

Ekološko snovanje elektronskih naprav

ENOTA 10: Močnostna elektrotehnika

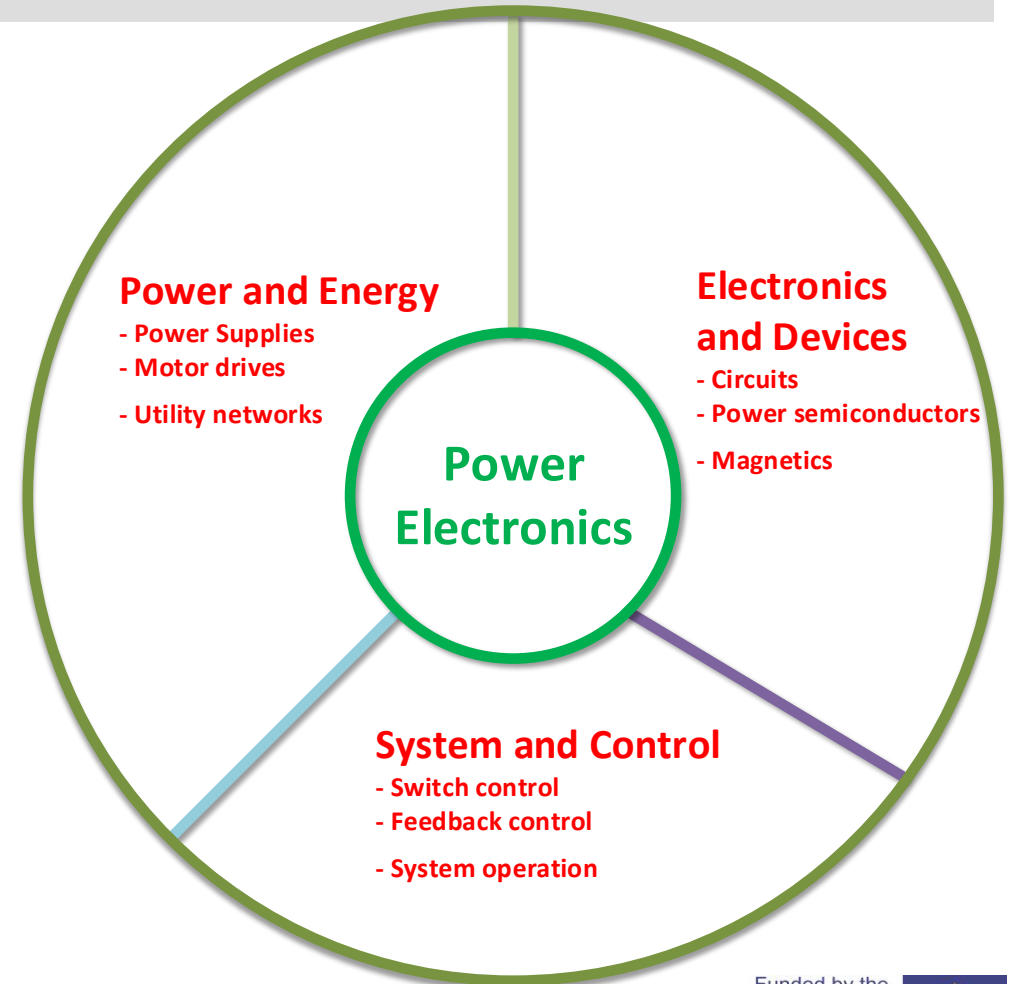
Močnostna elektrotehnika

- Močnostna elektrotehnika je področje elektrotehnike, ki se ukvarja s pretvorbo in shranjevanjem električne energije.
- Vsi elektronski aparati so napajani iz različnih virov. Ti viri so lahko avtonomni in prenosljivi ter napajanje iz omrežja.
- Močnostna elektrotehnika vključuje preučevanje elektronskih vezij, ki so namenjena za nadzor in pretok električne energije
- Pretvorniki je izraz za določene tipe tokokrogov in sistemov, ki skrbijo za pretvorbo energije. Pretvornike klasificiramo glede na tip vhodne in izhodne električne energije. Tako poznamo AC-DC, DC-DC, DC-AC pretvornike in se najpogosteje uporabljajo za napajalne dele elektronskih naprav.
- Poglavitna področja močnostne elektrotehnike so preučevanje polprevodniških elementov, uporabi magnetnih naprav za shranjevanje energije, posebne metode nadzora, ki so del današnjih energetskega sistemov in alternativnih virov .



