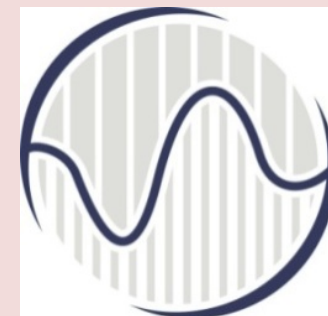


VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH
STUDIJA-VIŠER, BEOGRAD

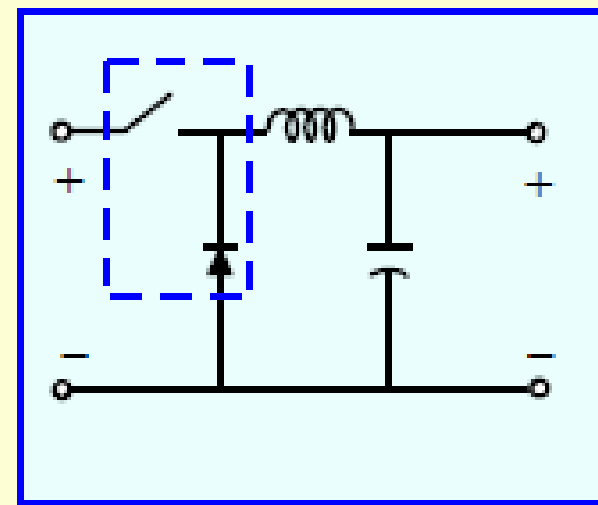
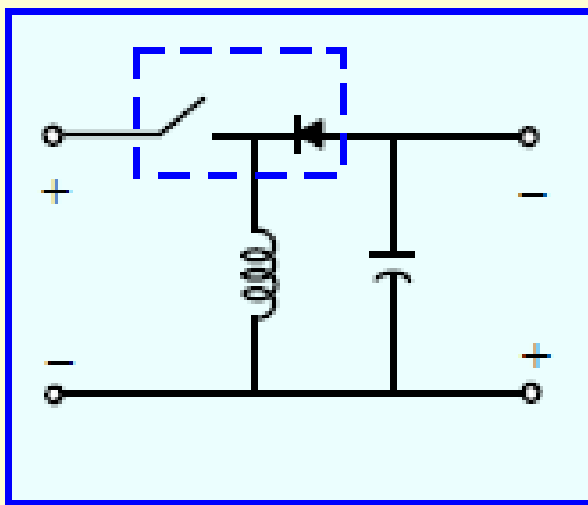
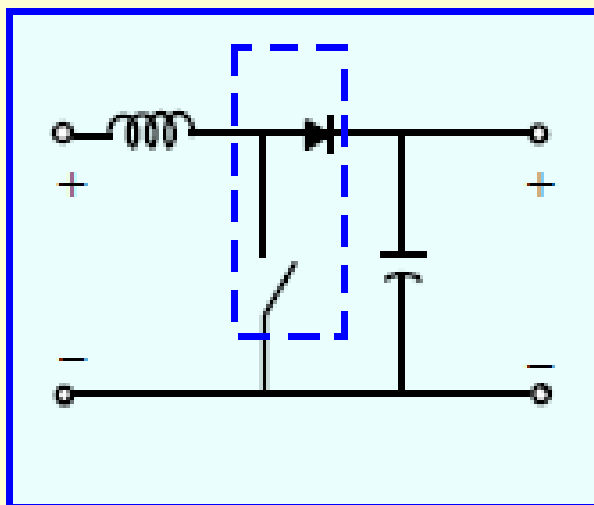
STUDIJSKI PROGRAM: NOVE ENERGETSKE TEHNOLOGIJE

SPECIALISTIČKE STUDIJE

PREDMET: UPRAVLJANJE ELEKTROENERGETSKIM PRETVARAČIMA



OSNOVNE TOPOLOGIJE DC-DC PRETVARAČA



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

UVOD

PREDAVANJE RAZMATRA :

- Predstave o osnovnim topologijama DC-DC pretvarača (koje se primenjuju u industrijskim izvorima napajanja)
- Dimenzionisanje poluprovodničkih komponenti u pripadajućoj topologiji
- DC-DC pretvarače bez galvanske izolacije (galvanska izolacija između ulaza i izlaza-opterećenja)
- DC-DC pretvarače sa galvanskom izolacijom (galvanska izolacija između ulaza i izlaza-opterećenja)

DC-DC pretvarači bez galvanske izolacije

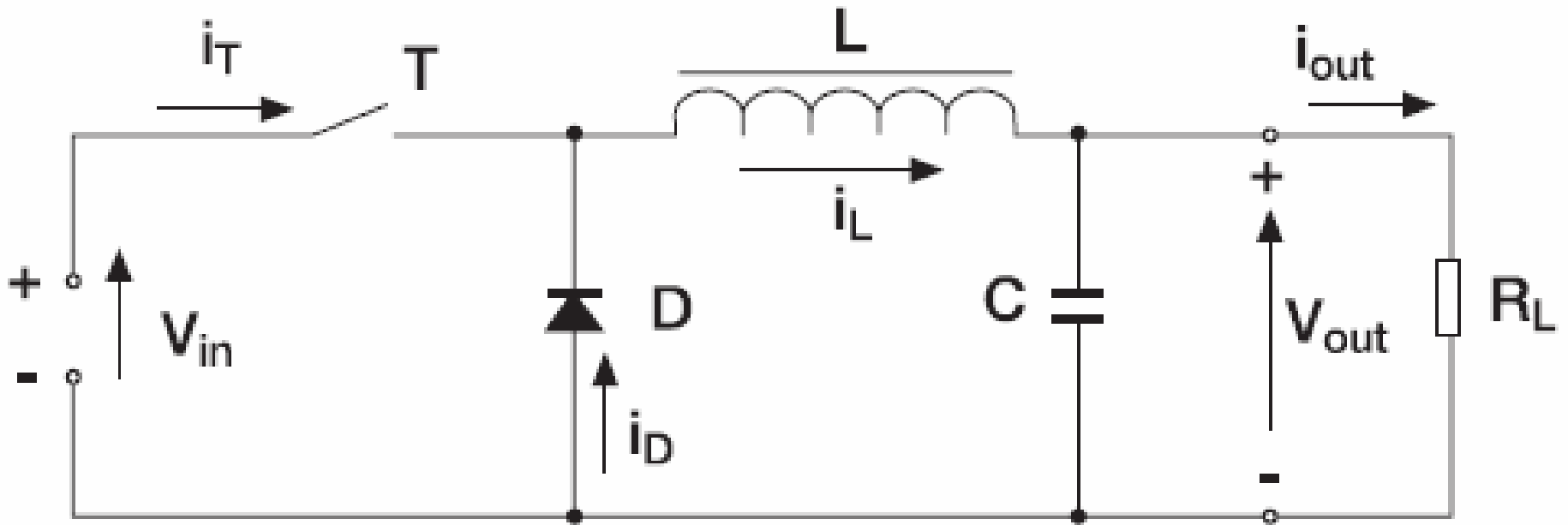
U osnovi se radi o “čoperskim” kolima

“čopovanje”= “sečenje”

- SPUŠTAČI NAPONA (Step down “Buck” regulatori)
- PODIZAČI NAPONA (Step up “Boost” regulatori)
- SPUŠTAČI/PODIZAČI NAPONA (Step up / Step down “Buck - Boost” regulatori)

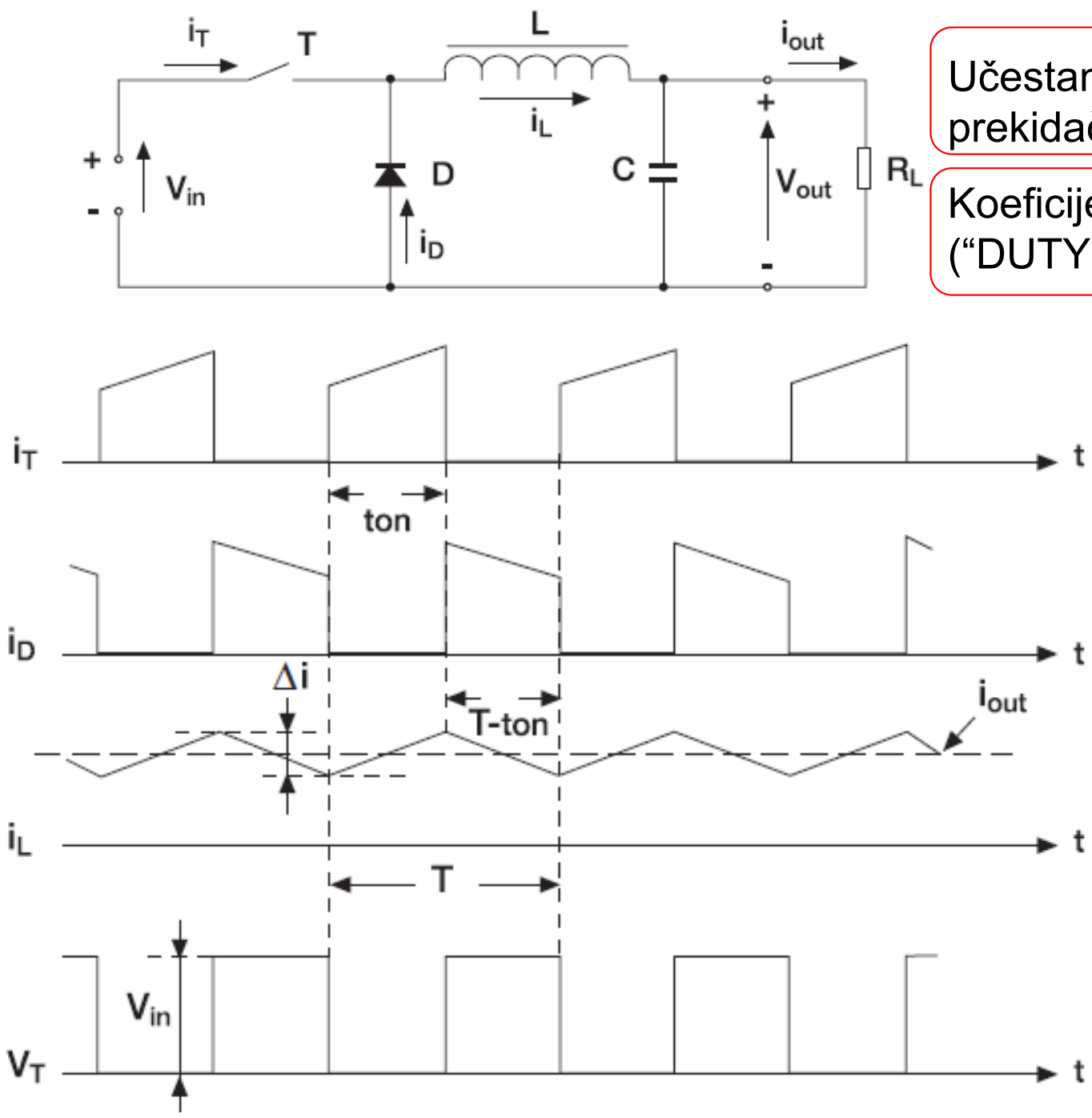
SPUŠTAČ NAPONA

- “Buck” converter: Step down voltage regulator



TOPOLOGIJA SPUŠTAČA NAPONA

SPUŠTAČ NAPONA (TOPOLOGIJA I KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI)



Učestanost prekidanja $f = 1/T$
prekidača

Koeficijent režima rada
("DUTY-CYCLE") $\delta = t_{on}/T$

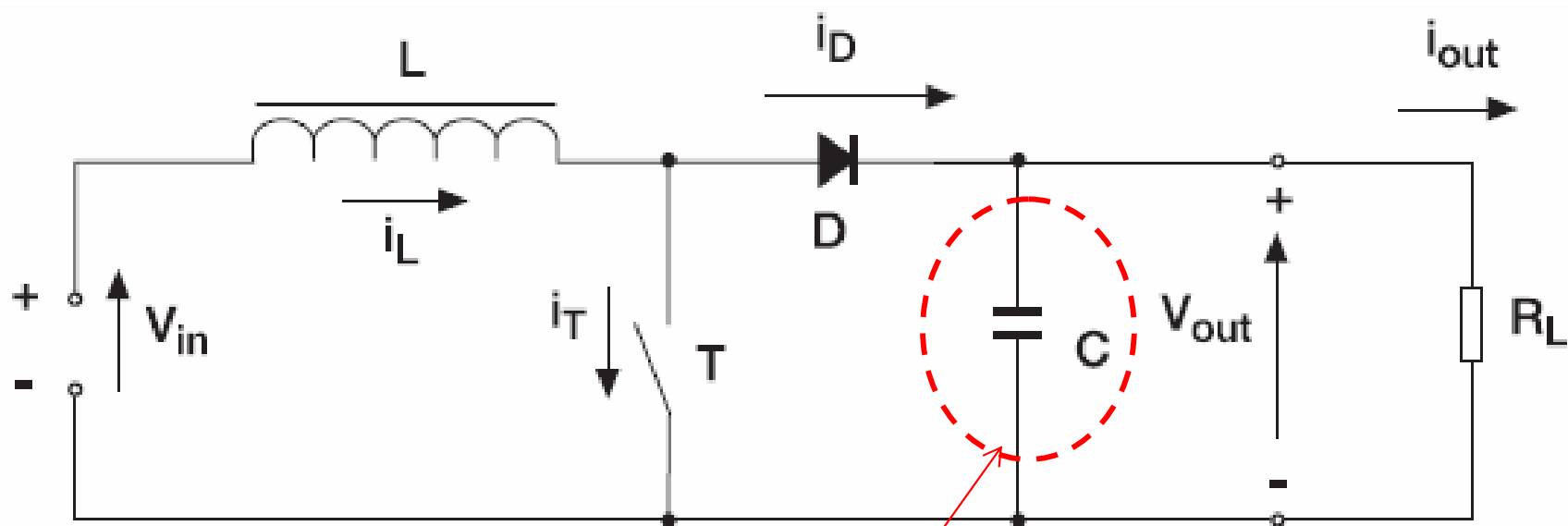
IZLAZNI NAPON
 $V_{out} = V_{in} \cdot \delta$

Dimenzionisanje
energet. Prekidača
(tranzistora) BJT,
 V_{cev} ili $V_{DSS} > V_{in\ max}$
 I_{cmax} ili $I_{D\ max} > I_{out} + \frac{\Delta I}{2}$

Dimenzionisanje diode
 $V_{RRM} \geq V_{in\ max}$
 $I_{F(AV)} \geq I_{out} (1-\delta)$

PODIZAČ NAPONA

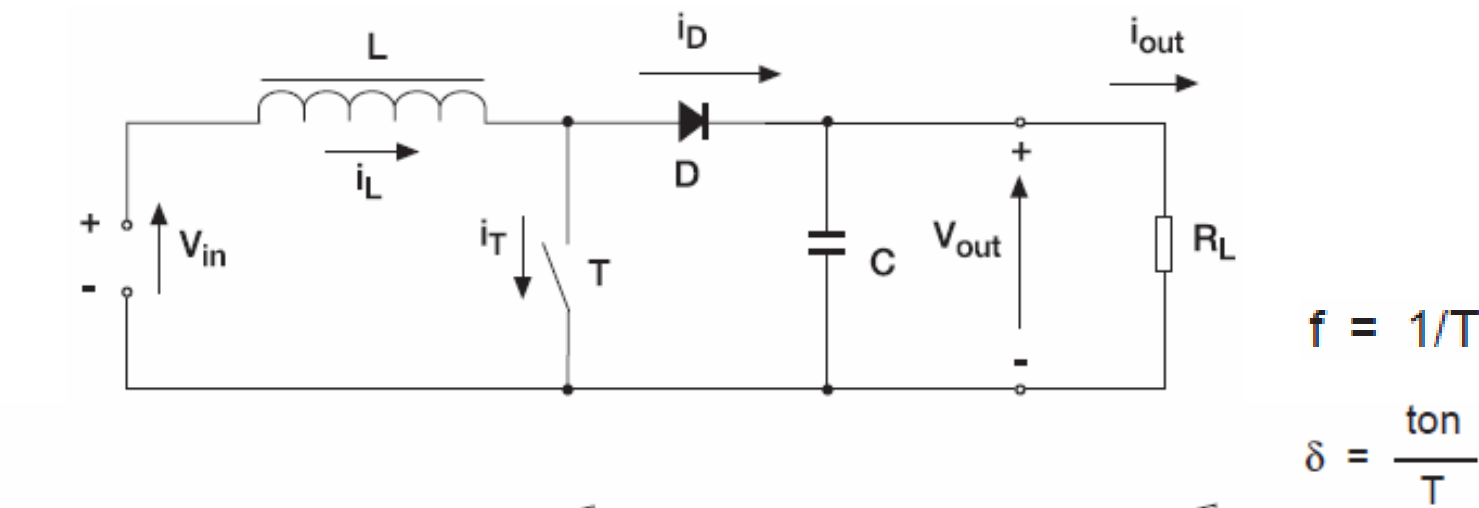
- “Boost” converter: Step up voltage regulator



IZLAZNI KONDENZATOR JE ZNAČAJNIJE
NAPONSKI “STRESIRAN” U ODNOSU NA topologiju SPUŠTAČA NAPONA
obzirom da V_{out} može biti $\gg$ od V_{in} !!!

