

LTSpice szimulációs szoftver

A piacon megtalálható szimulációs szoftverek skálája széles. Jobban elterjedtek a Spice alapú szimulációs szoftverek (PSpice, Tina). A Linear Technology saját szimulációs szoftvere az LTSpice, mely főként a Linear saját kapcsolóüzemű konvertereire, továbbá saját termékeire optimalizált. De mégis miért jobb a többi szimulációs szoftvernél?

Ingyenes. Ez az egyik legnagyobb –anyagi értelemben tekintve- előnye. Számunkra, mint leendő villamosmérnökök számára inkább a sokoldalúság szempontjából előnyös. Rengeteg gyártó publikálja az általa gyártott termék Spice modelljét, mely így vagy úgy, de beilleszthető LTSpice környezetbe, így alkatrész szintű szimuláció végezhető. Ez gyakorlati szempontból rendkívül fontos. További előnye között megemlíthető, hogy egyszerű a kezelése, átlátható. A többi Spice alapú szoftver közül kiemelkedik, optimális memória és processzorkezelésével, így rendkívül gyors szimulációt tesz lehetővé. Mike Engelhart, a szoftver atyja egy speciális mátrix megoldási módszert dolgozott ki ennek elérésére.

A következő dokumentum segítséget nyújt az LTSpice szoftver kezeléséhez. Természetesen az érdeklődő hallgatók bőven találnak angol nyelvű segédleteket, illetve fórumokat, melyeket jelen jegyzet nem fedne le.

Ajánlott irodalom:

- LTSpice fórum (angol):
http://ltwiki.org/index.php5?title=Main_Page
- http://www.simonbramble.co.uk/lt_spice/ltspice_lt_spice.htm
- Gilles Brocard: The LTspice IV Simulator, 1st edition, Wurth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
- Christophe P. Basso: Switch-Mode Power Supply SPICE Cookbook, McGraw-Hill, 2001

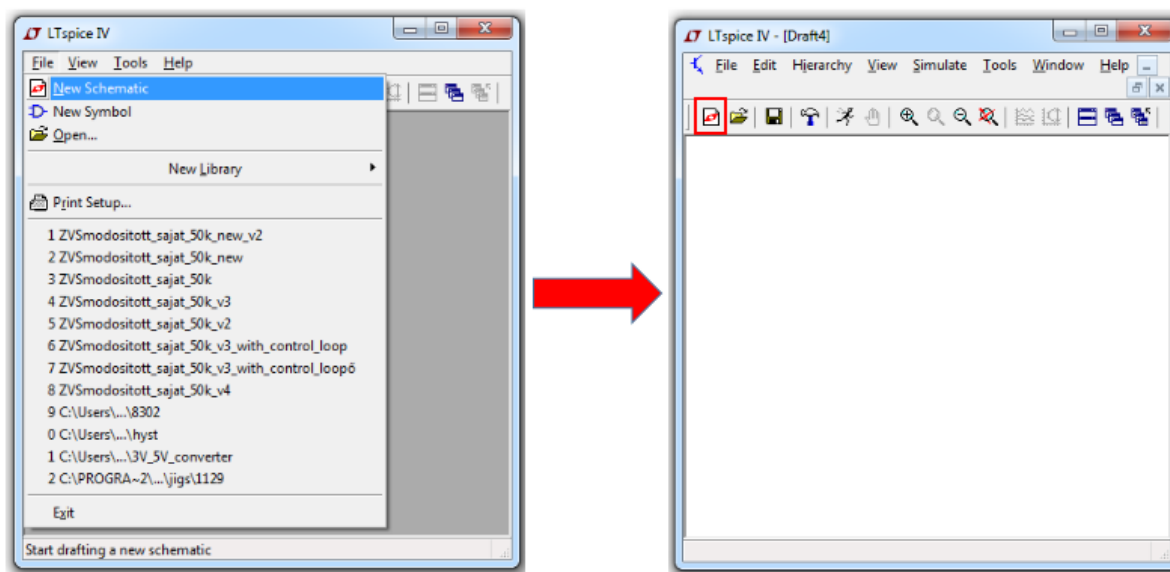
Tartalomjegyzék

1. Kapcsolási rajz elkészítése, alkatrészek paraméterezése.....	2
1.1 Alkatrészek kiválasztása, beillesztése	2
1.2 Szimuláció, annak beállításai	7
2. Példafeladat	8
2.1 Szimulációs összeállítás	8
2.2 Eredmények ellenőrzése.....	9
2.3 Szimulációs eredmények összefoglalása.....	10
2.4 Eredő ellenállás ellenőrzése szimulációval	10

1. Kapcsolási rajz elkészítése, alkatrészek paraméterezése

Az LTSpice a Windowsban megszokott kezelőfelülettel rendelkezik (új üres dokumentum, dokumentum megnyitása, mentés, mentés másként stb...). Ezeket túl részletesen a dokumentum nem tárgyalja, feltételezve, hogy az olvasó jártas ebben.