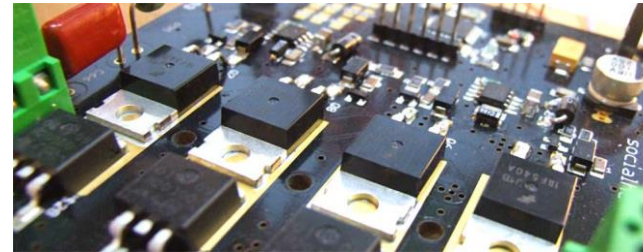
Močnostna elektrotehnika

- Področje močnostne elektrotehnike.
- Zgodovina močnostne elektronike je tesno povezana z napredkom v elektronskih komponent, ki zagotavljajo ravnanje z visokimi močmi. Od leta 1990 so komponente in naprave postale tako sposobne, da se je pričel prehod iz področja fizične naprave na področje programske aplikacije, ki vodi in nadzira napravo. Ta prehod je temeljil na dveh dejavnikih:
- Za skoraj vsako aplikacijo obstajajo napredni polprevodniki z ustreznimi ocenami moči in so široko dostopni.
- Splošen pritisk k miniaturizaciji komponent narašča s številom električnih naprav in proizvodov.



Močnostna elektrotehnika

- Vsa električna elektronska vezja uravnavajo pretok električne energije med električnim virom in bremenom. Komponente v tokokrogu morajo usmerjati električne tokove, ne pa jih ovirati. Splošni sistem pretvorbe moči je prikazan na sliki. Funkcija pretvornika moči v sredini je nadzor pretoka energije med izvorom in bremenom. V našem primeru se bo pretvorba moči izvajala z električnim elektronskim vezjem.



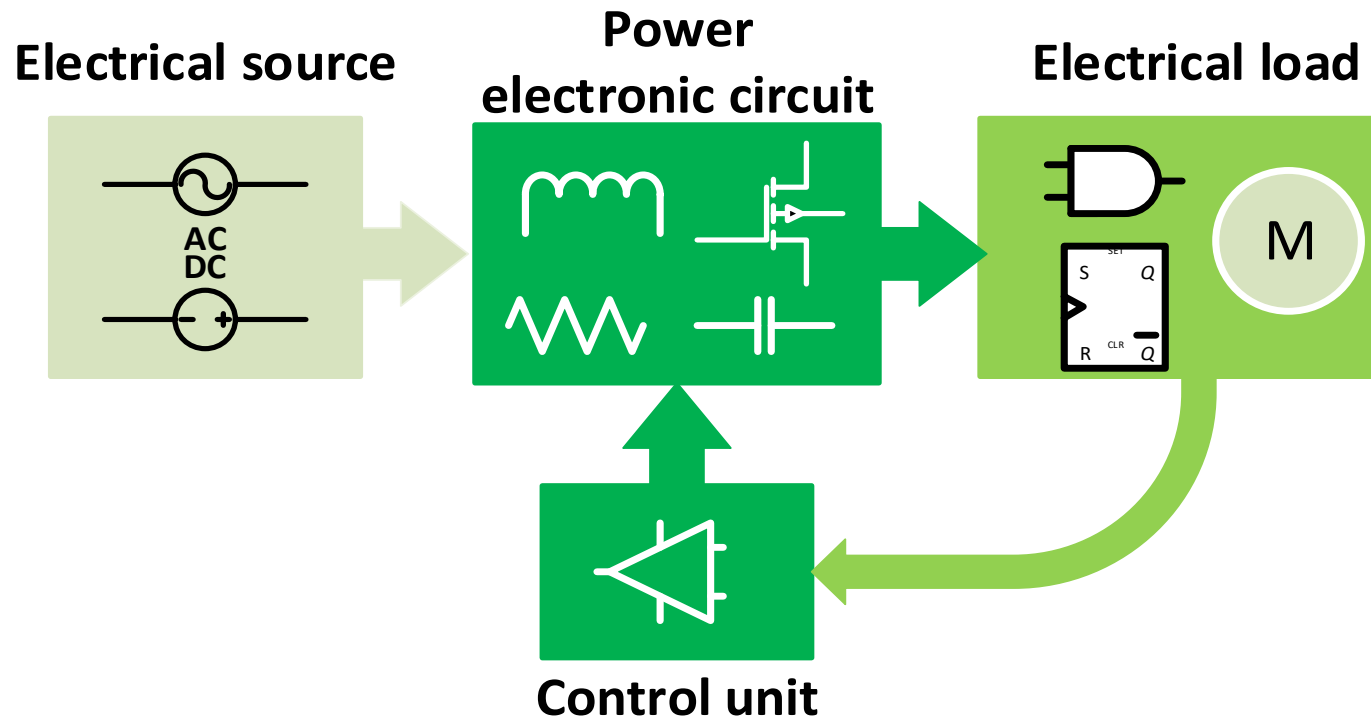
Stikalni način delovanja

- Delovanje stikalnih pretvornikov temelji na nizko izgubnih stikalih, kar močnostni elektroniki postavlja ekstremen zahteve.
- V idealnem primeru, ko je stikalo vklopljeno, ima ničelni padec napetosti in bo tako preneslo poljuben tok. Ko je stikalo izklopljeno, ima neskončno upornost, kar pomeni da čez stikalo ne teče noben tok.
- Moč stikala je produkt napetosti in toka, kar pomeni da je želen produkt obeh veličin enak nič. Če je moč enaka nič pomeni, da v pretečenem času nimamo porabe energije na stikalnem elementu.
- Stikalo torej uravnava pretok energije brez izgube, kjer je zanesljivost stikala ključnega pomena.
- Elektronska stikala, ki so del napajalnega vezja lahko preklopijo 100.000 tudi v eni sekundi. V pretvornikih uporabljajo polprevodniška stikala izbranih moči.