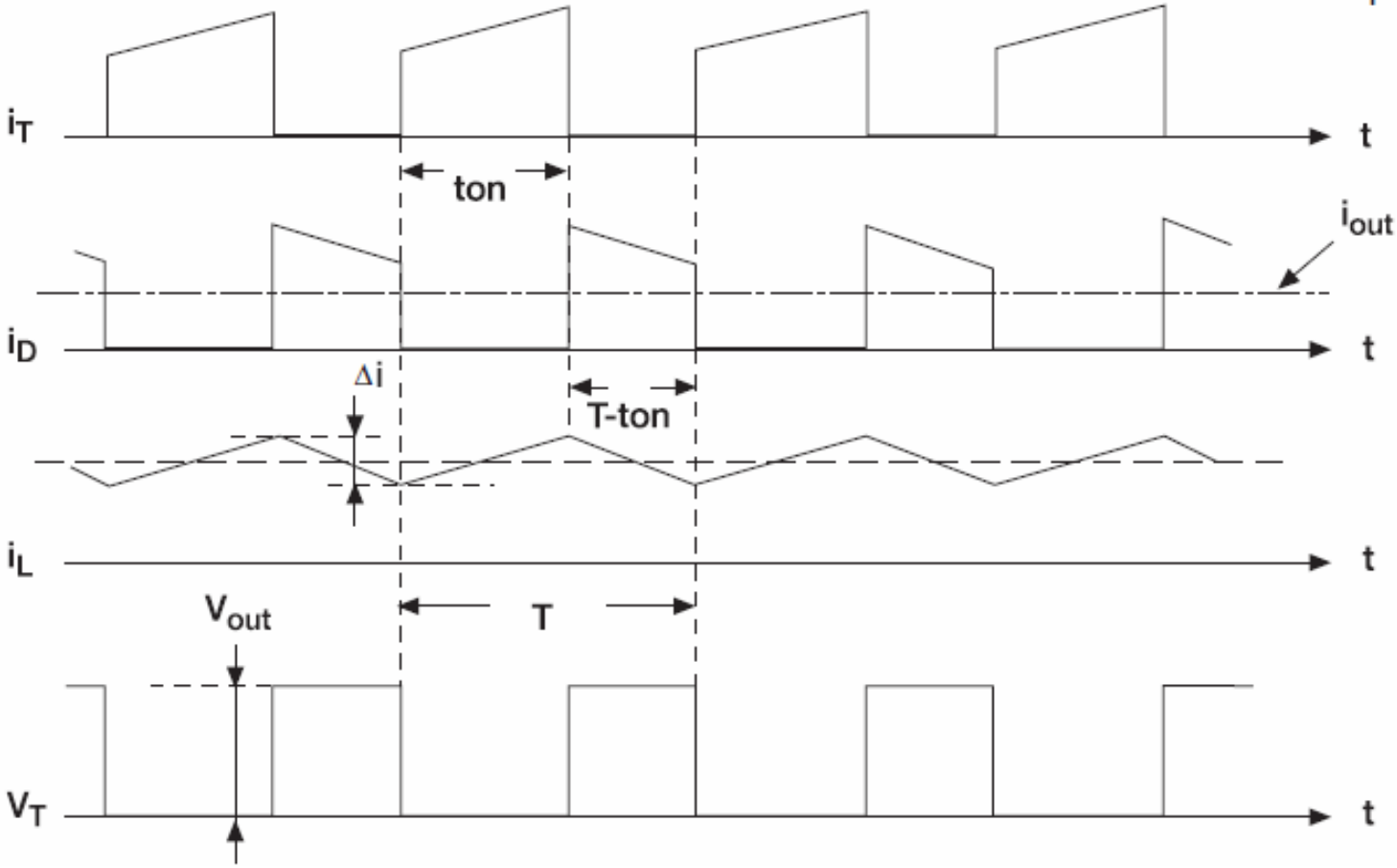
TOPOLOGIJA PODIZAČA NAPONA

PODIZAČ NAPONA (TOPOLOGIJA I KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI)



IZLAZNI NAPON:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-\delta}$$



Dimenzionisanje energet. Prekidača (tranzistora) BJT, IGBT, MOSFET

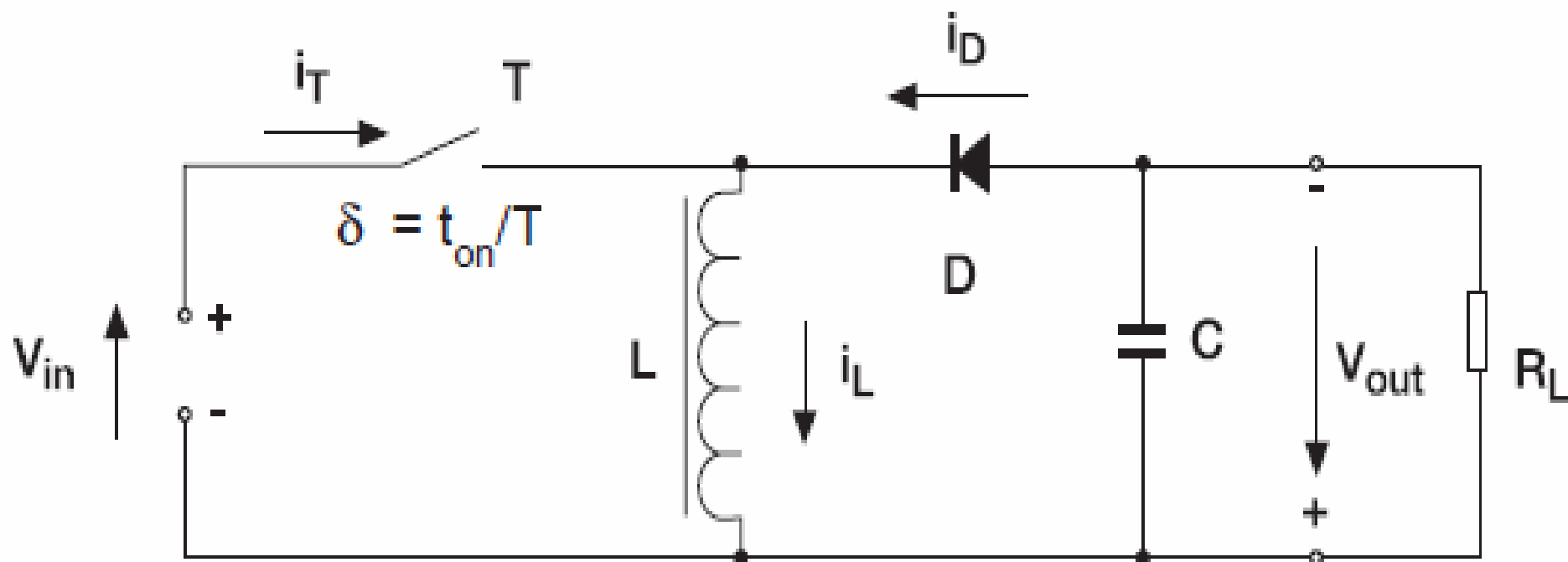
$$V_{cev} \text{ ili } V_{DSS} > V_{out}$$
$$I_{cmax} \text{ ili } I_{Dmax} > \frac{I_{out}}{1-\delta} + \frac{\Delta I}{2}$$

Dimenzionisanje diode

$$V_{RRM} > V_{out}$$
$$I_{F(av)} > I_{out}$$

SPUŠTAČ/PODIZAČ NAPONA

- “Buck-Boost converter: Step up/Step down voltage

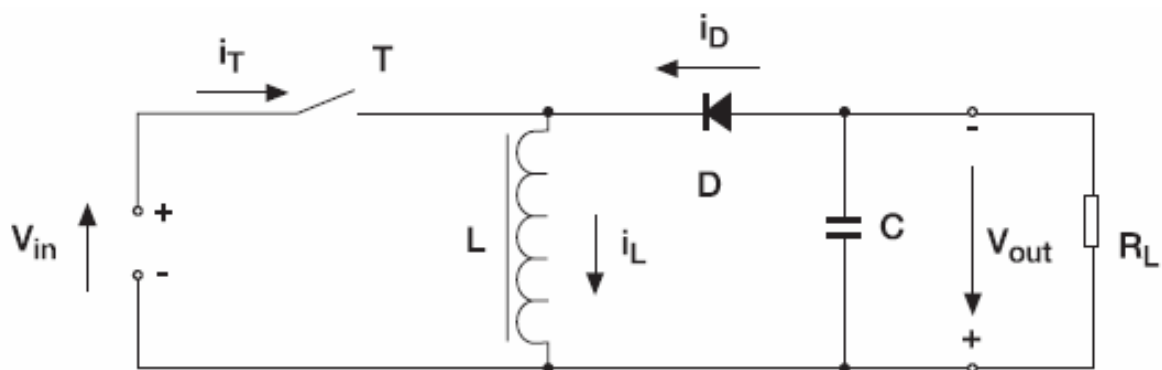


TOPOLOGIJA SPUŠTAČA/PODIZAČA NAPONA

U REŽIMU $\delta < 0.5$ radi kao SPUŠTAČ NAPONA

U REŽIMU $\delta > 0.5$ radi kao PODIZAČ NAPONA

SPUŠTAČ/ PODIZAČ NAPONA (TOPOLOGIJA I KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI)



IZLAZNI NAPON

$$V_{out} = - \frac{V_{in} \cdot \delta}{1 - \delta}$$

Dimenzionisanje energet.
Prekidača (tranzistora)
BJT, IGBT, MOSFET

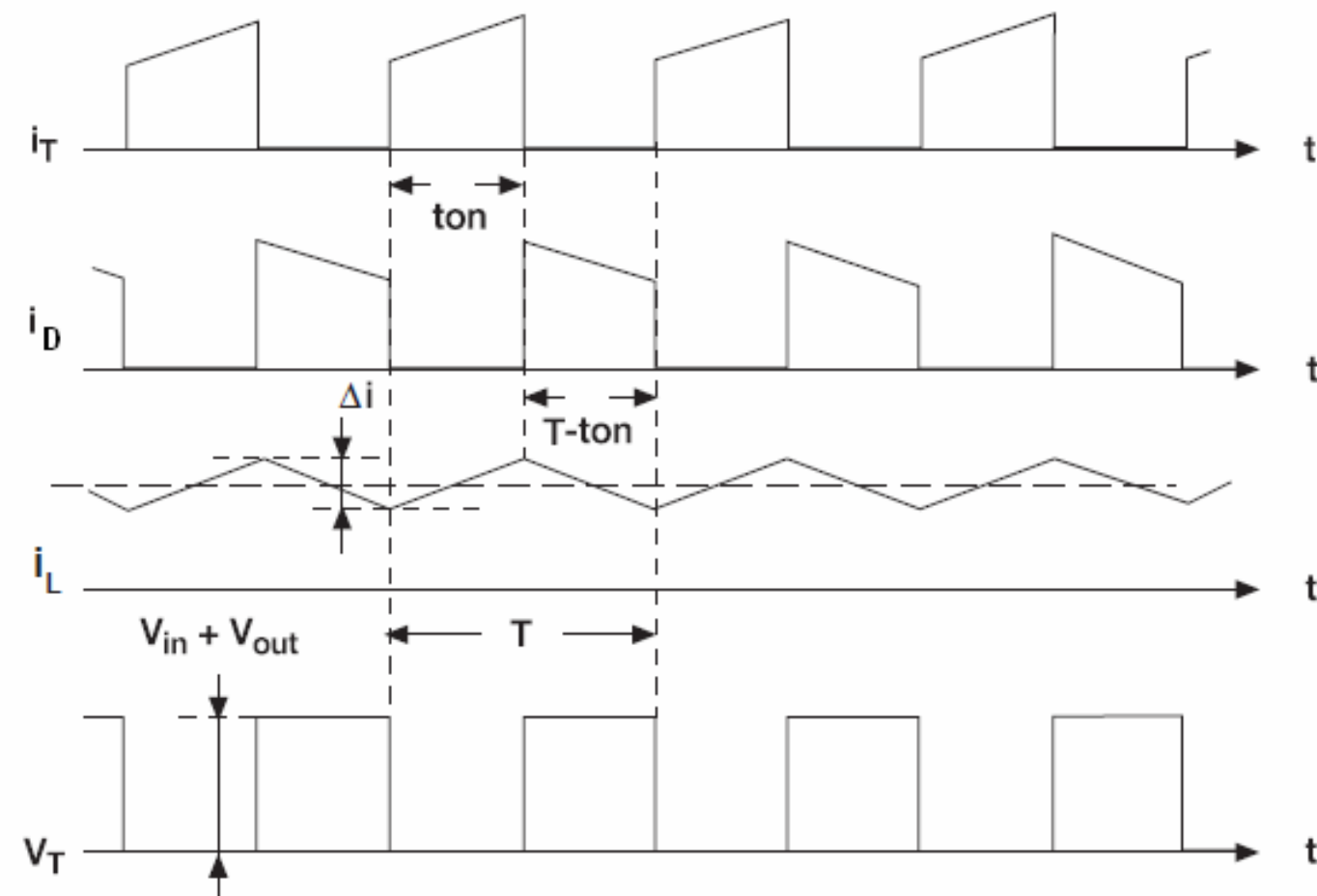
$$V_{ceVmax} \text{ ili } V_{DSS} > V_{inmax} + V_{out}$$

$$I_{cmax} \text{ ili } I_{Dmax} > \frac{I_{out}}{1 - \delta} + \frac{\Delta I}{2}$$