A kapcsolási rajz összeállításához új munkalapot kell létrehoznunk. Ehhez vagy a *File* menü, *NewSchematic* opcióját választjuk, vagy az ikonsor első elemére kattintunk (1. ábra). A két módszer egymással ekvivalens. Az alkatrészek a munkalapra helyezhetők el. A kapcsolat mentése a *File* menüből érhető el, vagy pedig a *CTRL* + *S* billentyűkombináció segítségével. A Windowsban megszokott módon megadhatjuk a fájl nevét és mentés helyét.



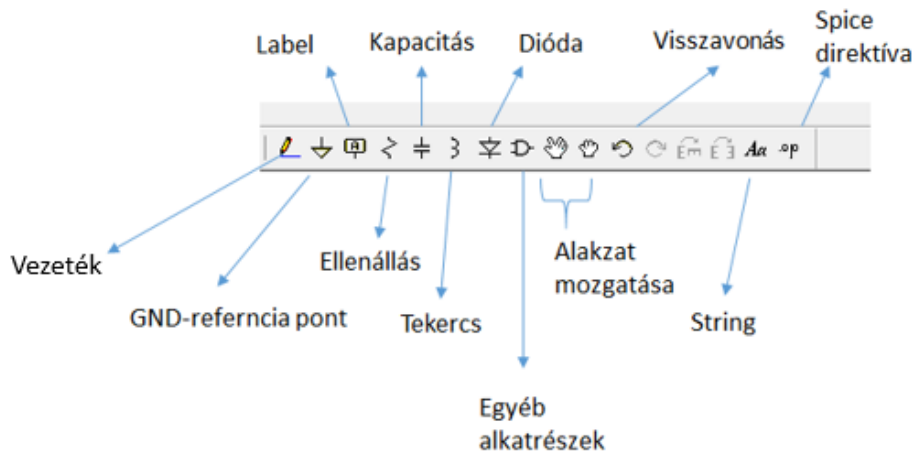
1. ábra. Új kapcsolási rajz létrehozása

Ez után el kell helyoznünk az alkatrészeket!

1.1 Alkatrészek kiválasztása, beillesztése

A legfontosabb alkatrészeket az alapértelmezetten rendelkezésre álló menüből hozzá tudjuk adni (2ábra). Az alkatrészek hozzáadását egyesével tudjuk elvégezni. Forgatásukat a *CTRL* + *R*, tükrözésüket a *CTRL* + *E* billentyűkombinációval tehetjük meg.

Az alkatrészek megfelelő lábait vezetékekkel köthetjük össze. Ehhez az ikonsorból a  lehetőséget kell választani, majd az alkatrész kívánt lábára kattintani. A vezeték töréséhez vagy csatlakoztatásához kattintani szükséges. Fontos, hogy minden esetben szükséges használni a GND vagy referencia pontot. A szükséges egyenletek felállításához a szimulátornak szüksége van viszonyítási pontra.

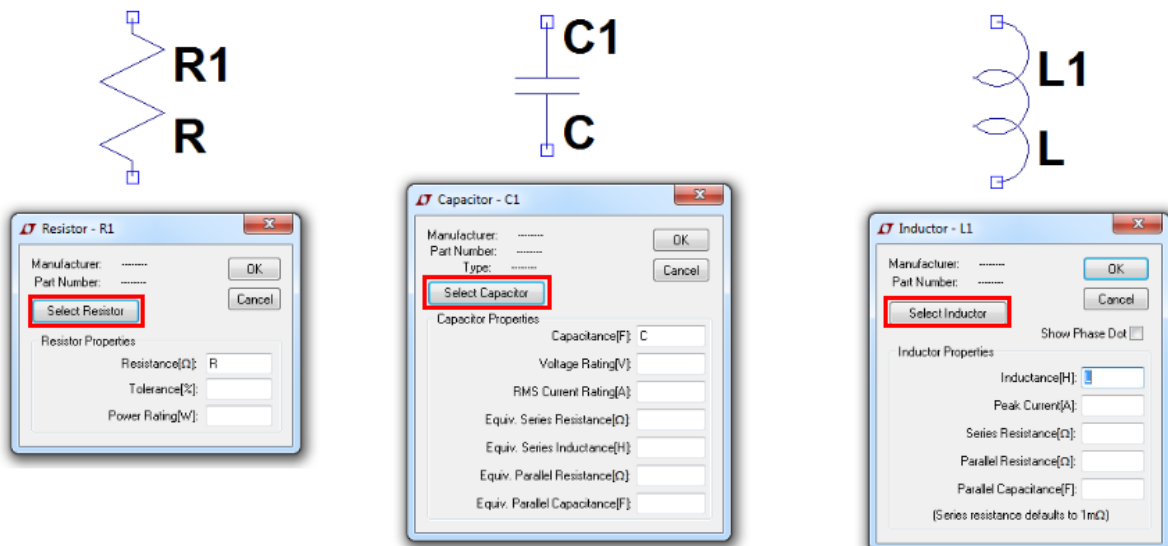


2. ábra. Alkatrészek hozzáadása

A *label* segítségével az egyes csomópontokat elnevezhetjük. Ennek főként akkor van szerepe, ha a csomópont sokszor használt csomópont pl. feszültségforrás kapcsa, így nincs szükség bonyolult, átláthatatlan vezetékezésre. A két azonos *label*-el ellátott vezeték a szimulátor összeköti.