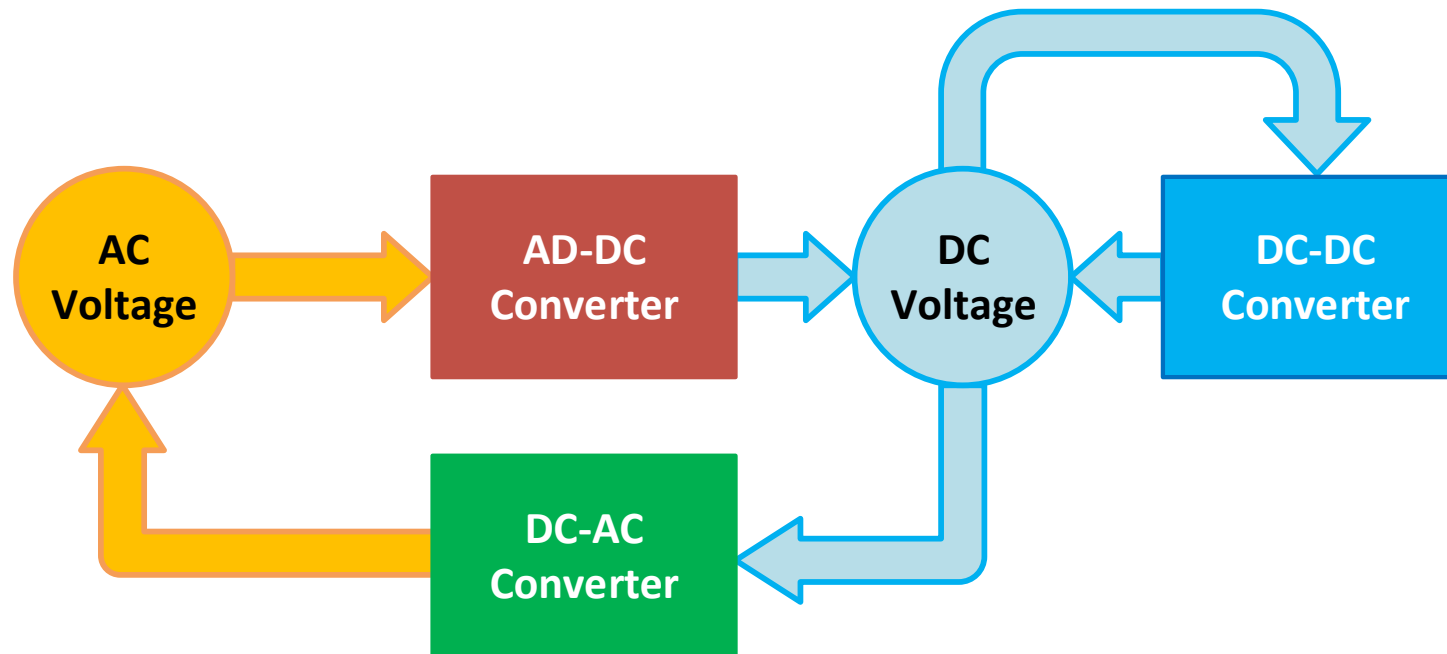
Pretvorba energije

- Pretvorniški sistem sestavljajo štiri ločene enote. To so; energijski vir, močnostno vezje pretvornika, enota za vodenje pretvornika in breme.



Pretvorba energije in tipi pretvornikov

- Močnostno vezje se razlikujejo glede na tip pretvornika. Tip pretvornika se loči glede na vhodno in izhodno napetost.