Dimenzionisanje diode

$$V_{RRM} > V_{inmax} + V_{out}$$

$$I_{F(av)} > I_{out}$$



REZIME- neizolovani DC/DC pretvarači

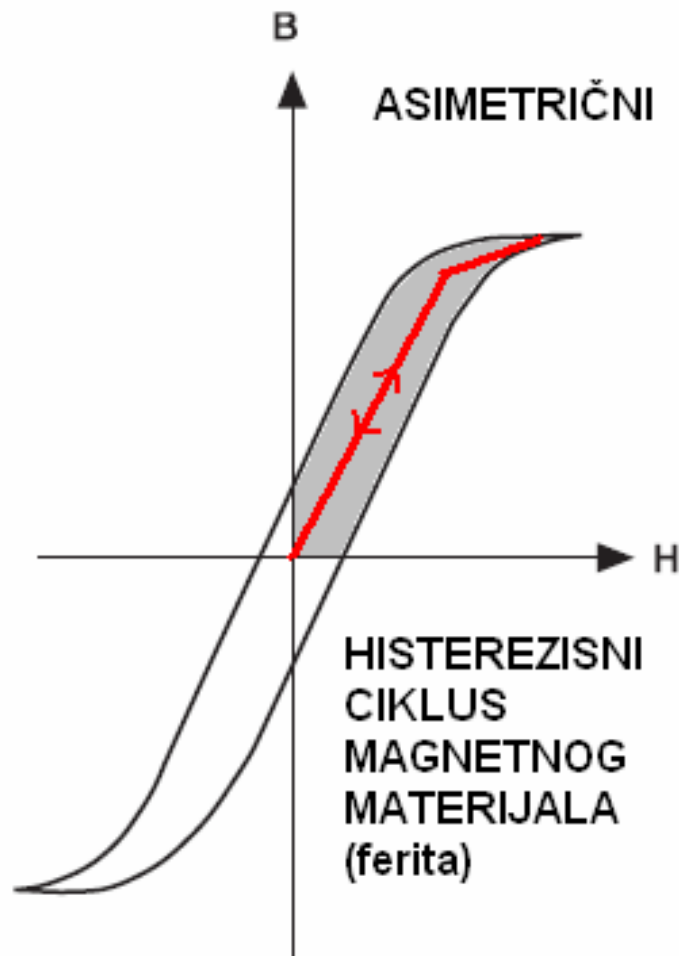
DC-DC karakt.	SPUŠTAČ STEP DOWN	PODIZAČ STEP UP	SPUŠTAČ / PODIZAČ STEP UP/DOWN
V_{out}	$V_{in} \cdot \delta$	$V_{in} / (1 - \delta)$	$[-V_{in} \cdot \delta] / [1 - \delta]$
RMS struja kroz C_{out}	niska	visoka	visoka
Struja iz ulaznog izvora napajanja	diskontinualna (prekidna)	kontinualna (neprekidna)	diskontinualna (prekidna)
Pobudno kolo prekidača T	plivajuće ("floating")	ref. ka masi ("grounded")	plivajuće ("floating")

UPOREDNI PREGLED neizolovanih DC-DC pretvarača

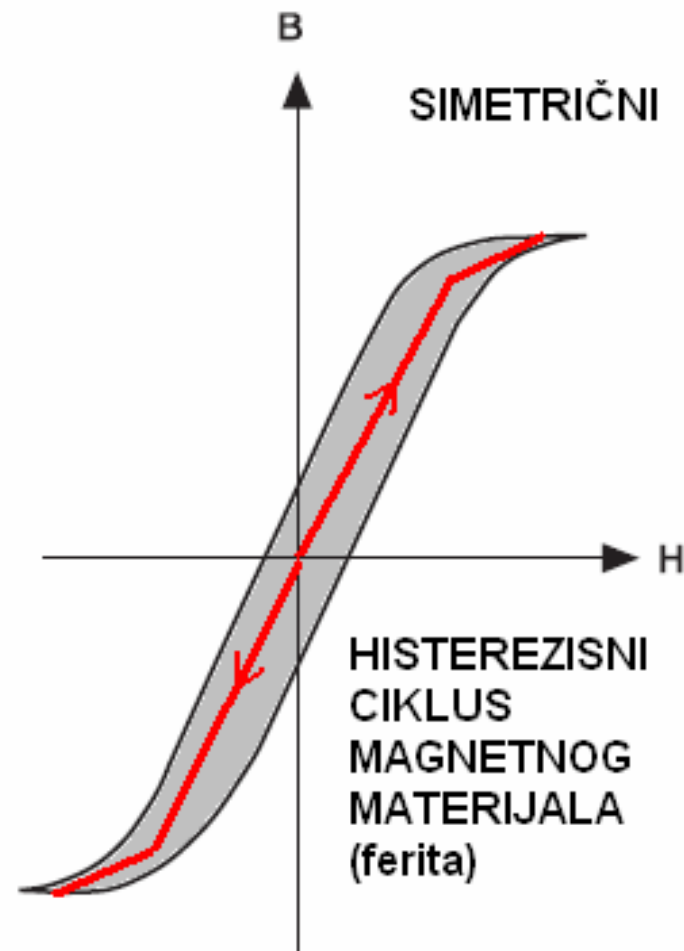
DC-DC pretvarači sa galvanskom izolacijom

- Kod ovih pretvarača se koriste visokofrekventni transformatori (spuštači ili podizači) sa magnetnim medijumom koga sačinjavaju feritna jezgra
- Ovi transformatori su ustvari “galvanski izolatori” između primarne i sekundarne strane
- Ovi izolovani pretvarači se dele, prema položaju radne tačke na B-H krivoj feritnog jezgra, na
 - asimetrične (radna tačka u jednom kvadrantu)
 - simetrične (radna tačka u oba kvadranta B-H krive)

RADNI KVADRANTI U MAGNETNOM MATERIJALU ZA ASIMETRIČNE I SIMETRIČNE DC-DC PRETVARAČE



RAD u JEDNOM
KVADRANTU B-H
krive



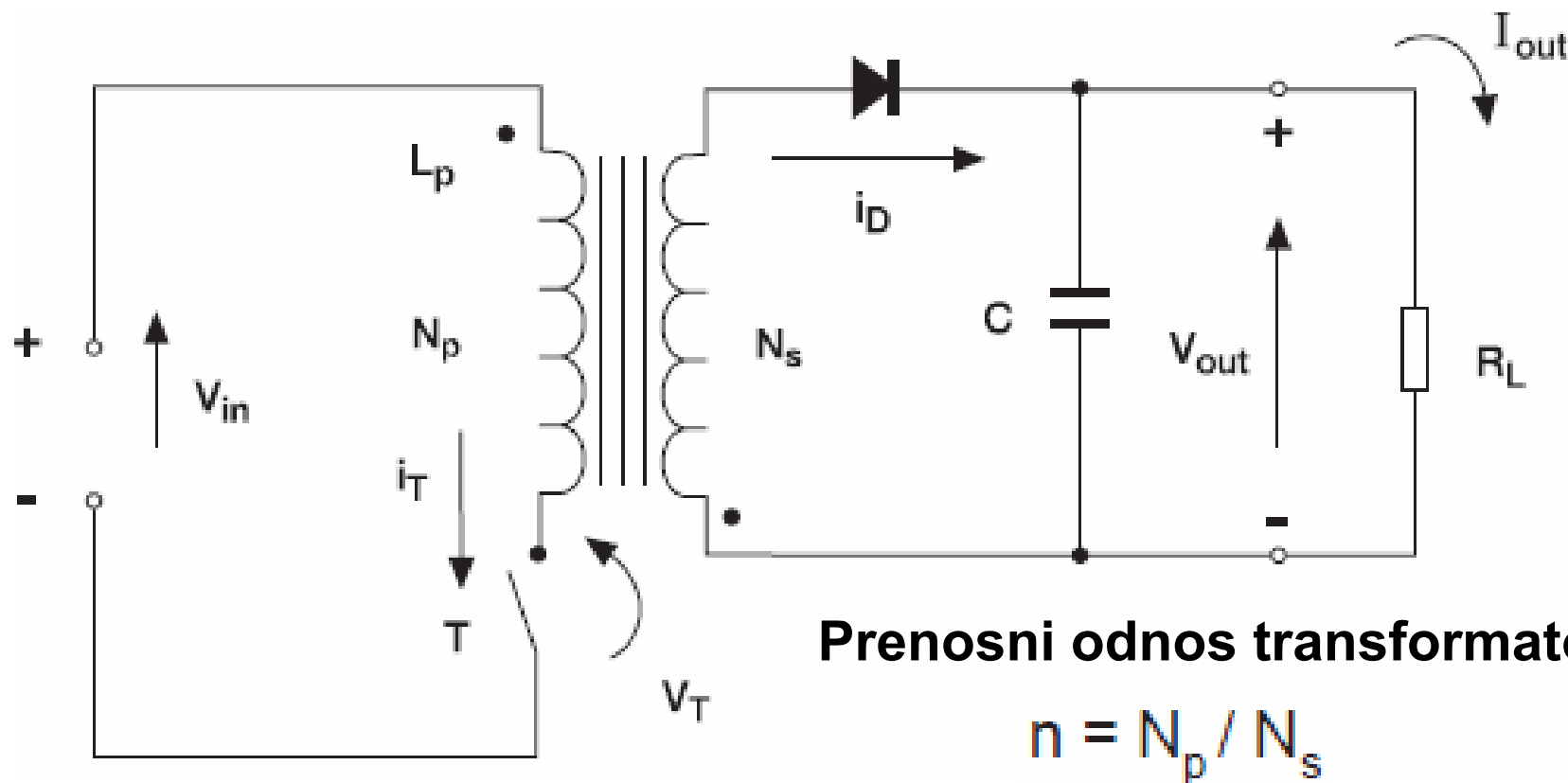
RAD u DVA
KVADRANTA
(simetrična) B-H
krive

ASIMETRIČNI DC-DC pretvarači sa galvanskom izolacijom

- **“Off-line flyback”** regulatori (koji mogu imati jedan ili dva energetska prekidača i koji mogu raditi u prekidnom ili neprekidnom režimu)
- **“Off line forward”** regulatori

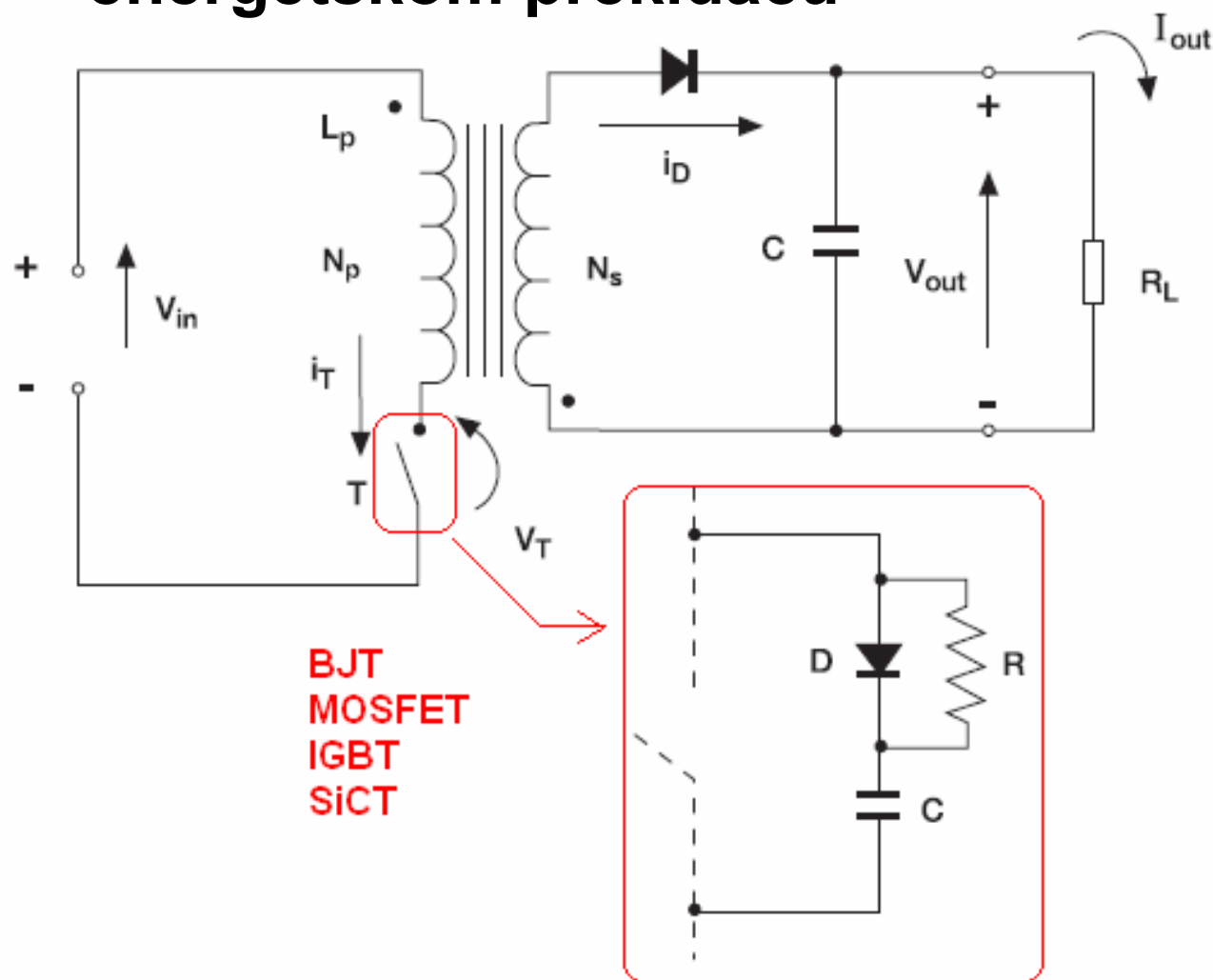
“Off-line flyback” regulatori

“Off-line flyback “ regulator sa galvanskom izolacijom i jednim energetskim prekidačem -TOPOLOGIJA

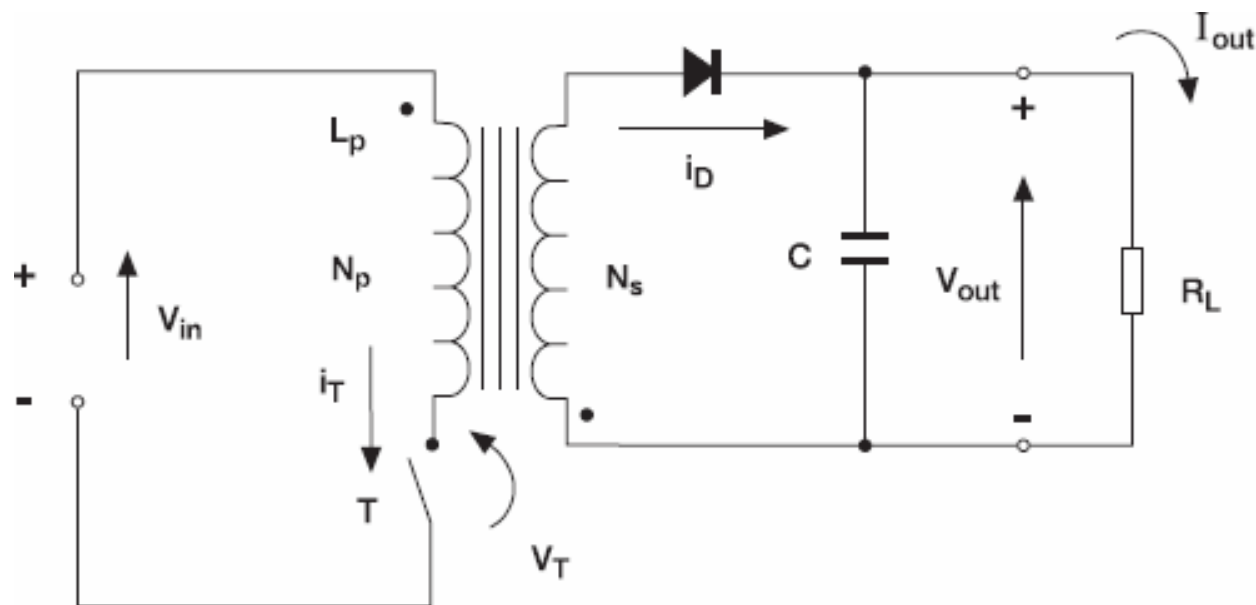


Energija se “nagomilava” u primarnoj induktivnosti L_p u intervalu kada je prekidač T uključen (ON), a prebacuje se u sekundarno kolo , odnosno na izlaz (opterećenje) kada je prekidač T isključen (OFF). Zbog toga se i zovu OFF-LINE