A *string* segítségével szöveget tudunk hozzáadni a kapcsolási rajzunkhoz. A *Spice direktíva* megadásával pedig a szimulátor számára tudunk parancsokat elhelyezni (lásd később).

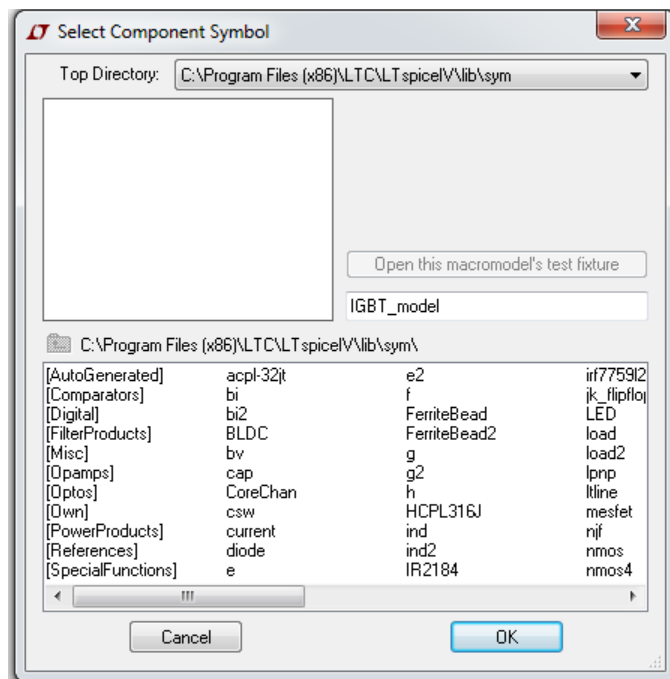
Az egyes alkatrészek kattintás után illeszthetők be, és nevük, illetve sorszámuk tetszőlegesen módosítható (azt tartsuk szem előtt, hogy két azonos nevű alkatrész nem szerepelhet!) Természetesen a program automatikusan inkrementálja az új, ugyanolyan típusú alkatrész sorszámát. Lehelyezés után paraméterük -jobb egérgombbal való kattintás után- megadható, vagy pedig előre definiált értékűt választhatunk a rendelkezésre álló listából. Ezt minden esetben a *Select* gomb lenyomása után tehetjük meg. A minél pontosabb szimulációs eredmények érdekében célszerű a listában megtalálható, vagy ahhoz nagyon hasonló alkatrészt választani. Releváns, ha minél több paramétert adunk meg az alkatrésztől, a szimuláció annál pontosabb lesz.



3. ábra. Alkatrészek paraméterezése

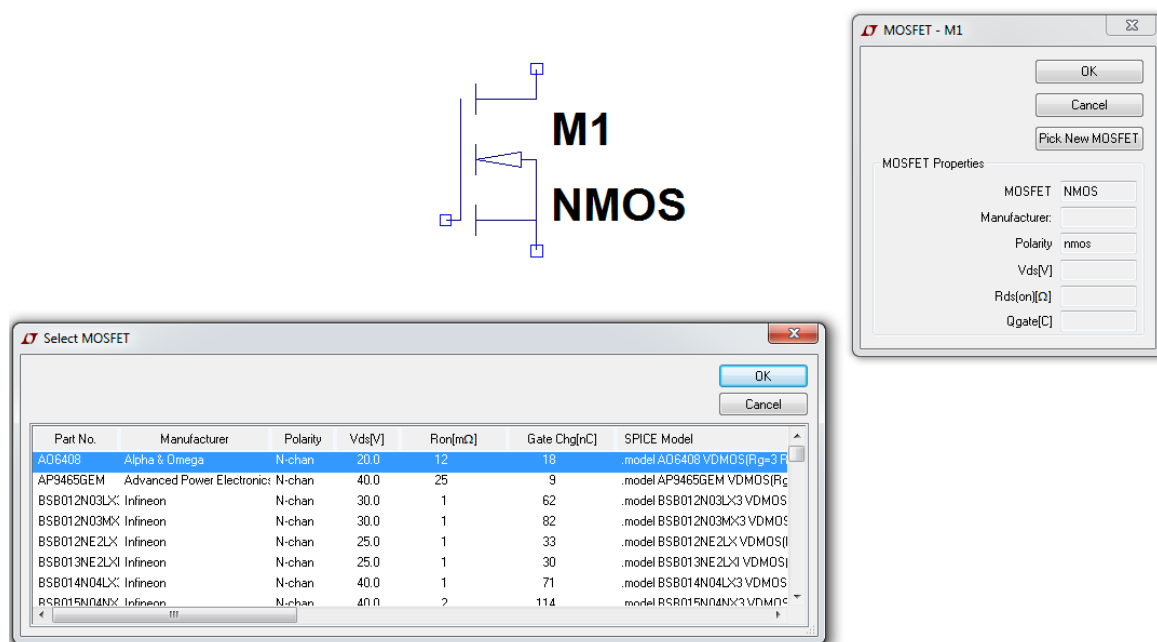
A menüben rendelkezésre nem álló alkatrészek (pl. MOSFET) az egyéb alkatrész ikonra való kattintás után érthető el. Ekkor egy felugró ablakból választhatjuk ki a számukra szükséges alkatrészt (3. ábra). Ugyanez az ablak az F2-es billentyű lenyomásával is elérhető.