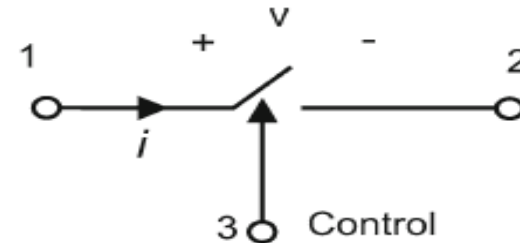
Snovanje pretvornikov

- Snovanje močnostnih pretvornikov lahko opredelimo s tremi pglavitnimi izzivi.
 - Prvi izziv je zanesljivost močnostnih elektronskih vezjih. Pri tem je potrebno striktno upoštevati nazivne napetosti, tokove ter oddano moč naprave, le te morajo vedno ostati znotraj mejnih vrednosti. Še posebej je to pomembno pri upravljanju visokih moči.
 - Drugi izziv je preprostost vezja. Pri elektronskih vezjih je znano, čim več elementov vsebuje tem večja je možnost napake ali okvare celotnega sistema. Močnostna elektronska vezja imajo po navadi nekaj delov, zlasti v glavni energijski veji. Za doseganje učinkovitosti pretvornika je zelo pomembna, da smotrno izbiramo glavne komponente. To pogosto pomeni, da sofisticirane strategije vodenja implementiramo s preprostimi elektronskimi vezji.
 - Tretji izziv je integracija. En izmed načinov, kako se izogniti kompromisu zanesljivosti in kompleksnosti je integracija večih komponent in funkcij na en sam substrat. Na primer, mikroprocesor lahko vsebuje milijone vrat. Vse medsebojne povezave in signali tečejo znotraj enega čipa, zanesljivost pa je odvisna enega samega dela.



Stikalni elementi

- Elektronska stikala, ki so sposobna voditi visoke napetosti, tokove v visokofrekvenčnem področju, so najpomembnejši elementi potrebni pri oblikovanju sistemov za pretvorbo energije.
- Poraja se vprašanje, kaj je idealno stikalo? Idealno elektronsko stikalo si lahko predstavljamo, kot napravo treh priključkov.
- Idealno stikalo pomeni, da v odprtem stanju nima upornosti v zaprtem stanju ima neskončno upornost. Idealno stikalo spremeni stanje takoj, kar pomeni, da je potrebno ničelni čas, da preklopite iz ON-v-OFF ali OFF-v-ON.
- **Dejanska stikala imajo svoje omejitve pri vseh značilnostih, ki so jih navedli pri idealnem stikalu.**
- **V času izklopa lahko prepušča določen tok, kar pomeni, da nima neskončne upornosti.**
- **Prav tako čas preklopa ni neskončno hiter.**

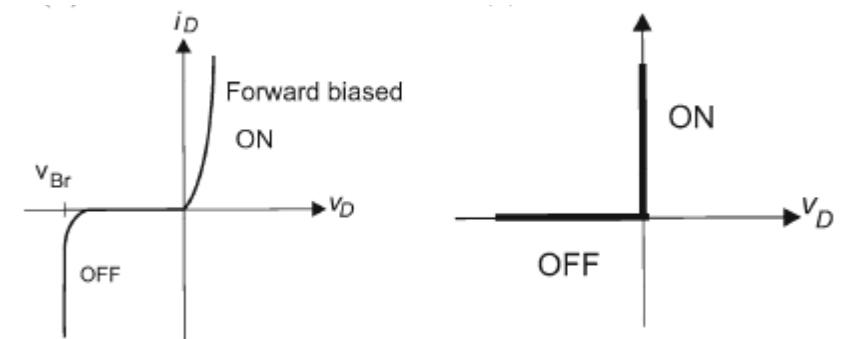
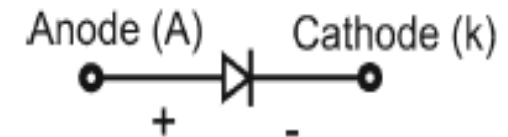


Stikalni elementi

- Koncept idealnega stikala je pomemben pri ocenjevanju tokokrogov. Predpostavke o ničelnem padcu napetosti, tokovnega puščanja in preklopnih pojavov olajšajo simulacijo in modeliranje obnašanja različnih pretvorniških sistemov. Glede na lastnosti idealnega stikala obstajata trije razredi močnostnih stikal.
 - **Nenadzorovano stikalo:** Stikalo nima kontrolnega priključka. Stanje stikala se določi z zunanjo napetostjo ali trenutnimi pogoji vezja, v katerem se stikalo nahaja. Primer takšnega stikala je dioda.
 - **Pol-nadzorovano stikalo:** V tem primeru ima oblikovalec vezja omejen nadzor nad stikalom. Na primer, stikalo se lahko vklopi iz kontrolnega priključka, vendar, ko je priključeno ga ni mogoče izključiti s pomočjo krmilnega signala. Stikalo se lahko izklopi glede na trenutno stanje vezja ali z dodano krmilno elektroniko, ki stikalo prisil v izklop. Primer takega stikala je tiristor.
 - **Popolnoma nadzorovano stikalo:** Stikalo se lahko vklopi in izklopi prek krmilnega priključka. Primeri takšnih stikal so bipolarni tranzistor, MOSFET in IGBT.