RCD kolo za ublažavanje naponskog stresa na energetskom prekidaču



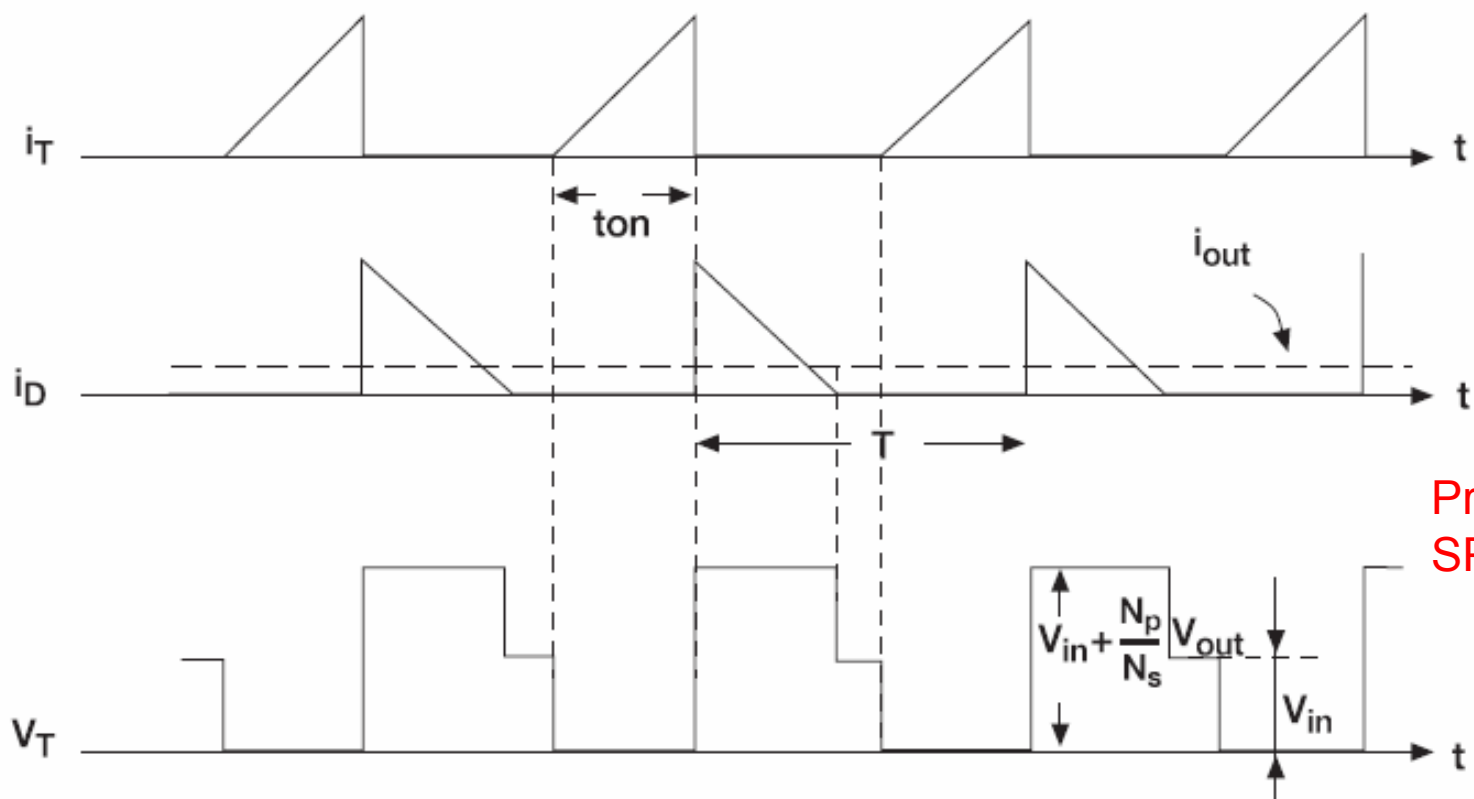
“Off-line flyback” regulatori se uglavnom koriste za izlazne snage od 30W do 300W. Nema potrebe za izlaznim LC filtrom (potreban je samo C) tako da je ovaj pretvarač relativno jeftin. Potrebno je RCD kolo da bi ublažilo naponski stres na energetskom prekidaču T.



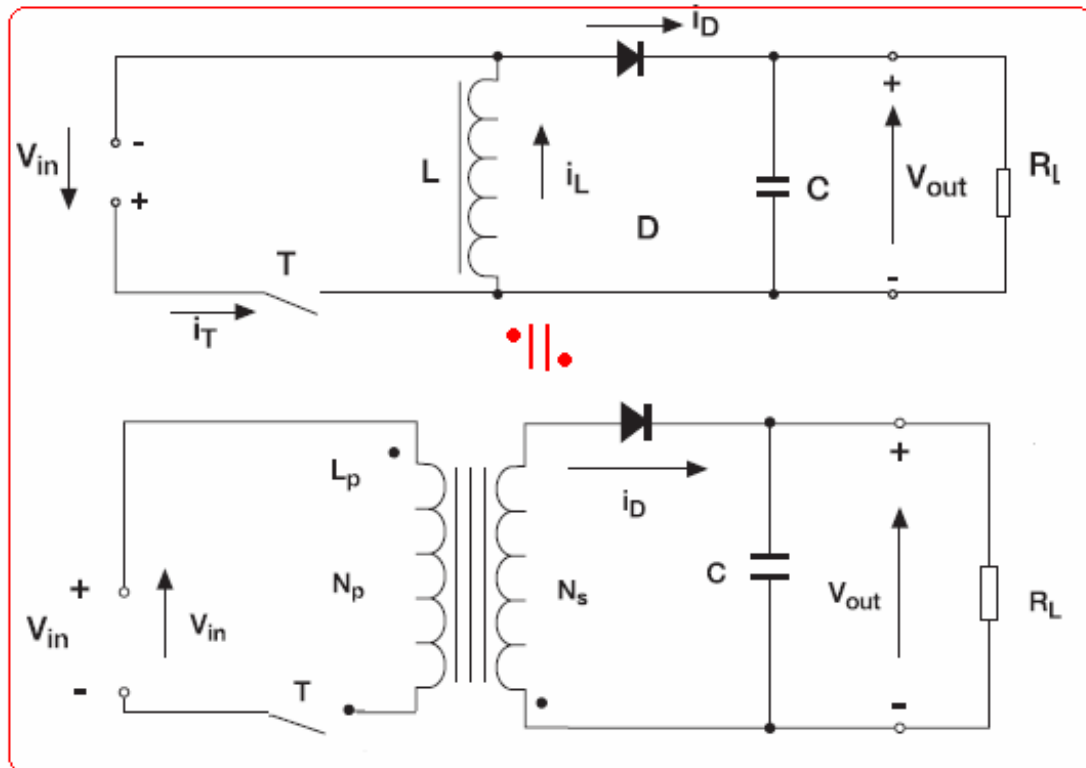
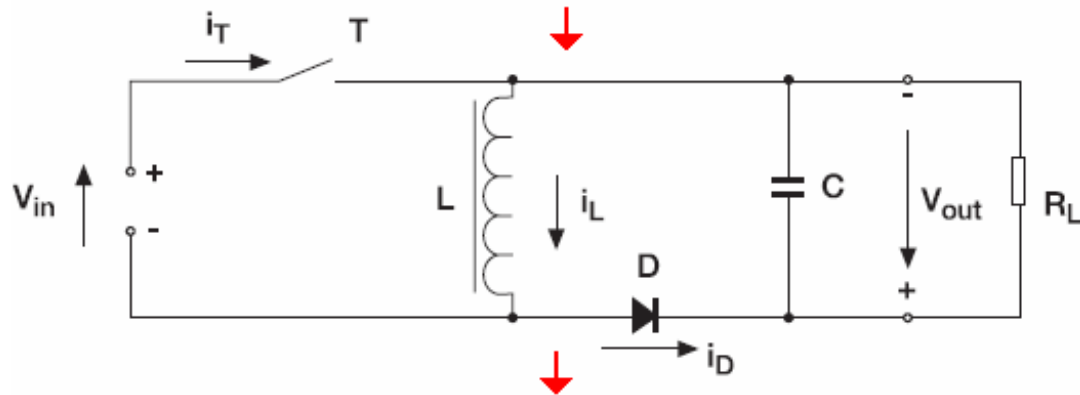
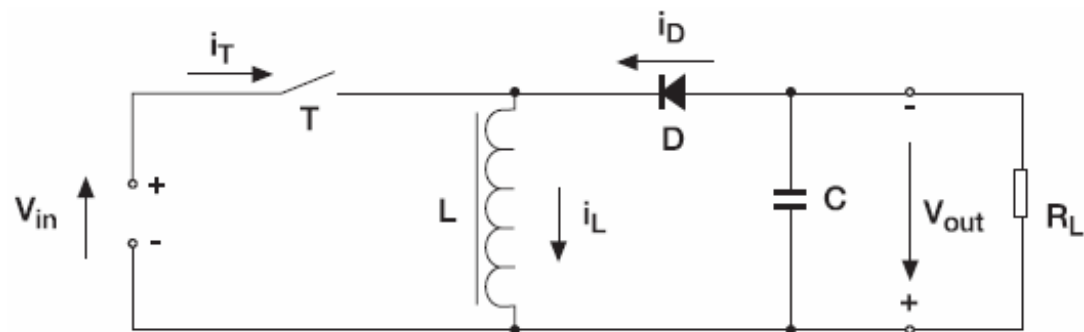
**PREKIDNI (DISKONTINUALNI)
REŽIM RADA**

IZLAZNI NAPON

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{n} \cdot \frac{\delta}{1-\delta}$$



Pretvarač je vrlo sličan
SPUŠTAČU/PODIZAČU !!



TOPOLOGIJA SPUŠTAČ/PODIZAČ

(diodu D prebacujemo u
suprotnu granu)-ekvivalentno

“Rotiramo” topologiju
Opet je sve ekvivalentno
prethodnom

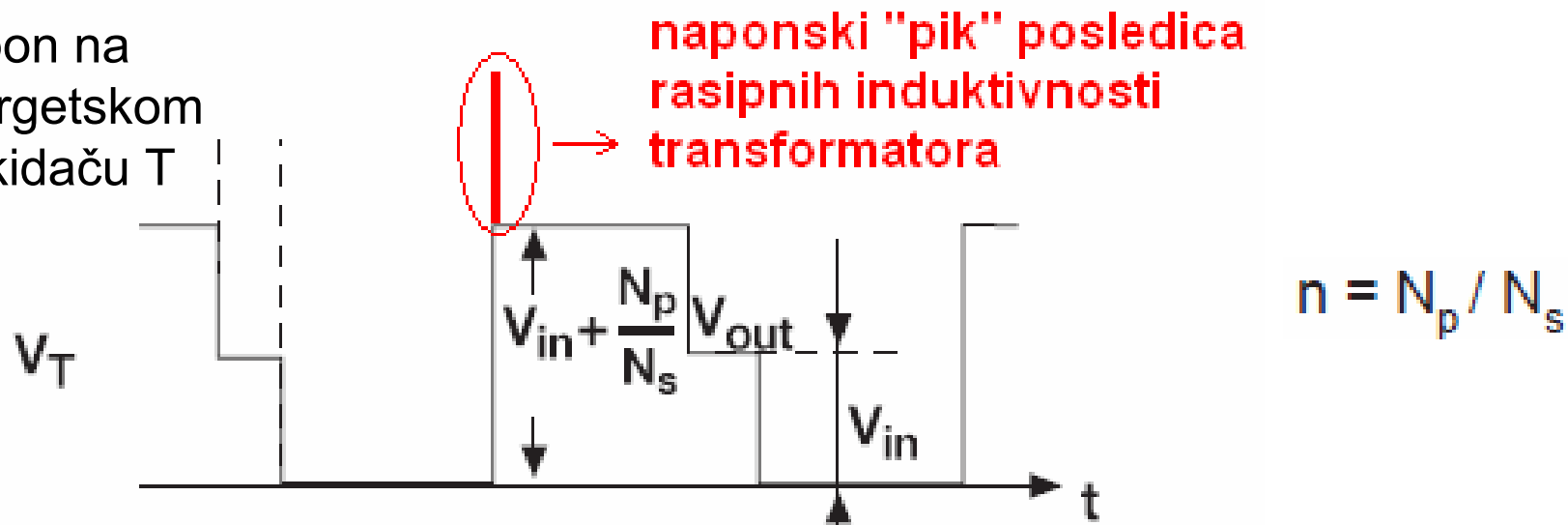
TOPOLOGIJA SPUŠTAČ/PODIZAČ

TOPOLOGIJA “OFF LINE FLYBACK”

DIMENZIONISANJE PREKIDAČA I DIODE

“Off-line flyback” u diskontinualnom režimu rada

Napon na
energetskom
prekidaču T



$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq V_{inmax} + nV_{out} + \text{pik napona}$$

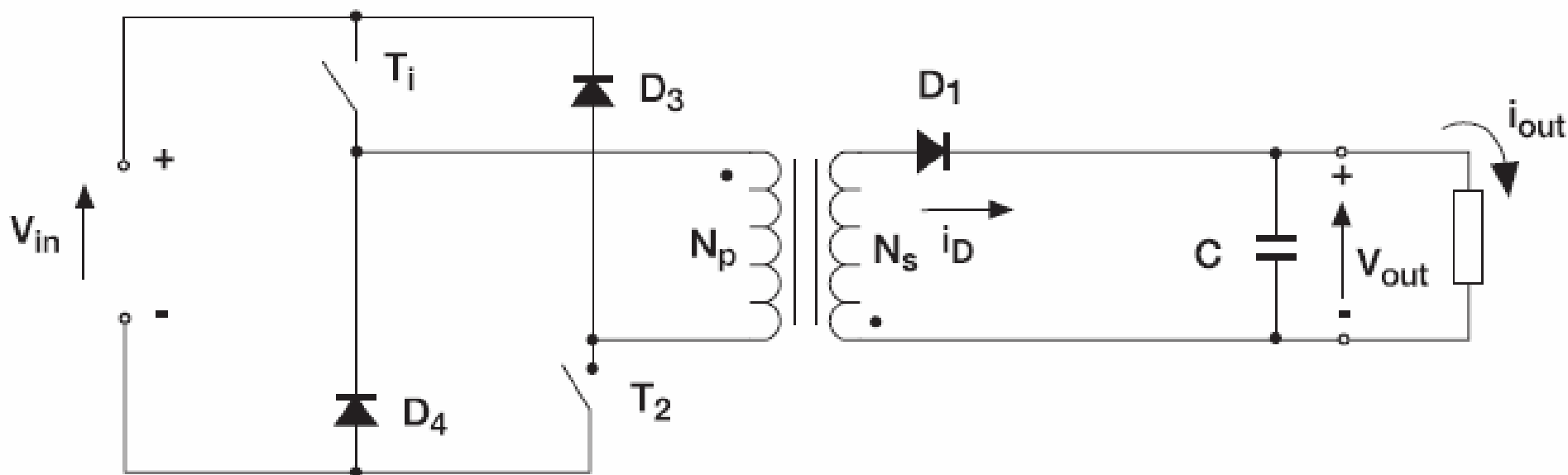
DIODA NA SEKUNDARU:

$$V_{RRM} \geq V_{out} + \frac{V_{inmax}}{n}$$

Problem je dakle “pik” napona na prekidaču
Upravo snaber RCD ublažava ovaj stres
Međutim snaber se izuzetno “greje” i disipira
značajnu snagu!!!!