Itt megtalálható az összes alkatrész, amely LTSpice-ban rendelkezésre áll. A kapcsos zárójeles [] címkék további könyvtárakat jelölnek. Illetve a példában „IGBT_model” név helyére a keresett alkatrész neve is beírható. Az itt megtalálható legfontosabb alkatrészek: NPN, PNP tranzisztorok, N és P FET-ek és MOSFET-ek, Zener diódák, műveleti erősítők, komparátorok, feszültség és áramforrások, illetve a Linear saját kapcsolóüzemű konverterei stb... Az egyes alkatrészek kattintással kiválaszthatók. Ahol lehetséges a pontosabb típus a beillesztést követően választható ki (4. ábra).



4. ábra. Egyéb alkatrészek kiválasztása

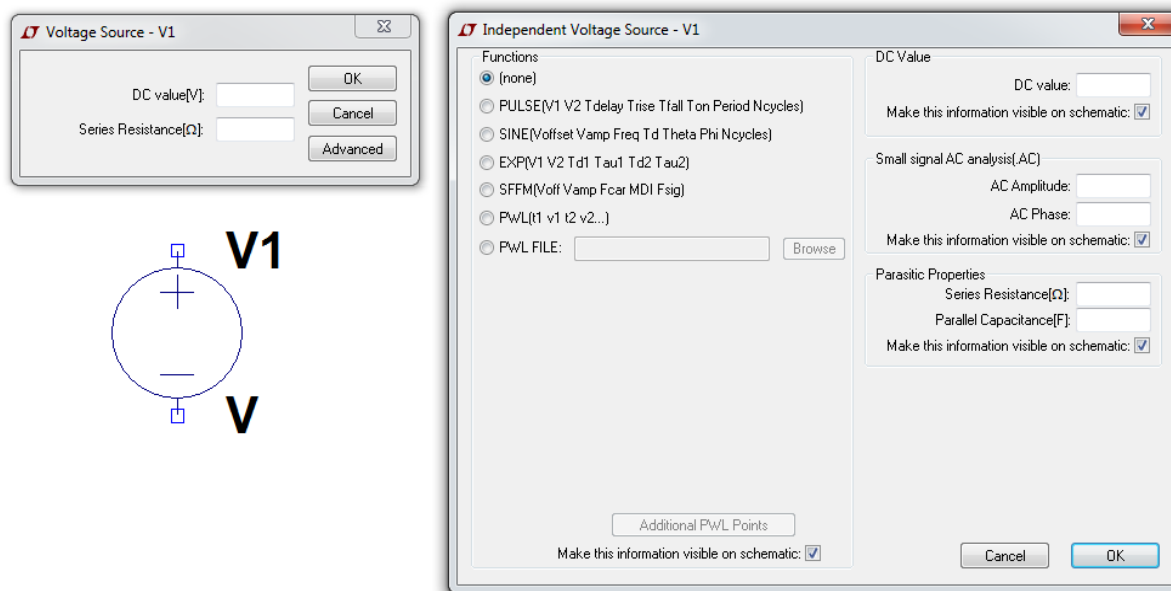
A 5. ábrán megjelölt módon a *Pick New MOSFET* gombra kattintva választható ki az alkatrésztípus. Az egyes alkatrésztípusok a fejlécben megjelölt bármelyik paraméter szerint rendezhetőek (pl. RDS(on) szerint). A katalógusban kiválasztott típust itt megkereshetjük. A sok rendelkezésre álló konkrét típus esetén is előfordulhat, hogy az általunk keresett darab nem található a listában. Ekkor két dolgot tehetünk: Hasonló paraméterűt keresünk, vagy megpróbáljuk beilleszteni LTSpice környezetbe (lásd később). Dióda, bipoláris tranzisztor stb... kiválasztása hasonló elven működik.



5. ábra. Alkatrész típus kiválasztása

A következőkben a feszültség és áramgenerátorok beállítását tekintjük át, ugyanis erre gyakran szükség van és számos funkcióval rendelkezik. A két típus beállítása teljesen azonos logikára épül, így csak az egyik kerül részletesen bemutatásra (feszültséggenerátor). Az áramgenerátort *Current*, míg a feszültséggenerátort *Voltage* nevek alatt találjuk, ha az egyéb alkatrész ikonra kattintunk.

A feszültséggenerátor elhelyezése után azon jobb egérgombbal kattintva a következő lehetőségek közül választhatunk (4. ábra):



4. ábra. Feszültséggenerátor beállítási lehetőségei

Ha csak DC feszültségforrásra van szükségünk, a *DC value* érték mellé beírjuk a kívánt feszültséget. Az alatta lévő *Series Resistance* értéknél a soros veszteségi ellenállást adhatjuk meg. Ha más jellegű feszültségforrásra van szükségünk, kattintsunk a(z) *Advanced* gombra! Ekkor a mellette lévő ablak

fogad minket. Itt két fontos lehetőséget szükséges kiemelni, ezekre van a leggyakrabban szükség: A *PULSE* illetve a *SINE* lehetőségeket. Ezek részletesebben is bemutatásra kerülnek (5. ábra).

