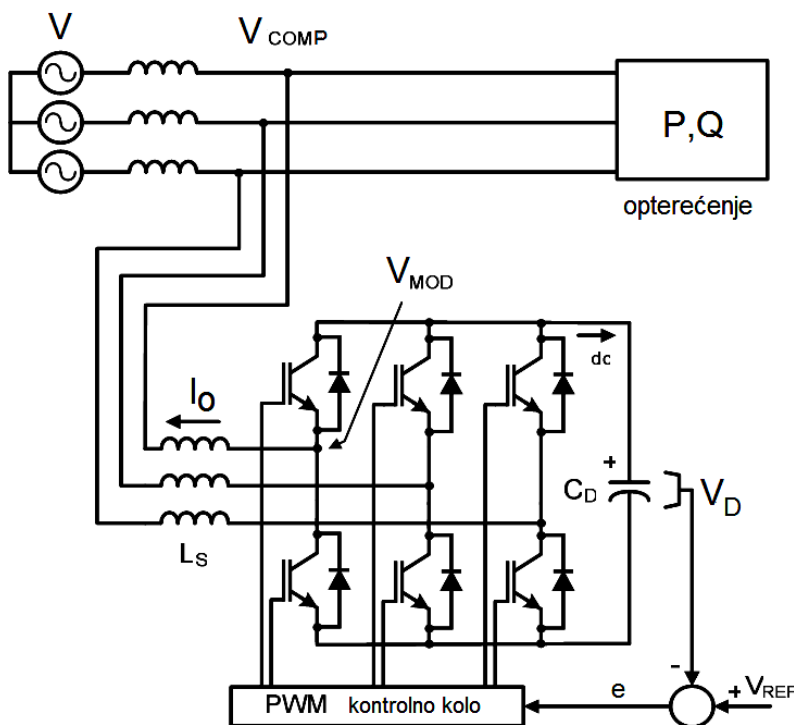
Prethodno pomenute topologije prekidačkih VAR kompenzatora pripadaju klasi tzv. „samo-komutujućih“ (ENG: „self-commutated“) energetskih pretvarača. Njima je moguće obezbediti:

- stabilizaciju prenosnog sistema
- poboljšanje naponske regulacije
- popravku faktora snage
- korekciju i kompenzaciju debalansa opterećenja

Pomenuti tipovi kompenzatora se mogu koristiti kao paralelni ili serijski kompenzatori.

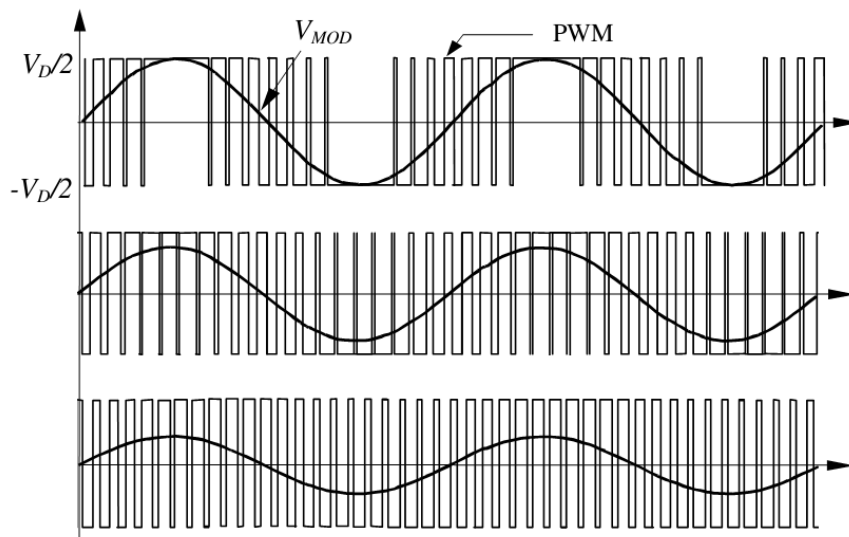
Na Sl.3. je prikazana topologija prekidačkog VAR kompenzatora sa naponskim IGBT pretvaračem (podizačem napona-tzv. „boost“). Ovaj pretvarač obezbeđuje kontrolu faznog pomeraja između napona na opterećenju V_{COMP} i napona na prekidačkom pretvaraču V_{MOD} . Kontrola reaktivne energije (snage) se ostvaruje podešavanjem amplitude osnovne komponente izlaznog napona pretvarača V_{MOD} .

Napon V_{MOD} je dobijen implementacijom pripadajućeg upravljačkog PWM kola i odgovarajućim PWM algoritmom. Stabilizacija napona na kondenzatoru C_D je ostvarena merenjem napona V_D na kondenzatoru, poređenjem sa zadatom (referentnom) vrednošću V_{REF} uz primenu odgovarajućeg PWM upravljačkog kola na koje se dovodi signal greške e .