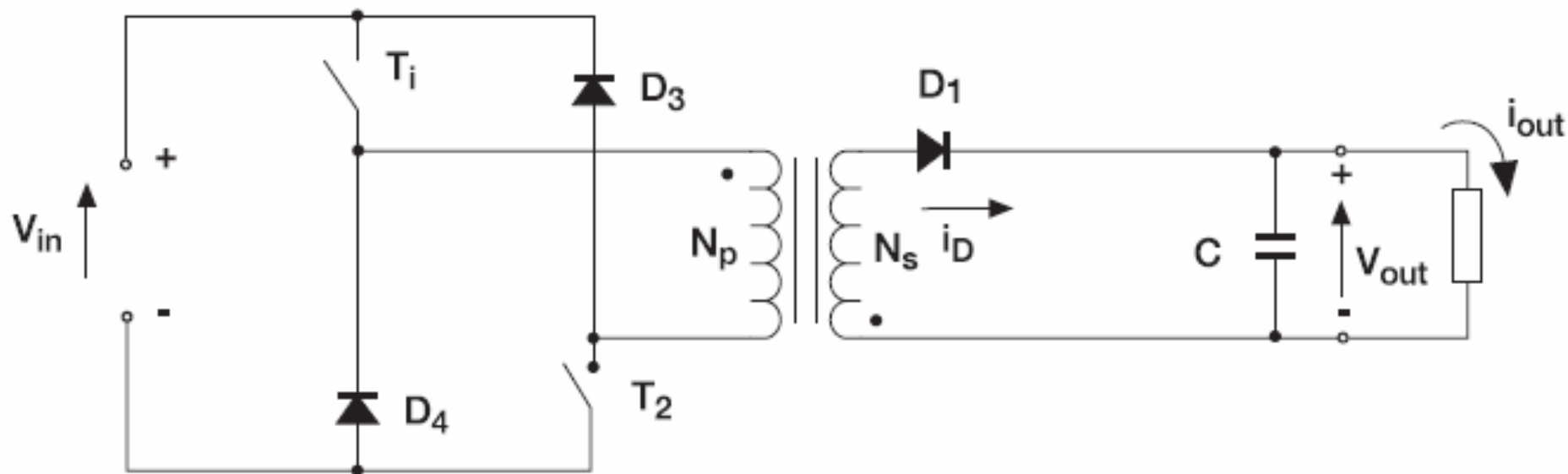
KAKO UBLAŽITI OVAJ STRES?

IZOLOVANI OFF-LINE FLYBACK SA DVA PREKIDAČA (T1,T2) I DVE POVRATNE DIODE (D3,D4)



Dve demagnetizacione diode (D_1 i D_2) obezbeđuju “nedisipativni” snaber za sistematsko ograničenje napona na prekidačima. Ovo omogućava rad na većim učestanostima i obezbeđuje bolju efikasnost u odnosu na topologiju sa jednim prekidačem.

Problem kod ove topologije je pobuda “gornjeg” prekidača T_1 . Topologija je asimetrična što je još jedna ozbiljna mana.



DIMENSIONISANJE PREKIDAČA T_1 , T_2

$$V_{ceV} \text{ ili } V_{DSS} > V_{in \max}$$

DIMENSIONISANJE DIODA D_3 , D_4

$$V_{RRM} \geq V_{inmax}$$

MAKSIMALNE I EFEKTIVNE VREDNOSTI STRUJA ENERGETSKOG PREKIDAČA I DIODE NA SEKUNDARU-diskontinualni režim

PREKIDAČ:

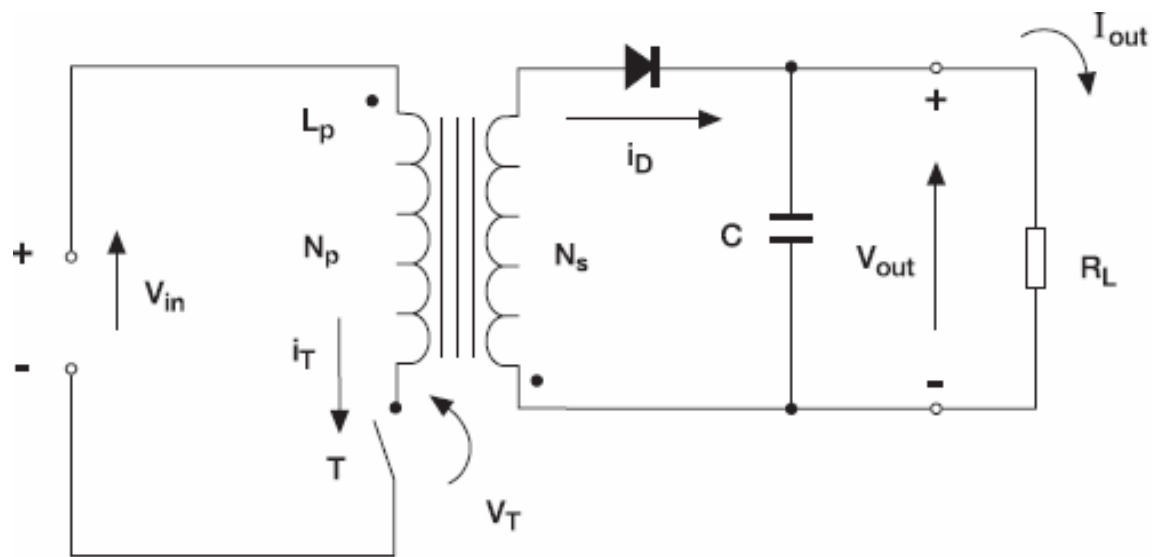
$$I_{Cpeak} \geq \frac{2P_{out}}{\eta V_{inmin} \delta_{max}}$$

$$I_{Drms} \geq \frac{2P_{out}}{\eta V_{inmin} \sqrt{(3\delta_{max})}}$$

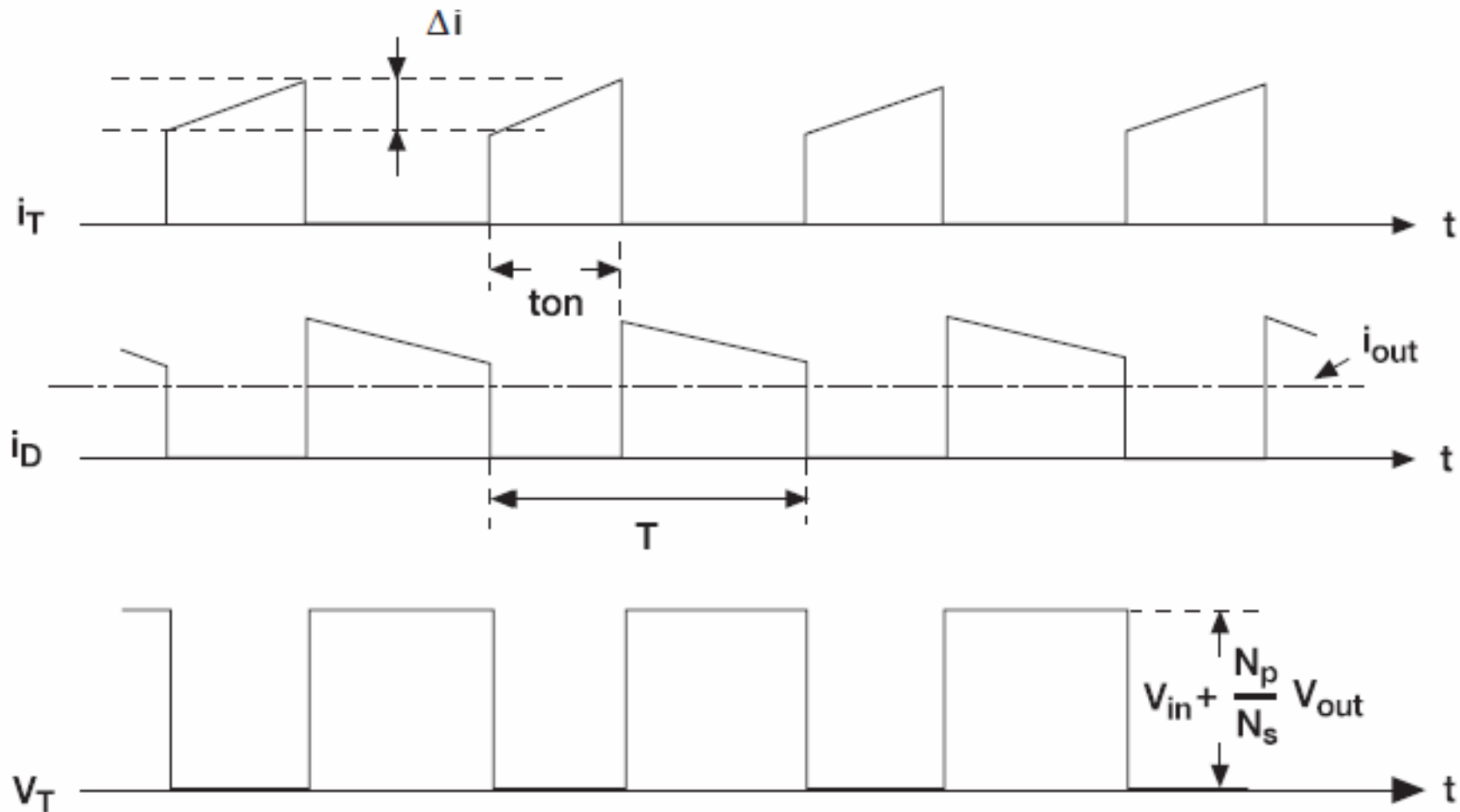
DIODA:

$$I_{Fpeak} \geq \frac{2P_{out}}{V_{out} (1 - \delta_{max})}$$

$$I_{F(AV)} \geq \frac{P_{out}}{V_{out}}$$



**NEPREKIDNI (KONTINUALNI)
REŽIM RADA**



MAKSIMALNE I EFEKTIVNE VREDNOSTI STRUJA ENERGETSKOG PREKIDAČA I DIODE NA SEKUNDARU-kontinualni režim

PREKIDAČ:

$$I_{Cpeak} \geq \frac{2P_{outmax}}{\eta \delta_{max} V_{inmin} (1+A)}$$

$$I_{Drms} \geq \frac{2P_{out}}{\eta V_{inmin}} \sqrt{\frac{(1+A+A^2)}{3\delta_{max}}}$$

DIODA:

$$I_{Fpeak} \geq \frac{2P_{out}}{V_{out} (1 - \delta_{max})(1+A)}$$

$$I_F(AV) \geq \frac{P_{out}}{V_{out}}$$

$$A \geq \frac{I_{peak} - \Delta I}{I_{peak}}$$

DISKONTINUALNI REŽIM

- PREDNOSTI

- Nulti “turn-on” gubici na energetskom prekidaču
- Dobar tranzijentni *line/load* odziv
- Jednostavna stabilizacija kola povratn sprege (jedan pol u prenosnoj funkciji)
- Vreme oporavka diode nije kritično (struja pada u nulu pre pojave inverznog napona na diodi)

- MANE

- Velike vršne vrednosti struje prekidača i diode
- Relativno velika “talasnost” izlaznog napona
- $C_{out} (disc.) \gg 2 \times C_{out} (cont.)$

KONTINUALNI REŽIM

- PREDNOSTI

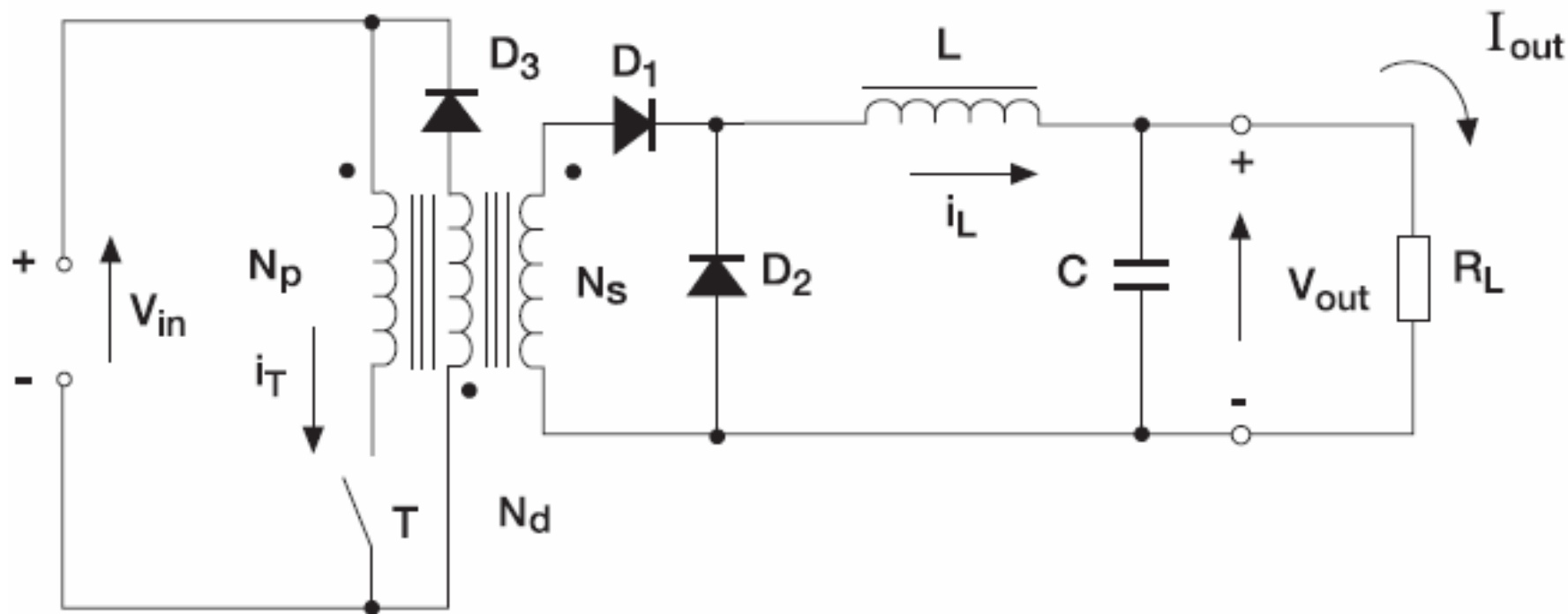
- Vršna vrednost struje diode i prekidača su polovina vrednosti koje se imaju u diskontinualnom režimu
- Mala “talasnost” izlaznog napona
 - $C_{out} (cont.) \gg 0.5 C_{out} (disc.)$

- MANE

- Relativno veliki gubici na diodi u toku vremena oporavka
- Problemi kod stabilizacije kola povratne sprege

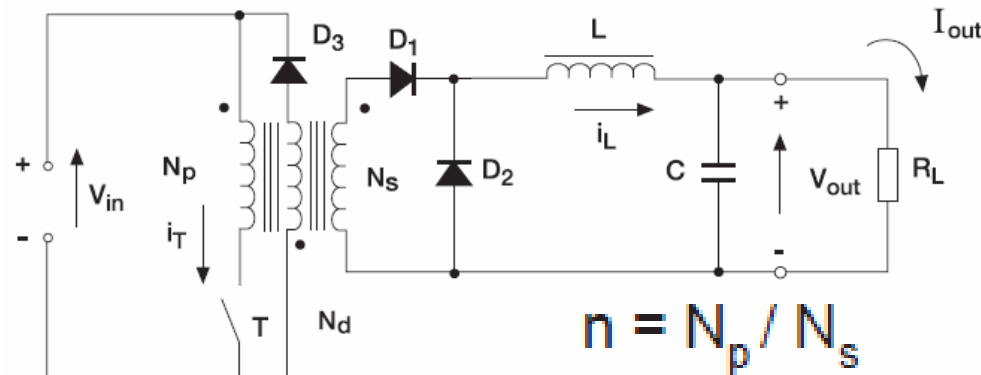
“Off line forward” regulators

IZOLOVANI OFF-line FORWARD SA JEDNIM PREKIDAČEM



FORWARD pretvarač prebacuje direktno energiju iz ulaznog izvora na opterećenje u intervalu “on-time” tj. kada je energetska prekidač T uključen. U intervalu kada je prekidač T isključen (“off-time”), nagomilana energija se kroz izlaznu induktivnost L i diodu D_2 zatvara kroz opterećenje, slično kao kod čopera. I ova topologija se može realizovati sa jednim ili dva energetska prekidača. Izlazna snaga je do 300W ukoliko se koristi jedan prekidač, a oko 1kW ukoliko se koriste dva prekidača.

