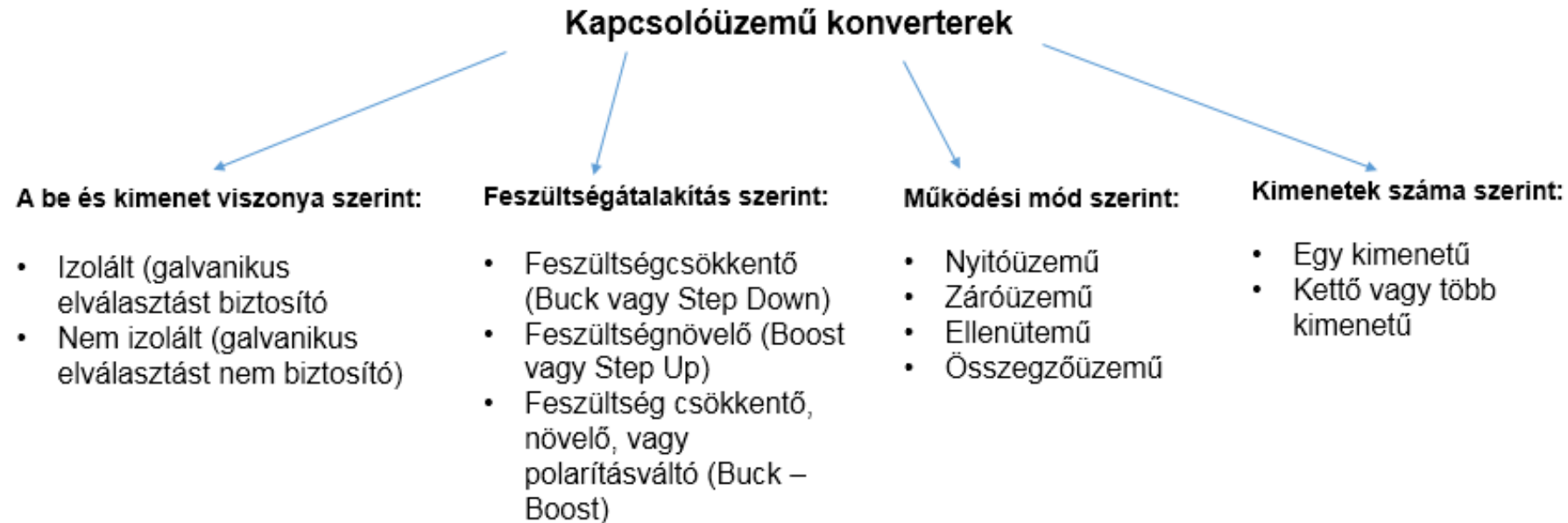


Teljesítményelektronikai áramkörök tervezése és szimulációja

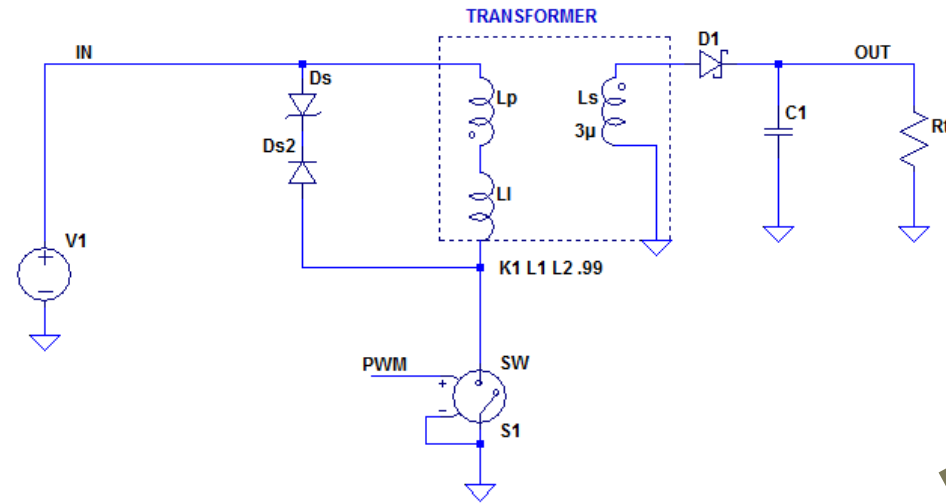
Kapcsolóüzemű konverterek- Flyback konverter, snubber áramörök

Ismétlés

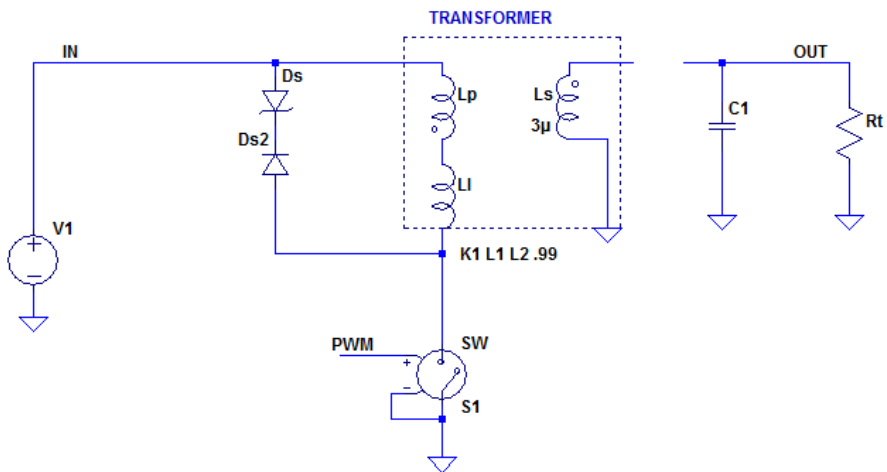


- A flyback konverter a Buck konverter transzformátoros változata
- A kimenete a bemenettől galvanikusan leválasztott
- Záróüzemű konverter, tehát az energiatranszfer a primer oldali kapcsoló kikapcsolt állapotában történik meg

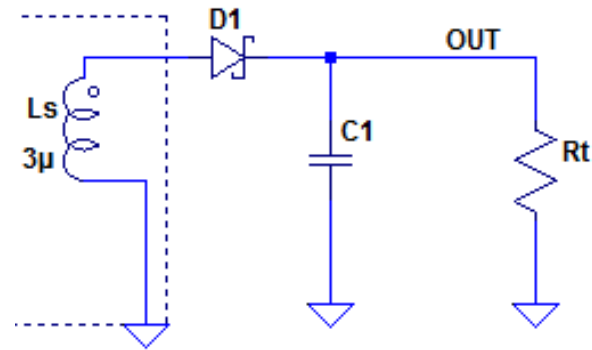
Feszültségcsökkentő (Buck converter)