A bal oldali ábra mutatja be az impulzus generátor funkciót. Segítségével négyszög, háromszög jelek realizálhatók. Az egyes lehetőségek a következők:

- *Vinitial*: Kikapcsolt állapotbeli feszültség
- *Von*: Bekapcsolt állapotbeli feszültség
- *Tdelay*: A jel késése a bekapcsolás után
- *Trise és Tfall*: A jel fel és lefutási ideje
- *Ton*: A jel bekapcsolt idejének megadása
- *Tperiod*: A jel periódusideje
- *Ncycles*: Jelismétlődés megadása (főkeg PWL jelek esetén hasznos)

The image shows two side-by-side screenshots of parameter configuration windows for a circuit simulator. The left window is for a PULSE waveform, and the right window is for a SINE waveform.

Left Window (PULSE):

- Selected option: **PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)**
- Other options: 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: [Browse]
- Parameters:
 - Vinitial[V]: 0
 - Von[V]: 10
 - Tdelay[s]: 0
 - Trise[s]: 1n
 - Tfall[s]: 1n
 - Ton[s]: 5u
 - Tperiod[s]: 10u
 - Ncycles: [empty]

Right Window (SINE):

- Selected option: **SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)**
- Other options: EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2), SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig), PWL(t1 v1 t2 v2...), PWL FILE: [Browse]
- Parameters:
 - DC offset[V]: 0
 - Amplitude[V]: 10
 - Freq[Hz]: 1k
 - Tdelay[s]: 0
 - Theta[1/s]: 0
 - Phi[deg]: [empty]
 - Ncycles: [empty]

5. ábra. Feszültséggenerátor „PULSE” és „SINE” beállítási lehetőségei

A példában egy 10V-os 100kHz-es négyszögjel látható, 50%-os kitöltéssel. A fel és lefutási idő a periódusidőnél egy nagyságrenddel kisebb, a kellő meredekség érdekében.

A szinusz jel beállítási lehetőségei a következők:

DC offset: Offszet beállítási lehetőség

Amplitude: Amplitúdó beállítása

Freq: Frekvencia megadása

Tdelay: Késés megadása, bekapcsolása utána

Theta: Csillapítási faktor (ritkán használatos, célszerű 0-t írni a mezőbe)

Phi: Fázisszög megadása

Ncycles: Jelismétlődés megadása

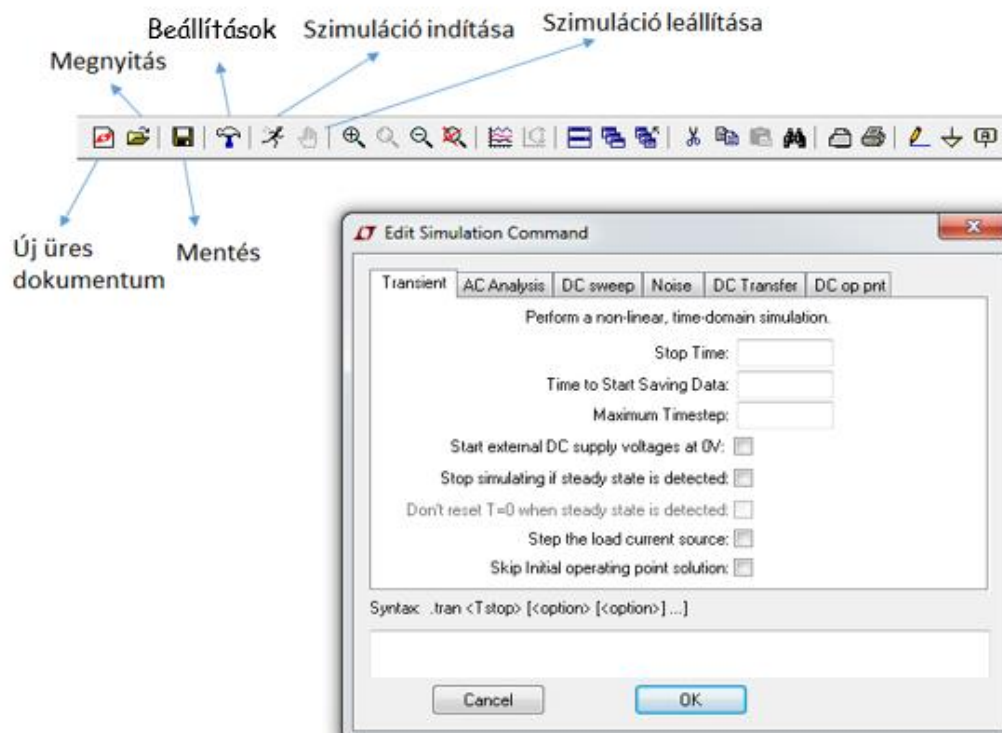
A példában egy 10V-os 1kHz-es szinuszjel beállítása látható.

