

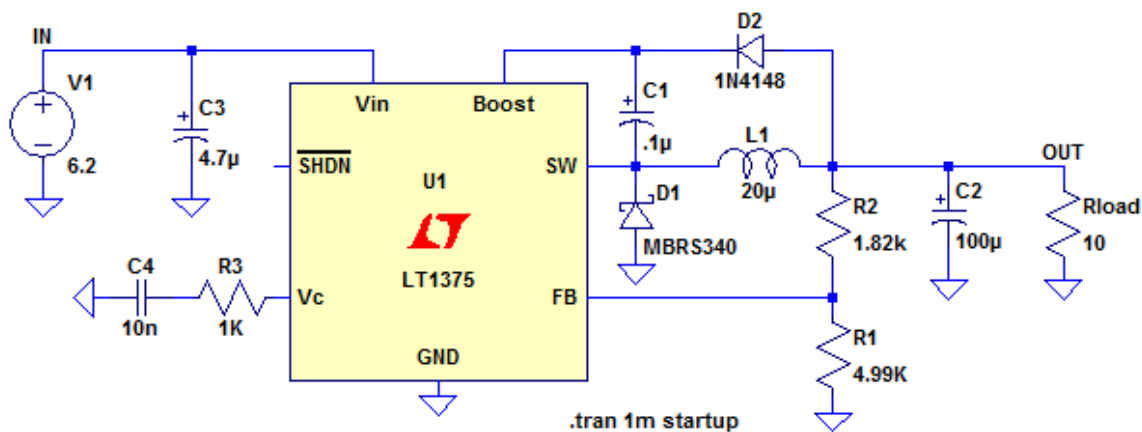
Teljesítményelektronikai áramkörök tervezése és szimulációja

Buck konverter tervezése LT-s vezérlő segítségével

Tervezési meggondolások

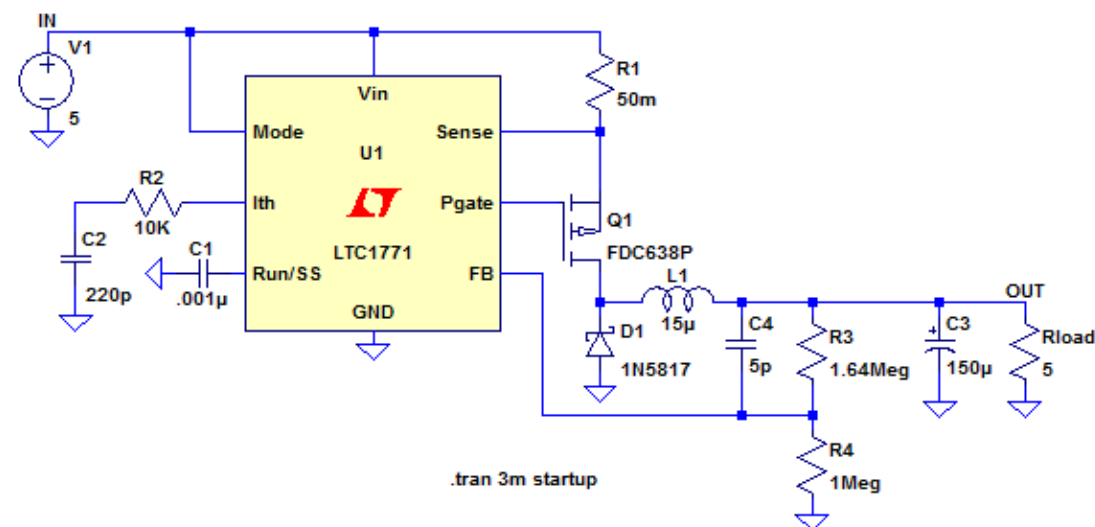
Monolitikus kialakítás

A kapcsolóelem a szabályzó/vezérlő IC
BELÜL helyezkedik el. Ezeket főleg kisebb
teljesítmény esetén használjuk



Nem monolitikus kialakítás

A kapcsolóelem a szabályzó/vezérlő IC
KÍVÜL helyezkedik el. Ezeket főleg
nagyobb teljesítmény esetén használjuk

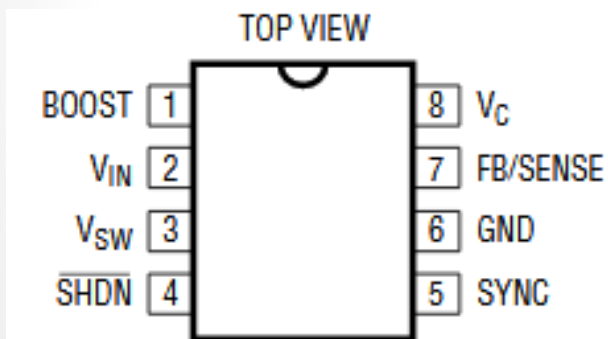


Tervezési példa LT-s szabályzóval

Quick Power Search

Input	V_{in} (Min)	11	V	V_{in} (Max)	14	V	Features	☐ μ Module	☒ Monolithic
Output	V_{out}	3.3	V	I_{out}	1	A		☐ Synchronous	
☒ Multiple Outputs									
Click here for demo boards and lab tested reference designs for your application									

Search



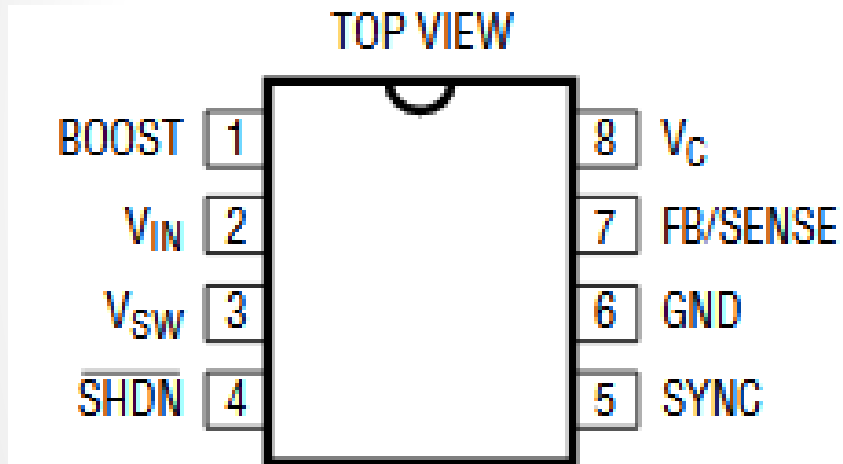
- Tervezzünk az autókba egy 3,3V-os 1A-s USB-s töltőt!
- A bemeneti feszültségtartományt az autó akkumulátorához igazítjuk (kb. 11V-14V)
- Az IC legyen monolitikus és a tokozása pedig SO-8-as: Ez még nem ipari körülmények között is forrasztható

A választott IC: **LT1375**

Tulajdonságai:

- Fix kapcsolási frekvencia: 50 kHz
- Effektív áramfelvétel: 2,5mA
- Kikapcsolt állapotban az áramfelvétele: 20uA
- Maximális kimeneti áramerősség: 1,5A
- Bemeneti feszültségtartomány: 6V – 25V

Pinek áttekintése



- (1) BOOST – A BOOST pin biztosítja a belső NPN meghajtó fokozat meghajtó feszültségét (nagyobb értékű, mint V_{in})
- (2) V_{in} – Bementi feszültség (A belső NPN meghajtó kollektor lába)
- (3) V_{sw} – Az IC kimenete. Err a pinre kerül a tekercs (A belső NPN meghajtó emitter lába)
- (4) $\overline{SHDN}$ - A pin segítségével az IC lekapcsolható , így az energiafelvétele redukálható
- (5) SYNC – A belső oszcillátor jele ezen a pinen keresztül hangolható össze külső jellel
- (6) GND (földpont)
- (7) FB/SENSE – A visszacsatoló feszültségosztó csatlakozási pontja. Funkciója ezen kívül: Alacsony kimeneti feszültség esetén csökkenti a kimeneti áramot és a kapcsolási frekvenciát.
- (8) V_c – Külső frekvenciakompensáció csatlakozási pont.