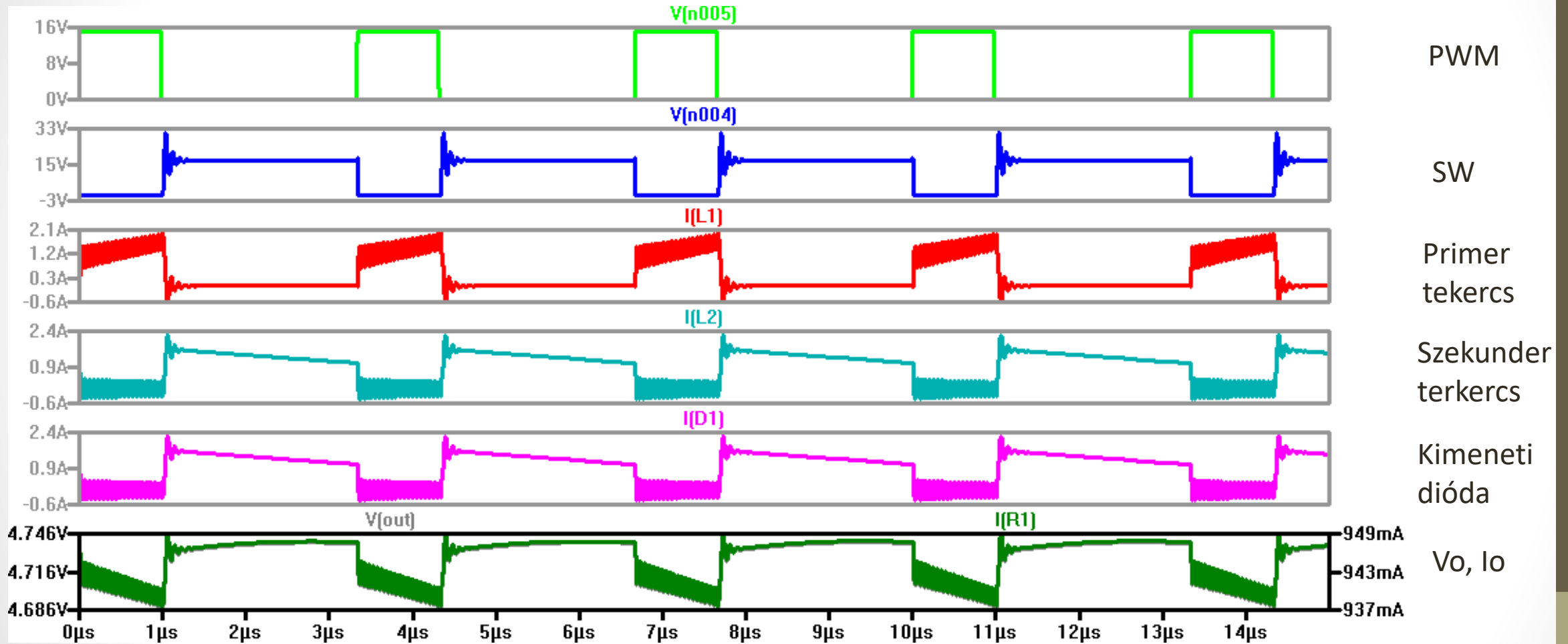
Ha $SW=1$



Ha $SW=0$



Jelalakok



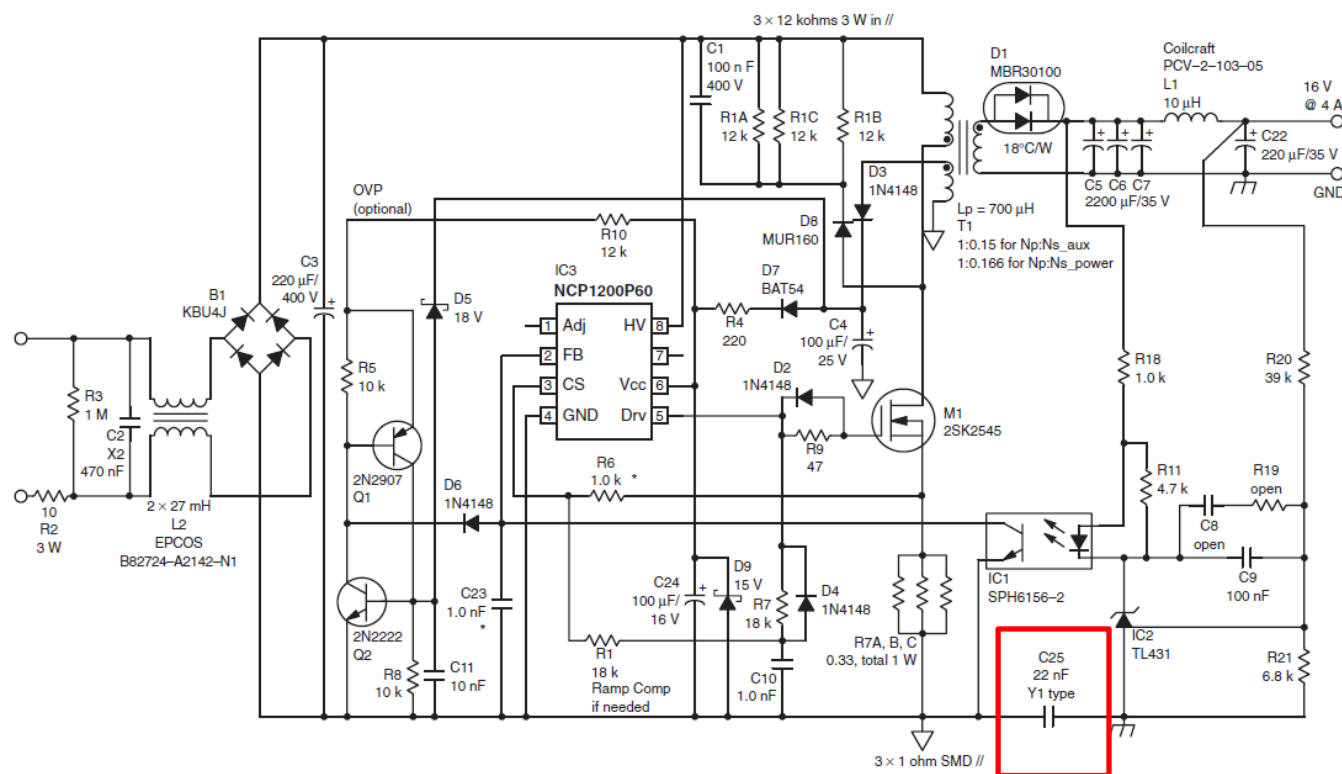
Tervezési megfontolások

- Szórt induktivitás jelentőség, transzformátor kiválasztása
- Snubber áramkör használata
- Kapcsolóelem kiválasztása (megfelelő feszültségtűrés (VDS))
- Zajsűrűs (Y kondenzátor)



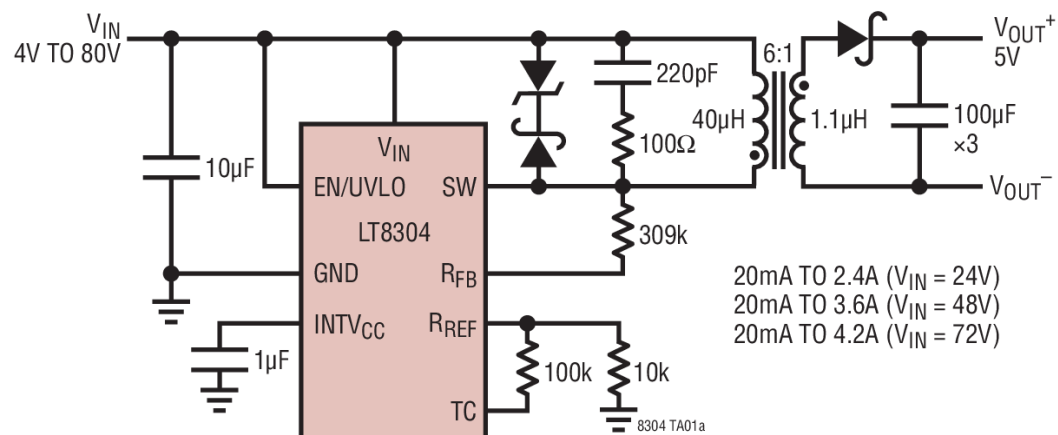
Kettős cél

- EMI/zaj védelem a primer és szekunder oldal között
- Másfelől ESD/túlfeszültségvédelem: Kondenzátor nélkül a transzformátort nagyobb kúszóutakkal és nagyobb átütésre kell tervezni. Esetleges üzemzavar esetén a kondenzátor alacsony impedanciája miatt kedvezőbb áramutat biztosít az esetleges káros feszültségimpulzusok esetén