A PWL fülön egy általunk minden időpillanatban ismert jel realizálható. Tehát a kívánt időpillanatban megadhatjuk az értékét. Ez a funkció egy külső fájl (természetesen a megfelelő szintaxissal) tallózásával

is megoldható. Ekkor pl. egy jegyzetömbbe bevitt adatokkal dolgozhatunk. Az előbbi esetben a PWT-t, az utóbbi esetben a PWT FILE lehetőséget válasszuk.

1.2 Szimuláció, annak beállítása

Az alkatrészek kiválasztása, elhelyezése és összekötése után futtatható a szimuláció. A szimuláció megkezdése és leállítása, valamint annak beállítása a hatodik ábrán látható.



6. ábra. Szimuláció és annak beállítása

A szimuláció futtatása ikonra kattintva a 6. ábrán látható felugró ablak tárul elénk. Itt beállíthatjuk, hogy milyen szimulációt szeretnénk futtatni, illetve annak paramétereit.

Teljesítményelektronikai témakörben az esetek nagy részében tranziens szimulációt futtatunk, így ez kerül részletesebben bemutatásra. Természetesen végezhető AC, DC, és egyéb szimuláció is. Tranziens szimuláció során időtartományban vizsgáljuk a kapcsolásunkat. Tehát meg kell adnunk egy időt, amikor a szimuláció leáll. Ennek kiválasztását a kapcsolás határozza meg. Általában szekundumos [s] vagy miliszekundumos [ms] idő szokott lenni (*Stop Time*).

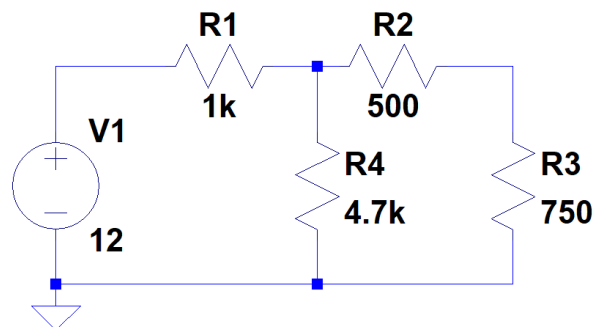
- *Time to Start...*: Azt a lehetőséget kínálja, hogy a szimuláció tetszőleges időponttól vizsgálható. Tehát ha pl. nem vagyunk kíváncsiak a tranziens jelenségekre ezzel a funkcióval átugorható, a megadott időpont előtti görbesereg nem lesz látható.
- *Maximum Timestep*: A szimuláció során megadható lépésközt definiálja.
- *Start external DC...*: Tranziens szimulációk esetén mindig pipáljuk be. Ennek gyakorlati haszna a következő: Ha az áramkör bekapcsolását (tranziens) jelenségeit szeretnénk vizsgálni, akkor minden feszültséggenerátor a szimuláció elindításától számítva legyen aktív, így olyan, mint ha akkor kapcsoltuk volna be.

- *Stop simulating if steady...*: Ez a funkció az állandósult állapotot jelzi, leállítva a szimulációt. Ezt a funkciót az LT saját kapcsolóüzemű eszközeinek szimulációja során használjuk (hatékonyságszámítás során).
- *Skip initial operating...*: Arra szolgál, hogy a szimulációt meggyorsítsa. Összetett szimuláció esetén bizonyos pontokat, számításokat kihagy a program, így sokkal gyorsabban elérhető a végeredmény.

2. Példafeladat

2.1 Szimulációs összeállítás

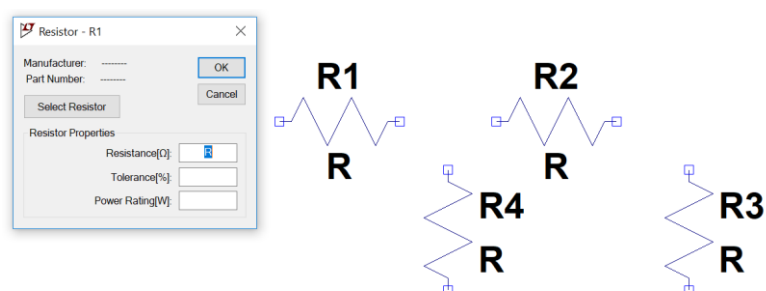
A következőkben egy DC áramkört fogunk vizsgálat alá venni. A kapcsolási rajz a hetedik ábrán látható. A későbbiekben részletesen megvizsgáljuk az áramkör összeépítésének lépéseit, az egyes feszültségek, áramok és disszipációs értékek vizsgálatát.



7. ábra. Példaáramkör LTSpice-ban

Az áramkör összeépítését kezdjük az első ábrának megfelelően, vagyis hozzunk létre egy új munkalapot. Ezt a címsorból egyszerűen megtehetjük.