Kimeneti feszültség beállítása

$$R1 = \frac{R2(V_{OUT} - 2.42)}{2.42}$$

Table 1

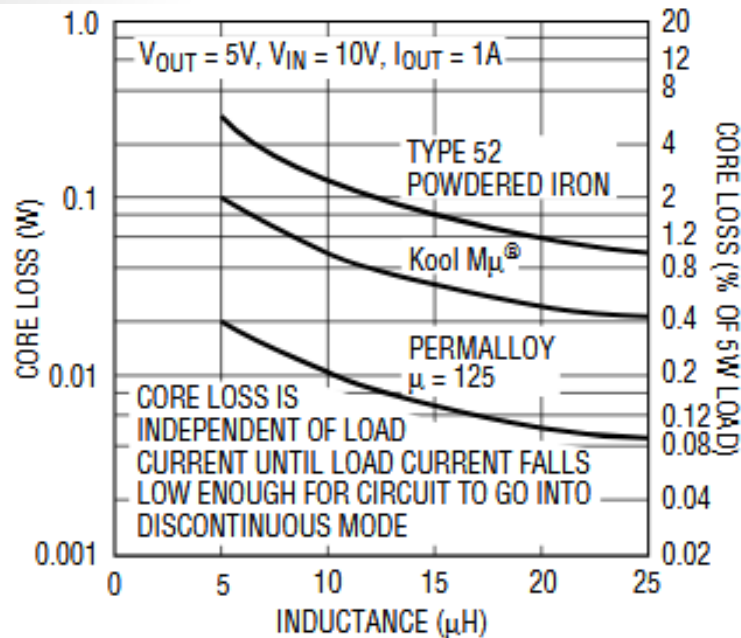
OUTPUT VOLTAGE (V)	R2 (k Ω)	R1 (NEAREST 1%) (k Ω)	% ERROR AT OUTPUT DUE TO DISCREET 1% RESISTOR STEPS
3	4.99	1.21	+0.23
3.3	4.99	1.82	+0.08
5	4.99	5.36	+0.39
6	4.99	7.32	-0.5
8	4.99	11.5	-0.04
10	4.99	15.8	+0.83
12	4.99	19.6	-0.62
15	4.99	26.1	+0.52

- Az FB pin nem csak a visszacsatolási feladatokat látja el: Túlterhelés esetén csökkenti a kapcsolási frekvenciát és áramot, csökkentve ezzel a diódán és a tekercsen a disszipációt
- Amennyiben a túlterhelés jelentkezik az IC nagyon alacsony kitöltési tényezővel működik tovább
- Célszerű a táblázat szerinti értékeket használni
- Látható, hogy amennyiben 3,3V-ot szeretnénk a kimeneten, úgy $R_2=4,99k\Omega$; míg $R_1=1,82k\Omega$ értékű

Kimeneti tekercs kiválasztása

- A kitöltési tényezőt a következő képlet segítségével számíthatjuk:
 - $DC_{11V} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{3,3V}{11V} = 0,3$
 - $DC_{14V} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{5}{14} = 0,235$
- Ennek megfelelően, mivel a kitöltési tényező 50% alatt van, $I_p=1,5A$
- A tekercs kiválasztása során a következőket tartsuk szem előtt:
 - Nagyobb induktivitású tekercs esetén az áramhullámosság kisebb lesz és nagyobb lesz a kimeneti áramerősség (a maximális 1,5A az elméleti maximum)
 - A tipikus érték 2uH – 20uH, kisebb érték esetén a fizikai méret miatt nem megvalósítható
- A tekercs méretezésében tehát a kimeneti áramerősség játszik nagy szerepet. Amennyiben a hatásfokot tartjuk szem előtt, a következő dián látható diagram nagyban segíti a (vasmag) kiválasztást

Kimeneti tekercs kiválasztása (folyt.)



- A kimenten 1A-t szeretnénk
- Maximális (20μH) választása esetén a kimeneti áram:
 - $I_{outmax_11V} = \frac{I_p^2 f L V_o}{2 V_o (V_i - V_o)} = \frac{1,5^2 A \cdot 500 kHz \cdot 20 \mu H \cdot 3,3 V}{2 \cdot 3,3 V \cdot 7,7 V} = 1,46 A$
 - $I_{outmax_14V} = \frac{I_p^2 f L V_o}{2 V_o (V_i - V_o)} = \frac{1,5^2 A \cdot 500 kHz \cdot 20 \mu H \cdot 3,3 V}{2 \cdot 3,3 V \cdot 10,7 V} = 1,05 A$
- Látszik, hogy nagyobb bemeneti feszültség esetén kritikus az érték
- 18μH és 14V bemeneti feszültség esetén:

$$I_{outmax_14V} = \frac{I_p^2 f L V_o}{2 V_o (V_i - V_o)} = \frac{1,5^2 A \cdot 500 kHz \cdot 18 \mu H \cdot 3,3 V}{2 \cdot 3,3 V \cdot 10,7 V} \cong 0,95 A$$

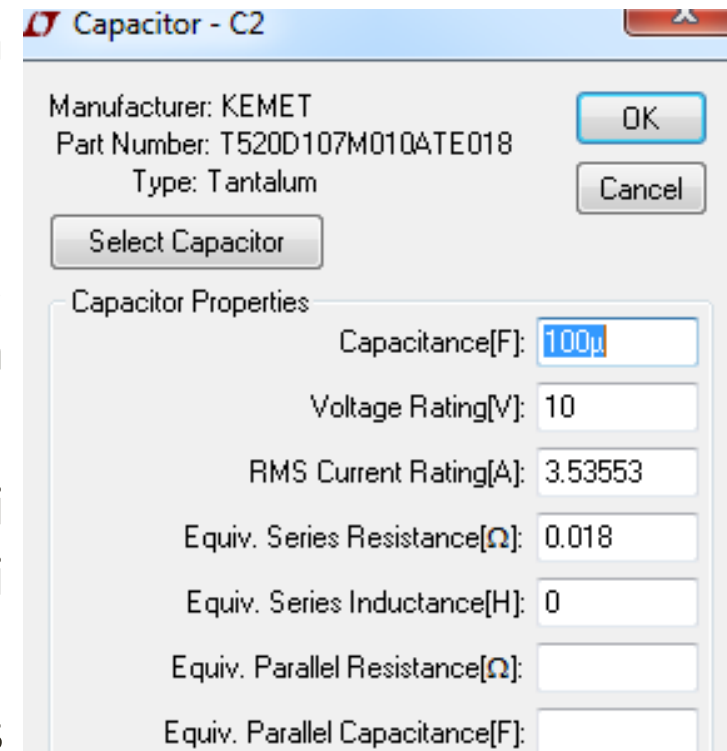
- Tehát az alkalmazásunkhoz 20μH szükséges (pl.: Coiltronix típusú porvasmagos tekercs (Kool Mu) – CTX20-3-R (1,5A; 0,078Ω))
- Az ábrán különböző vasmagokhoz tartozó veszteségek tartoznak
- A kimeneti áramhullámzás:

$$I_{R_pp_11V} = \frac{V_o (V_i - V_o)}{V_i L f} = \frac{3,3 V \cdot 7,7 V}{11 V \cdot 20 \mu H \cdot 500 kHz} = 0,231 A$$

$$I_{R_pp_14V} = \frac{V_o (V_i - V_o)}{V_i L f} = \frac{3,3 V \cdot 10,7 V}{14 V \cdot 20 \mu H \cdot 500 kHz} = 0,2522 A$$

Kimeneti kapacitás

- A tipikus kimeneti kapacitás érték 100uF 10V AVX típusú
- A kondenzátor soros veszteségi ellenállása legyen a lehető legkisebb: 0,05Ω és 0,5Ω közötti érték
- Típus tekintetében tantál vagy kerámia kondenzátort
- Az adatlap a tantál kondenzátort ajánlja, bár megemlíti, hogy nagy áramerősség hatására gyakran megy tönkre a kondenzátor.
- Az ajánlott tartományt illik betartani, ugyanis a túl kicsi ESR érték stabilitási problémákat okozhat a szabályozási körben
- A választott típus tantál kondenzátor (KEMET) 100uF-os (10V), némi biztonsági tartalékkal



The screenshot shows a software dialog box titled "Capacitor - C2". It contains the following information:

- Manufacturer: KEMET
- Part Number: T520D107M010ATE018
- Type: Tantalum

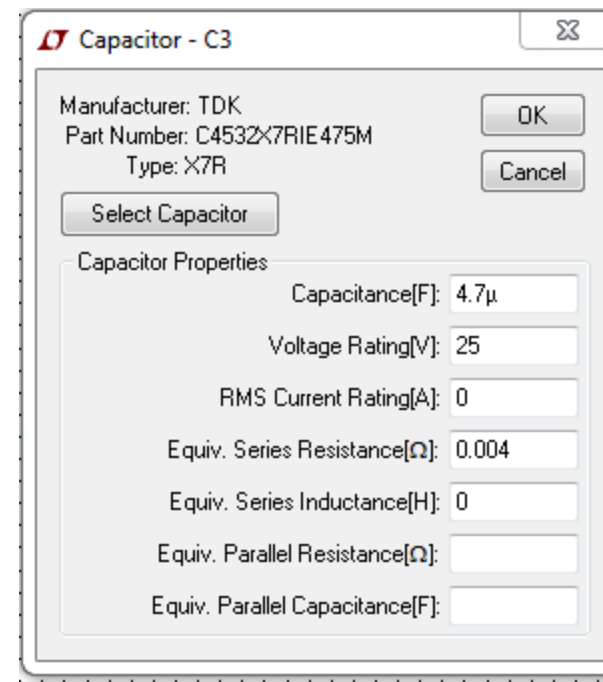
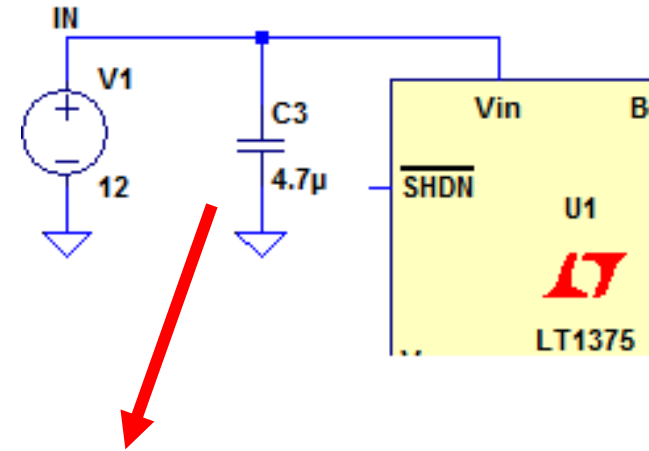
There are "OK" and "Cancel" buttons on the right, and a "Select Capacitor" button below the type field.

