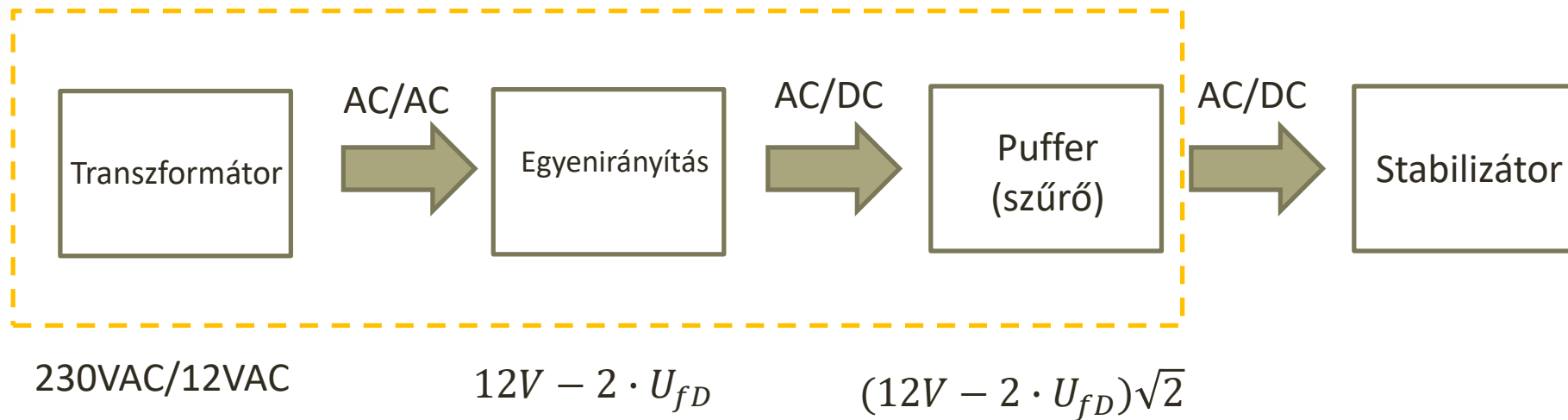


Teljesítményelektronikai áramkörök tervezése és szimulációja Lineáris egyenfeszültség stabilizátorok, tápegységek

Tápegységek

Stabilizálatlan



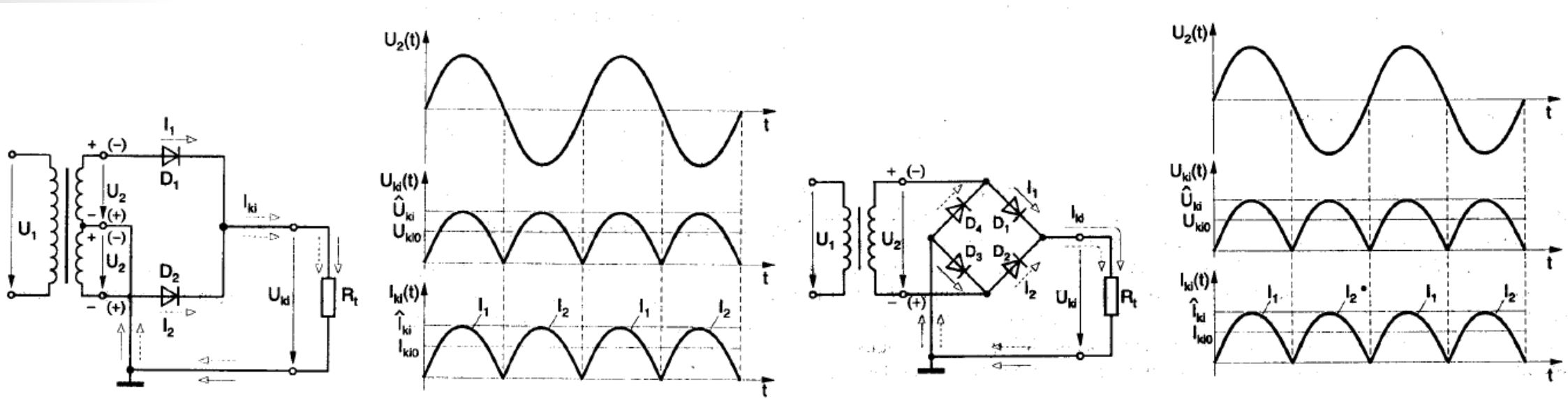
- Elektromos berendezések számára biztosítanak energiát
- A legtöbb a hálózat feszültségről működik (Mo.-n ez 230VAC/50Hz)
- Amennyiben a tápegységek valamely jellemzőinek ingadozása megengedett, abban az esetben használhatunk stabilizálatlan tápegységet
- Az egyes részegységeket részletesebben is áttekintjük, illetve a teljes rendszerre méretezési példákat oldunk meg

Transzformátor

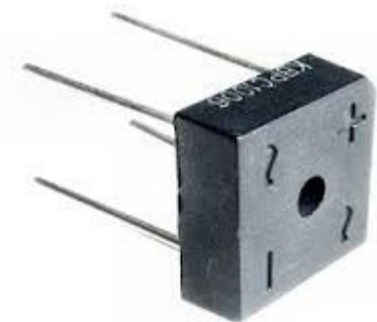


- A legtöbb esetben a hálózatról működő transzformátort használunk
- Ezek a kívánt feszültségre transzformálják a hálózati (230VAC, 50Hz) feszültsége
- Kivitelben kapható PCB-be ültethető is (kisebb teljesítmény esetén), ezek általában műgyantával kiöntöttek
- Fontos: Ha Stabilizált DC feszültséget szeretnénk, a transzformátor szekunder AC feszültségénél nagyobb feszültséget fogunk kapni DC-ben. Tervezésnél és a transzformátor kiválasztásánál ezt tartsuk szem előtt!

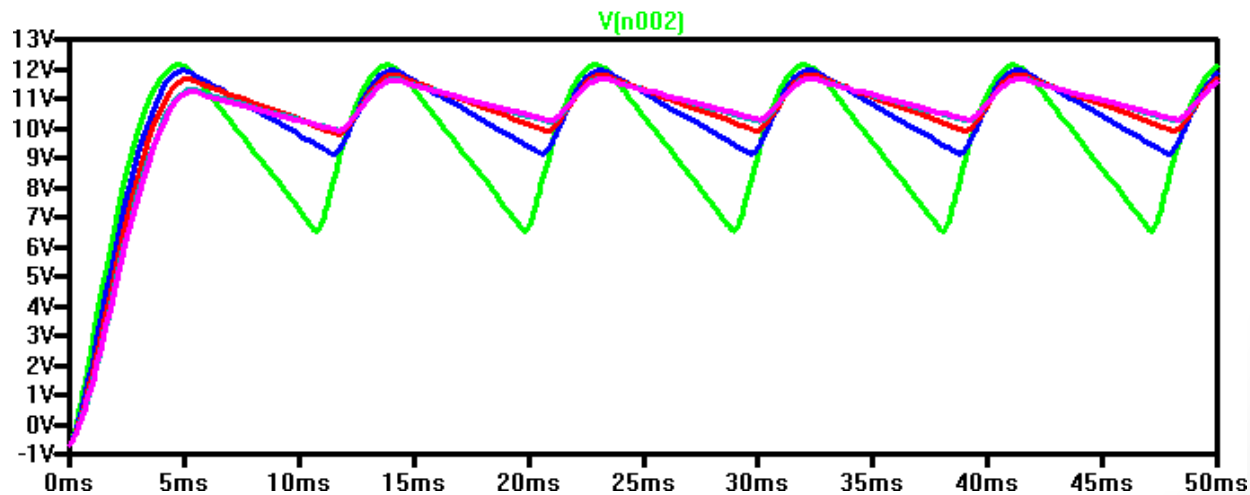
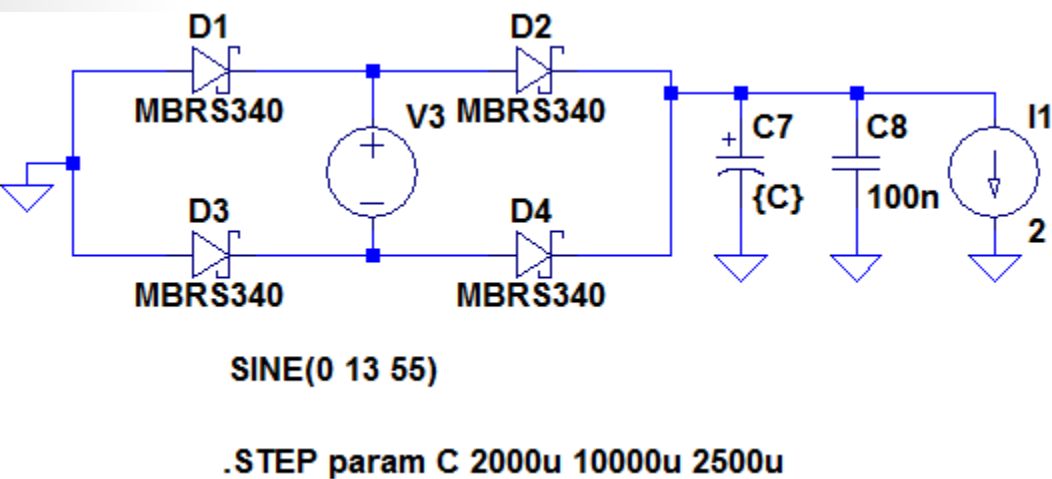
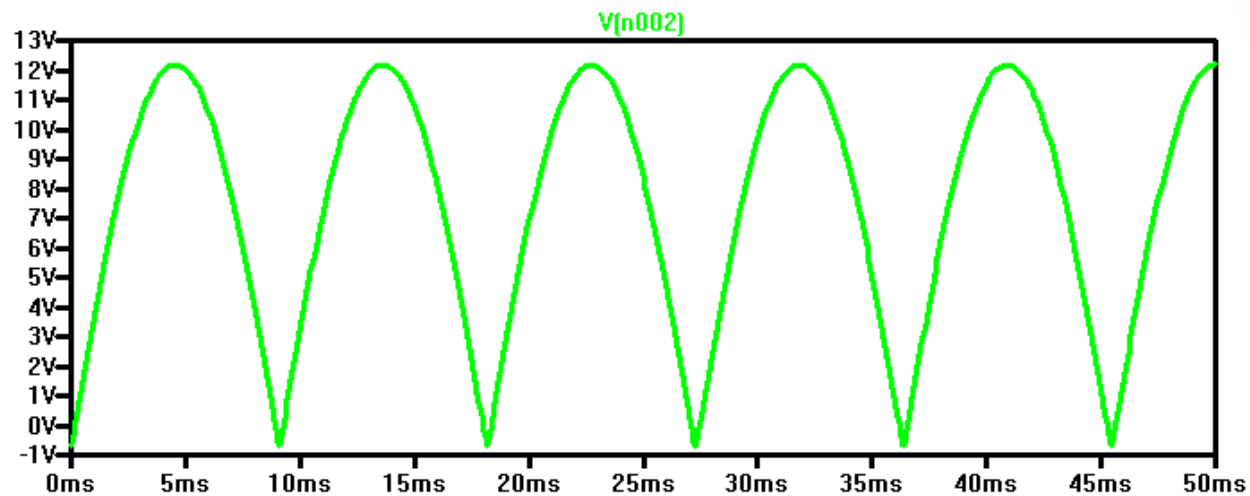
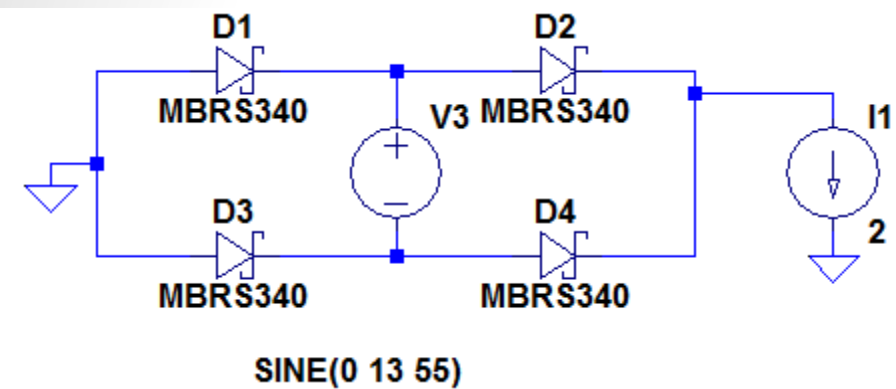
Egyenirányítás