A következő lépés az alkatrészek kiválasztása. Első lépésben helyezzük el az ellenállásokat. Ezeket a címsorban lévő gyorselérési eszköztárból könnyedén elérhetjük. Egymás után többet is lehelyezhetünk. Az alkatrészek forgatása a „CTRL” és az „R” billentyűk együttes lenyomásával lehetséges. Helyezzük el az ábrának megfelelően! Értékük az alkatrészen való jobb egérgomb kattintás után állítható be (8. ábra). Az értékeket egyszerűen írjuk a *Resistance* deklaráció után. Figyeljünk rá, hogy a magyarban

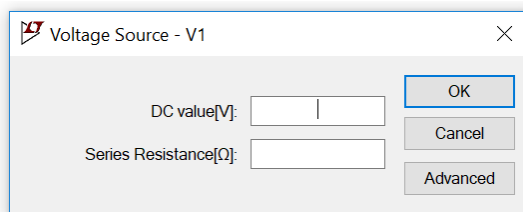


8. ábra. Áramkör elkészítése – első lépés-

megszokott tizedesvessző helyett pontot kell használnunk! Az értékek megadását minden ellenálláson el kell végeznünk.

A következő lépésben kiválasztjuk a feszültséggenerátorunkat. Ezt a második ábrának megfelelően a gyorselérési eszköztár segítségével érjük el. Kattintsunk az *Egyéb alkatrészek* ikonra (vagy nyomjunk egyszerűen csak F2-t)! A negyedik ábrának megfelelően írjuk be a keresőbe a feszültséggenerátor angol megnevezését: *Voltage*. Majd nyomjuk OK-ot. Helyezzük el. A deklaráció hasonlóan megy, mint az ellenállás esetében. Az alkatrészen való jobb egérgomb kattintás után megadhatjuk a feszültség értékét

(9. ábra). A mi esetünkben DC, vagyis egyenáramú áramkört szimulálunk, ezért nem szükséges használnunk az ötödik ábrán lévő opciót.



9. ábra. Feszültséggenerátor értékének deklarálása

A *DC value* mező után írjuk be a példában használt értéket, vagyis 12.

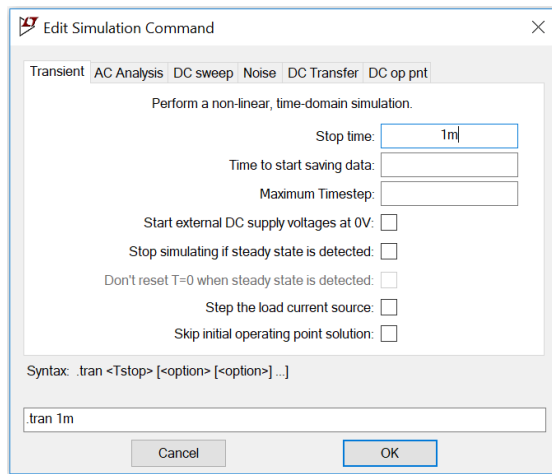
Szimulációs szempontból a földpont elhelyezése szükséges (lásd. 1.1 Alkatrészek kiválasztása, beillesztése fejezet).

Ezek után történik az áramkör vezetékvezése. Ehhez a címsorból válasszuk a *Vezeték* opciót (vagy nyomjunk F3-t). A vezetékvezésnél egyszerűen kattintsuk az alkatrész lábán, majd húzzuk a vezetéket és ha elértük a következő alkatrész lábát ismét kattintsunk. Ha törést szeretnénk a vezetékbe, egyszerűen kattintsunk ott, ahol a törést szeretnénk elhelyezni.

Kössük össze a 7. ábrának megfelelően az alkatrészeket!

A szimuláció vizsgálatához vegyünk figyelembe néhány egyszerűsítést: Ugyan mi DC (egyenáramú) áramkört szimulálunk, de tranziens (időbeli) szimulációt fogunk futtatni, az egyszerűség kedvéért. Mivel DC értékekről beszélünk, így az időben állandó értékeket fogunk kapni.

Kattintsunk a Szimuláció indítása ikonra (6. ábra). A felugró ablakba a *Stop time* deklaráció után írjunk be egy kis értéket, pl.: 1ms-ot (10. ábra). Bármit írhatunk ide, a DC szimulációt nem befolyásolja. Bonyolultabb tranziens áramkörök esetén ez persze nem lesz igaz.



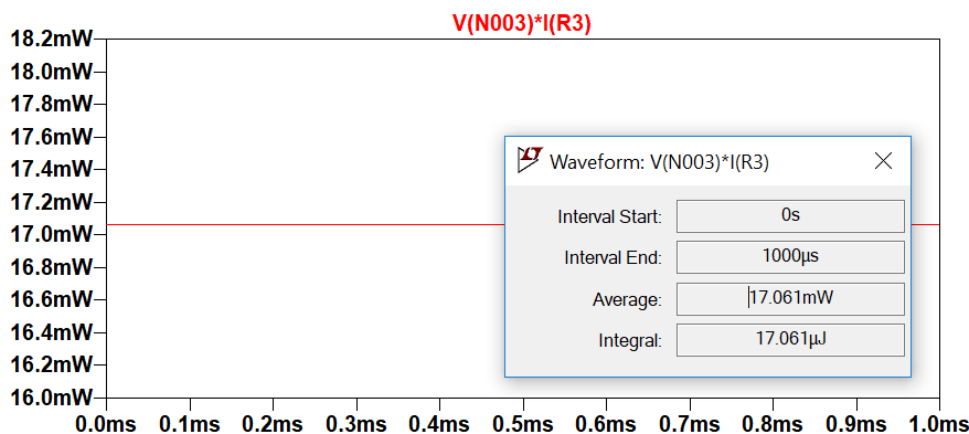
10. ábra. Szimulációs beállítások

2.2 Eredmények ellenőrzése

Az áramkör bármely csomópontján ellenőrizhető a feszültség. Ehhez a tetszőleges csomópont fölé húzva a kurzort az átváltozik mérőfejjé , az áram megjelenítéséhez magára az ellenállásra (vagy áramköri elemre) vigyük a kurzort, ekkor pedig árammérő ikonná változik .