Below these fields is a section titled "Capacitor Properties" with several input fields:

- Capacitance[F]: 100u
- Voltage Rating[V]: 10
- RMS Current Rating[A]: 3.53553
- Equiv. Series Resistance[Ω]: 0.018
- Equiv. Series Inductance[H]: 0
- Equiv. Parallel Resistance[Ω]: (empty)
- Equiv. Parallel Capacitance[F]: (empty)

Bementi szűrőkondenzátor

- Itt is több lehetőség közül választhatunk:
 - Elko – Árban kedvező, viszont méretben nagy. Viszonylag nagyobb ESR értékűek.
 - Kerámia kondenzátor – Nagyobb értékben nem nagyon léteznek, viszont ideálisak (bementi) szűrés céljára
 - Tantál – A nagy áram miatti meghibásodástól eltekintve ezt súlykolja az adatlap. Szűrési célra teljesen megfelel
- Főleg alacsony bementi feszültség esetén fontos a szerepe
- Értékét tekintve a gyári 4,7uF megfelelő (25V)



Egyéb alkatrészek

- Buck dióda kiválasztása

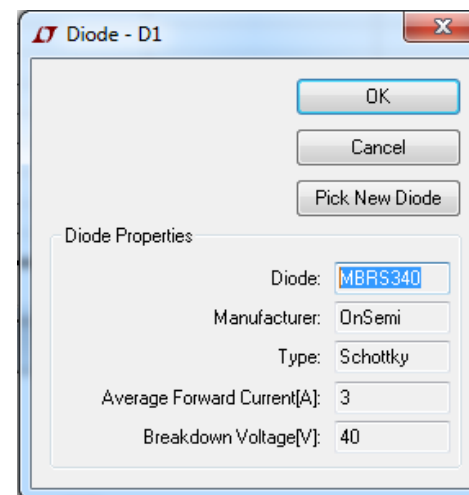
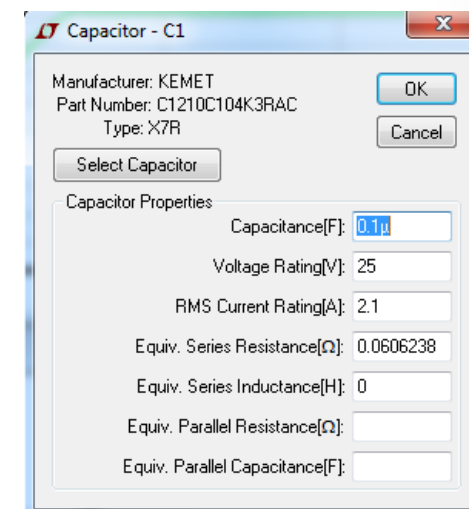
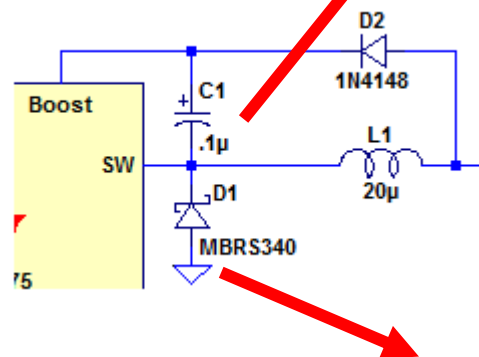
- A várható feszültség és áramtoleranciának megfelelően ($V_o=5V$, $I_{omax} \approx 1,5A$)
- Az adatlap megad egy összefüggést a dióda áramával kapcsolatban:

$$I_{D(RMS)} = \frac{I_{out}(V_{in} - V_{out})}{V_{in}} = \frac{1A(12V - 3,3V)}{12V} = 0.725A$$

- Választott dióda: MBR340

- Boost pin alkatrészek

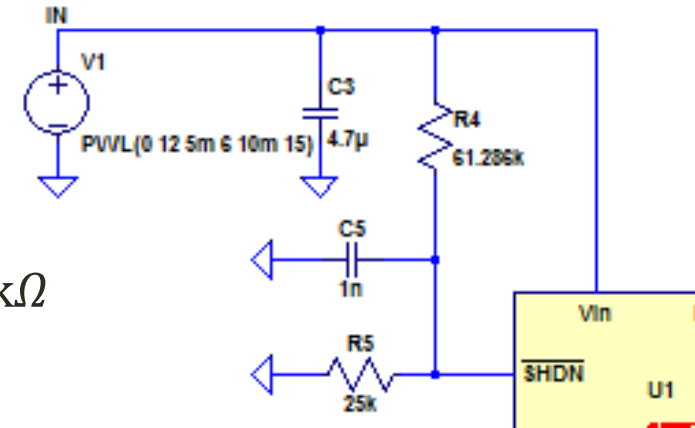
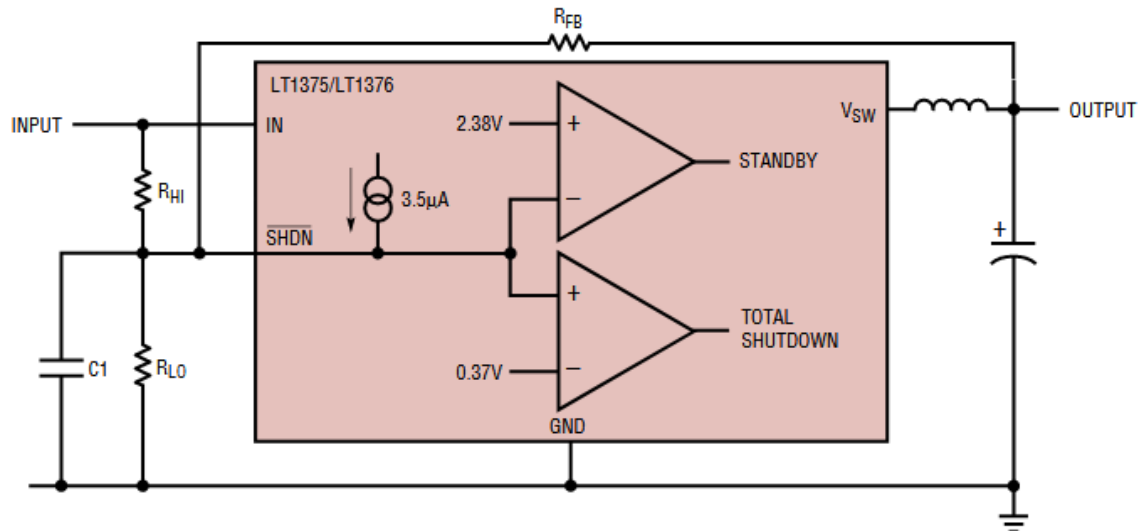
- A tipikus alkalmazás során 1N914 vagy 1N4148 dióda illetve egy 0,1uF-os kondenzátor kerül alkalmazásra
- A kondenzátor feszültségtűrésénél vegyük figyelembe, hogy a boost pinen a bemeneti feszültség többszöröse is megjelenhet!