- Az egyenirányítók a váltakozó feszültséget alakítják egyenfeszültséggé
- A bemeneti feszültség hasznosítása szempontjából két nagy csoportra oszthatjuk:
 - Egyutas egyenirányítók
 - Kétutas egyenirányítók (utóbbival foglalkozunk részletesebben)
- A kétutas egyenirányítók kevésbé hullámossak
- Itt két alapkapcsolást különböztetünk meg:
 - Középkivezetéses (szimmetrikus transzformátor esetén) kétutas egyenirányító
 - Graetz típusú



Szűrés



A túl nagy áramterhelés csökkenti a kimeneti feszültséget!

Pufferkapacitás méretezés

- Az egyenirányítók fontos jellemzője a bűgőfeszültség, ez megfelelően méretezett puffereléssel csökkenthető (vagy f növelésével – Kapcsolóüzem)
- A bűgőfeszültség a beépített pufferkapacitás nagyságától, a frekvenciától és a terhelőáram értékétől függ:

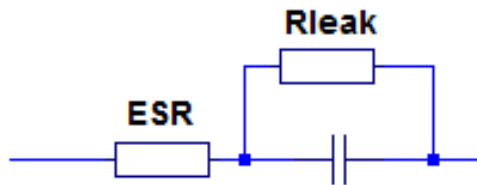
$$U_b = \frac{I_t}{2 \cdot C_p \cdot f}$$

- A korábbi szimulációban 2A-s terhelés esetén különböző kapacitásértékek mellett látható a kimeneti feszültség
- Íratlan ökölszabály, hogy 100W-ként 10000uF pufferkapacitást illik beépíteni (50Hz-es tápegység esetén)
- A kiválasztásnál fontos a Elko feszültségtűrése
- A beépítésnél a legtöbb esetben a negatív kivezetés van megjelölve (mint az ábrán is)
- Nagy áramok esetén irreálisan nagy kapacitás szükséges, így ez a megoldás kis áramok esetén előnyös

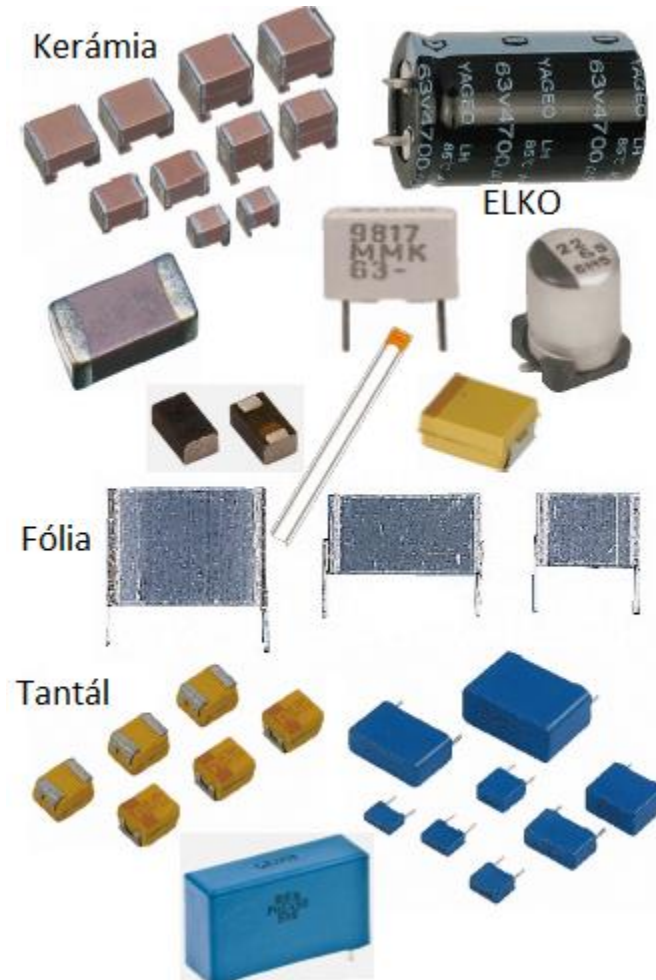


Kondenzátorok a gyakorlatban

Valóságos kondenzátor:



- Kiválasztásnál fontos:
 - Névleges feszültség
 - Névleges kapacitás
 - Impulzus igénybevétel
 - ESR érték (ESR=Equivalent Serial Resistance)
 - (R_{leakage} = szivárgási ellenállás)



Mikor melyiket válasszunk?

(Elektrolit kondenzátorok)

ELKO

- Az elektrolitja habosított alumínium oxid
- Viszonylag nagy kapacitást képviselnek (akár több 10000 μF)
- Öregedésre hajlamosak (kiszáradnak), Púposodás!
- Hidegebb hőmérsékleten a névleges kapacitásuk egy részét tudják produkálni (-20°C alatt tönkre is mehet)
- Nagy (10 -100-1000m Ω) ESR-el rendelkeznek
- Alacsonyabb frekvenciára
- Felületszerelt illetve true hole-s kivitelben is kaphatók
- Jelölés!



Tantál

- Fordított polaritás esetén felrobbanhatnak
- Hasonló az ELKO-hoz, de nagyobb megbízhatóság
- Magasabb frekvenciára
- Kisebb ESR
- Kevésbé öregszik
- Tűzveszélyes helyeken, pl. autóipari alkalmazásokban egyáltalán nem használható



Mikor melyiket válasszunk? (Fólia, kerámia kondenzátorok)

Fólia kondenzátor

- Polarizálatlan
- Magasabb frekvencia
- Magasabb feszültségtartomány (akár kV-os!)
- A felhasznált fólia anyagától függően több típus lehetséges



Kerámia kondenzátor

- Jellemzően pF – uF kapacitásúak
- Polarizálatlan
- Nagyon kis ESR érték
- Magasabb frekvenciára is
- Nagy áram esetén is
- X5R, X7R
- Kapcsolóüzemű tápegységekbe ideális
- KÓD példa: $102 = 10 \cdot 10^2 \text{ pF} = 1 \text{ nF}$
- https://www.hobbielektronika.hu/segedprogram?prog=kondenzator_kod



Példa analóg tápegység méretezésére

Tervezzünk tápegységet a következő szempontok szerint!

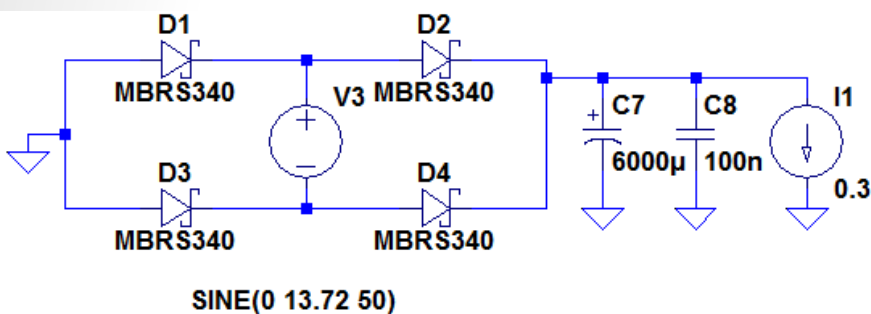
- $U_{beAC}=230V/50Hz$
- $U_{kiDC}=12V\pm 1V$
- $I_{ki}=300mA$
- $\Delta U_{ki}=0,5V$
- $V_f=0,5V$

- A transzformátor kimentő feszültsége:

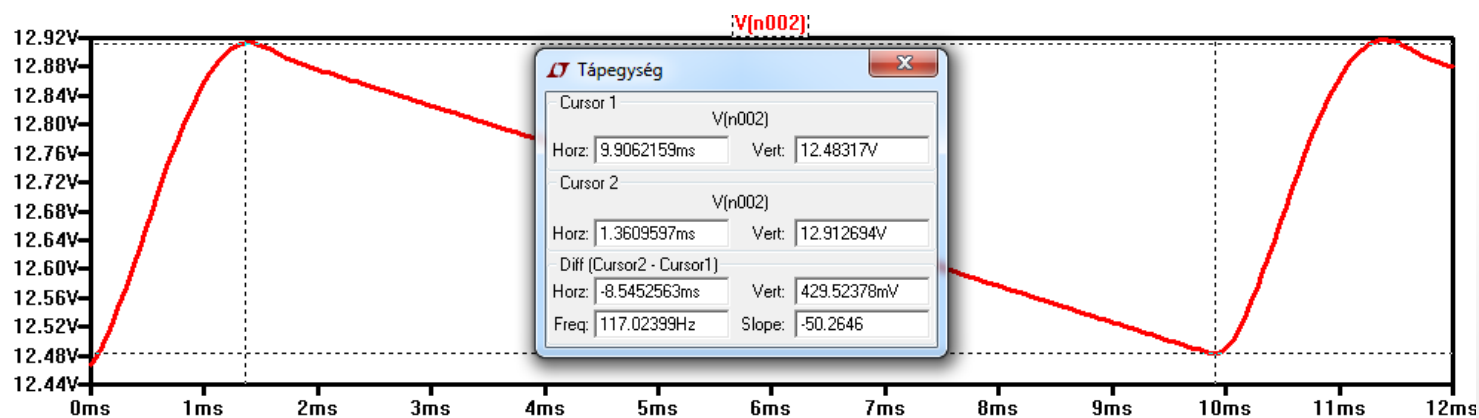
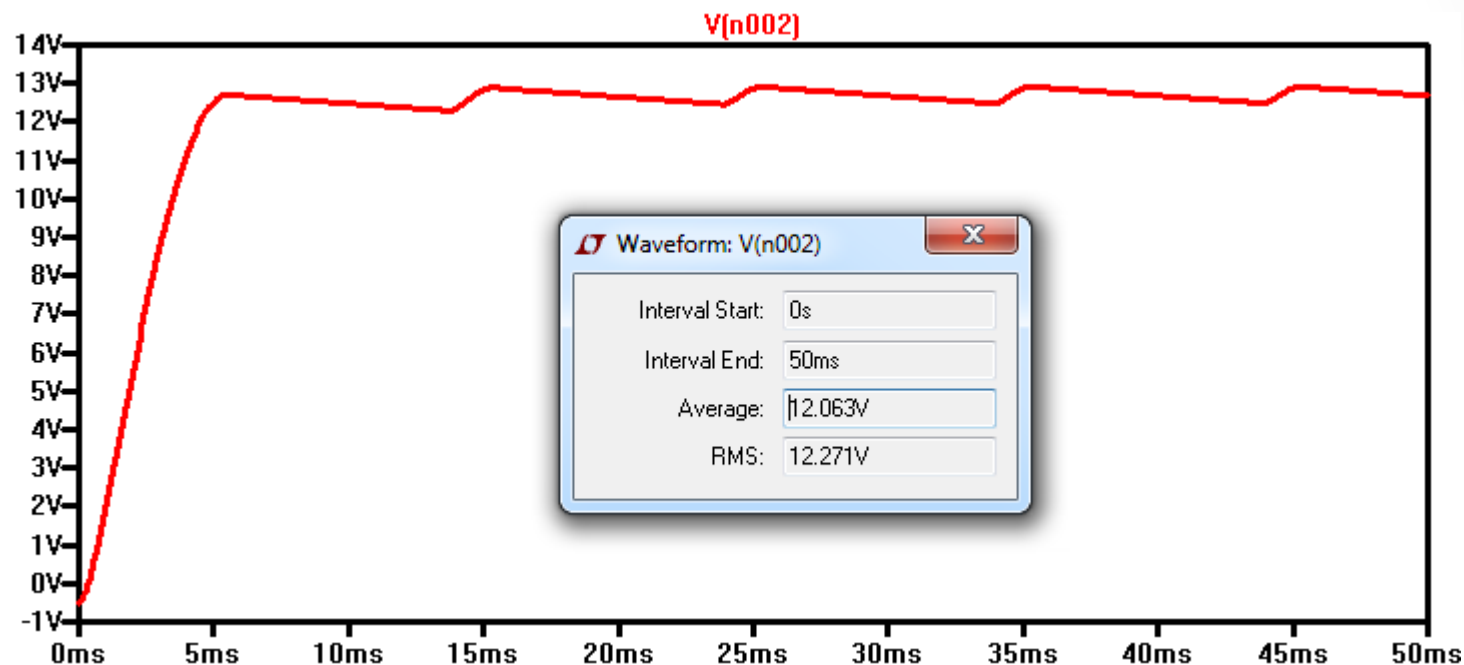
$$V_{ACsec} = \frac{(V_{DC} + 2V_f)}{\sqrt{2}} = \frac{(12V + 2 \cdot 0,5V)}{\sqrt{2}} = 9,19V$$

- A választott érték: 9VAC
- A választott dióda: MBR340, vagy az áramterhelésnek (300mA) megfelelő Graetz híd
- A szükséges pufferkapacitás:
- $C_p = \frac{It}{2\Delta Ubf} = \frac{0,3A}{2 \cdot 0,5V \cdot 50Hz} = 6000\mu F$
- A nagyfrekvenciás szűrés érdekében a kapcsolásba bekerült egy 100nF-os kondenzátor

Eredmények

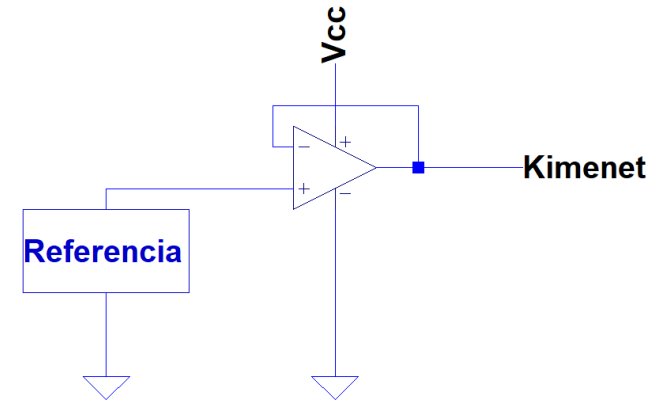


- Megjegyzés: A transzformátor szimulációja során némi egyszerűsítést alkalmaztunk



Stabilizátorok

- Gyakran van szükség stabil feszültségre/áramra, melyet az egyenirányító áramkörök még szűréssel együtt sem képesek teljesíteni. Ez főként igaz:
 - Analóg funkciókat megvalósító áramköröknél
 - Elemesen táplált eszközök esetén
- Az, hogy a mennyire „stabil” mennyiségre van szükség, mindig az adott alkalmazás határozza meg



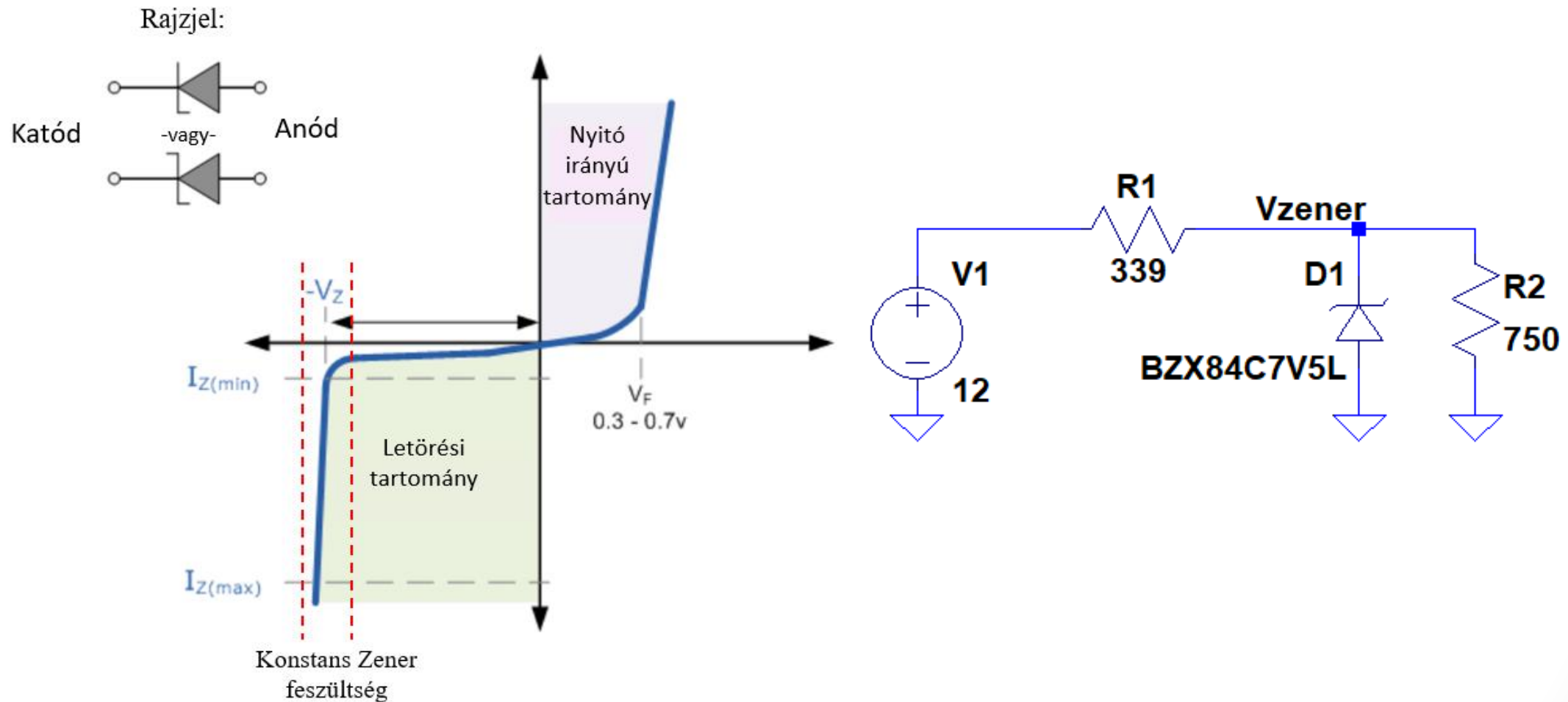
Stabilizátorok

- Egyenáramú
- Kapcsolóüzemű

- Áramstabilizátorok
- Feszültségstabilizátorok

- Soros stabilizátor
- Párhuzamos stabilizátor

Zener-diódás stabilizátor méretezése



Zener-diódás stabilizátor méretezése

- Az adataink a következők:
 - 7,5V stabilizált feszültséget szeretnénk (1-10mA áramerősség mellett) a kimeneten
 - A bemeneti feszültségünk 12V és 16V között ingadozik

- A választott Zener-dióda:
BZX84B7V5L
- Az adatlapról leolvashatók a következők:

- $U_{ZK}=7,5V$
- $U_{ZKmin}=7,35V$
- $U_{ZKmax}=7,65V$
- $P_{Dmax}=250mW$

- Maximális Zener áram:

- $I_{Zmax} = 0,8 \cdot \frac{P_{Dmax}}{U_{ZK}} = 0,8 \cdot \frac{250mW}{7,5V} \cong 26mA$
- $I_{Zmin} = 0,1 \cdot I_{Zmax} \cong 2,6mA$

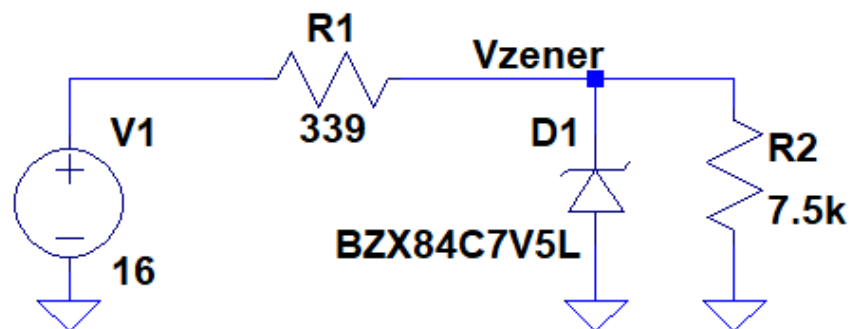
- Az ellenállás méretezésénél két szélsőséges esetet veszünk figyelembe:

- Minimális értéknél legalább akkora legyen, hogy a várható legnagyobb bemeneti feszültség és legkisebb terhelőáram esetén se lépjük túl a Zener maximális áramát
- Maximális érték esetén a legkisebb bementi feszültséget és a legnagyobb terhelőáramot vesszük figyelembe

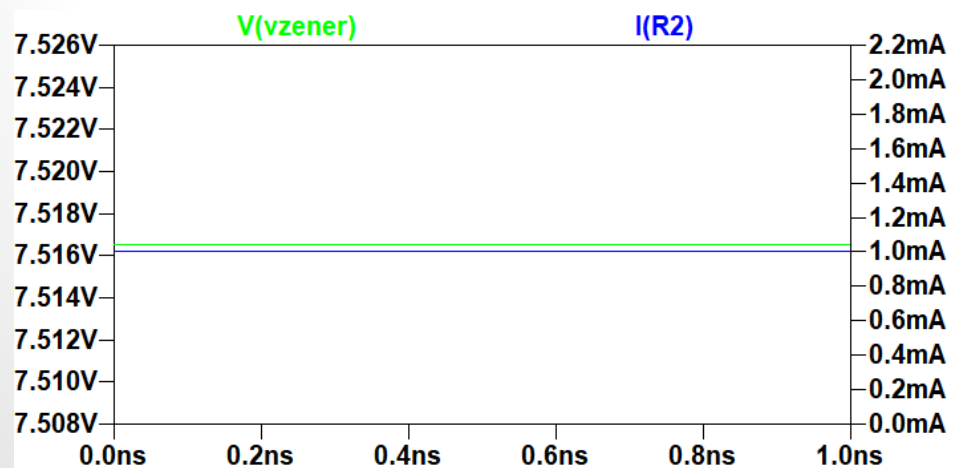
$$\left. \begin{aligned} R_{min} &= \frac{U_{bemax} - U_{ZKmax}}{I_{kimin} + I_{Zmax}} = \frac{16V - 7,65V}{1mA + 26mA} = 309\Omega \\ R_{max} &= \frac{U_{bemín} - U_{ZKmin}}{I_{kimax} + I_{Zmin}} = \frac{12V - 7,35V}{10mA + 2,6mA} = 369\Omega \end{aligned} \right\} 339\Omega$$

Ellenőrzés szimulációval

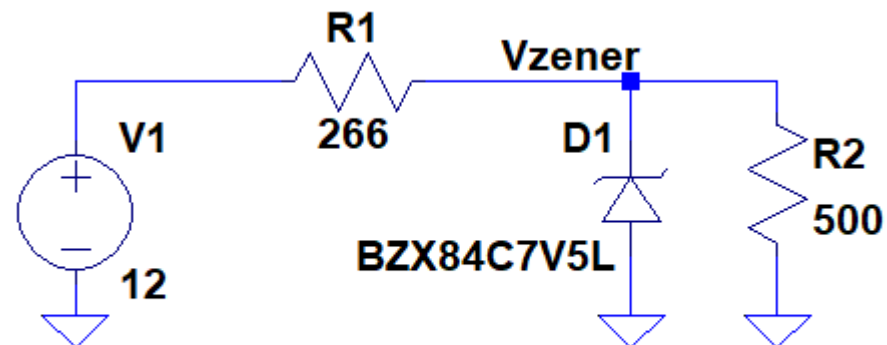
Maximális bemeneti feszültség,
minimális terhelőáram esetén



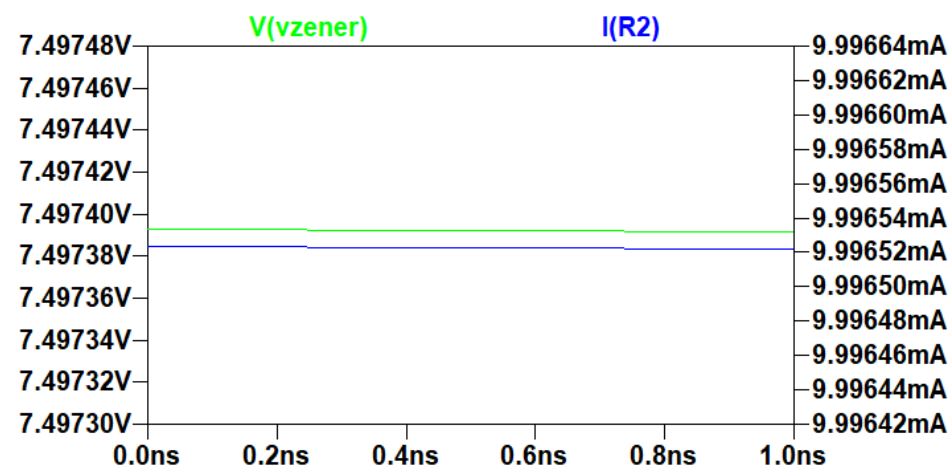
.tran 1n



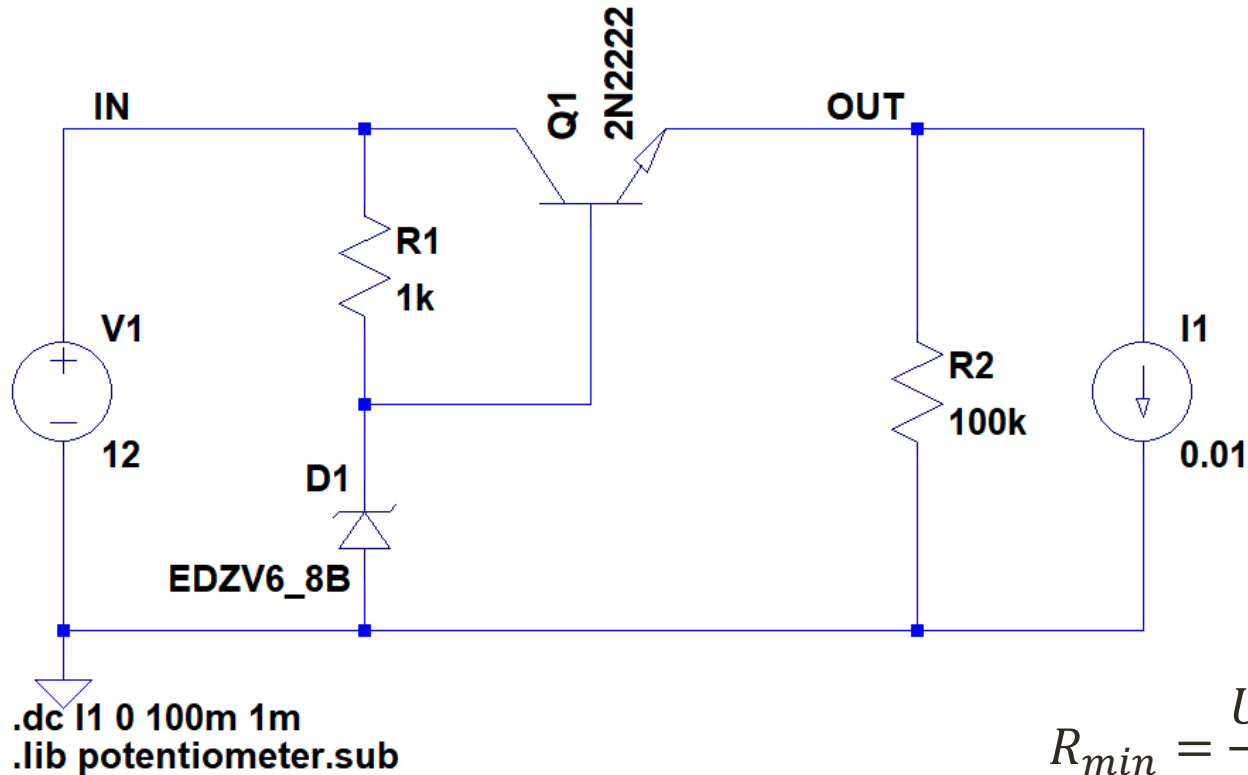
Minimális bemeneti feszültség,
maximális terhelőáram esetén



.tran 1n



Soros áteresztőtranzisztoros feszültségstabilizátor



$$I_{ki} = (1 + B) \cdot I_B$$

$$U_{ki} = U_{ZK} - U_{BE}$$

R1 értéke

SZÉLSŐ
ÉRTÉKEK

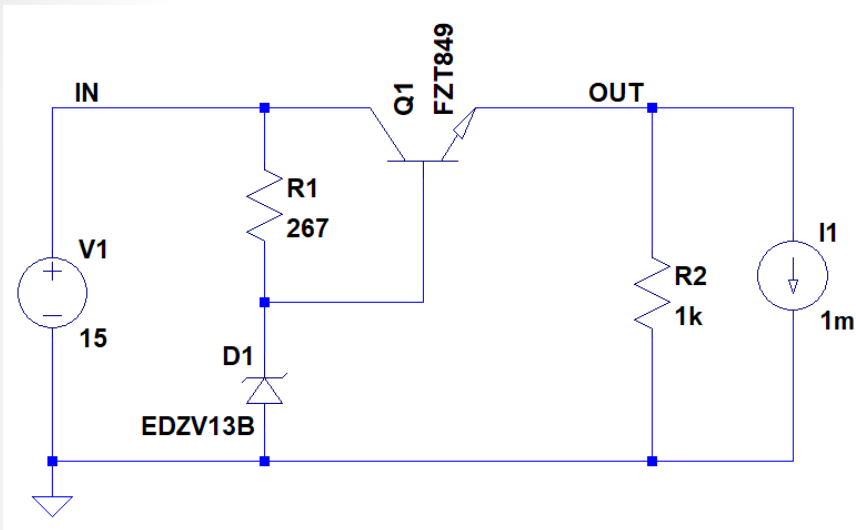
Maximális bemenő feszültség,
minimális kimeneti áram:

Minimális bemenő feszültség,
maximális kimeneti áram:

$$R_{min} = \frac{U_{bemax} - U_{ZKmax}}{I_{Bmin} + I_{Zmax}}$$

$$R_{max} = \frac{U_{bemin} - U_{ZKmin}}{I_{Bmax} + I_{Zmin}}$$

Példa áteresztőtranzisztoros stabilizátor méretezésére



- A kimenetünk rendelkezzen az alábbi paraméterekkel:

- $V_{in}=15V$
- $V_{out}=12,5V (\pm 5\%)$
- $I_{out}=100mA - 1A$
- $B=200$ (adatlapról)

- A Zener-dióda adatai (EDZV13B) az adatlapról:

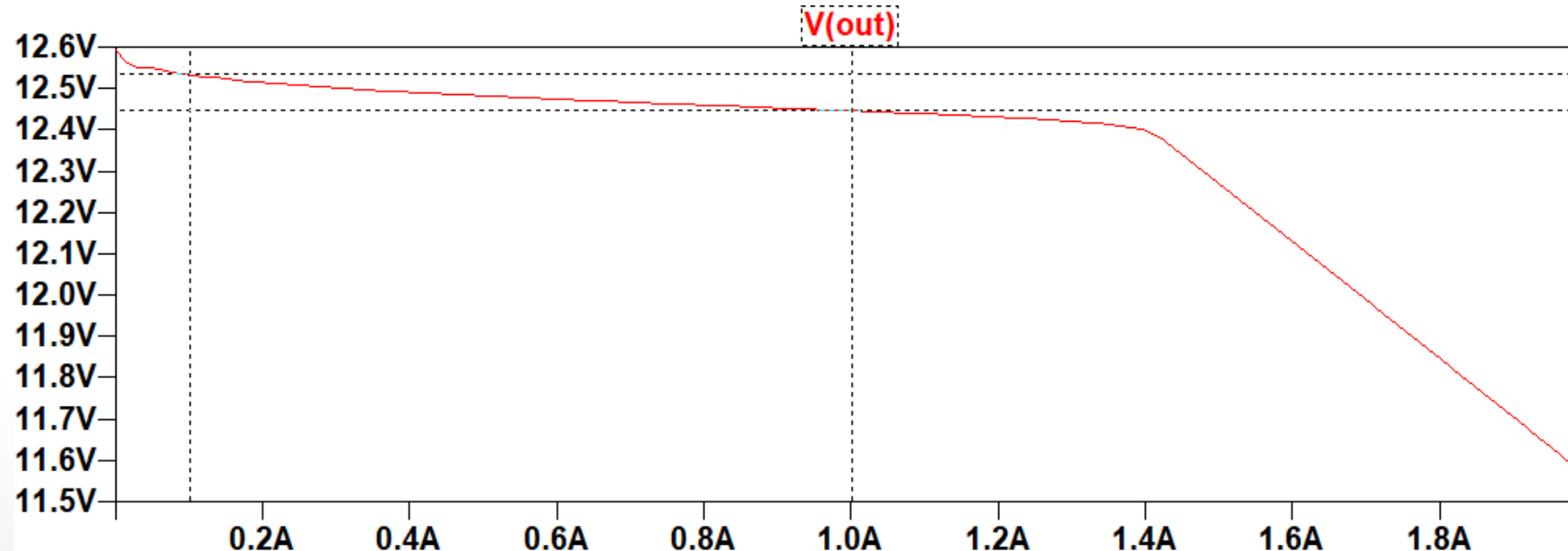
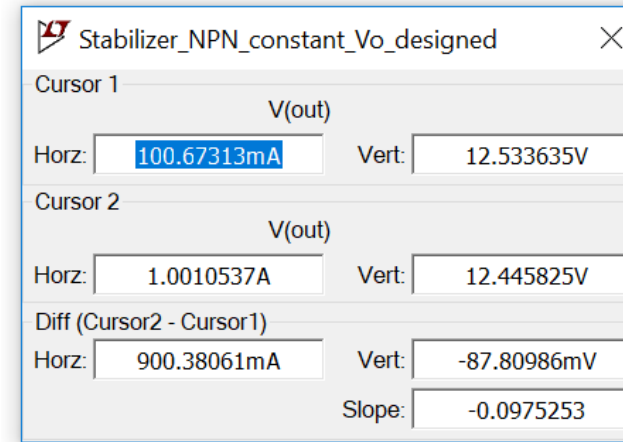
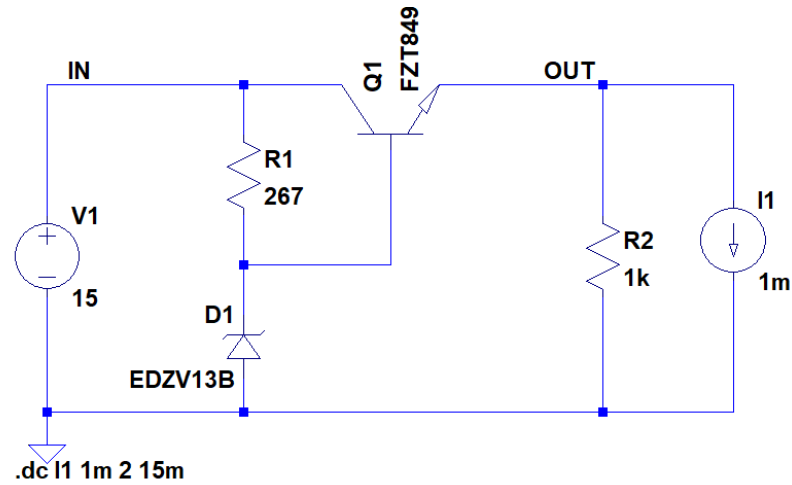
- $U_{ZK}=13V$ ($U_{Zmin} = 12,91V$; $I_{ZKmax} = 13,49V$)
- $P_{dmax}=150mW$
- Innen: $I_{Zmax} = 0,8 \cdot \frac{150mW}{13V} = 9,2mA$
- $I_{Zmin} = 0,1 \cdot 9,2mA \cong 1mA$
- $I_{Bmin} = \frac{I_{kmin}}{(1+B)} = \frac{0,1A}{201} \cong 0,5mA$
- $I_{Bmax} = \frac{I_{kmin}}{(1+B)} = \frac{1A}{201} \cong 5mA$

- $U_{ki} = U_{ZK} - U_{BE} = 12,4V$

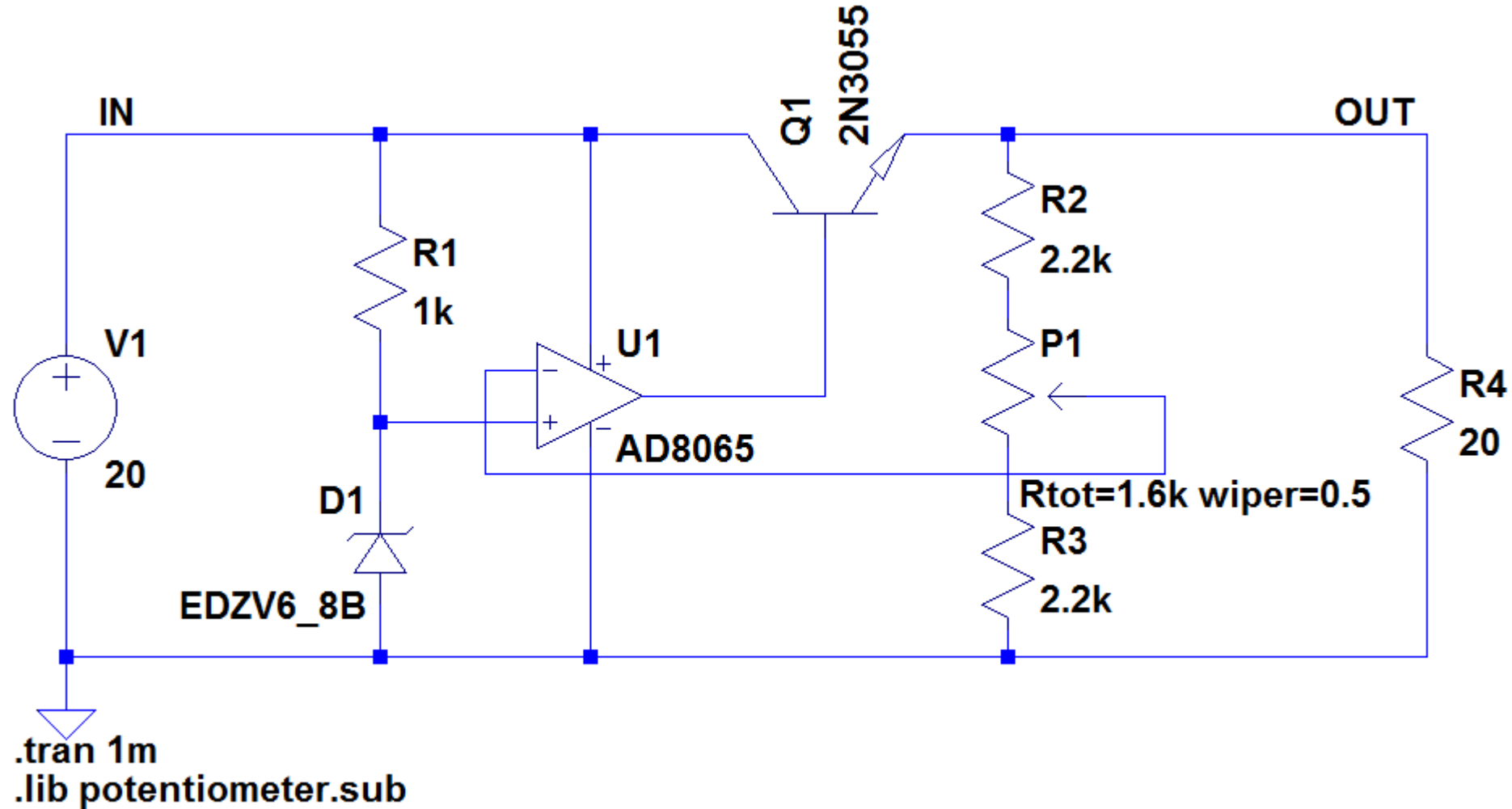
- A szükséges munkapont beállító ellenállás:

$$\left. \begin{aligned} R_{min} &= \frac{U_{be} - U_{ZKmax}}{I_{Bmin} + I_{Zmax}} = \frac{15V - 13,49V}{0,5mA + 9,2mA} = 155,6\Omega \\ R_{max} &= \frac{U_{be} - U_{ZKmin}}{I_{Bmax} + I_{Zmin}} = \frac{15V - 12,91V}{5mA + 0,5mA} = 380\Omega \end{aligned} \right\} 267\Omega$$

Ellenőrzés szimulációval (DC sweep)



Soros áteresztő tranzisztoros feszültségstabilizátor változtatható kimeneti feszültséggel



Kimeneti értékek

- A kimeneti feszültség a potenciométer középállásában:

$$V_o = U_Z \frac{R_2 + P_1 + R_3}{R_3 + \frac{P_1}{2}} = 6,8V \frac{2,2k\Omega + 1,6k\Omega + 2,2k\Omega}{2,2k\Omega + 800\Omega} = 13,6V$$