Sl.3. VAr kompenzator baziran na prekidački regulisanom naponskom pretvaraču

Talasni oblici napona kompenzatora V_{MOD} i upravljačkog PWM signala za različite vrednosti modulacionog indeksa su prikazani na Sl.4.

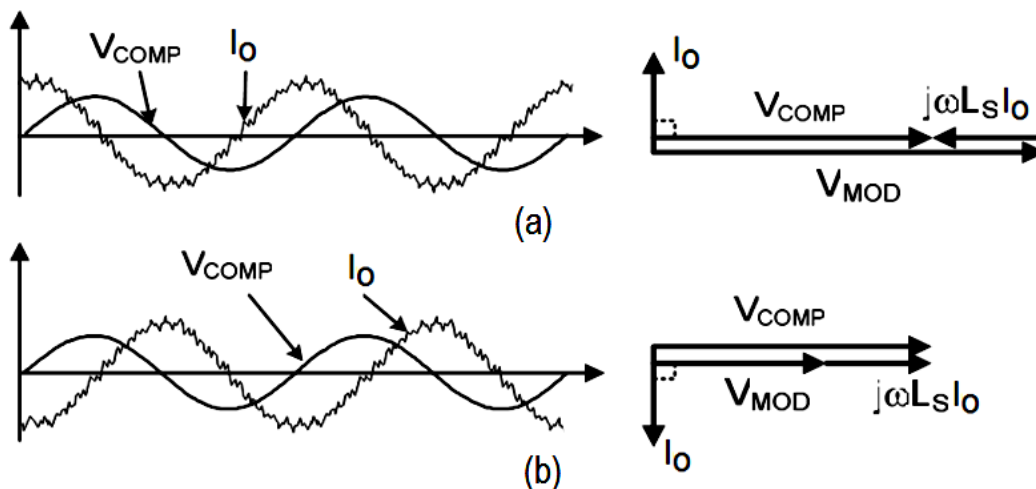


Sl.4. Talasni oblici izlaznog napona VAr kompenzatora za različite vrednosti modulacionog indeksa (amplitude napona osnovne komponente).

U radu ovog tipa VAr kompenzatora razlikujemo dva režima rada: (1) režim kada VAr kompenzator generiše reaktivnu energiju i (2) režim kada VAr kompenzator apsorbuje reaktivnu energiju. U prvom

slučaju je VAr kompenzator ekvivalentan bateriji kondenzatora, dok je u drugom slučaju ekvivalentan prigušnici.

Karakteristični talasni oblici karakterističnih veličina (napona i struje) i odgovarajući fazorski dijagrami za ova dva karakteristična slučaja su prikazani na Sl.5.

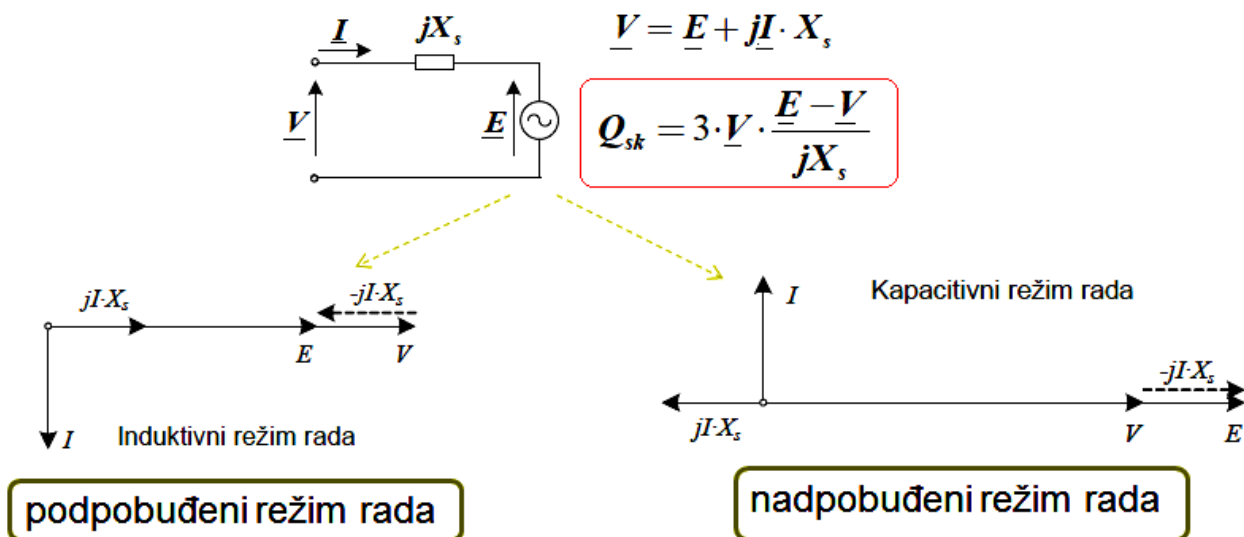


Sl.5. Talasni oblici struje i napona i pripadajući fazorski dijagrami za VAr kompenzator sa Sl.3