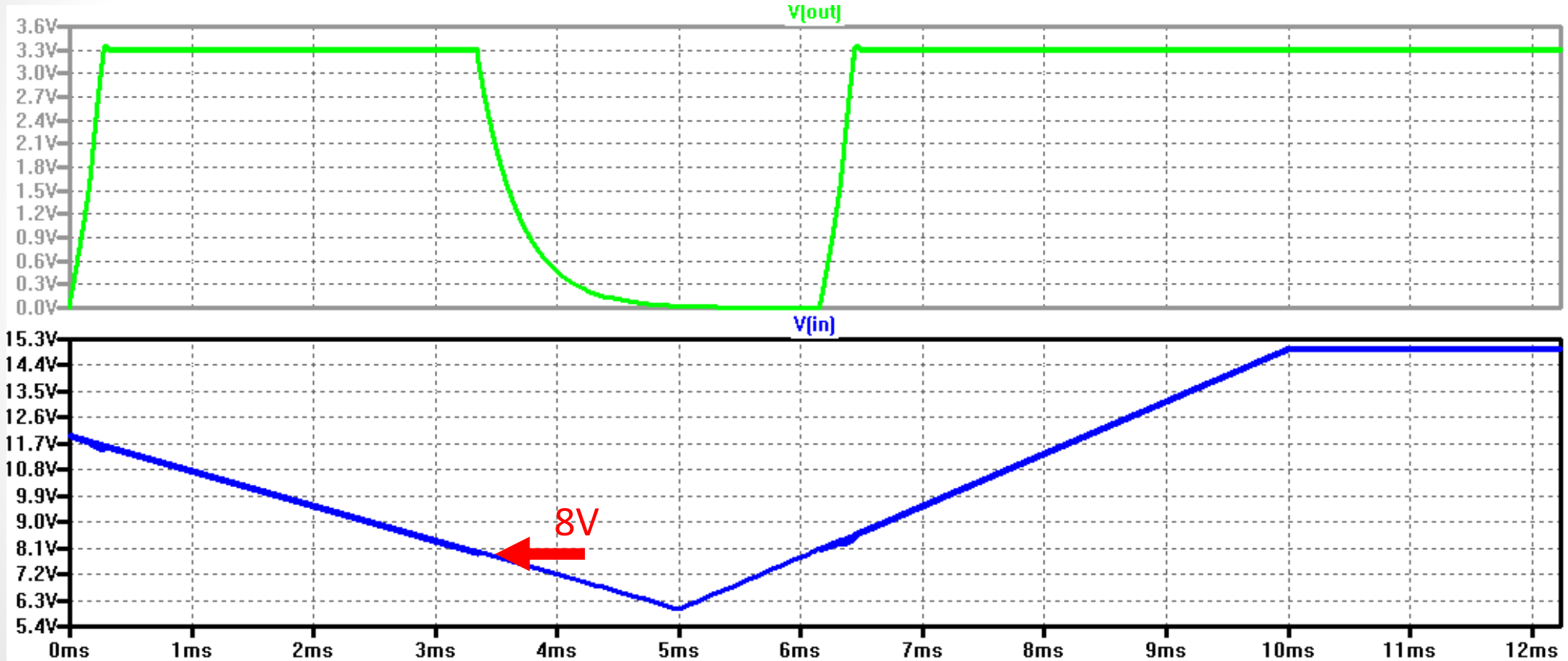
Undervoltage lockout (alacsony bemeneti feszültség érzékelése) UVLO

- Az IC tervezése során van lehetőség arra, hogy amennyiben a bemeneti feszültség egy bizonyos határ alá csökken, az IC kapcsoljon ki (gazdaságossági okok miatt) pl. a bementi forrás áramlimitált
- A feszültséglimit legyen most 8V
- Ehhez egy ellenállást kell méreteznünk: R_{HI} -t
- R_{LO} -t $10k\Omega$ – $100k\Omega$ tartományba válasszuk (tipikusan $25k\Omega$)
- $C1$ értéke tipikusan $1nF$

$$R_{HI} = \frac{R_{LO}(V_{in} - 2,38V)}{2,38V - R_{LO}(3,5\mu A)} = \frac{25k\Omega(8V - 2,38V)}{2,38V - 25k\Omega(3,5\mu A)} = 61,286k\Omega$$

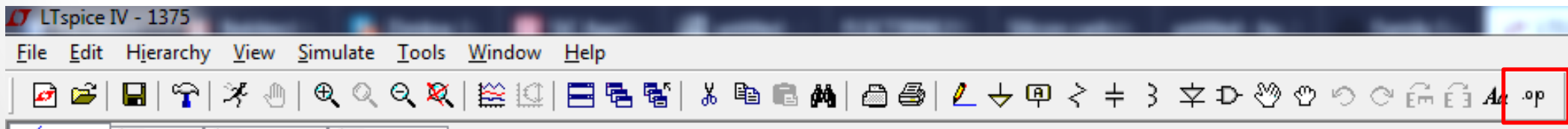


UVLO ellenőrzése

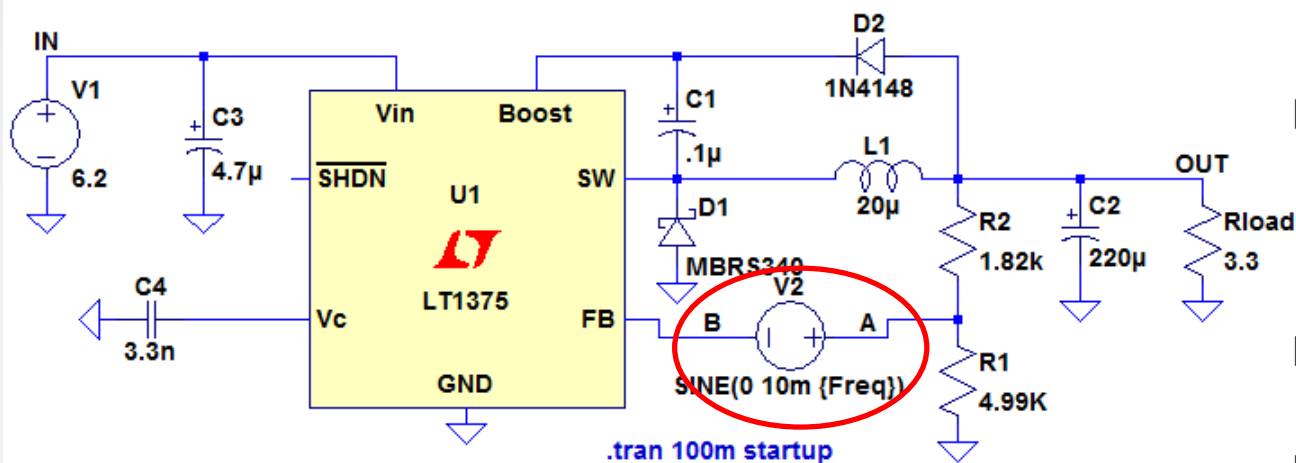


Stabilitás vizsgálata

- A kompenzációs áramkör az IC V_C lábára csatlakoztatható
- Standard esetben csupán egy $3,3\text{nF}$ kondenzátor és egy $3\text{k}\Omega$ -os ellenállás kerül ide
- Fontos megemlíteni, hogy a korábbi órákon megvizsgált kompenzációs áramkörök esetén megállapítottuk, hogy a kimeneti kapacitás ESR értéke is okoz töréspontot, így ennek itt is nagy szerepe lesz
- Vizsgáljuk meg a stabilitást $220\mu\text{F}$ kimeneti kapacitással ($\text{ESR}=0,225\Omega$)
- Ahhoz, hogy a Linear saját termékein stabilitásvizsgáltot végezzünk, Spice direktívákat (ha úgy tetszik scripteket) kell a szimulációhoz hozzáadni. Ennek lehetőségét a menüsorból könnyedén elérhetjük (pirossal bekeretezve)



Stabilitás vizsgálata (folyt.)



```
I. .measure Aavg avg V(a)
    .measure Bavg avg V(b)
    .measure Are avg (V(a)-Aavg)*cos(360*time*Freq)
    .measure Aim avg -(V(a)-Aavg)*sin(360*time*Freq)
    .measure Bre avg (V(b)-Bavg)*cos(360*time*Freq)
    .measure Bim avg -(V(b)-Bavg)*sin(360*time*Freq)
    .measure GainMag param 20*log10(hypot(Are,Aim) / hypot(Bre,Bim))
    .measure GainPhi param mod(atan2(Aim, Are) - atan2(Bim, Bre)+180,360)-180

II. .param t0=2m
    .tran 0 {t0+25/freq} {t0}

III. .step dec param freq 1K 500K 10
     .save V(a) V(b)
     .option plotwinsize=0 numdgt=15
```