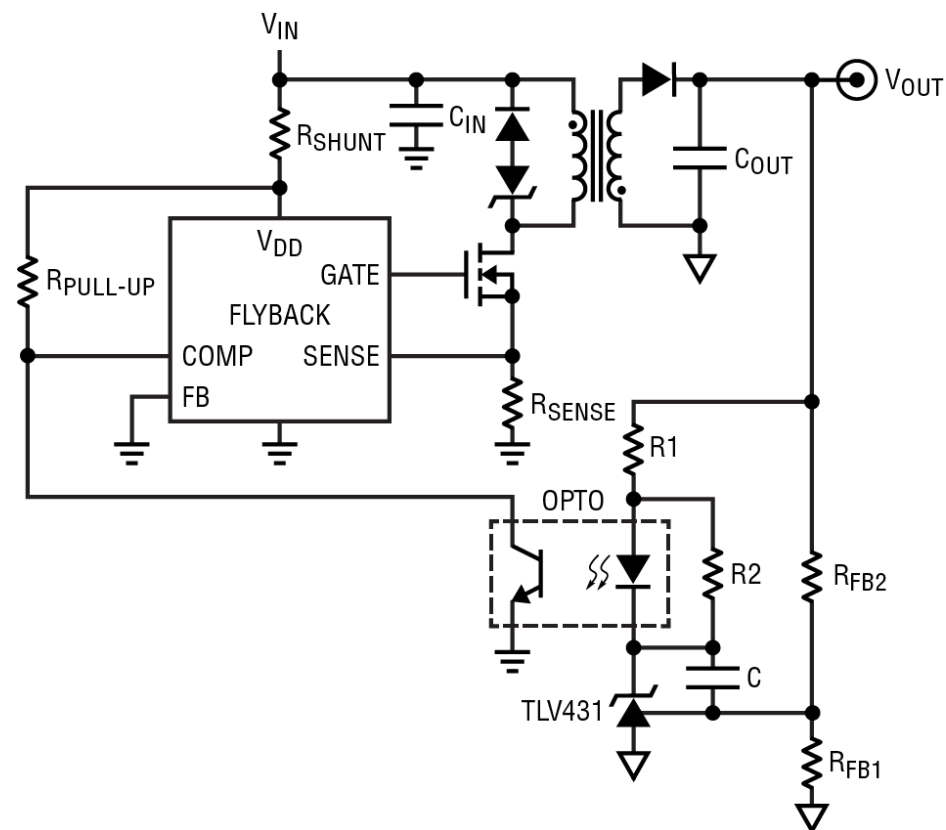


Gyakorlati megoldások

4V to 80V_{IN}/5V_{OUT} Isolated Flyback Converter

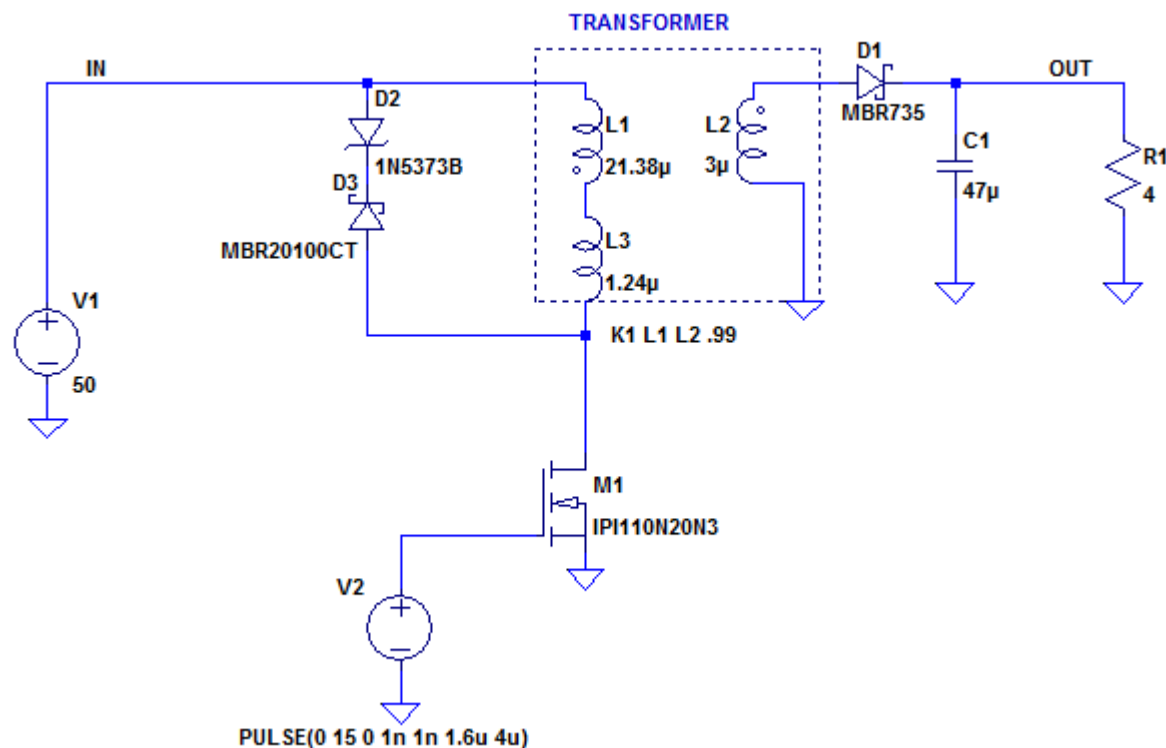


Optocsatoló mentes
visszacsatolás (Primer
oldalon történő mérés)



Optocsatolós visszacsatolás
(Szekunder oldalon történő
mérés)

Tervezési példa



Paraméterek

- $V_{in}=50V$
- $V_{out}=12V$
- $I_{out}=3A$
- $V_f=0,55V$
- $f_{sw}=250kHz$
- $\Delta V_o=200mV$

Tervezési lépések

- Transzformátor tervezés (kiválasztás)
- Kapcsolóelem kiválasztása
- Snubber áramkör tervezés

Transzformátorhoz kapcsolódó paraméterek

- V_{OR} a kimenetről reflektált feszültség értéke. Ez most példaként legyen 33,5V.
- A kimeneti feszültség (V_o) a következők szerint alakul:

$$V_o = V_{out} + V_f = 12V + 0,55V = 12,55V$$

- Innen a transzformátor áttétele:

$$a = \frac{V_{OR}}{V_o} = \frac{33,5V}{12,55V} \approx 2,66$$

- A kitöltési tényezőnk:

$$D = \frac{V_{OR}}{V_{INmin} + V_{OR}} = \frac{33,5V}{50V + 12,55V} = 0,4$$

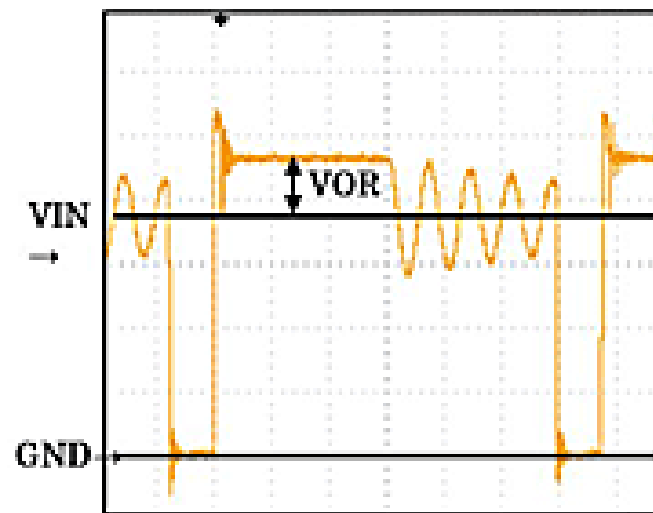
- A szekunder oldali csúcsáram:

$$I_{spk} = \frac{2I_{out}}{1 - D} = \frac{2 \cdot 3A}{1 - 0,4} = 10A$$

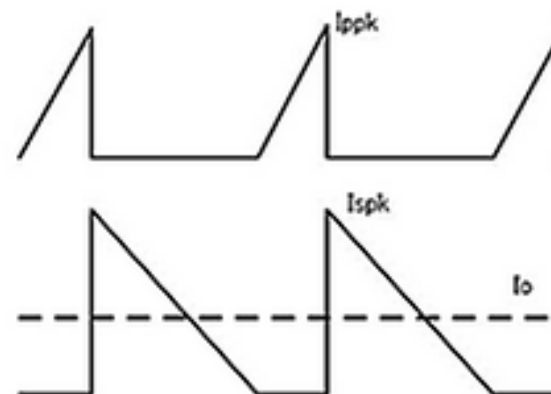
- A primer oldali csúcsáram:

$$I_{ppk} = I_{spk} \frac{N_s}{N_p} = 10A \cdot \frac{1}{2,64} = 3,78A$$

Utóbbi érték a MOSFET kiválasztásánál lesz fontos!



MOSFET V_{ds}



Transzformátor tervezés

- A konverterünk be és kimeneti feszültsége ismert, továbbá a kimeneti dióda drop feszültsége is

- Ezen adatok birtokában a szekunder induktivitás méretezhető:

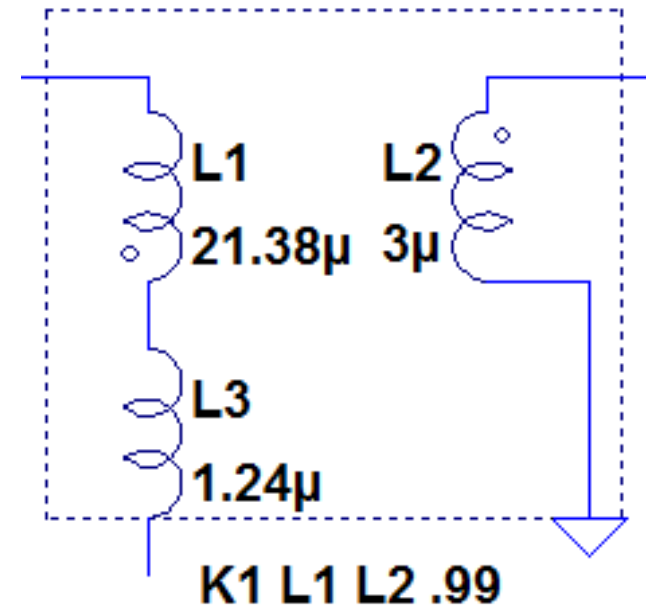
$$L_S < \frac{(V_{out} + V_f)(1 - D)^2}{2I_o f_{sw}} = \frac{(12V + 0,55V)(1 - 0,4)^2}{2 \cdot 3A \cdot 250kHz} \approx 3\mu H$$

- A primer induktivitás:

$$L_P = L_S a^2 = 3\mu H \cdot 2,67^2 \approx 21\mu H$$

Megjegyzés

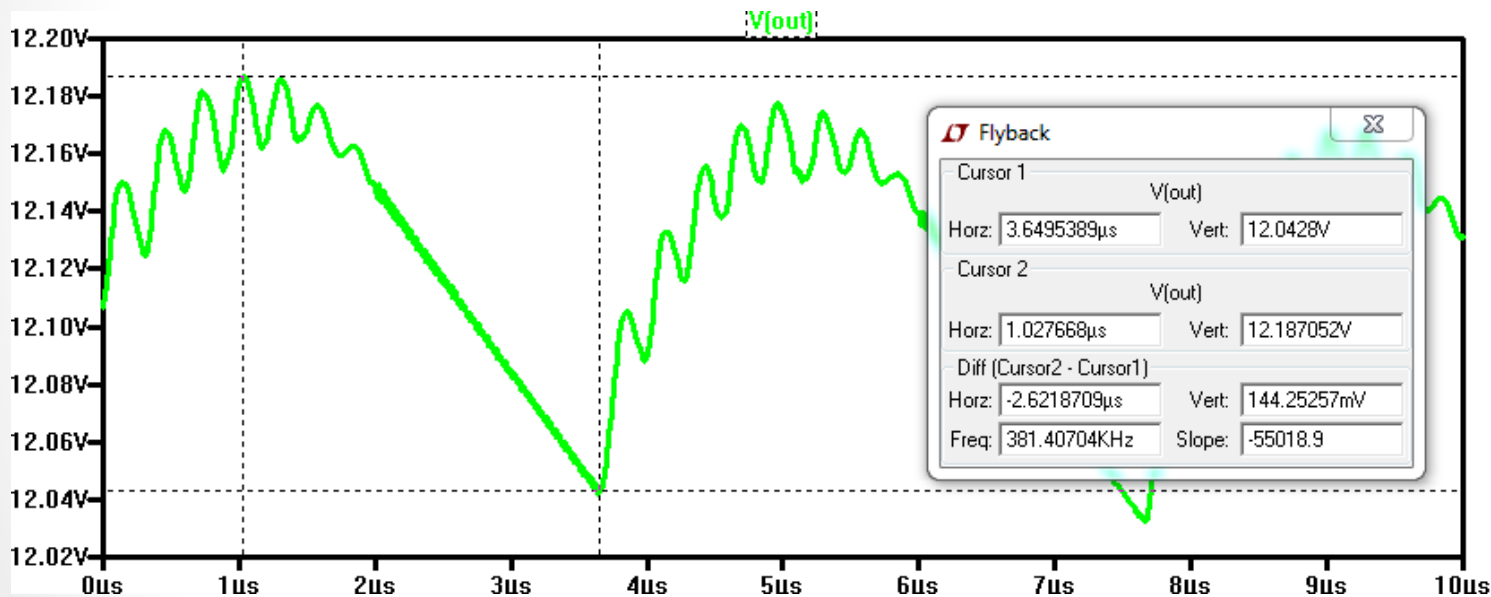
- A transzformátor elkészítése során (legyen az gyári vagy egyedi) mindig jelen van az úgynevezett szórt induktivitás (L_{lk})
- Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a primer és a szekunder között a csatolási tényező nem 1, hanem egy kisebb értékű szám. Gyári transzformátor esetén a szórt induktivitás adott.
- Csatolás!



$$L_S = L_P (1 - K)^2$$

Kimeneti kapacitás és dióda

- $C_{out} > \frac{I_{out} t_{on}}{\Delta V_{out}} = \frac{3A \cdot 1,6\mu s}{200mV} = 24\mu F$
- A választott kapacitás →