Slučaj I koji je prikazan na Sl.5(a) – Kada je $V_{MOD} > V_{COMP}$ prekidački VAr kompenzator generiše reaktivnu energiju (ekvivalentan je bateriji kondenzatora)

Slučaj II koji je prikazan na Sl.5(b) – Kada je $V_{MOD} < V_{COMP}$ prekidački VAr kompenzator generiše reaktivnu energiju (ekvivalentan je bateriji kondenzatora).

Dakle princip rada ovog kompenzatora je sličan sinhronoj mašini, koja radi u režimu sinhronog kompenzatora sa dva režima rada podpobuđeni i nadpobuđeni kao što je prikazano na Sl.6.



Sl.6. Principna šema i fazorski dijagram sinhronne mašine u režimu sinhronog kompenzatora

Kompenzaciona struja I_o će prednjačiti ili kasniti zavisno od odnosa napona V_{MOD} i V_{COMP} , kao što je prikazano na Sl.5.

Amplituda izlaznog napona kompenzatora V_{MOD} će biti kontrolisana promenom modulacionog indeksa ili promenom amplitude jednosmernog (DC) napona V_D , po principu prikazanom na slikama Sl.3 i Sl.4.

Relativno brz odziv se postiže promenom modulacionog indeksa. Jednosmerni (DC) napon pretvarača se menja podešavanjem u malim iznosima aktivne snage apsorbirane od strane pretvarača:

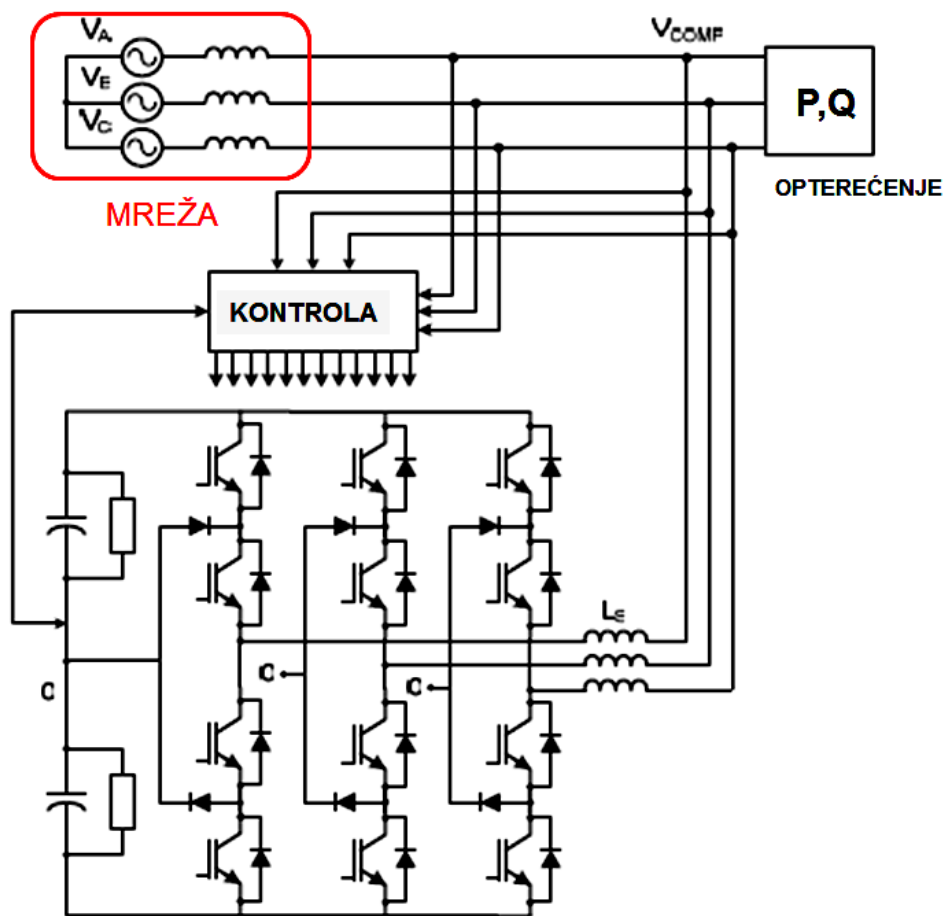
$$P = \frac{V_{COMP} \cdot V_{MOD}}{X_s} \sin(\delta)$$

Gde su:

X_s - reaktansa sprežne prigušnice L_s

δ - fazni ugao između V_{MOD} i V_D .