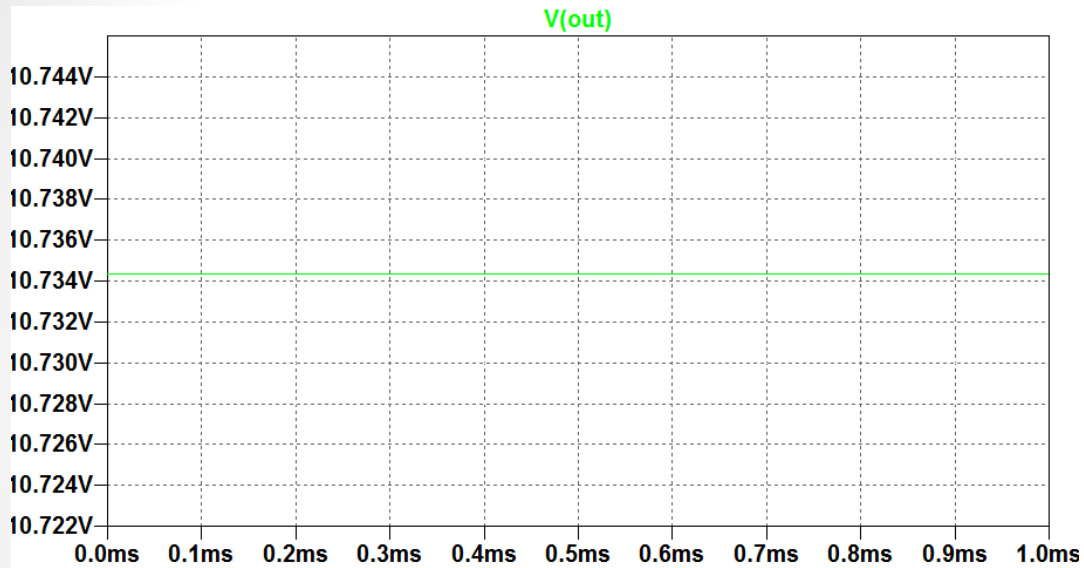
- Maximálisan beállítható kimeneti feszültség:

$$V_o = U_Z \frac{R_2 + P_1 + R_3}{R_3 + P_1} = 6,8V \frac{2,2k\Omega + 1,6k\Omega + 2,2k\Omega}{2,2k\Omega + 1,6k\Omega} = 18,54V$$

- Minimálisan beállítható kimeneti feszültség (itt most $P_1=0\Omega$ ellenállással számolunk):

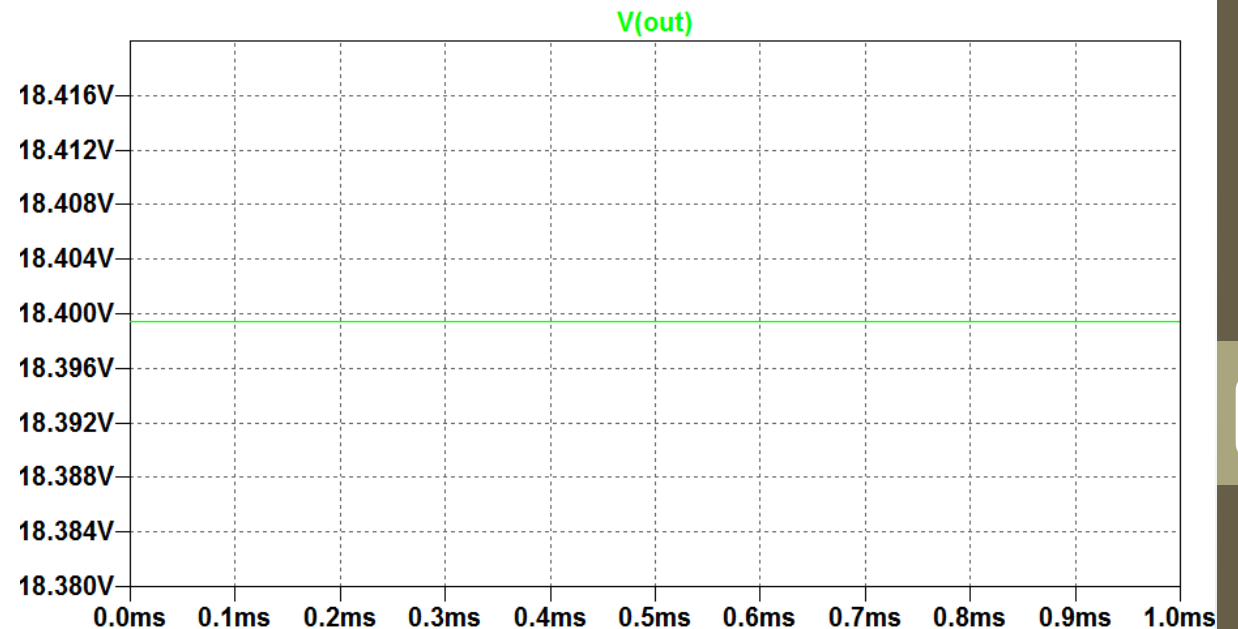
$$V_o = U_Z \frac{R_2 + P_1 + R_3}{R_3} = 6,8V \frac{2,2k\Omega + 1,6k\Omega + 2,2k\Omega}{2,2k\Omega} = 10,73V$$

Szimulációs eredmények (Kimeneti feszültség)

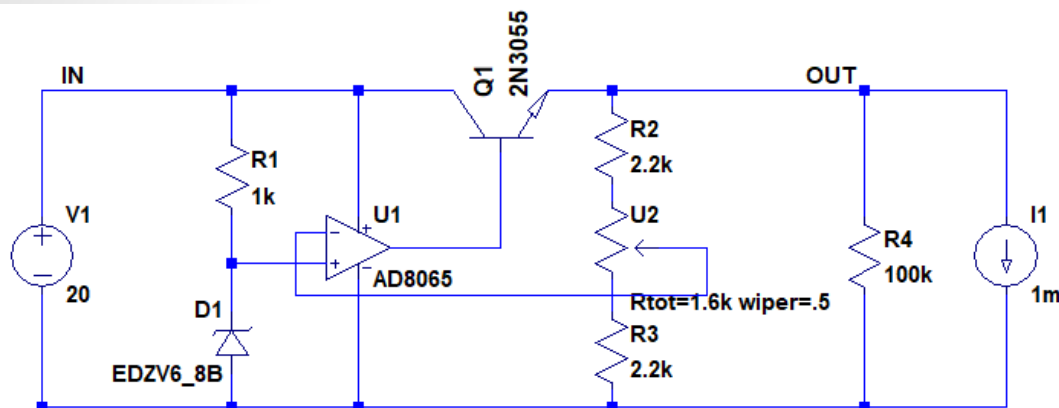


Potenciométer
minimális
állásban

Potenciométer
maximális
állásban

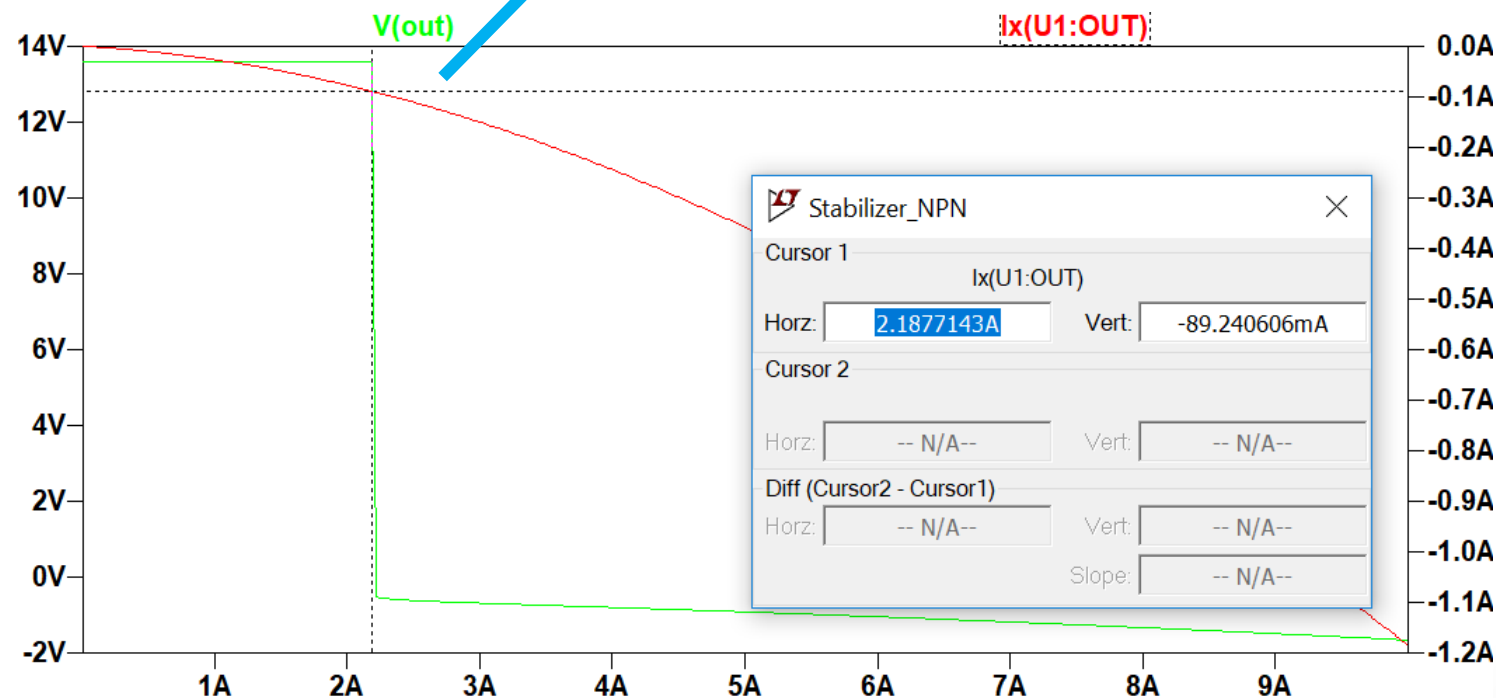


Szimulációs eredmények (Kimeneti áram)

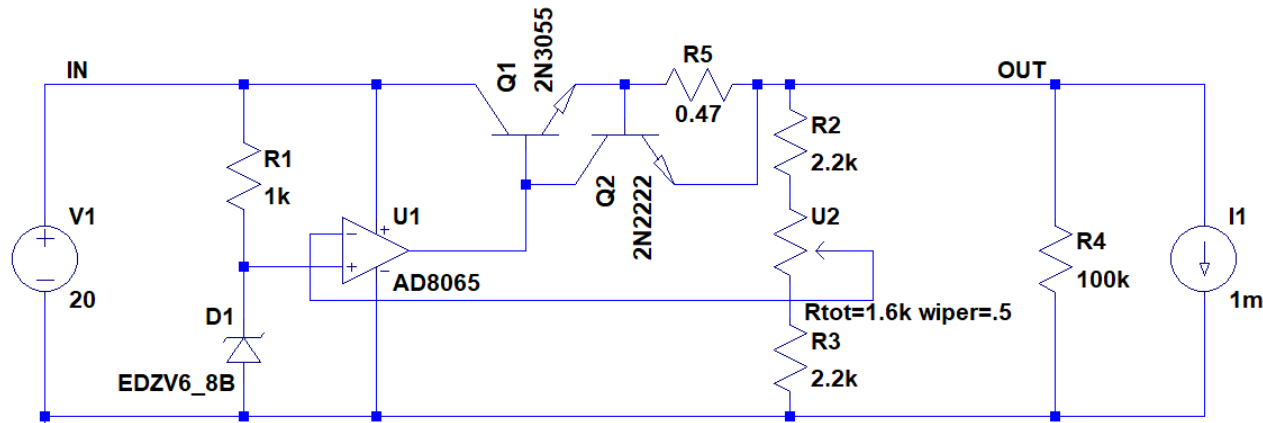


;tran 1m
.lib potentiometer.sub
.dc I1 10m 10 10m

A műveleti erősítő
nagyobb kimeneti áramot
nem képes biztosítani.