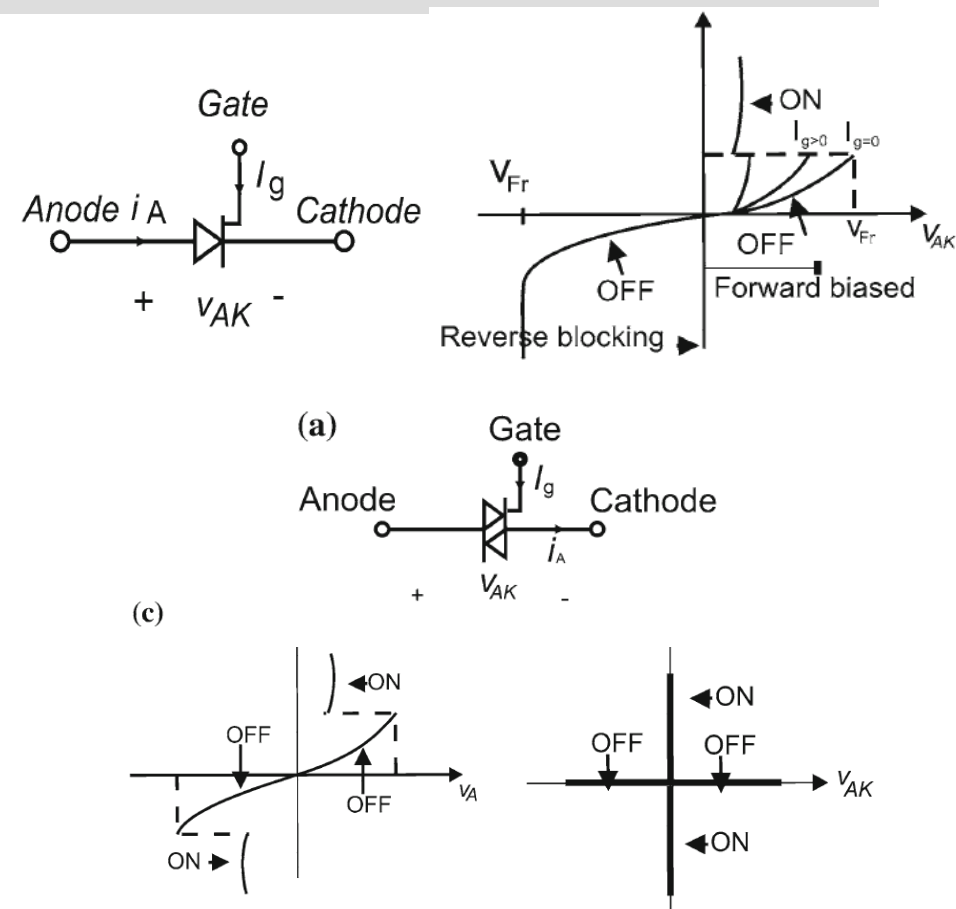
Nenadzorovano stikalo

- Dioda je znana tudi kot usmerjevalnik in je nenadzorovano stikalo. Gre za element z dvema priključkoma, slika 9. Priključka sta znana, kot anoda (A) in katoda (K). V idealnem primeru je diodni tok (i_D) enosmerni, kar pomeni da tok lahko teče samo iz anode proti katodi.
- Diodna napetost V_D se meri, kot napetost med anodo in katodo. Iz U-I karakteristike je razvidno, da je v prvem kvadrantu dioda v odprtem stanju, kar pomeni da prevaja. Na diodi imamo majhen padec napetosti, ki je odvisen od tipa polprevodnika iz katerega je dioda narejena.



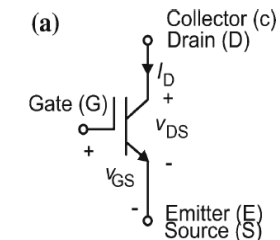
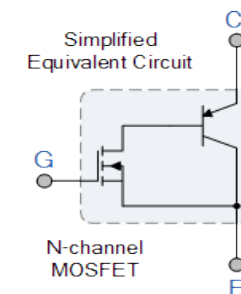
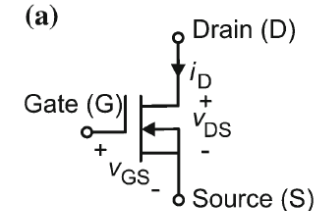
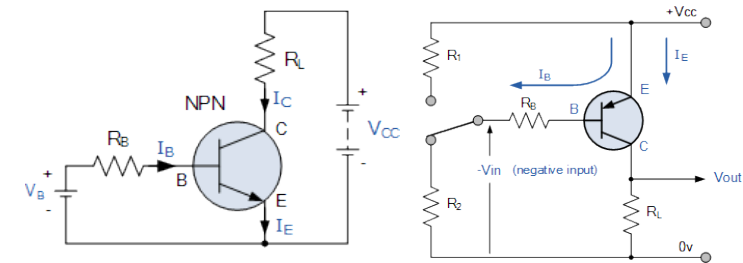
Pol-nadzorovano stikalo

- Tiristor ali SCR je polprevodniško stikalo, katerega odprtje je lahko aktivirano s krmilno sponko Gate. Ko se stikalo vklopi, ga ni možno izključiti preko krmilne sponke in tiristor se obnaša podobno kot dioda. Tako tiristor uvrščamo v pol-nadzorovana stikalo.
- Tiristorski tok teče od anode k katodi in tiristorska napetost U_{AK} je pozitivna, kar prikazuje U-I karakteristika.
- Triak lahko predstavimo, kot dva tiristorja, ki sta vezana v povratni smeri. U-I karakteristika triaka je predstavljena na spodnji sliki.
- Triak se v glavnem uporablja za prenos nizkih moči kot so; vodenje enofaznega motorja, sistem za zatemnitev luči itd..