Jedan od glavnih problema koji ograničavaju primenu prethodno opisanih topologija energetskih pretvarača u visokonaponskim sistemima je ograničavajući kapacitet poluprovodničkih tranzistorskih prekidača (IGBT ili IGCT), raspoloživih na tržištu.



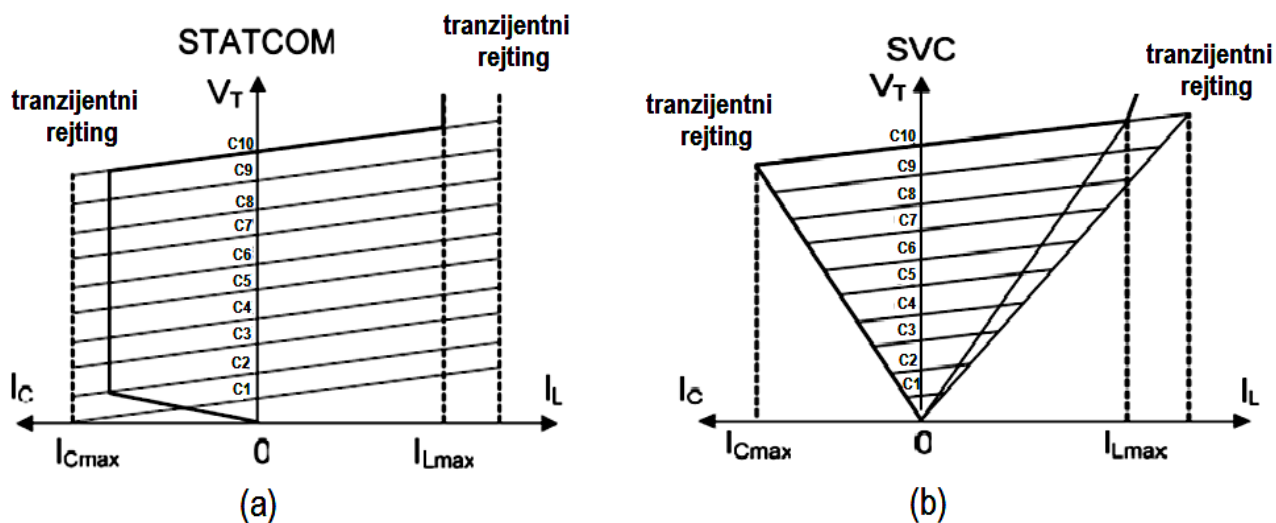
Sl.7. Multilevel topologija VAR kompenzatora sa tri nivoa

Realni poluprovodnički prekidači snage su dimenzionisani za struje za nekoliko hiljada ampera i za maksimalne napone 6kV (10kV). Ove performanse nisu dovoljne za visokonaponske aplikacije. Problem može biti adekvatno rešen sofisticiranijim topologijama prekidačkih pretvarača od kojih je najpoznatija tzv. „multilevel“ topologija.

Na Sl.7 je prikazana najčešće korišćena topologija sa tri nivoa i sa spregnutom neutralnom tačkom (tzv. „tree level neutral point clamped – 3L NPC“), odnosno 3-nivojski NPC inverter.

U poređenju sa tiristorskim kompenzatorima, prekidački VAR kompenzatori imaju niz prednosti:

- mogu proizvoditi aktivnu i reaktivnu snagu
- redukovana je mogućnost da se pojavi rezonanca
- obzirom da imaju brz odziv, reaktivna snaga će biti kontrolisana kontinualno i sa relativno velikom brzinom
- visokofrekventna (VF) modulacija rezultuje niskim harmonicima napojne struje
- ovim se redukuje veličina i težina (a prema tome i cena) komponenata filtera
- dinamičke performanse usled varijacija u mrežnom naponu, su značajno poboljšane
- značajno bolji tranzijentni rejting (maksimalne performanse) na V-I krivama
- širi radni opseg u V-I dijagramu (Mordejeve karakteristike)



Sl.8. V-I krive VAR kompenzatora; (a) prekidački STATCOM, (b) tiristorski SVC

Na Sl.8 je dat uporedni pregled tipičnih V-I karakteristika (tzv. Mordejeve karakteristike) za prekidački (STATCOM) i tiristorski kontrolisani (SVC) VAR kompenzator.

U Beogradu 25.11.2019.

Predmetni profesor:
 Prof.dr Željko Despotović, dipl.el.inž