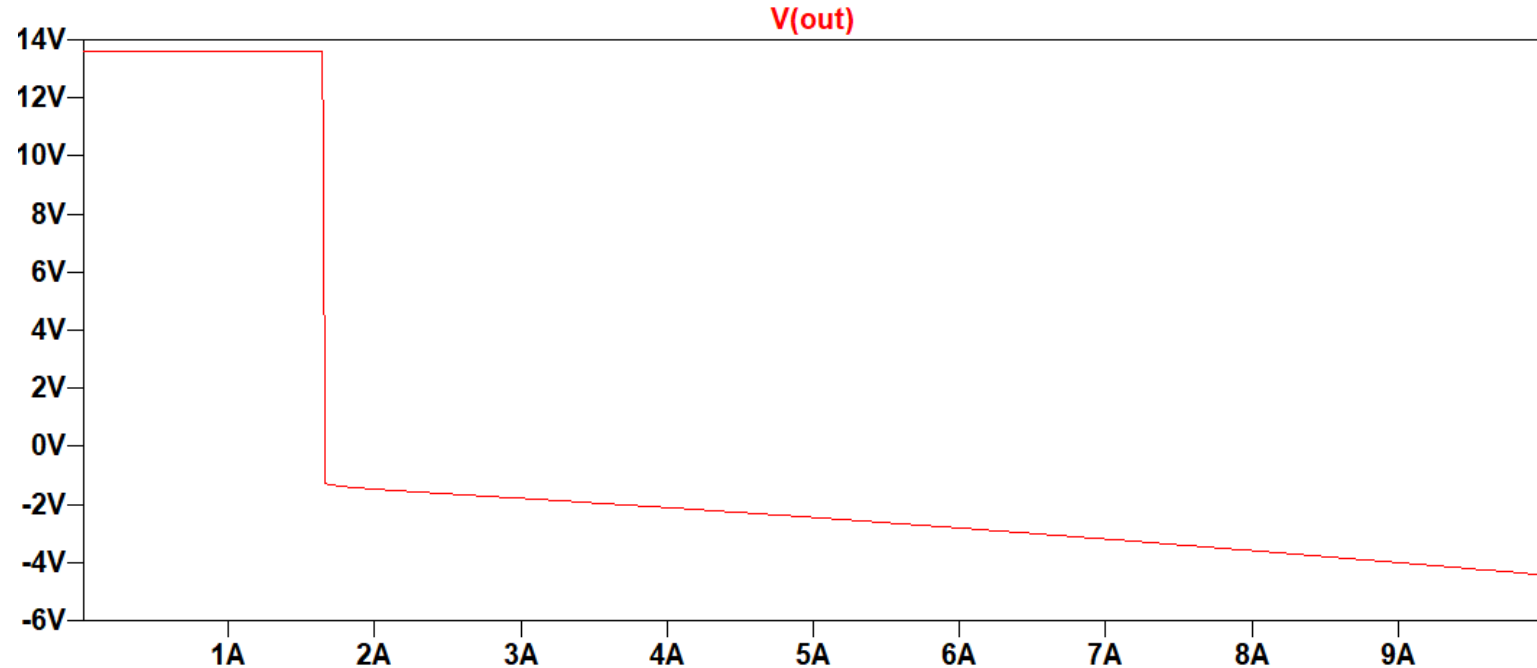


Rövidzárvédelem



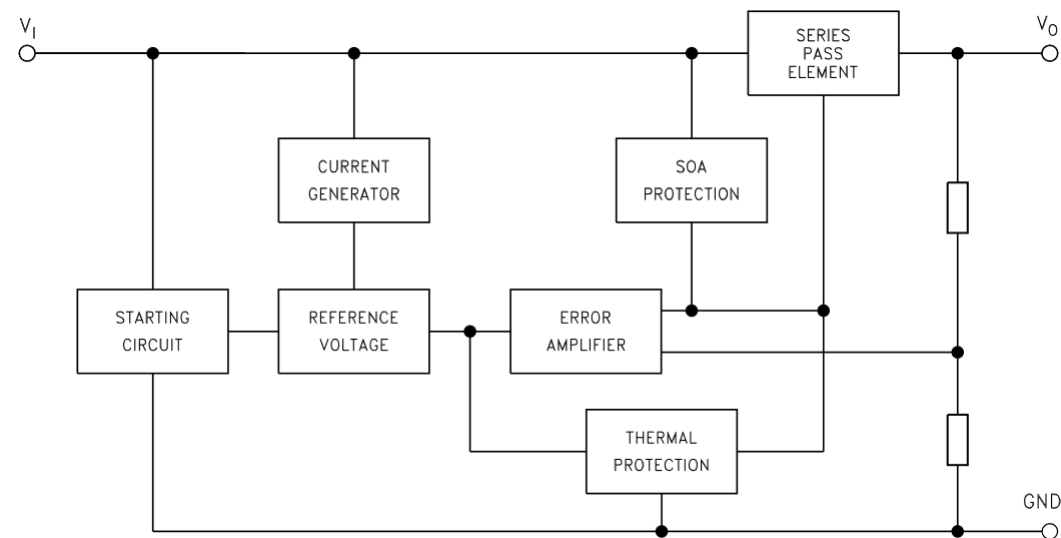
;tran 1m
 .lib potentiometer.sub
 .dc I1 10m 10 10m

$$R_5 = \frac{U_{BEQ2}}{I_{lim}} = \frac{0,7V}{1,5A} \cong 0,47\Omega$$



Integrált feszültségstabilizátorok

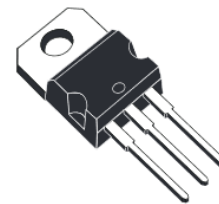
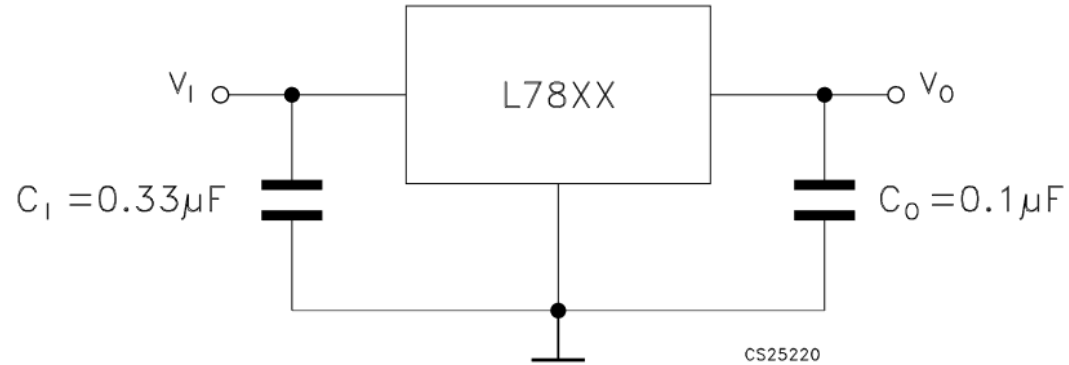
- Az integrált monolitikus feszültségstabilizátorok visszacsatolással és soros szabályozó elemmel felépített feszültségstabilizátorok
- Belső felépítésük megegyezik a diszkrét elemekkel felépített változatokéval
- Előnyük:
 - Nagyfokú integráltság
 - Egyszerűség
 - Beépített védelmek (túláramvédelem, hővédelem)
 - Relatív kis feszültségesés (drop voltage)
- Hátrány:
 - Limitált áramterhelhetőség
 - Behatárolt kimeneti feszültség



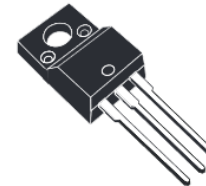
7812 belső (blokk) felépítés

78xx termékcsalád

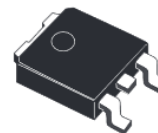
- Egyik leggyakrabban használt integrált feszültségszabályozó a 78xx, illetve a 79xx termékcsalád
- A 78xx a pozitív, míg a 79xx a negatív feszültség stabilizálására képes
- $V_{\text{drop}} = 2\text{--}2,5\text{V}$
- Az „xx” az adott típus stabil kimenetét szimbolizálja: Pl.:
 - 7805: +5V-os kimenet
 - 7812: +12V-os kimenet
 - 7912: -12V-os kimenet
- Elérhető termékpaletta:
 - Feszültség: 5; 5,2; 6; 8; 8,5; 9; 10; 12; 15; 18; 24
 - Maximális kimeneti áram: 1,5A
 - Beépített túláram, hő, és SOA védelem



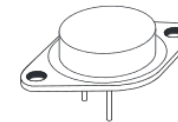
TO-220



TO-220FP

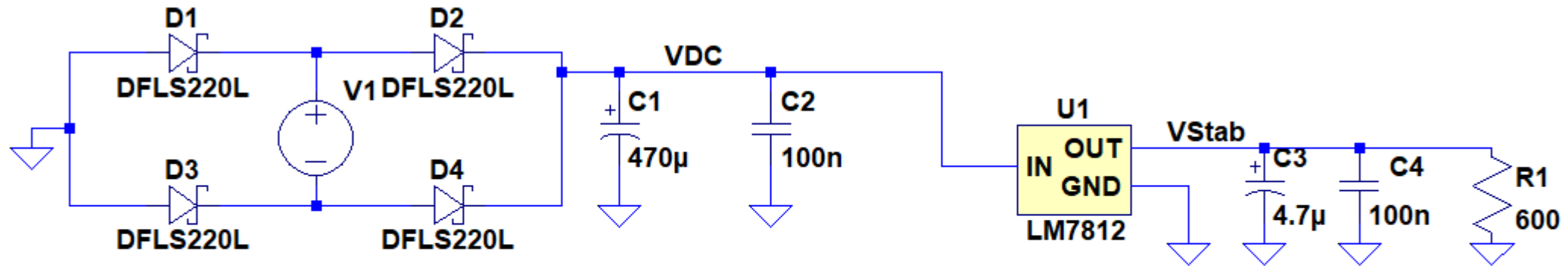


D²PAK



TO-3

7812-vel felépített stabilizált tápegység



SINE(0 16.72 50)

.tran 0 100m 10m

.lib regulators.lib

- A kimeneten legyen stabil 12V és maximálisan 20mA!
- A megengedett kimeneti feszültség hullámzás legyen 450mV!
- A bemenet a hálózatról működik, egy transzformátor segítségével, melynek szekunder egyenirányított feszültsége $16V_{DC}$
- A szimuláció során a transzformátor szekunder tekercsét tekintjük energiaforrásnak

Méretezés, számítások

- A szimulációs során a transzformátor szekunder tekercsét egy szinuszos feszültségforrással helyettesítjük
- $V_1 = V_{DC} + 2V_F = 16V + 2 \cdot 0,36V = 16,72V$
- A szükséges kimeneti kapacitás értéke (C1):

$$C = \frac{It}{\Delta V_o} = \frac{0,02A \cdot 0,01s}{0,450V} = 444\mu F$$

- Választott érték: 470uF
- Terhelő ellenállás:

$$R = \frac{U_{kistab}}{I_{ki}} = \frac{12V}{20mA} = 600\Omega$$

Minél nagyobb a feszültségkülönbség a stabilizátor be és a kimenete között, annál nagyobb a veszteség!