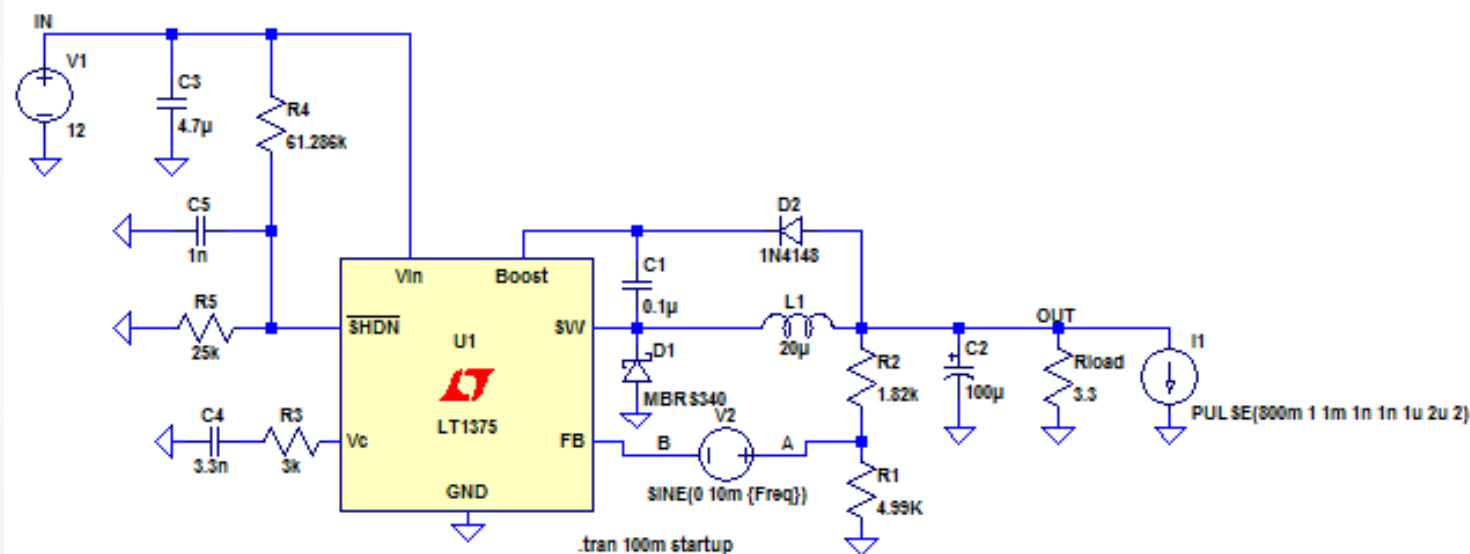
- Az I. blokk egy Fourier transzformációt valósít meg
- A II. blokk számunkra fontos a .param t0= után álló számot arra az értékre kell beállítani, amire a kimenet állandósult állapotba kerül (tranziens szimulációval ellenőrizhető)
- A III. blokkban az első sor fontos: a .step dec param freq után álló frekvenciatartományban vizsgáljuk az átviteli (Bode) függvényt. Az utána álló szám a dekádonkénti mérési pont. Ez itt most 10. Minél nagyobb ez az érték, annál kevésbé lesz „törtvonalas” a Bode a diagram
- A tartomány és a mérési pontok redukálásával a szimulációs idő csökkenthető!
- A visszacsatolást meg kell szakítani, egy 10mV-os szinuszjel generátort be kell illeszteni, mely függ az aktuális frekvenciától (pirossal bekarikázva). Az „A” és „B” labellek szükségesek!

Bode diagram megjelenítése

The image illustrates the steps to display a Bode diagram in LTspice IV:

- View Menu:** The 'View' menu is open, showing options like 'Zoom Area', 'Zoom Back', 'Zoom to Fit', 'Pan', 'Show Grid', 'Mark Unconn. Pins', 'Mark Text Anchors', 'Bill of Materials', 'Efficiency Report', 'SPICE Netlist', 'SPICE Error Log' (highlighted), 'Visible Traces', 'Autorange Y-axis', 'Marching Waves', 'Set Probe Reference', 'Toolbar', 'Status Bar', and 'Window Tabs'.
- SPICE Error Log:** The 'SPICE Error Log' window is open, showing the error message: "Direct Newton iteration failed to find .op point. (Use ".option noopiter" to...". The 'Plot .step'ed .meas data' option is highlighted.
- LTspice IV Dialog:** A dialog box titled 'LTspice IV' appears, asking: "This file has real data with names that can be combined to be complex data. Shall I write these as complex data?". The 'Igen' (Yes) button is highlighted.
- Add Traces to Plot Dialog:** The 'Add Traces to Plot' dialog box is open. The 'Available data' list contains 'a', 'b', 'freq', and 'gain' (highlighted). The 'Expression(s) to add' field contains 'gain'. The 'AutoRange' checkbox is checked.

Szimulációs összeállítás

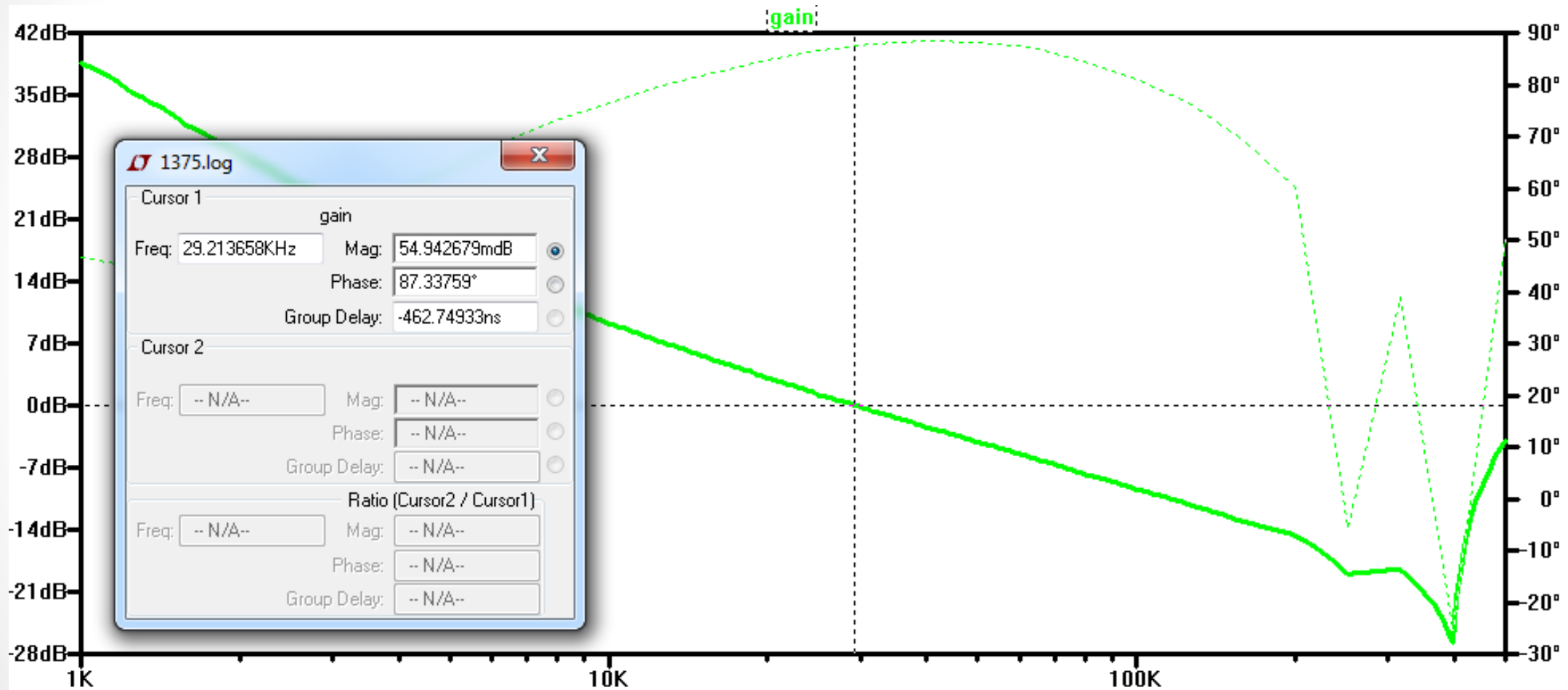


```
.measure Aavg avg V(a)
.measure Bavg avg V(b)
.measure Are avg (V(a)-Aavg)*cos(360*time*Freq)
.measure Alm avg -(V(a)-Aavg)*sin(360*time*Freq)
.measure Bre avg (V(b)-Bavg)*cos(360*time*Freq)
.measure Blm avg -(V(b)-Bavg)*sin(360*time*Freq)
.measure GainMag param 20*log10(hypot(Are,Alm)/hypot(Bre,Blm))
.measure GainPhi param mod(atan2(Alm,Are) - atan2(Blm,Bre)+180,360)-180
```