IZOLOVANI OFF-line FORWARD SA JEDNIM PREKIDAČEM (topologija i talasni oblici)

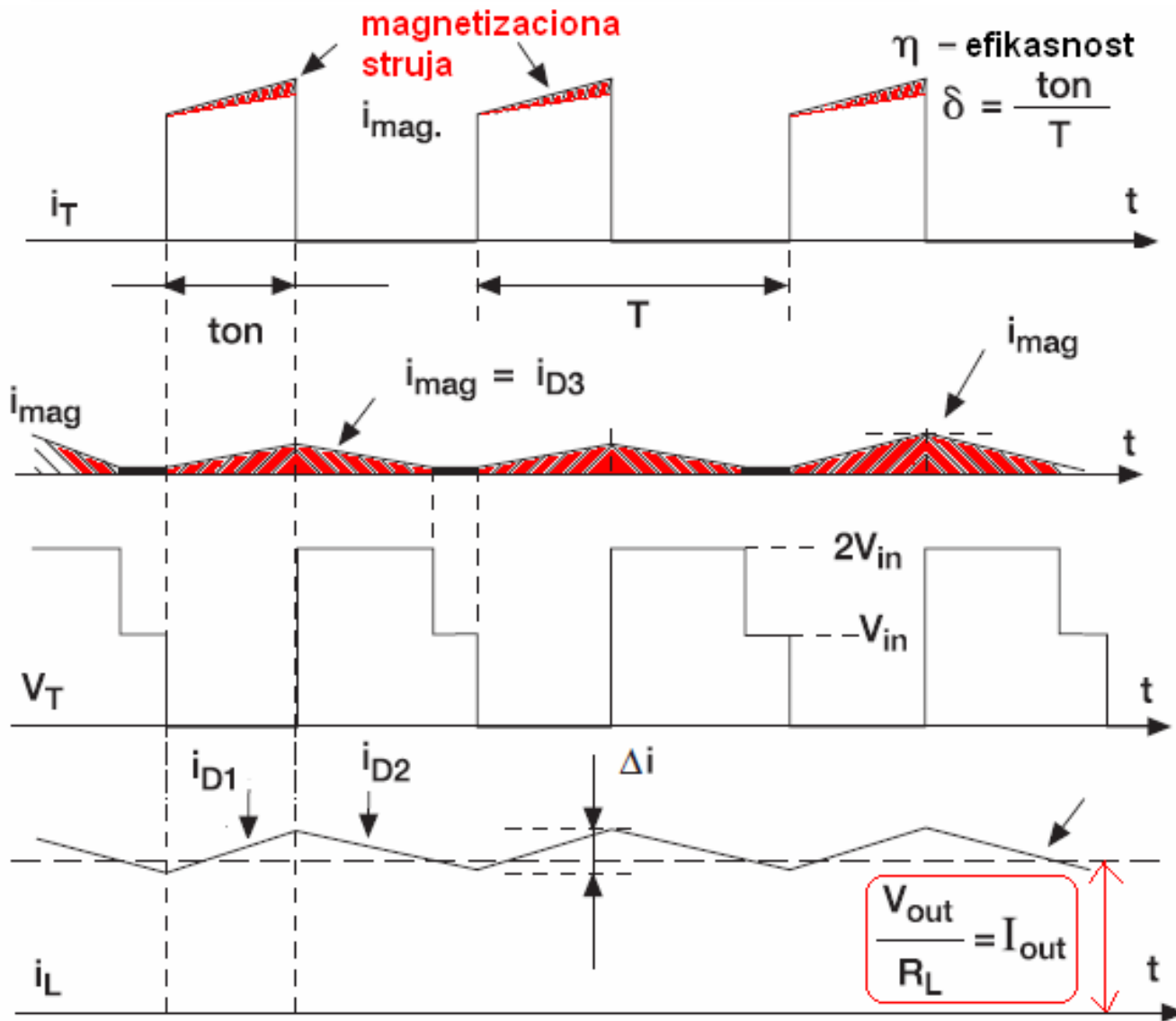


Izlazni napon

$$V_{out} = \delta \cdot \frac{V_{in}}{n}$$

Nd- demagnetizacioni
namotaj

Obično je $N_p = N_d$



Tokom demagnetizacije
prekidač T “trpi” dvostruki
napon V_{in} (teoretski), ali
zbog rasipanja on može biti
i dodatno uvećan za oko
80%

DIMENZIONISANJE PREKIDAČA

$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq V_{inmax} \left[1 + \frac{N_p}{N_d} \right] + \text{pik napona usled rasipnih ind.}$$

$$I_{cpeak} \geq \frac{1.2 \cdot P_{out}}{\eta V_{inmin} \cdot \delta_{max}}$$

$$I_{Drms} \geq \frac{1.2 \cdot P_{out}}{\eta V_{inmin} \cdot \sqrt{\delta_{max}}}$$

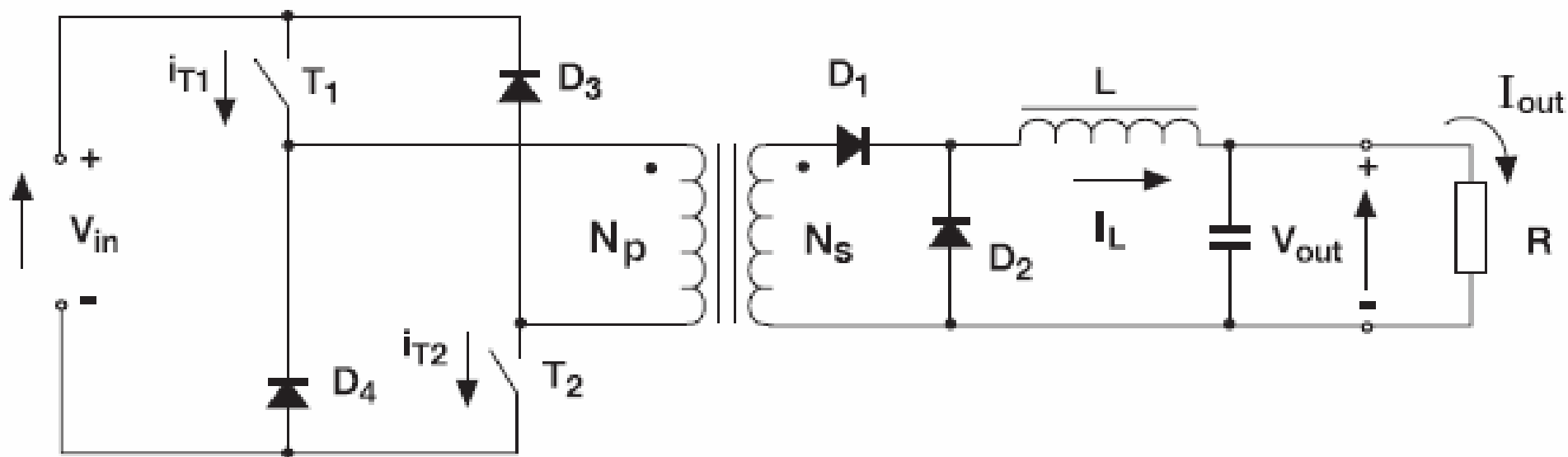
DIMENZIONISANJE DIODA

$$D1: \left[\begin{array}{l} V_{RRM} \geq V_{inmax} \cdot \frac{N_s}{N_d} + \text{pik napona} \\ \text{usled rasipnih ind.} \\ I_{F(av)} \geq I_{out} \cdot \delta_{max} \end{array} \right]$$

$$D2: \left[\begin{array}{l} V_{RRM} \geq \frac{V_{inmax} \cdot (V_{out} + V_F)}{V_{inmin} \cdot \delta_{max}} \\ I_{F(av)} \geq I_{out} \end{array} \right]$$

$$D3: \left[\begin{array}{l} V_{RRM} \geq \left[1 + \frac{N_d}{N_p} \right] V_{inmax} \\ I_{F(av)} \geq \frac{I_{magnpeak}}{2} \cdot \delta_{max} \end{array} \right]$$

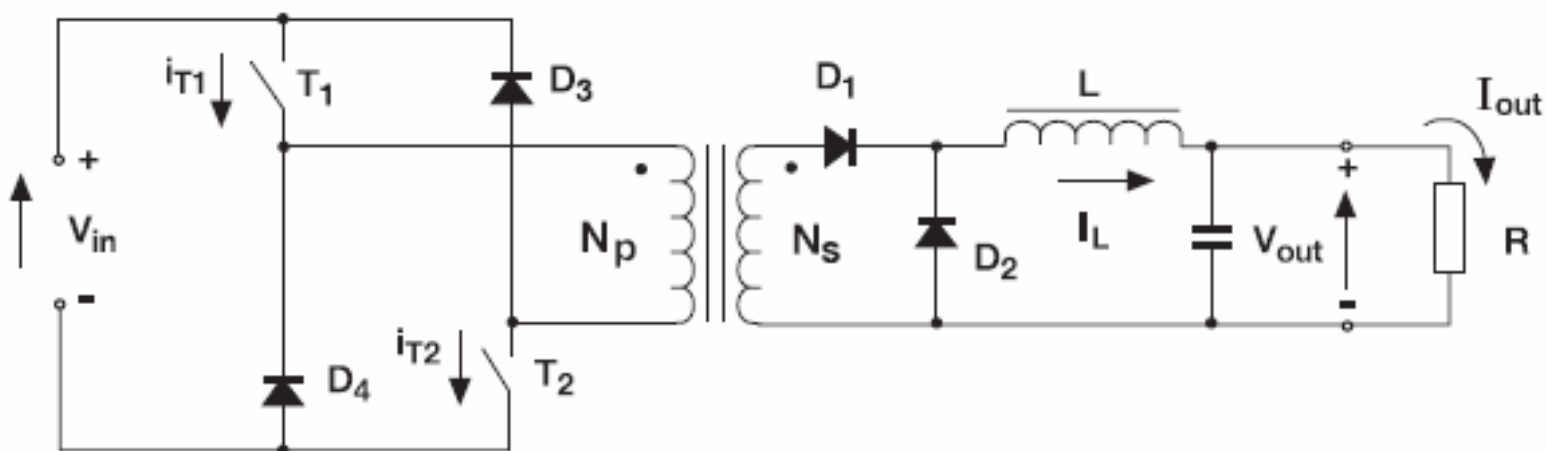
IZOLOVANI OFF-line FORWARD SA DVA PREKIDAČA



U ovom slučaju nema potrebe za demagnetizacionim namotajem, ali moraju se dodati dve povratne diode D_3 i D_4

Mana: zahtevno drajversko kolo “gornjeg” prekidača T_1

IZOLOVANI OFF-line FORWARD SA DVA PREKIDAČA (topologija i talasni oblici)

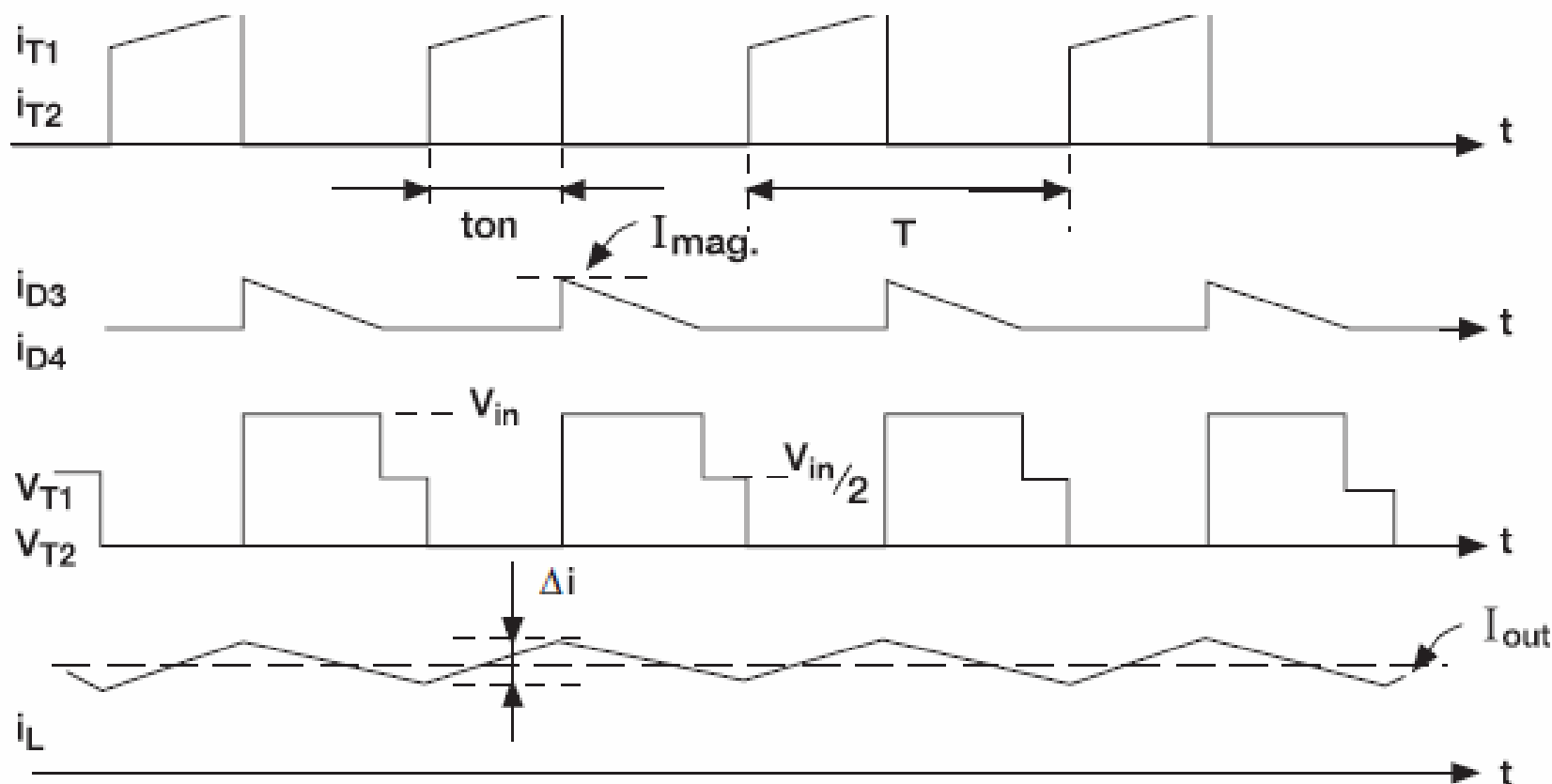


$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

η = efikasnost

$$f = \frac{1}{T}$$

L_p = induktivnost primara



DIMENSIONISANJE PREKIDAČA I DIODA

prekidač

$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq V_{inmax}$$

$$I_{Drms} \geq \frac{1.2 \cdot P_{out}}{\eta V_{inmin} \cdot \sqrt{\delta_{max}}}$$