Capacitor - C1

Manufacturer: KEMET
Part Number: C1210C476K4PAC
Type: X5R

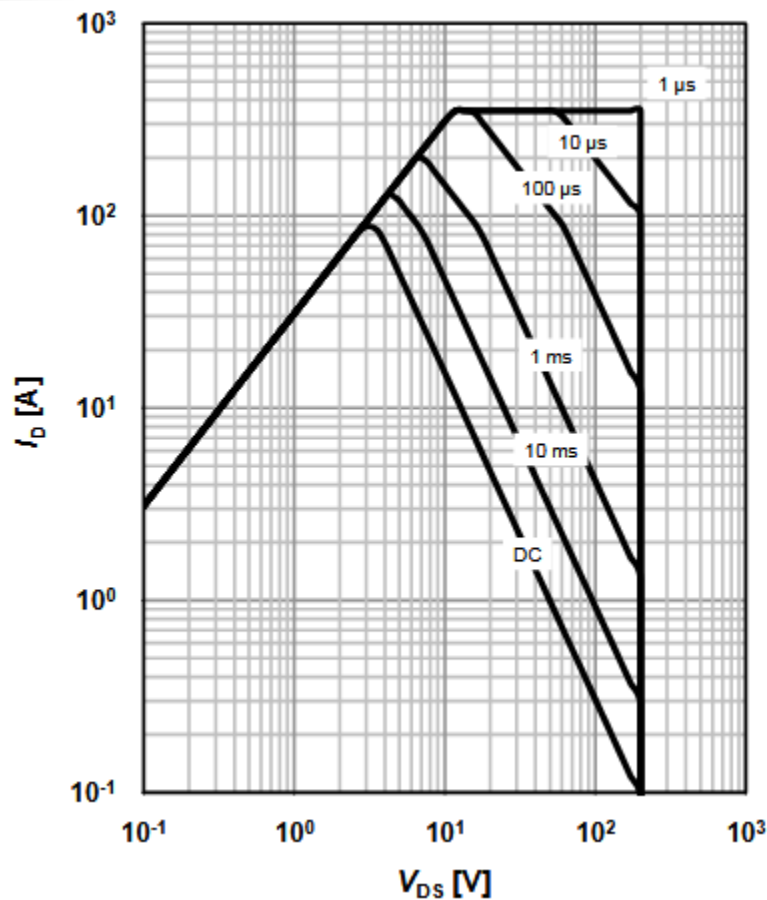
Capacitor Properties

Capacitance[F]	47µ
Voltage Rating[V]	16
RMS Current Rating[A]	11.7
Equiv. Series Resistance[Ω]	0.00333036
Equiv. Series Inductance[H]	0
Equiv. Parallel Resistance[Ω]	
Equiv. Parallel Capacitance[F]	

- Kiemelti (egyenirányító) dióda:
 - $V_D = V_o + V_I \frac{N_S}{N_P} = 12V + 50V \cdot \frac{1}{2,67} = 30,72V$
- A választott dióda: MBR735 (7,5A;35V)

Kapcsolóelem (MOSFET) kiválasztása

A példa kapcsoláshoz választott MOSFET: IPI110N20N3



A kiválasztás során a következő szempontok fontosak:

- A kapcsolóelem alkalmas legyen kezelni a kívánt feszültségtartományt
- FBSOA (frekvencia)
- RD értéke (veszteségek)
- Tokozás
- Gate kapacitás

A konverter működése során a névleges feszültség többszöröse is megjelenhet!

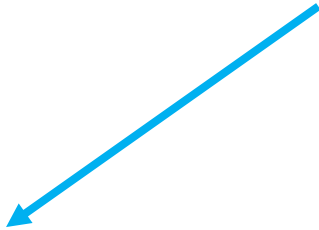
Type	IPB107N20N3 G	IPP110N20N3 G	IPI110N20N3 G
			
Package	PG-TO263-3	PG-TO220-3	PG-TO262-3
Marking	107N20N	110N20N	110N20N

Snubber áramkörök szükségessége

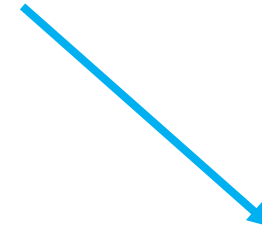
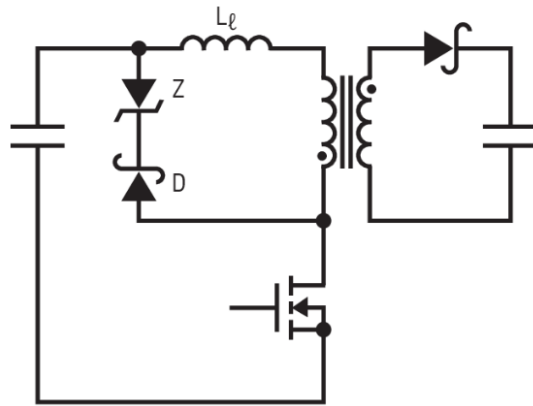
- Főleg induktív elemeket tartalmazó áramkörök esetén használatos
- Az áram hirtelen változása (kikapcsolás) a Faraday törvény értelmében feszültséget indukál, mely a névleges feszültség többszöröse is lehet (önindukció)
- Ez egy nemkívánatos folyamat, mivel tönkretelheti a kapcsolóelemet
- Ennek elkerülése érdekében **snubber** áramköröket alkalmazunk
- Ezek az áramkörök képesek csökkenteni a kapcsolóelem igénybevételét
- Összességében elmondhatók (összes típusra vonatkoztatva):
 - Csökkentik a káros áram és feszültségtüskéket
 - Limitálják dv/dt , di/dt nagyságát
 - Csökkentik a kapcsolási veszteséget
 - Csökkentik az EMI kibocsájtást (a feszültség és áramcsúcsok limitálásával)

$$U_i = -L \frac{di}{dt}$$

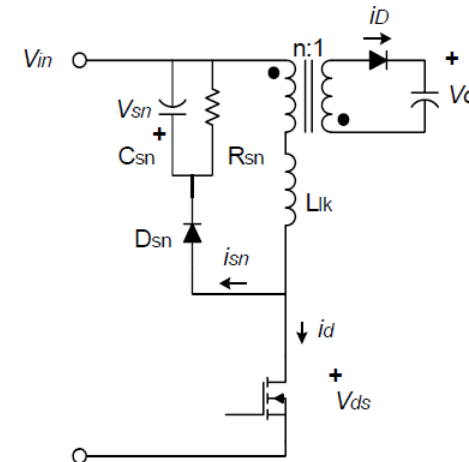
Snubber áramkörök flyback típusú átalakítókhoz (teljesség igénye nélkül)



Kisebb feszültség, illetve konstans bemeneti feszültség esetén
Zener diódás snubber



Nagyobb feszültség, illetve AC bemeneti feszültség esetén
RCD snubber

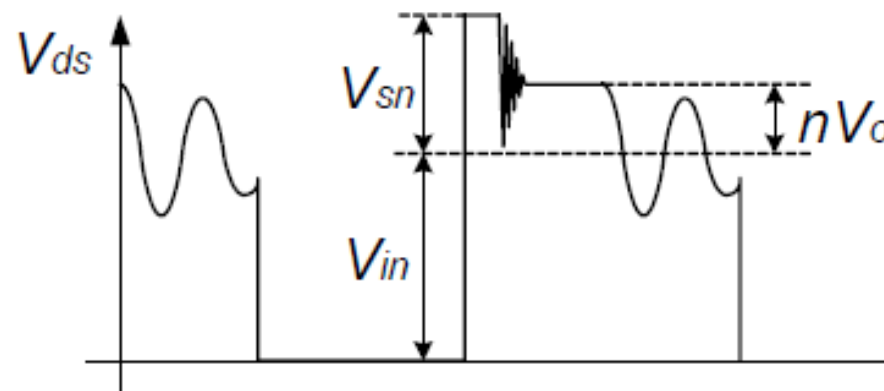
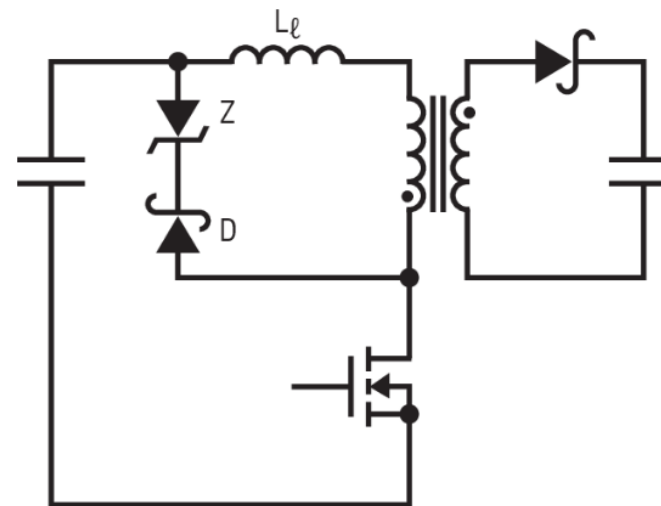