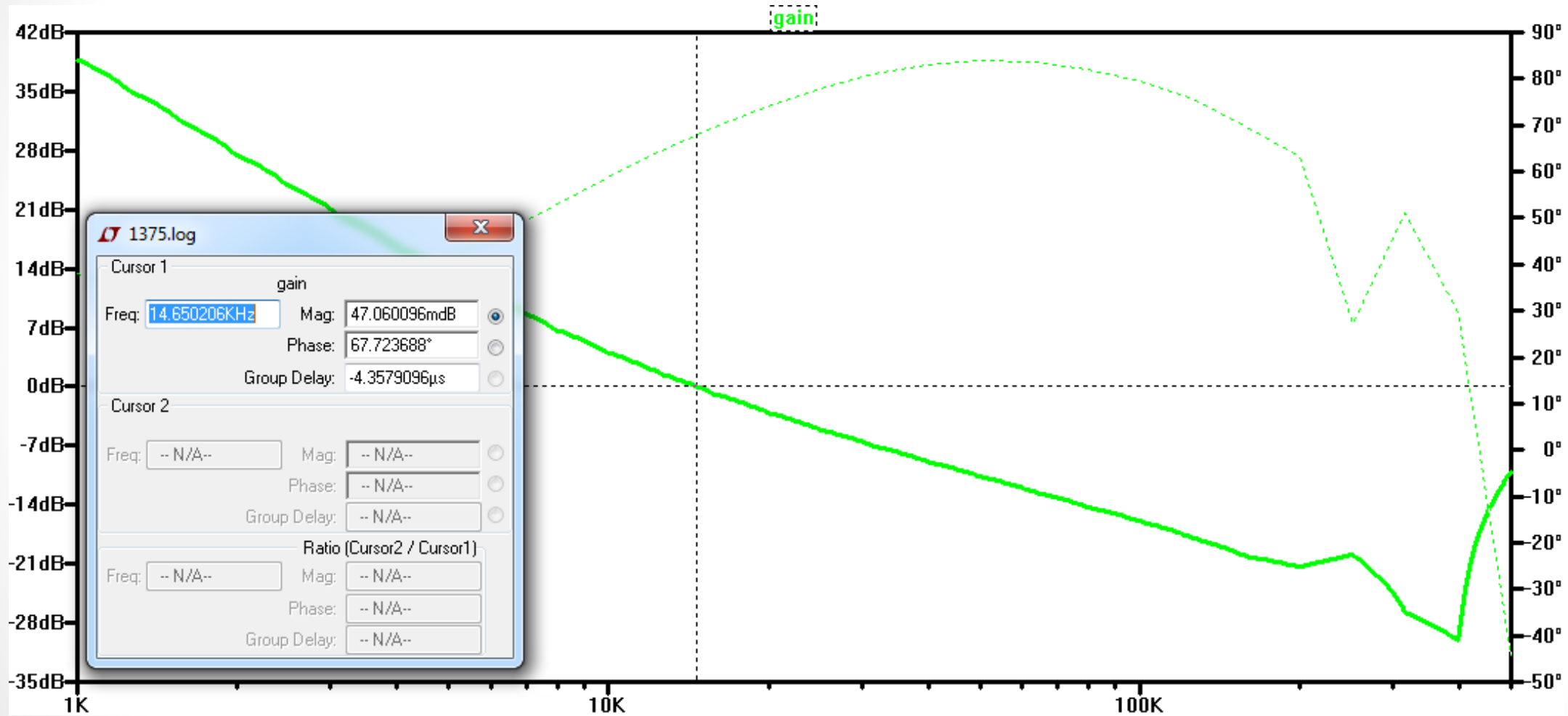
```
.param t0=2m
.tran 0 {t0+25/freq} {t0}

.step dec param freq 1K 500K 10
.save V(a) V(b)
.option plotwinsize=0 numdgt=15
```

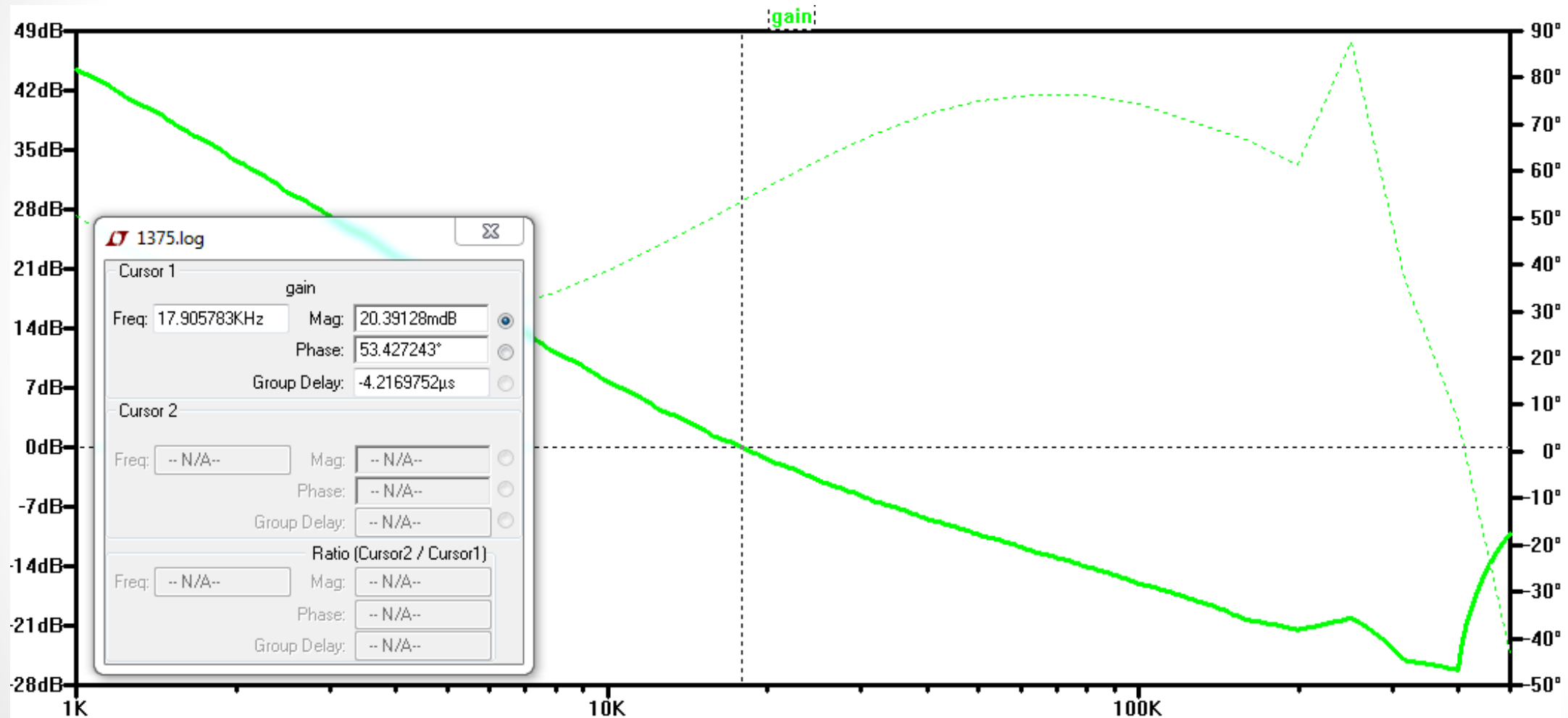
Eredmények ($C_4=220\mu\text{F}$, $\text{ESR}=0,225\Omega$)



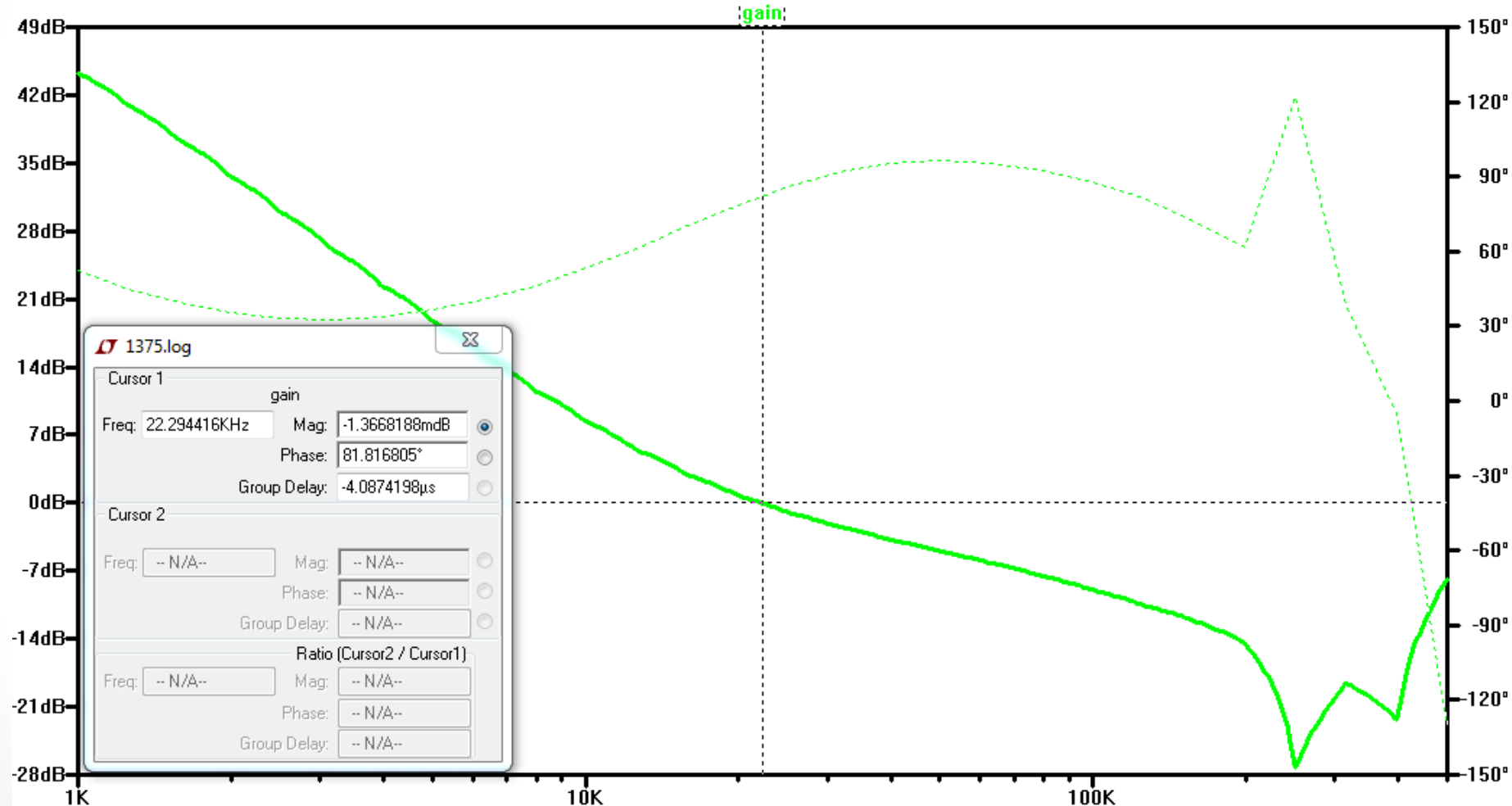
Eredmények ($C_4=220\mu\text{F}$, $\text{ESR}=0,1\Omega$)