Popolnoma nadzorovana stikala

- Pri popolnoma nadzorovanem stikalu se lahko stanji odprto/zaprto aktivirajo preko kontrolnega priključka.
- **Bipolarni tranzistor –BJT** ('Bipolar junction transistor') je popolnoma nadzorovano stikalo, kjer odprtost stikala krmilimo z baznim priključkom (B), slika 14 (a).
- **MOSFET tranzistor.** MOSFET ('Metal Oxide Semiconductor Fieal Effect Transistor') tranzistor je dobil imel po principu delovanja. Podobno, kot pri tranzistorju imam tri priključke (G),(D) in (S).
- **IGBT tranzistor** je hibrid med BJT in MOSFET tranzistorjem. Tako IGBT združuje dobre lastnosti MOSFTA, to so hitri preklopi ter nizko prevodno upornost BJT tranzistorja. IGBT tranzistor je darlingotn vezava MOSFET-a ter BJT tranzistorja. MOSFET krmili bazni tok v BJT tranzistor.



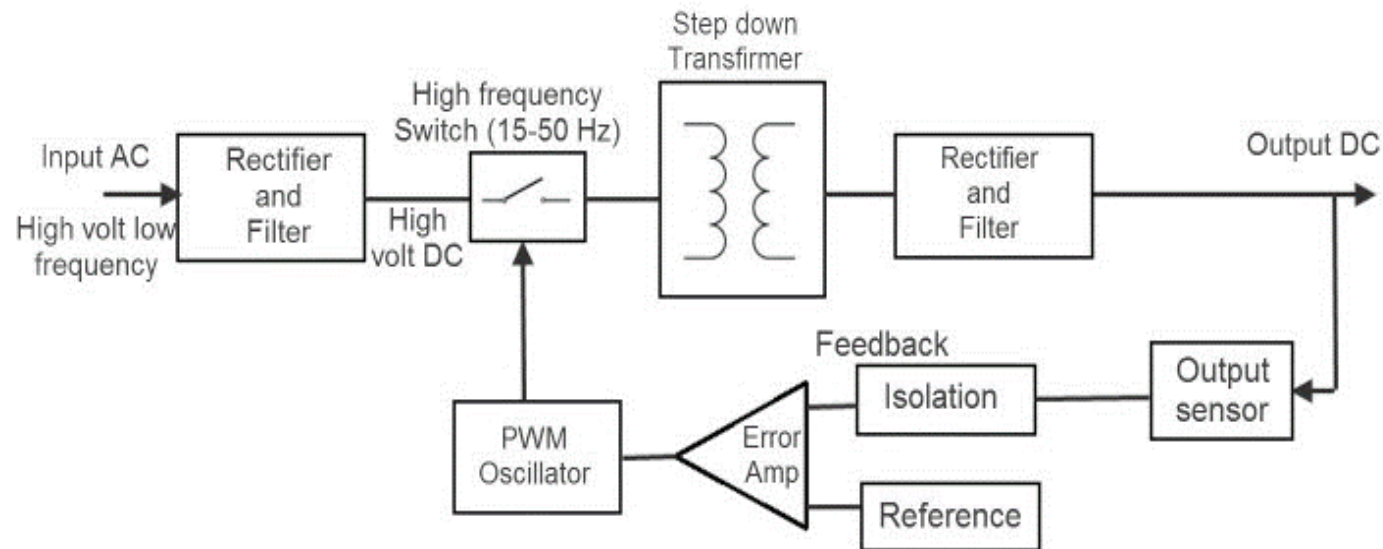
Popolnoma nadzorovana stikala

- Primerjava tranzistorjev:

<i>Property</i>	<i>BJT</i>	<i>MOSFET</i>	<i>IGBT</i>
<i>Voltage rating</i>	High <1kV	High <1kV	Very High >1kV
<i>Current rating</i>	High <500A	Low <200A	High >500A
<i>Input drive</i>	h_{FE} 20-200	3-10V	4-8V
<i>Input impedance</i>	Low	High	High
<i>Output impedance</i>	Low	Medium	Low
<i>Swithing speed</i>	Slow	Fast	Medium
<i>Cost</i>	Low	Medium	High

AC-DC stikalni pretvorniki - usmerniki

- AC-DC pretvorniki so močnostna vezja, ki skrbijo za pretvorbo izmenične napetosti v enosmerno.
- AC-DC pretvorniki so sklop večine elektronskih naprav. Zato je njihova učinkovitost ter izkoristek zelo pomembna.
- Prednost stikalnega AC-DC usmernika napram klasičnemu, je višji izkoristek in fizično vezje je manjše dimenzije pri istih močeh, kot pri klasičnem.