Zener diódás snubber méretezés

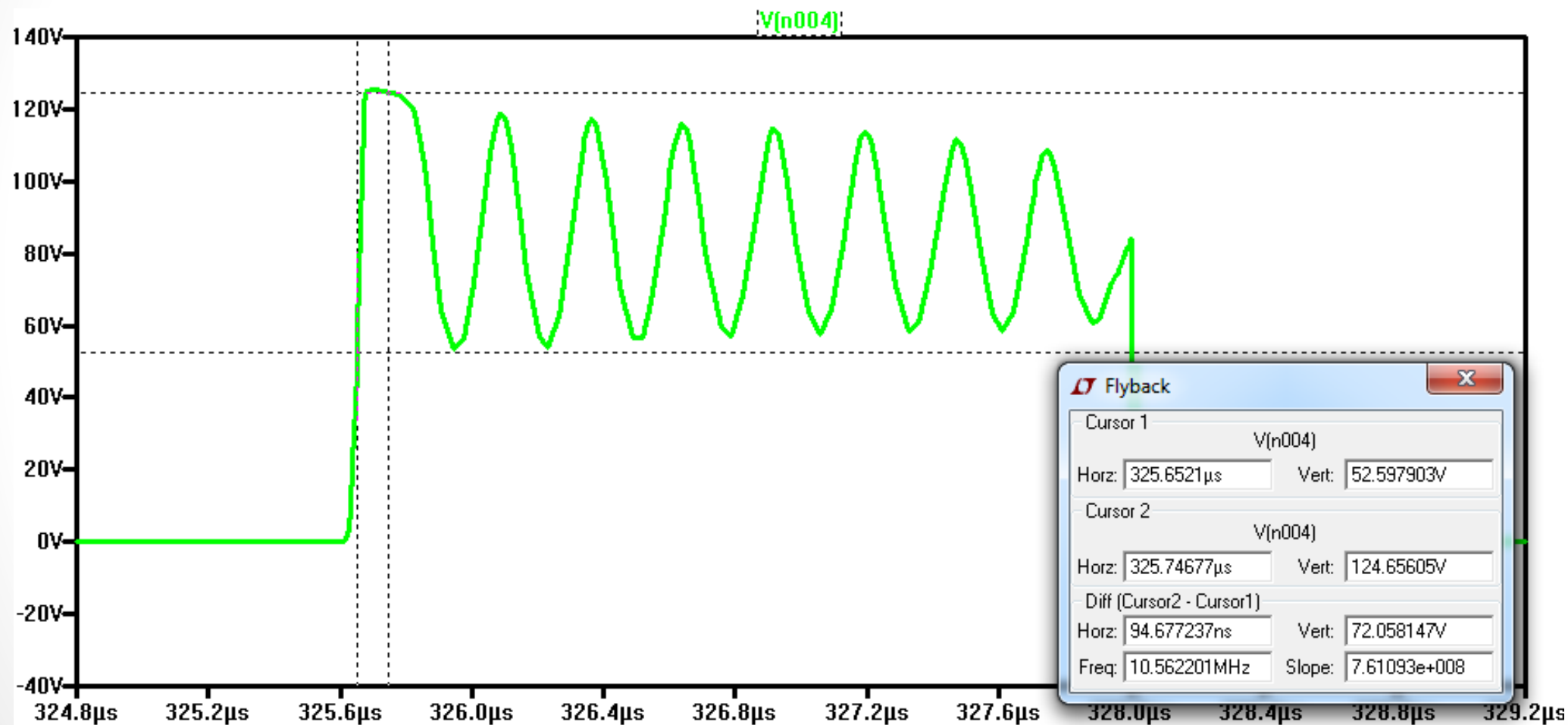
- A maximális feszültség két részfeszültség összege:
 - Bemeneti feszültség
 - Snubber feszültség
- A félvezetőn megengedett feszültség maximálisan a határérték 80%-a legyen!
- A reflektált feszültség:
$$V_{refl} = nV_{out} = 2,66 \cdot 12,66V = 33,6V$$
- A snubber feszültsége ennek a 1,5-2,5-szerese legyen:
Itt a példa kedvéért:

$$V_{sn} = 68V$$

- $V_{DSMAX} = V_{inmax} + V_{sn} = 50V + 68V \approx 120V$
- Választott diódák:
 - Zener: 1N5373B (68V)
 - Schottky: MBR20100CT (100V@10A)



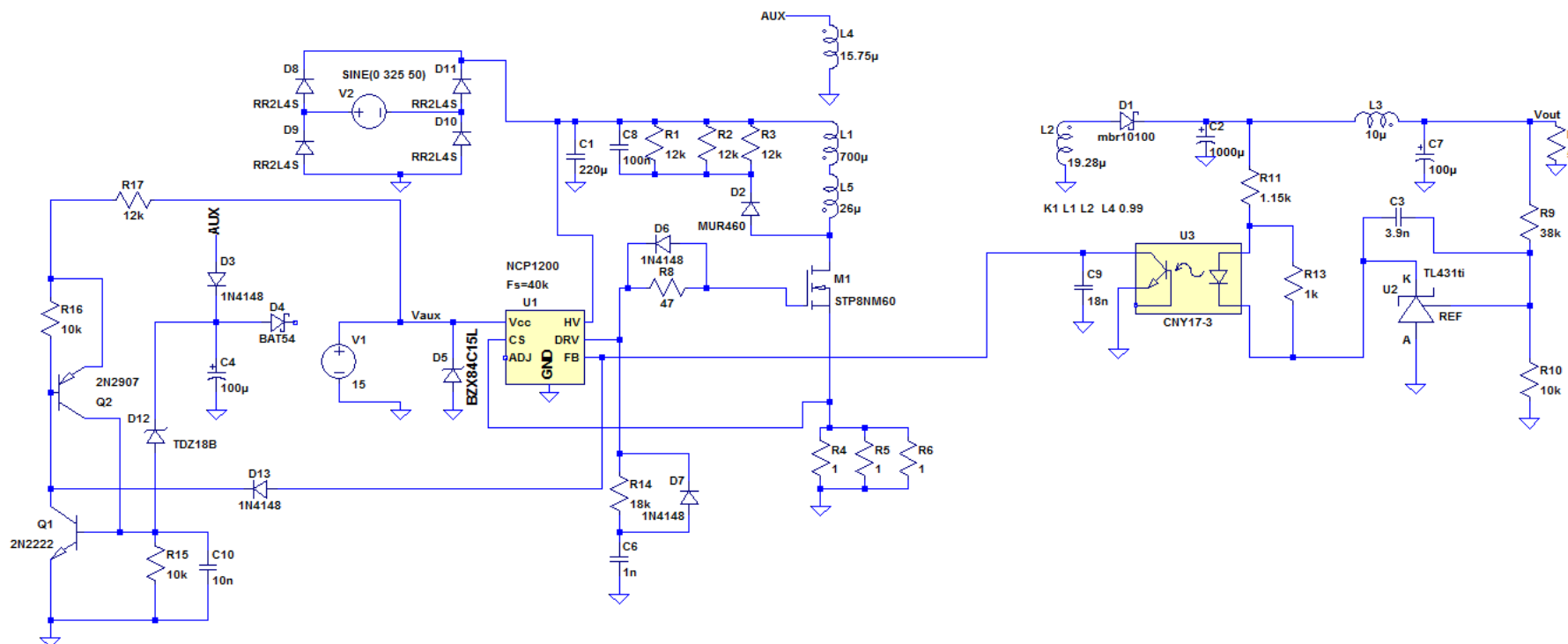
Snubber ellenőrzése szimulációval



RCD snubber méretezés példa

- Vezérlő NCP1200 (On Semiconductor)
- A flyback konverterünk adatai a következők:

- $V_{in} = 90 - 260\text{VAC}$
- $V_{out} = 12\text{V}$
- $F_{sw} = 40\text{kHz}$
- $I_{out} = 3\text{A}$
- $I_{priMAX} = 1,8\text{A}$
- $L_{pri} = 700\mu\text{H}$
- $a = 1 : 0,16 \text{ (6,25)}$
- $L_{leak(MAX)} = 26\mu\text{H}$



RCD snubber ármkör méretezése

- A kiválasztott félvezetőnk maximális V_{DS} feszültsége 650V



Ennél kisebb feszültséget engedünk meg! (maximálisan a 80%-át)

- A reflektált feszültség:

$$V_{refl} = nV_{out} = 6,25 \cdot 12V = 75V$$

- A snubber feszültsége ennek a 1,5 – 2,5-szerese legyen. Itt most:

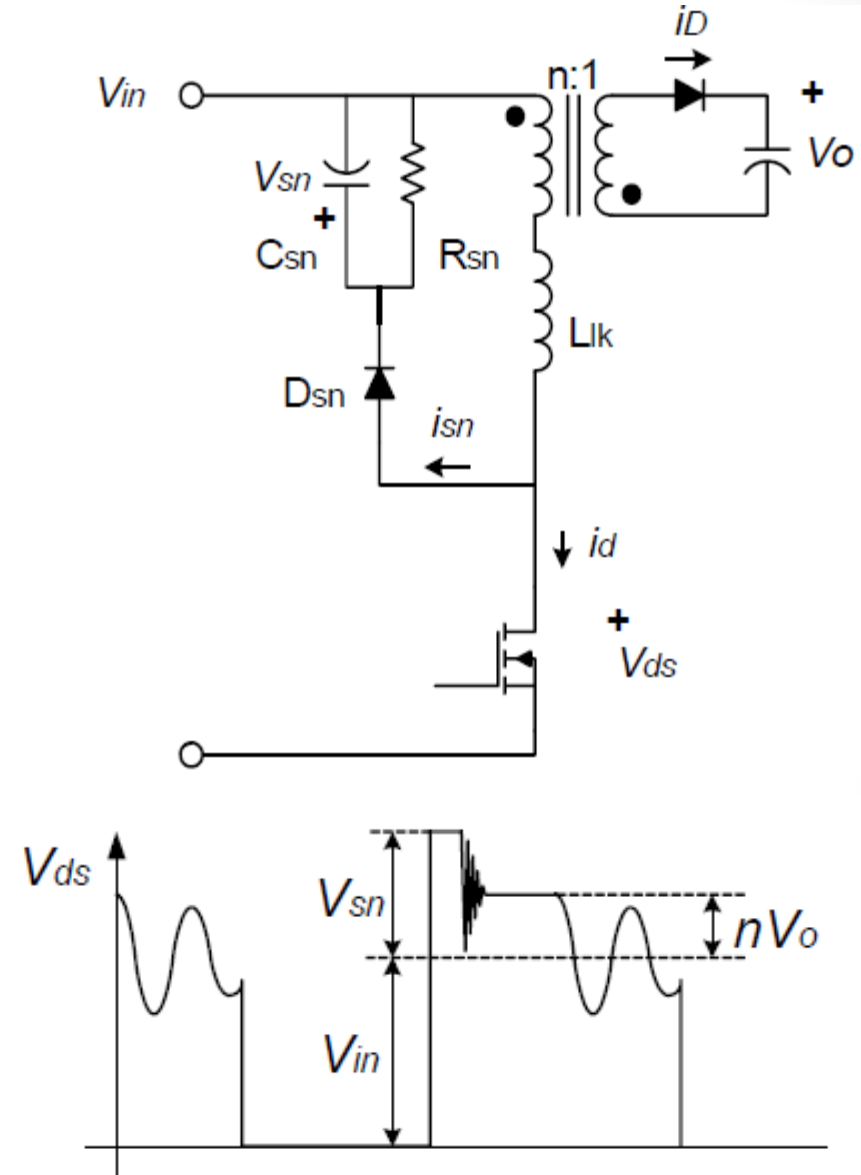
$$V_{sn} = 120V$$

- A félvezető maximális megengedett feszültsége:

$$V_{DSMAX} = V_{inmax} + V_{sn} = 325V + 120V = 445V$$

- A feszültség hullámosságot a snubber feszültség 10%-ra választjuk (V_{ripple})

$$V_{ripple} = 120V \cdot 0,1 = 12V$$



Snubber elemek méretezése

- R értéke:

$$R_{sn} = \frac{V_{sn}^2}{\frac{1}{2} \cdot L_{lk} \cdot i_{peak}^2 \cdot \frac{V_{sn}}{V_{sn} - a \cdot V_{out}} \cdot f_s} = \frac{120V^2}{\frac{1}{2} \cdot 26\mu H \cdot 1,8A^2 \cdot \frac{120V}{120V - 6,25 \cdot 12V} \cdot 40kHz} = \mathbf{3,25k\Omega}$$

- Az ellenállás kiválasztásához tudnunk kell a kialakuló teljesítményt:

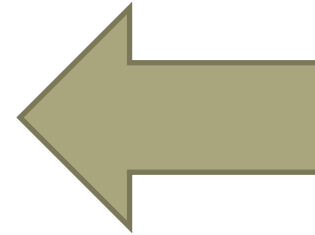
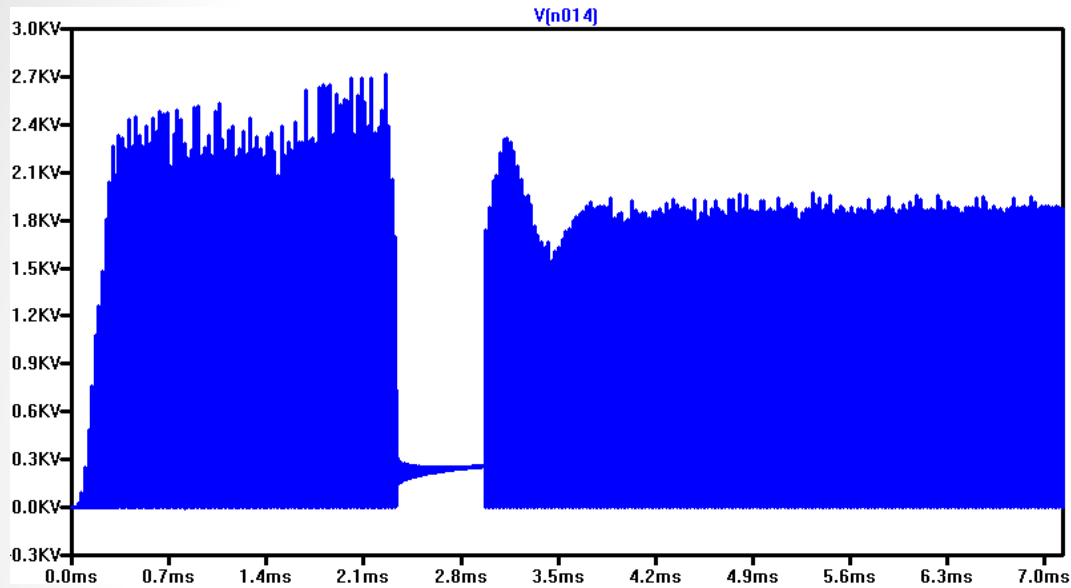
$$P = \frac{V_{sn}^2}{R_{sn}} = \frac{120V^2}{3,25k\Omega} = \mathbf{4,43W}$$