diode

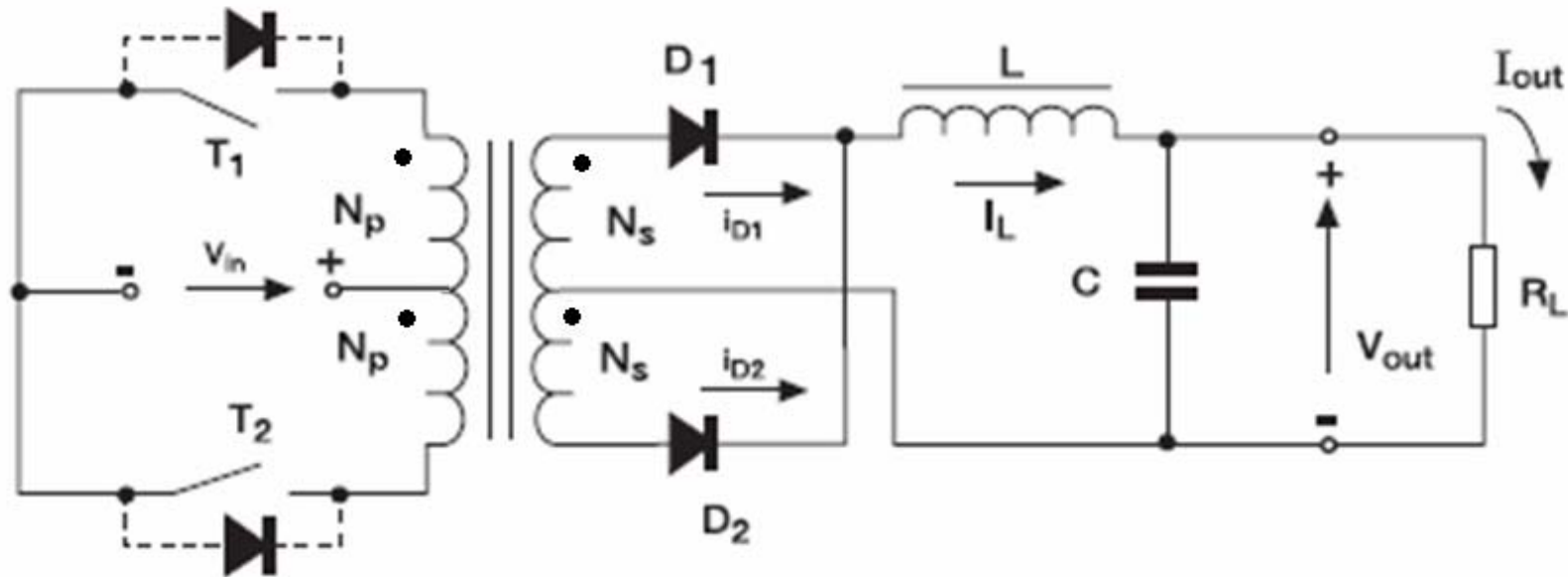
$$\text{FORWARD D1:} \left[\begin{array}{l} V_{RRM} \geq \frac{V_{inmax} (V_{out} + V_F)}{V_{inmin} \cdot \delta_{max}} \\ I_{F(av)} \geq I_{out} \cdot \delta_{max} \end{array} \right]$$

$$\text{FREEWHEELING D2:} \left[\begin{array}{l} V_{RRM} \geq V_{inmax} (V_{out} + V_F) \\ I_{F(av)} \geq I_{out} \end{array} \right]$$

SIMETRIČNI DC-DC pretvarači sa galvanskom izolacijom

- U topologijama se koristi više prekidačkih elemenata
- Bolje je iskorišćeno magnetno kolo u odnosu na asimetrične pretvarače
- Malih su dimenzija i shodno tome i male težine
- Najčešće korišćene strukture su:
 - PUSH/PULL
 - HALF BRIDGE (polumost sa kondenzatorima)
 - FULL BRIDGE (puni most)

PUSH-PULL pretvarač



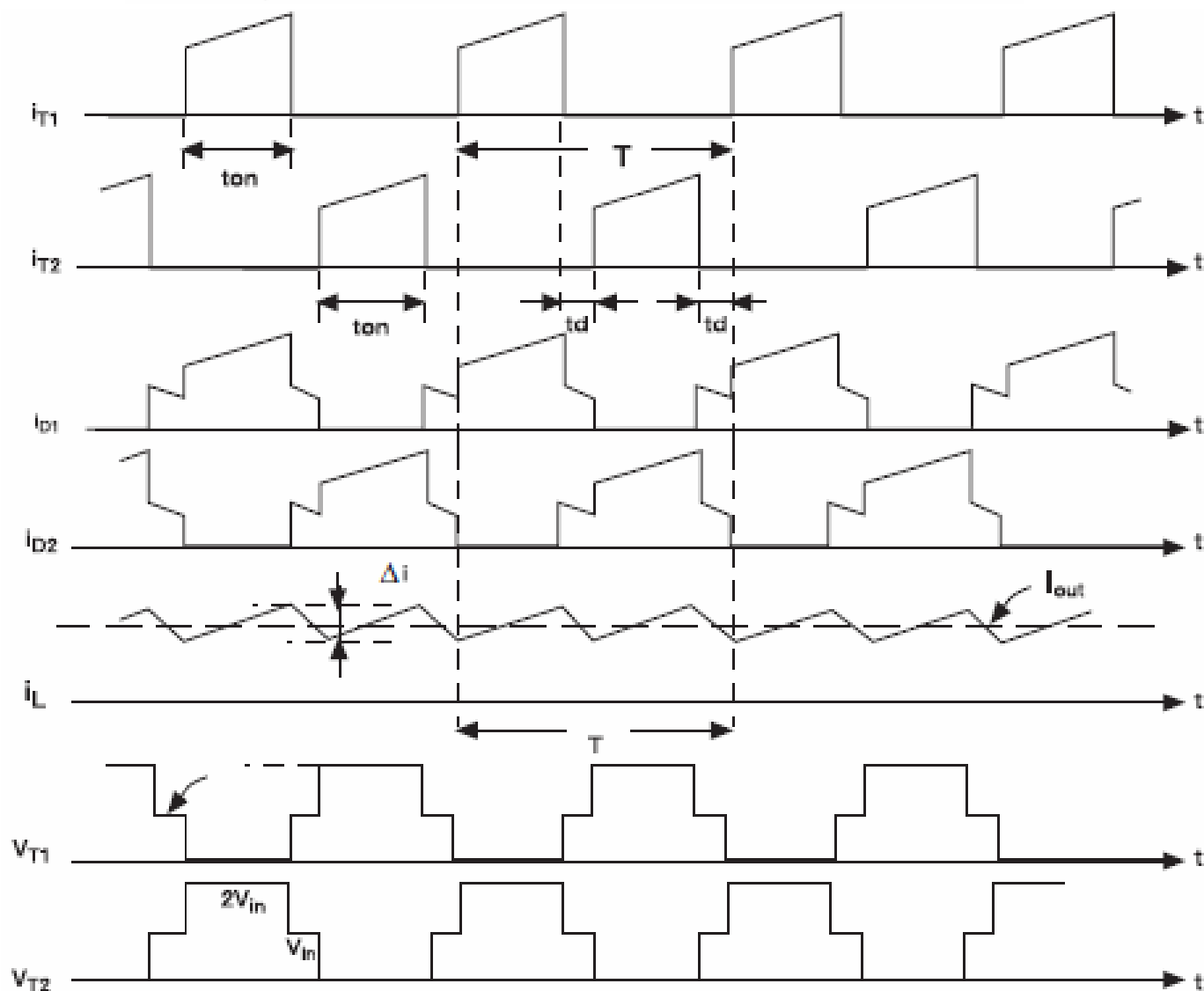
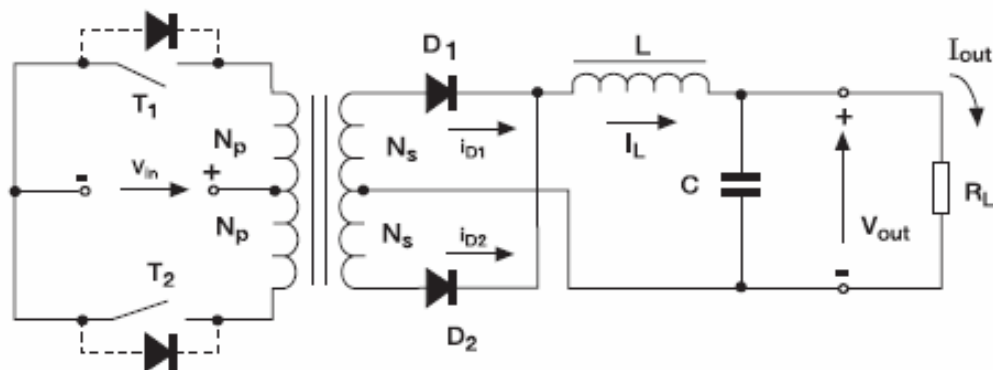
- Prekidači T1 i T2 se naizmenično uključuju sa prekidačkom učestanošću f .
- Sekundarno kolo radi sa dvostrukom prekidačkom učestanošću.
- Obavezno je u pobudno kolo prekidača implementirati tzv. *mrtvo vreme* (deadtime) t_d
- jednostavno pobudno koloprekidača (referisani su prema masi)

IZLAZNI NAPON: $V_{out} = 2 \frac{\delta V_{in}}{n}$

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

PUSH-PULL pretvarač

Topologija i
karakteristični talasni
oblici



DIMENZIONISANJE PREKIDAČA I DIODA

prekidači

$$I_{Cpeak} \geq \frac{P_{out}}{\eta V_{inmin}}$$

vršna struja

$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq 2 V_{inmax} + \text{pik napona usled rasipnih ind.}$$

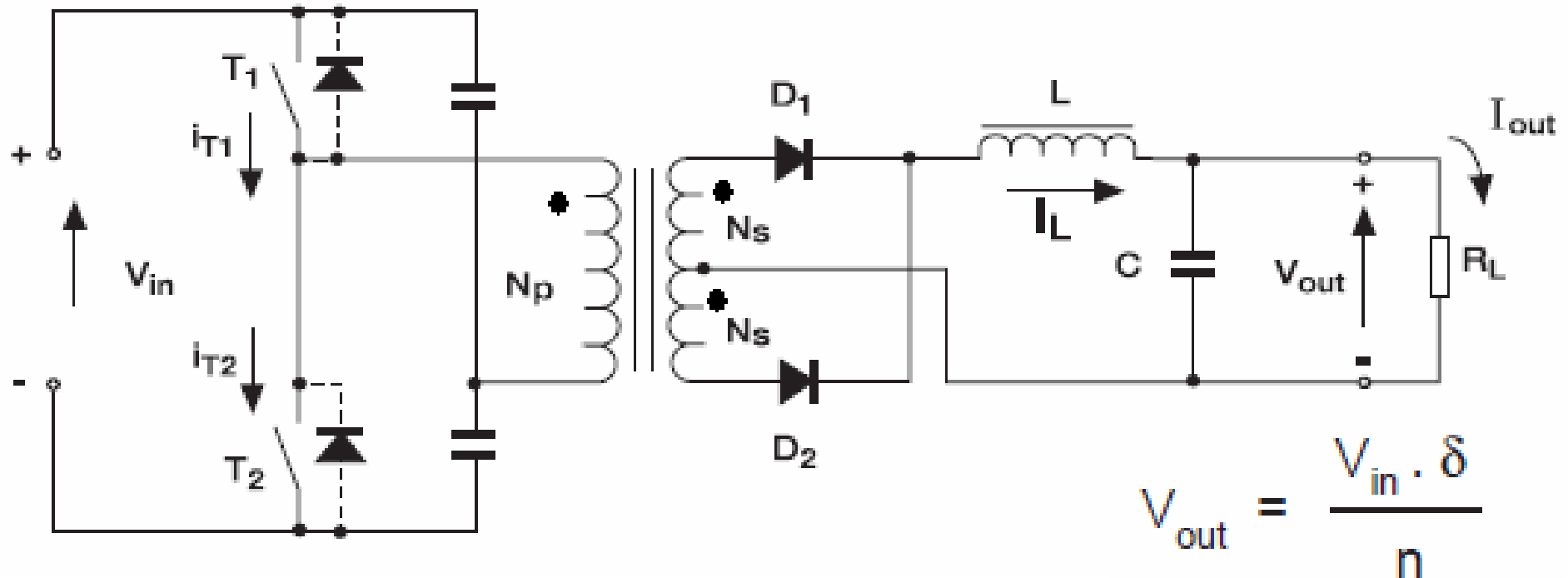
napon

diode

$$V_{RRM} \geq \frac{(V_{out} + V_F) V_{inmax}}{\delta_{max} V_{inmin}} + \text{pik napona usled rasipnih ind.}$$