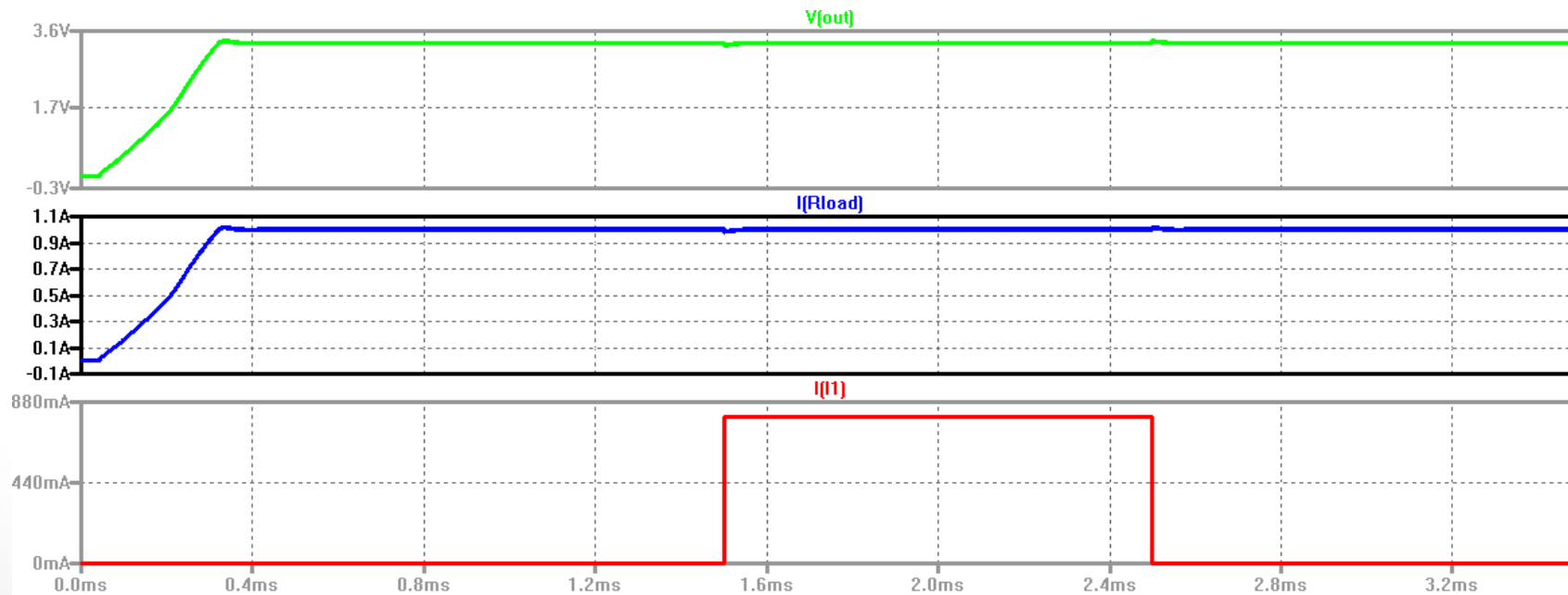
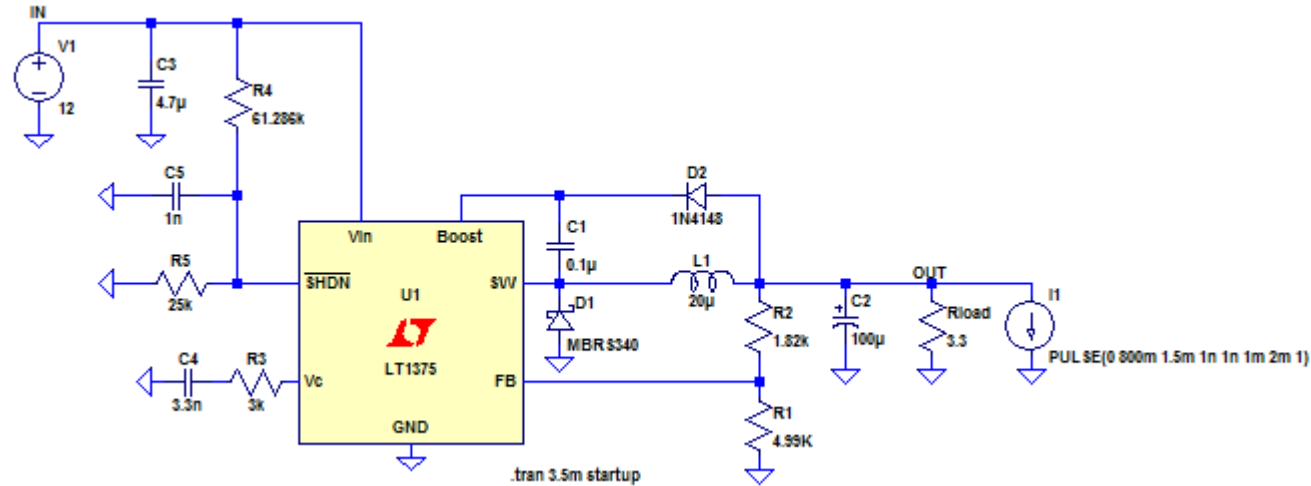
Eredmények ($C_4=100\mu\text{F}$, $\text{ESR}=0,1\Omega$)



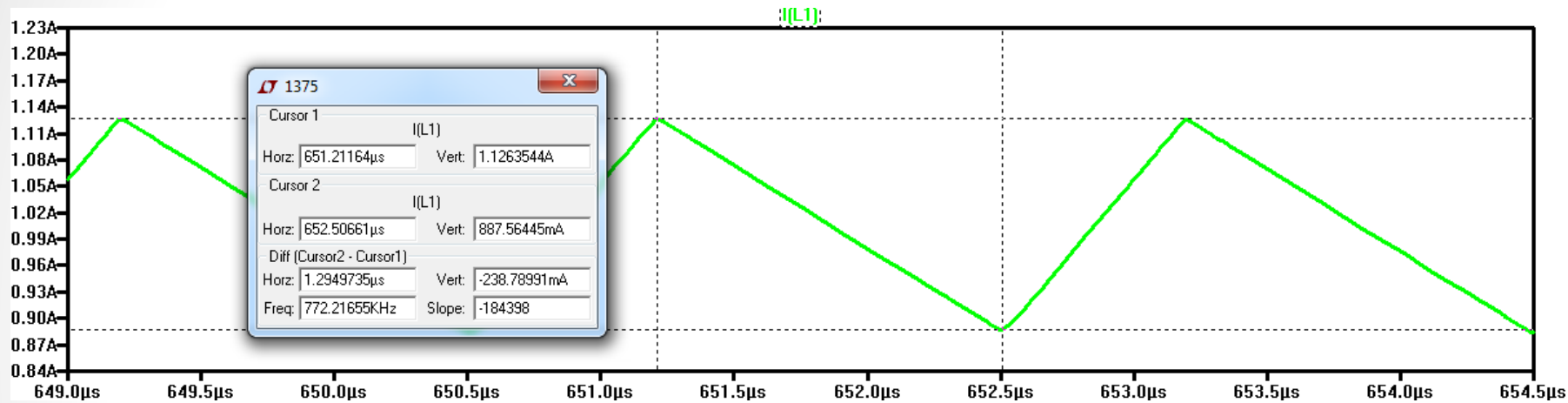
Eredmények ($C_4=100\mu\text{F}$, $\text{ESR}=80\text{m}\Omega$)