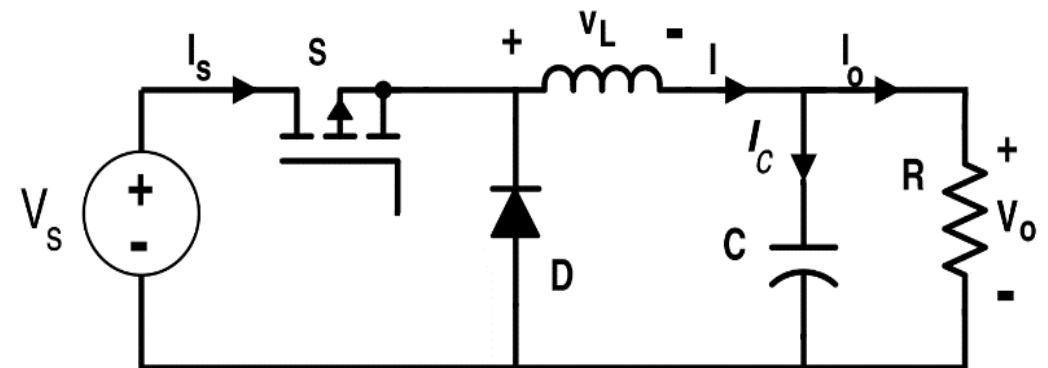


AC-DC stikalni pretvorniki - usmerniki

- Stikalni AC-DC pretvornik deluje tako, da v prvem bloku izmenično vhodno napetost takoj usmeri s polvalnimi ali polnovalnim diodnim usmernikom. Mnogi AC-DC pretvorniki v prvi fazi vsebujejo različne filtre za odpravljanje motenj ter špic iz omrežja.
- V drugi fazi umerjeno napetost peljemo preko visoko frekvenčnega stikala, ki je vodeno glede na želeno izhodno napetost. Frekvenca preklopov je običajno od 10-100kHz odvisno od tipa pretvornika.
- Iz stikala dobimo vlak pulzov, ki imajo enako frekvenco, kot stikalo. Vlak pulzov peljemo na transformator, ki nam zniža napetost.
- Na izhodu transformatorja lahko uporabimo nizko prepustni filter za glajenje napetosti ali pa DC-DC stikalni pretvornik. Glede na želeno izhodno enosmerno napetost krmilimo hitrost preklopov stikala.

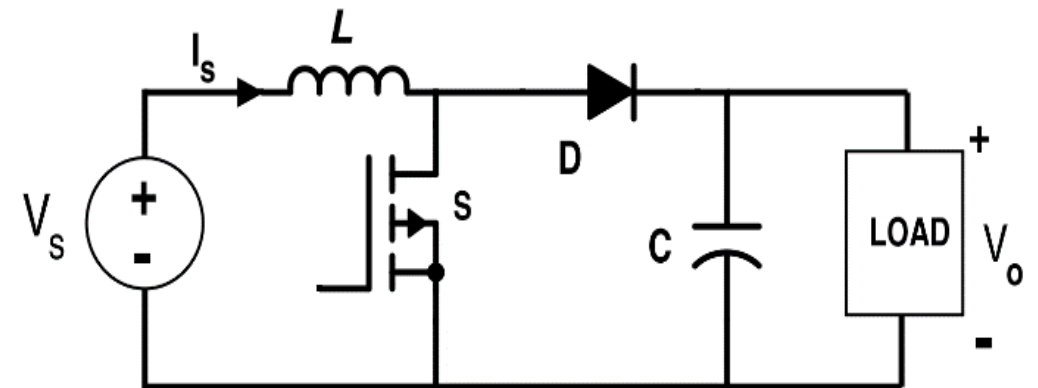
DC-DC stikalni pretvorniki- pretvornik navzdol

- **Pretvornik navzdol**, kot že samo ime pove nam znižuje vhodno enosmerno napetost.
- Princip delovanja pretvornika je preprost s krmiljenjem stikala vodimo vhodno napetost na LC vezje.
- Ko je stikalo sklenjeno, tok teče skozi LC vezje ter napaja breme. V primeru, ko je stikalo razklenjeno nam dioda sklene sekundarni tokokrog, ki je posledica lastne indukcije v tuljavi.
- Stikalo ponavadi krmilimo s PWM ('Pulse width modulation') signalom. LC vezje predstavlja tudi nizko frekvenčno sito, ki gladi valovitost izhodne napetosti zaradi preklapljanja stikala.