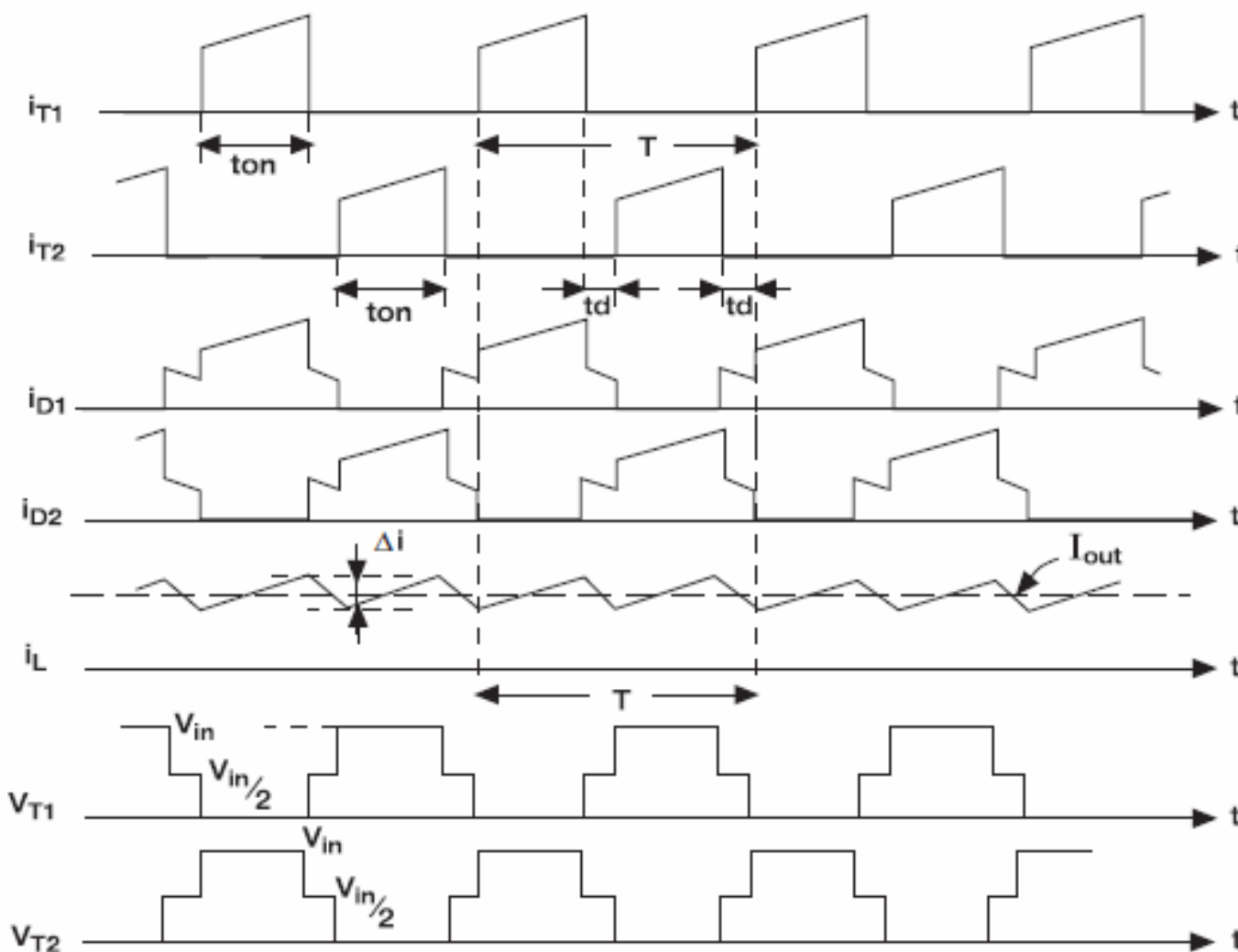
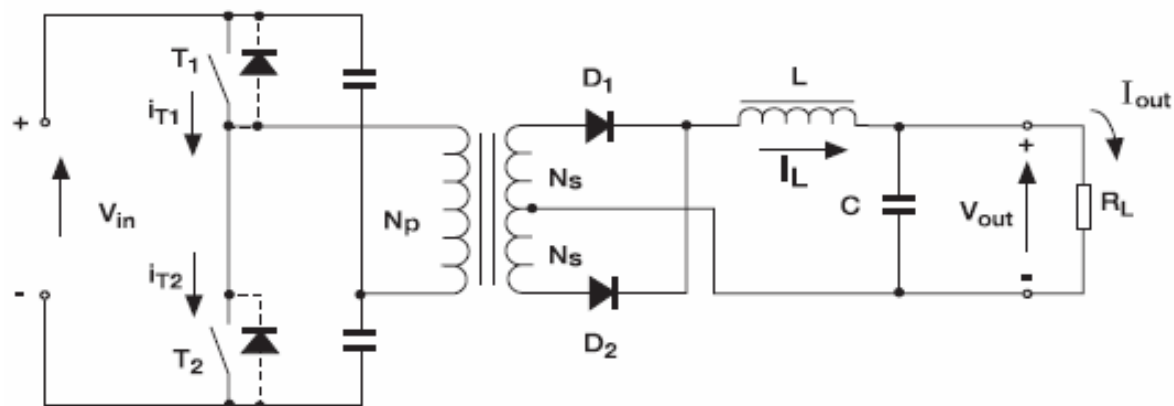
$$I_{F(av)} \geq \frac{I_{outmax}}{2}$$

HALF BRIDGE (polumosni pretvarač)



- Ova topologija se koristi za izlazne snage do 500W. Kao i u slučaju *push-pull* pretvarača, prekidači T_1 i T_2 se naizmenično uključuju tokom t_{on} .
- Kondenzatori vezani na red a onda u paraleli sa ulaznim izvorom obezbeđuju da svaki od prekidača “trpi” napon V_{in} .
- Pobuda “gornjeg” prekidača je zahtevna (mana)

HALF BRIDGE (polumosni pretvarač) TOPOLOGIJA I KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI



IZLAZNI NAPON

$$V_{out} = \frac{V_{in} \cdot \delta}{n}$$

DUTY CYCLE

$$\delta = \frac{ton}{T}$$

Efikasnost (%)

$$\eta$$

DIMENZIONISANJE PREKIDAČA I DIODA

prekidači

$$I_{Cpeak} \text{ ili } I_{Dpeak} \geq \frac{2P_{out}}{\eta V_{inmin}}$$

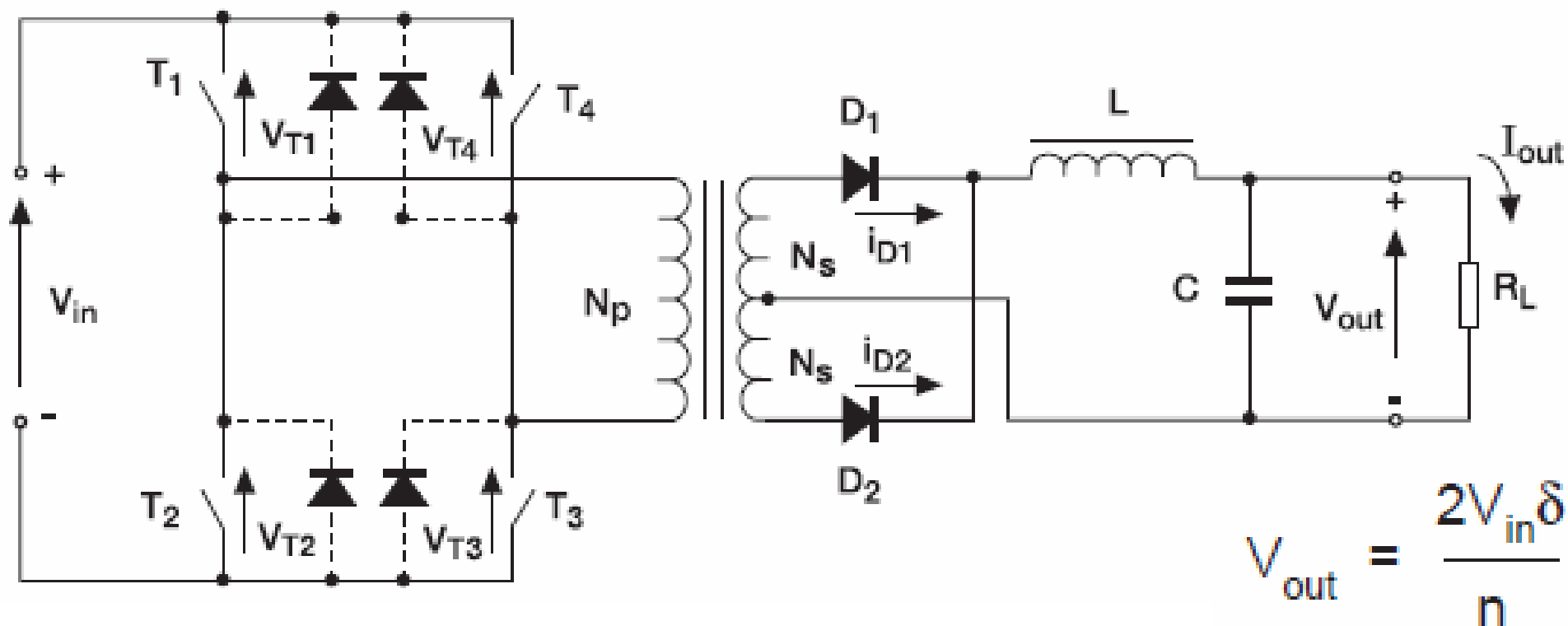
$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq V_{inmax}$$

diode

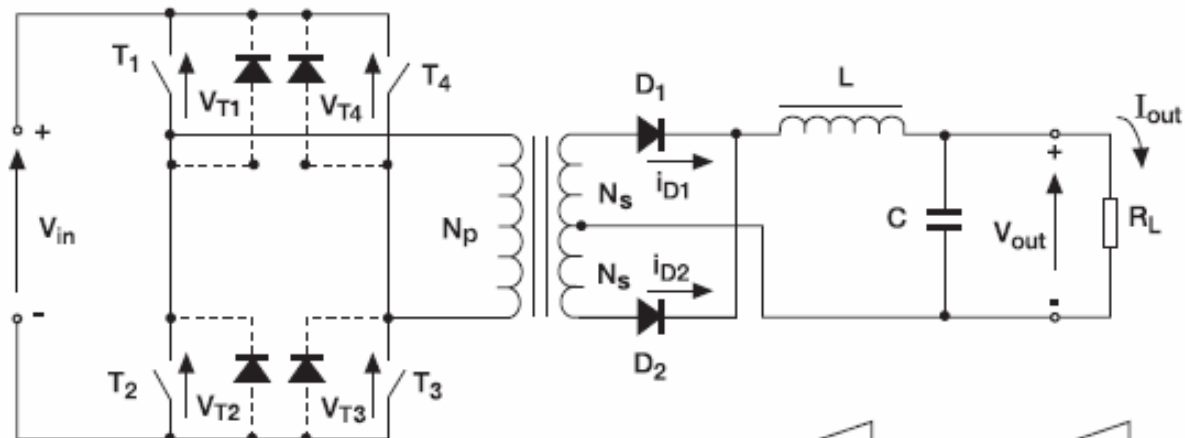
$$V_{RRM} \geq \frac{(V_{out} + V_F) \cdot V_{inmax}}{\delta_{max} \cdot V_{inmin}} + \text{pik usled rasip.ind.}$$

$$I_{F(av)} \geq \frac{I_{outmax}}{2}$$

FULL BRIDGE (puni most)

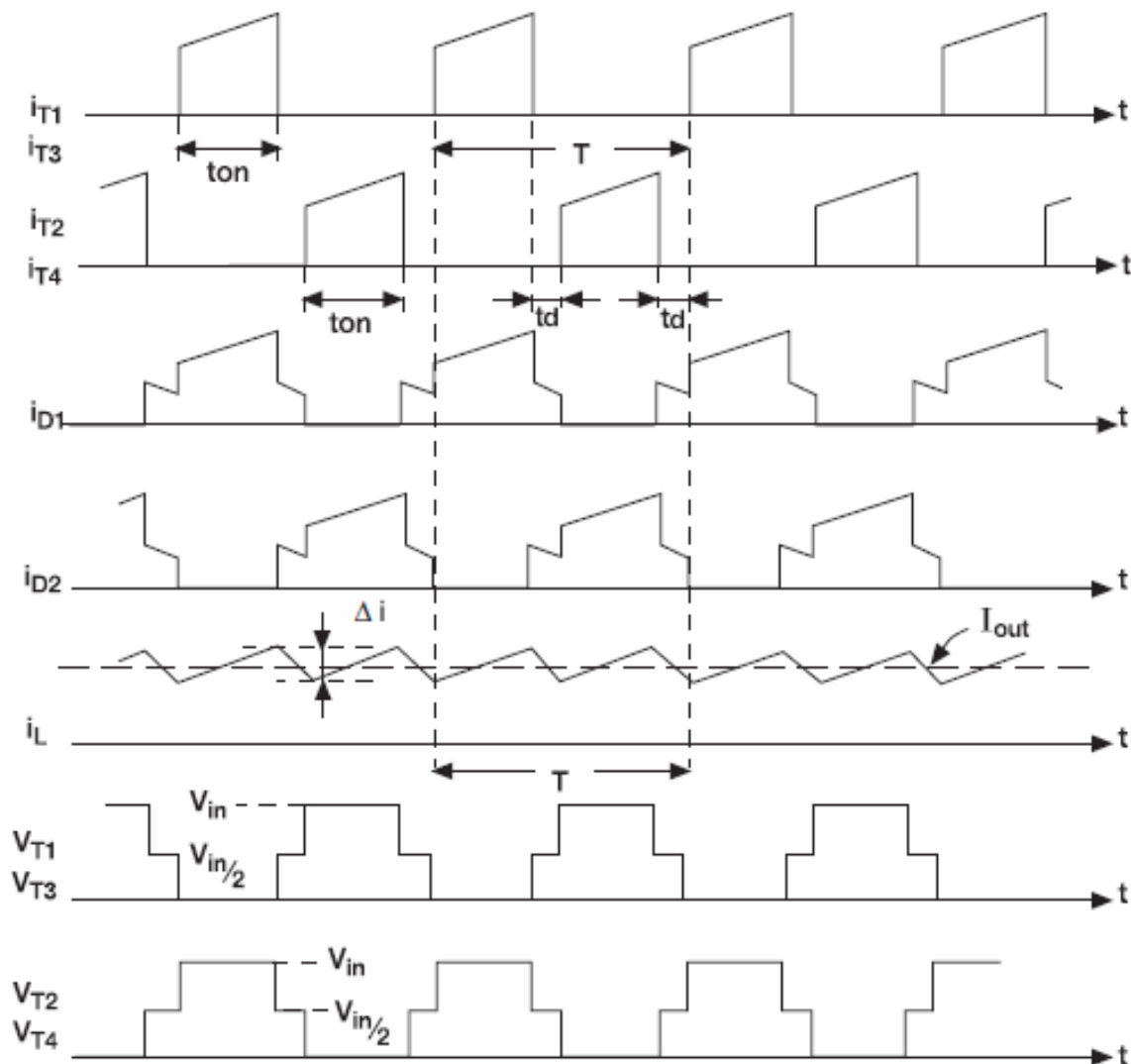


- Ova topologija se koristi za snage od 500W do 2kW
- Nekada se vrši paralelovanje transformatora kako bi se povećala izlazna snaga
- T_1, T_3 i T_2, T_4 se naizmenično uključuju sa prekidačkom učestanošću f
- **Dobijena izlazna snaga je dvostruko veće u odnosu na HALF-BRIDGE**
- MANE:** zahtevaju se 4 prekidača i 4 diode; pobuda T_1 i T_4 !!!



FULL BRIDGE (puni most)

topologija
i talasni oblici



DIMENZIONISANJE PREKIDAČA I DIODA

prekidači

$$I_{Cpeak} \text{ ili } I_{Dpeak} \geq \frac{2P_{out}}{\eta V_{inmin}}$$

$$V_{CEV} \text{ ili } V_{DSS} \geq V_{inmax}$$

diode

$$V_{RRM} \geq \frac{(V_{out} + V_F) \cdot V_{inmax}}{\delta_{max} \cdot V_{inmin}} + \text{pik usled rasip.ind.}$$

$$I_{F(av)} \geq \frac{I_{outmax}}{2}$$

HVALA NA PAŽNJI!!

PITANJA??



JANUAR 2014