- A snubber kapacitás:

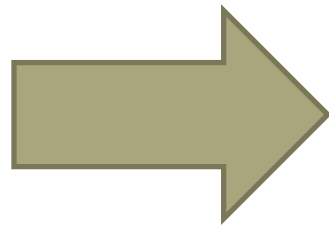
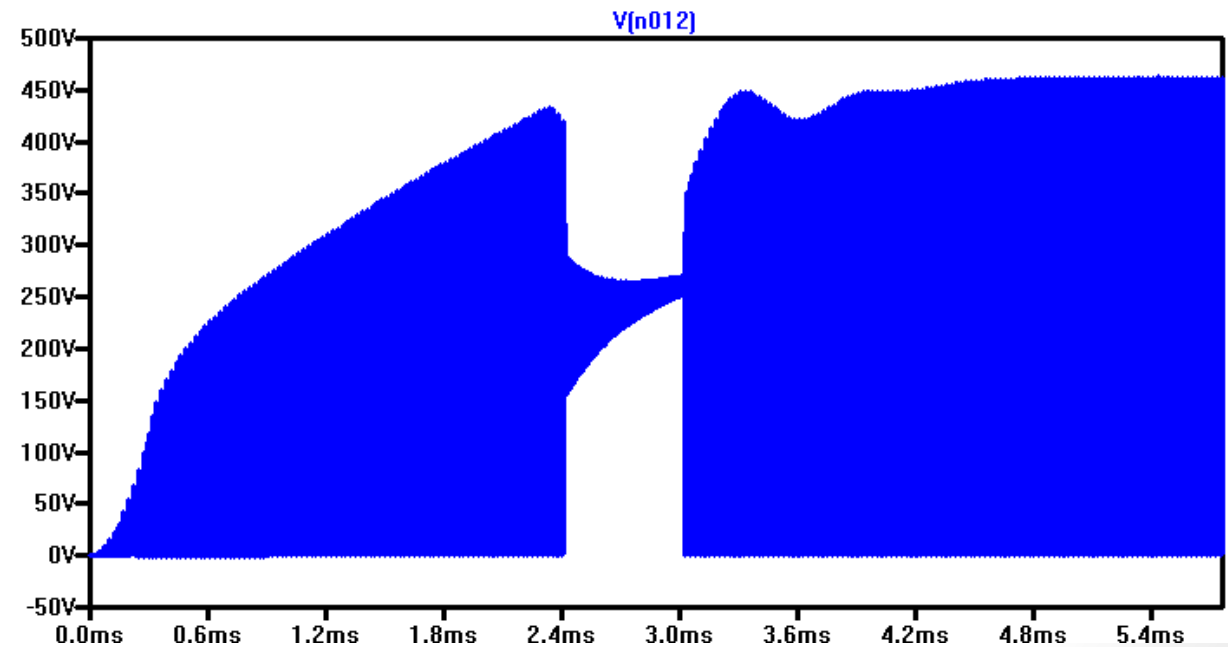
$$C_{sn} = \frac{V_{sn}}{\Delta V_{sn} \cdot R_{sn} \cdot f_{sw}} = \frac{120V}{12V \cdot 3,25k\Omega \cdot 40kHz} = \mathbf{77nF}$$

- Snubber dióda: MURS160T3G ($V_{AK} = 600V$. $IF = 2A@125^\circ C$)

Snubber szimuláció

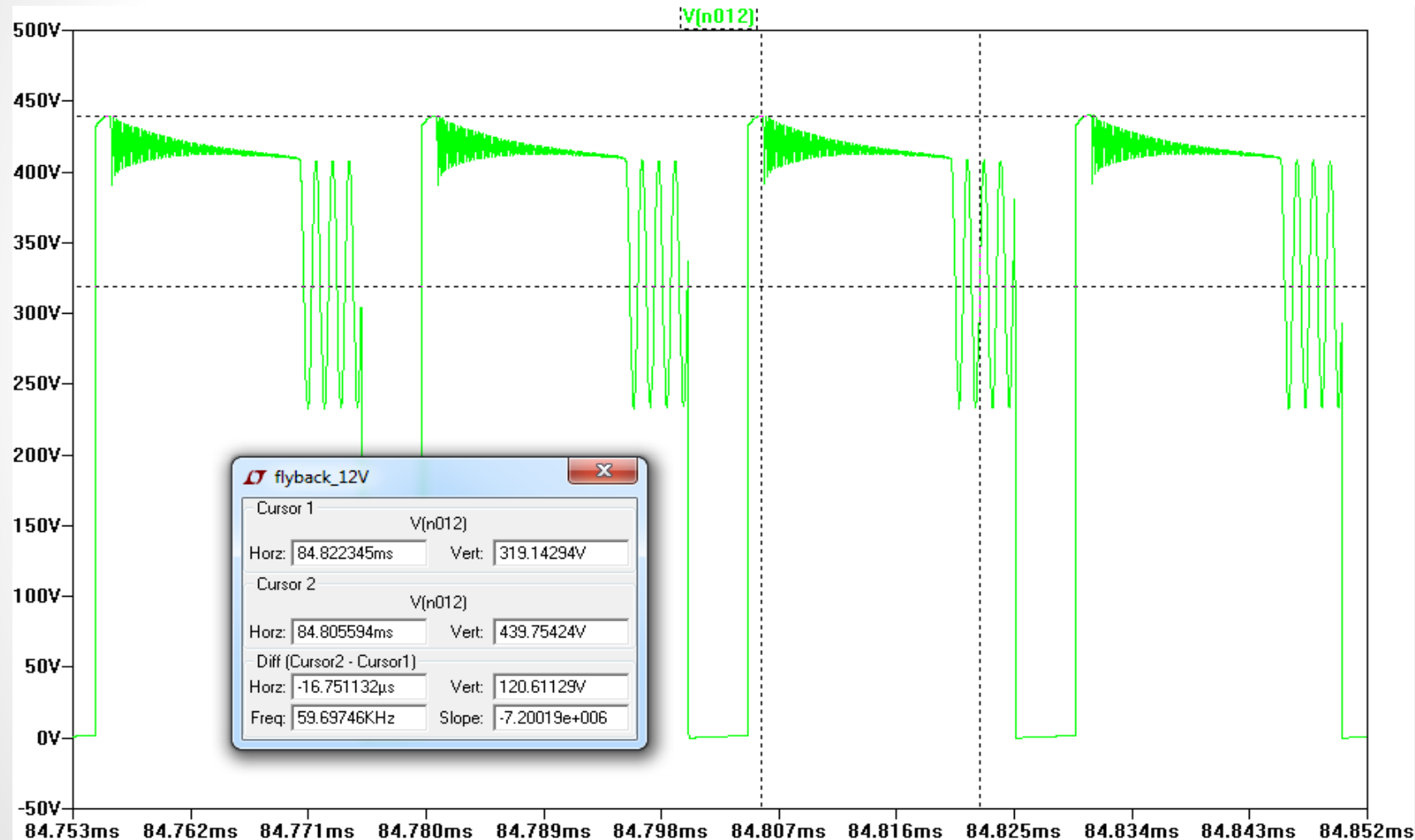


Snubber nélkül



Snubber áramkörrel

Snubber ellenőrzése szimuláció segítségével



- A maximális bemeneti feszültség 320V ($230V \cdot \sqrt{2}$)
- A maximális feszültség: 420V:
 $V_{in} + V_{sn} = 320V + 120V$

A snubber tehát jól működik!