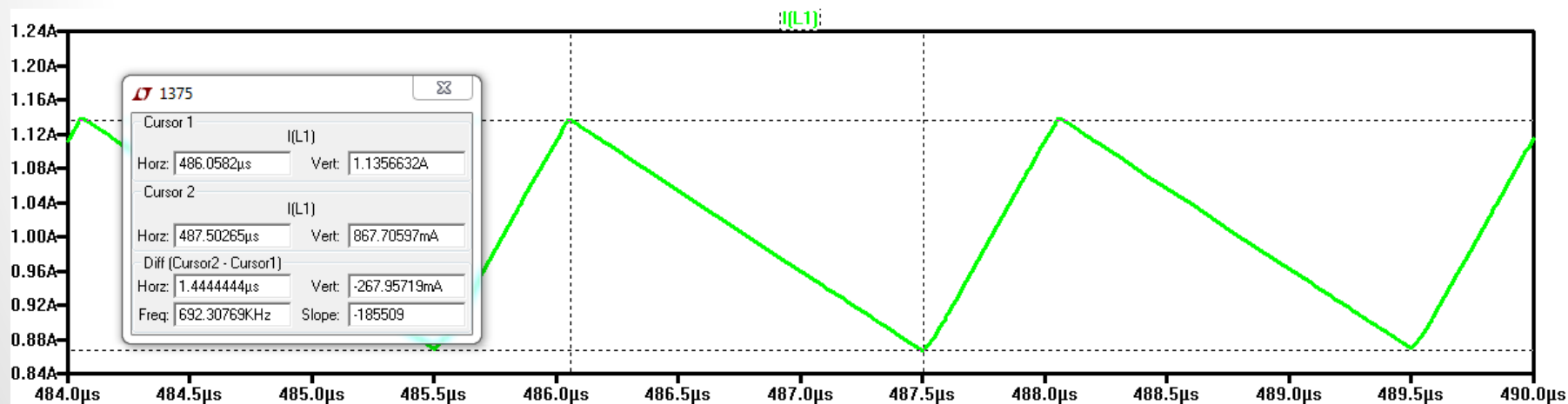
Számított értékek ellenőrzése (V_{out})



Számított értékek ellenőrzése

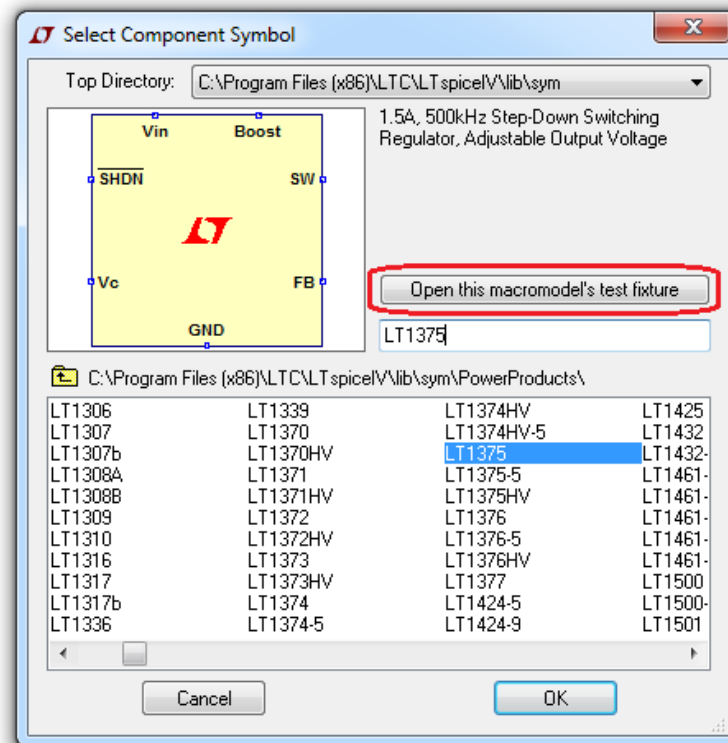
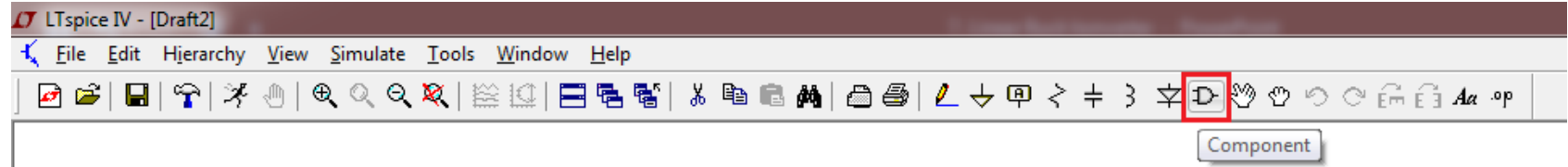
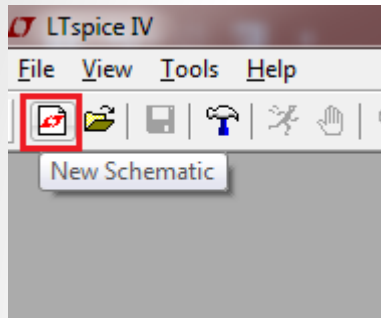


$$U_{be}=11V$$
$$I_{out}=1A$$



$$U_{be}=14V$$
$$I_{out}=1A$$

Gyári kapcsolás implementálása

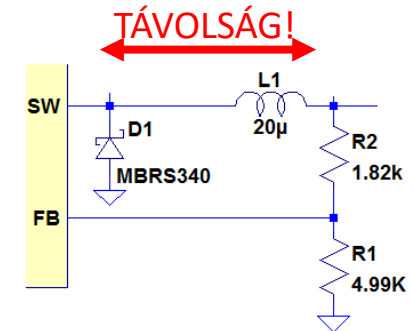
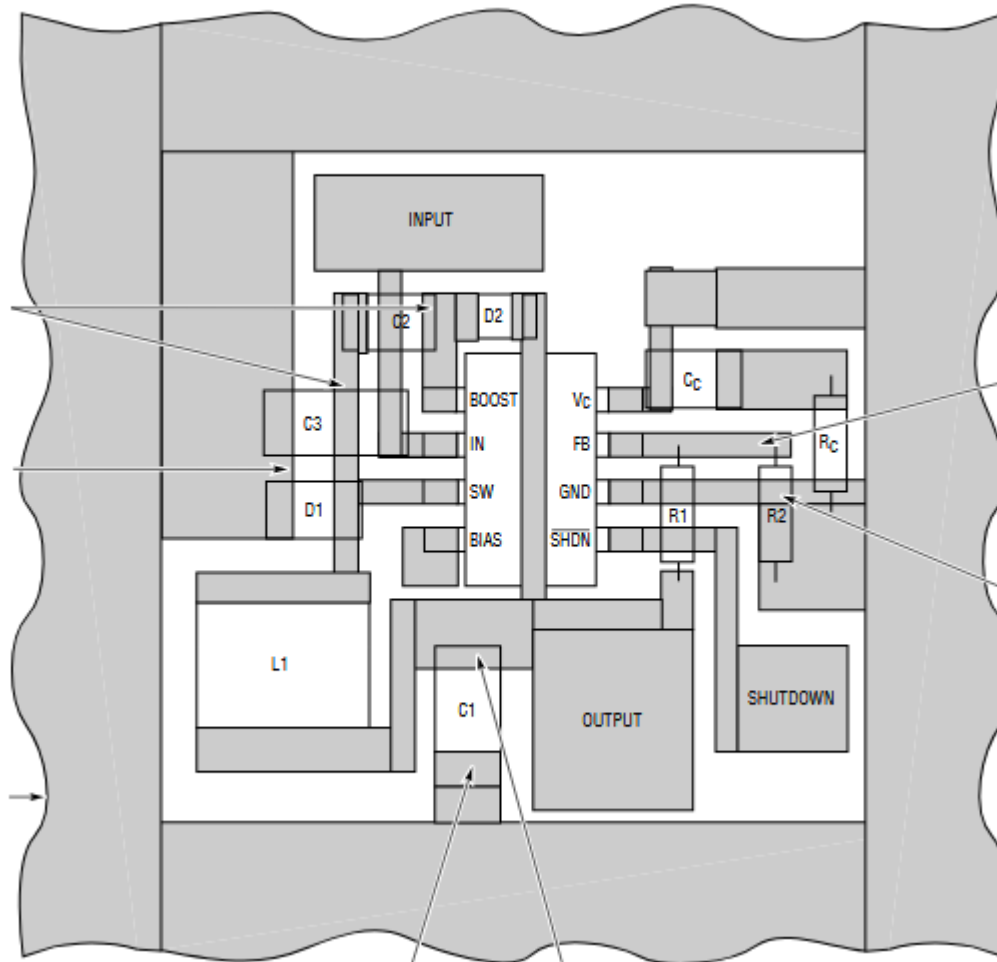


PCB tervezési megfontolások

Az SW és a BOOST alkatrészeket összekötő felület a lehető legkisebb legyen!

A BOOST pinre kerülő dióda és kondenzátor ugyanazon pontban csatlakozzon a GND-hez!

Célszerű, ha a GND egy külön rétegbe kerül (zavarszűrés szempontjából)



Az induktivitás, a dióda és a feszültségosztó kerüljön a lehető legközelebb a kivezetéshez!

A feszültségosztó és a kompenzáció kerüljön minél közelebb a GND pinhez!

A kimeneti kapacitás ténylegesen a kimenethez kerüljön!

Hasznos oldalak

- <http://www.linear.com/solutions/4673>
- <http://www.linear.com>
- <https://www.simonbramble.co.uk>
- Balogh László: Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits (TI application note)