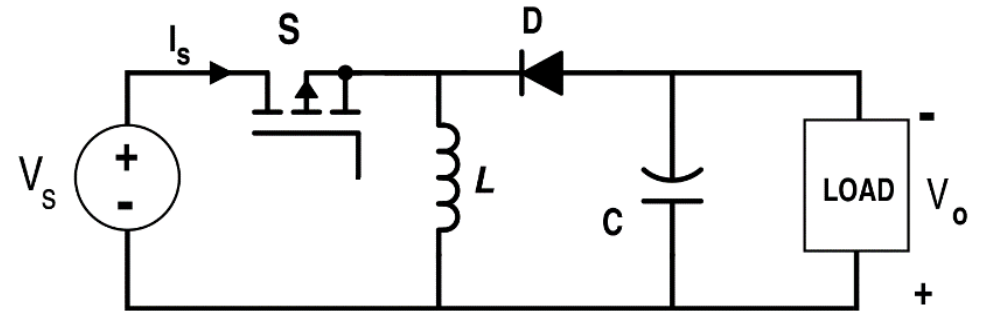
DC-DC stikalni pretvorniki- pretvornik navzgor

- **Pretvornik navzgor** služi za enosmerno napajanje, ki je višje od priključene napetosti. Pretvornik navzgor nam viša vhodno napetost.
- Princip delovanja pretvornika temelji na lastni indukciji vhodne tuljave L . Z hitrimi preklopi stikala povzročimo napetostne špice na tuljavi L .
- V primeru, ko je stikalo sklenjeno tok teče skozi tuljavo nazaj v napajanje. V tej fazi povzročimo lastno indukcijo tuljave, kar z drugimi besedami pomeni, da shranimo energijo v L .
- V primeru, ko je stikalo sklenjeno tok teče skozi tuljavo nazaj v napajanje. V tej fazi povzročimo lastno indukcijo tuljave, kar z drugimi besedami pomeni, da shranimo energijo v L .



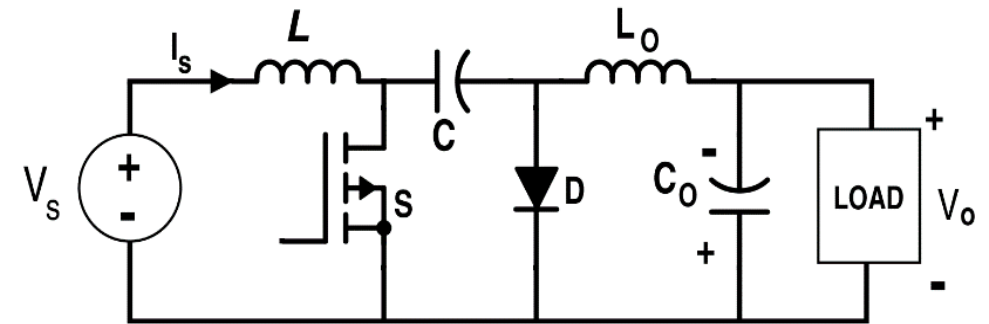
DC-DC stikalni pretvorniki- pretvornik navzgor/navzdol

- Glede na skupni priključek v elektronskih vezjih se pogosto pojavlja potreba po negativni napetosti na izhodu pretvornika. Za te namene se uporablja pretvornik navzgor/navzdol.
- Pretvornik navzdol/navzgor je sestavljen iz kaskade pretvornika navzdol in navzgor.
- Pretvornik lahko generira nižjo ali višjo napetost glede na priključen potencial.
- Ko je stikalo sklenjeno teče tok skozi tuljavo L. Če stikalo razklenemo zaradi lastne indukcije tuljave L in negativno polarizirane diode, tok teče v nasprotni smeri.
- Razmerje izhodne in vhodne napetosti je podano s prevajalnim razmerjem PWM signala ($V_o/V_s = D (1/(1-D))$).



DC-DC stikalni pretvorniki- Čukov pretvornik

- Čukov pretvornik je v osnovi pretvornik navzdol/navzgor, ki prav tako generira negativno napetost na izhodu.
- Bistvena razlika čukovega pretvornika je, da za prenos energije v tem primeru skrbi kondenzator in ne tuljava, kot v prejšnjih primerih.
- Za čukov pretvornik je značilno, da se energija prenaša v obeh stanjih stikala (ON in OFF). Pri klasičnem pretvorniku se energija prenaša samo, ko je stikalo v enem stanju odprto ali zaprto.



DC-AC stikalni pretvorniki – inverterji

- DC-AC pretvorniki so močnostna elektronska vezja, ki pretvarjajo enosmerno napetostne vire, kot so baterije, sončne celice ali gorivne celice v izmenično AC napetost.
- Inverterji se pogosto uporabljajo za pogon električnih motorje ali napetostni generatorji. Inverterji so ključni sistem pri sistemih neprekinjenega napajanja-UPS ('Uninterruptible Power Supplies System').
- Razsmerniki se običajno lahko klasificirajo glede na njihovo izhodno moč ter število faz (enofazni ali trifazni) in glede na tip pretvorbe (polvalni ali polnovalni) pretvorniki.