Célszerű csak 4-5V feszültségkülönbséget méretezni (az eszköz saját feszültségese miatt).

Functions

☐ (none)

☐ PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)

☒ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)

☐ EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)

☐ SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)

☐ PWL(t1 v1 t2 v2...)

☐ PWL FILE:

DC offset[V]:

Amplitude[V]:

Freq[Hz]:

Tdelay[s]:

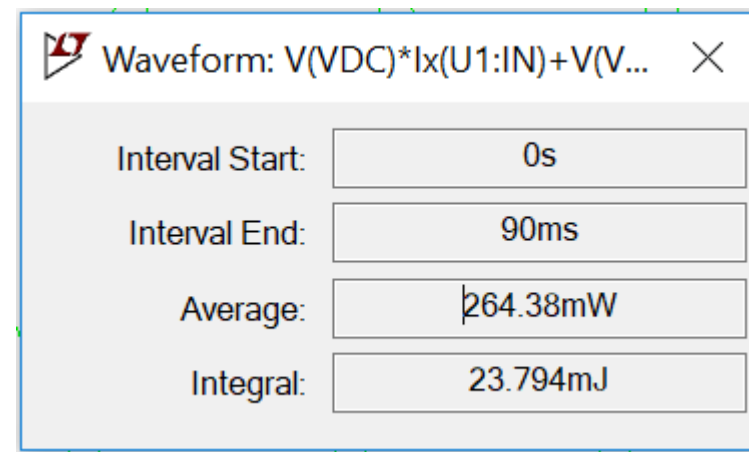
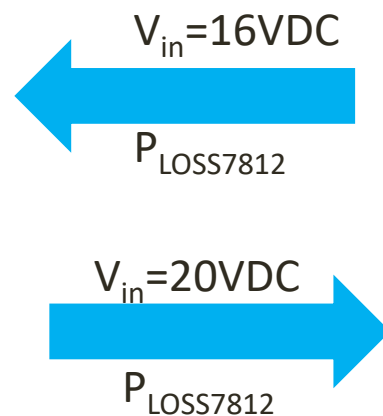
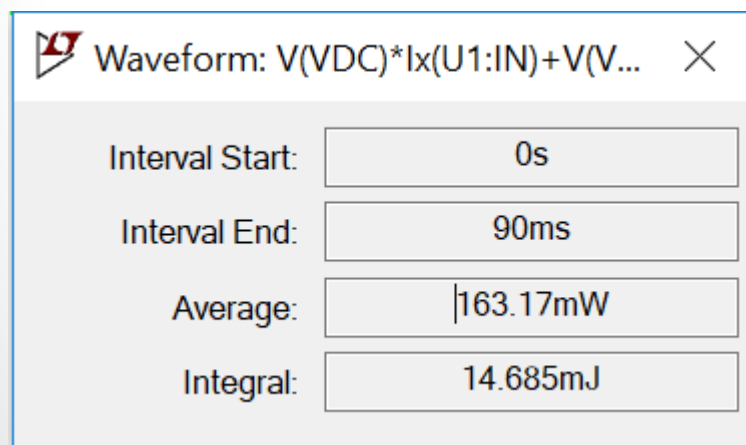
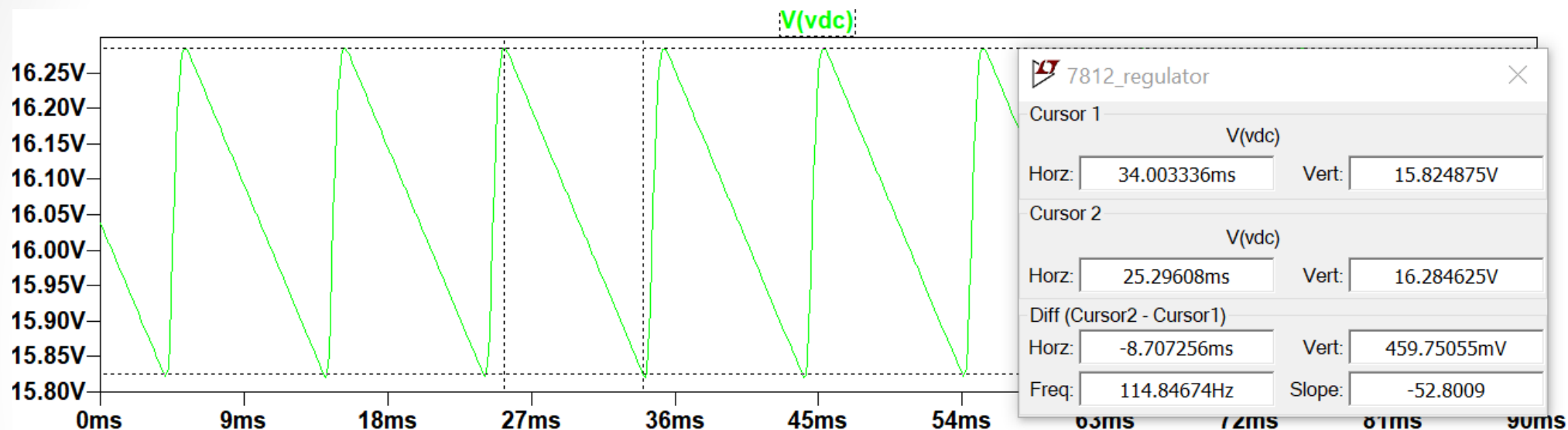
Theta[1/s]:

Phi[deg]:

Ncycles:

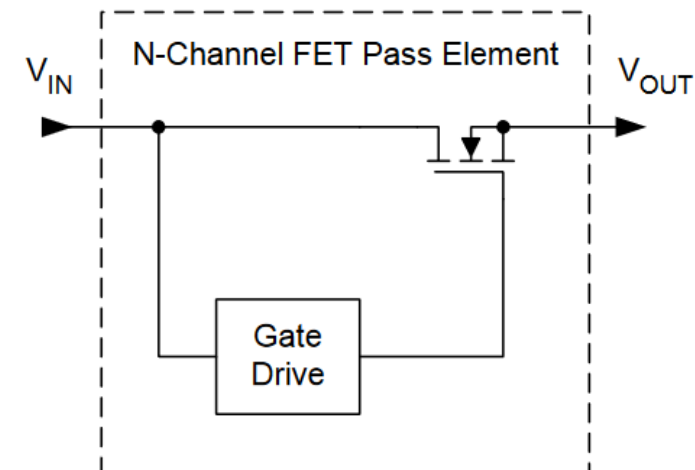
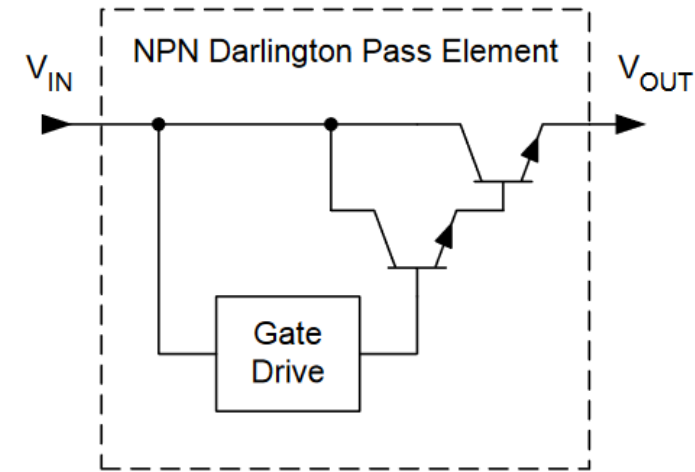
Make this information visible on schematic: ☒

Szimulációs eredmények

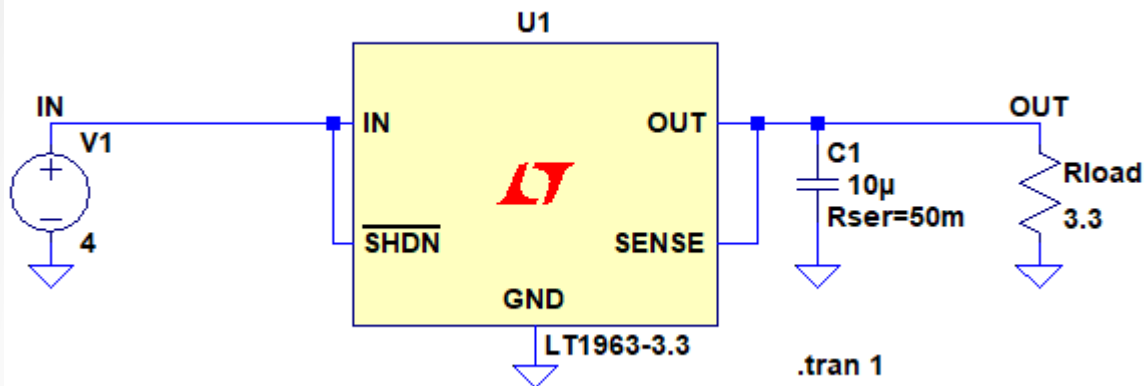


LDO-k (Low Dropout Voltage)

- A feszültségstabilizátorok esetén a cél a lehető legkisebb drop feszültség elérése
- Standard lineáris feszültség stabilizátorok tipikus feszültségesése 2 – 2,5V. Ez nem probléma, ha nagyobb a differencia a be és kimenet között: Ha például 2,5V-ot szeretnék 5V-os bemenet mellett
- A drop feszültség főleg elemes illetve processzoros alkalmazások esetén kritikus: Ha például 3,3V-ot szeretnénk 3,6V-os bemenet mellett
- A standard lineáris feszültségstabilizátorok szabályzó eleme rendszerint darlington kapcsolású, mely „nagy” feszültségesést okoz: FET-ek segítségével ez a feszültségesés minimalizálható (akár 100mV-ra) (persze nem kizárva egy alacsony nyitófeszültségű bipoláris tranzisztort sem)



LDO méretezés példa



Készítsünk 4VDC-ből 3,3VDC-t, 1A-s terhelőáram mellett!

$$V(IN)*Ix(U1:SHDN)+V(IN)*Ix(U1:IN)+V(OUT)*Ix(U1:OUT)+V(OUT)*Ix(U1:SENSE)$$

V(out)

V(in)

I(Rload)