Az alkatrészek disszipációja a következőképpen határozható meg. Vegyük például R3 ellenállást. A

kurzort rávezetve és közben az ALT billentyűt lenyomva átváltozik a kurzor kis hőmérővé . Ha ez után kattintunk a bal egérgombbal, megkapjuk az ábrán pirossal látható „V(N003)*I(R3)” görbét. A teljesítmény a görbe alatti területtel arányos, így integrálnunk kell. Ezt egyszerűen a piros feliraton a CTRL billentyű lenyomása melletti kattintással érhetjük el. Ekkor az ábrán látható kis ablak ugrik fel. A számunkra fontos érték a „Average” mellett olvasható, itt most 17,061mW. A nem szükséges görbéket az ablak aktív állapotában a DEL billentyű lenyomása segítségével törölhetjük. Ekkor a kurzor átváltozik kis ollóvá. A nem szükséges görbék a nevükre kattintva eltűnnek.



11. ábra. R3 ellenállás disszipációja

2.3 Szimulációs eredmények összefoglalása

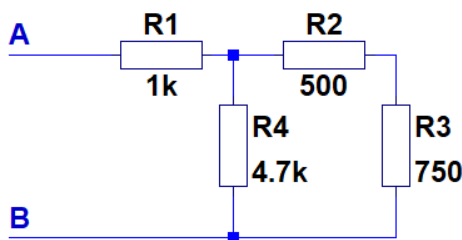
Az egyes komponensek árama és a csomópontok feszültsége a következők szerint alakul (LTSpice-al generálva):

--- Operating Point ---

V(n001) :	12	voltage
V(n002) :	5.96195	voltage
V(n003) :	3.57717	voltage
I(R4) :	0.0012685	device_current
I(R3) :	0.00476956	device_current
I(R2) :	0.00476956	device_current
I(R1) :	0.00603805	device_current
I(V1) :	-0.00603805	device_current

2.4 Eredő ellenállás ellenőrzése szimulációval

Az előző példánál maradva ellenőrizzük, hogy a 12. ábrának megfelelően A és B pontok között mekkora az ellenállás (más szavakkal, helyettesítsük a hálózatot egy ellenállással A és B pontra vonatkoztatva)!



12. ábra. Eredő ellenállás példafeladat

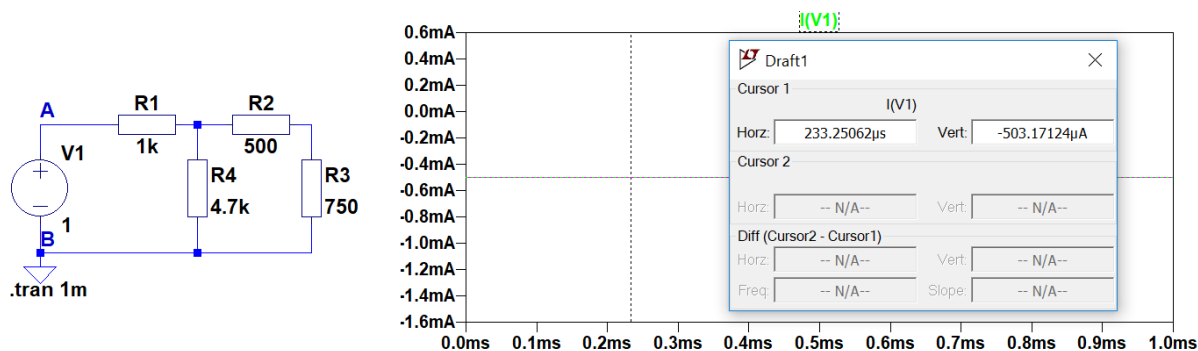
Oldjuk meg a feladatot számítás útján!

R2 és R3 ellenállás sorosan kapcsolódnak. Eredő értékük $1,25k\Omega$. A kapott ellenállással R4 párhuzamosan kapcsolódik, értéke kerekítve $987,4\Omega$. A kapott érték pedig sorban van R1-el, vagyis a teljes hálózat egy db $1987,4k\Omega$ -os ellenállással helyettesíthető. Képletszerűen:

$$[(R_2 + R_3) \otimes R_4] + R_1$$

Ellenőrizzük szimuláció útján!

Ennek legegyszerűbb módja, hogy A és B pont közé egy 1V-os feszültséggenerátort helyezünk, majd megmérjük a rajta folyó áram értékét. Az elrendezés és az eredmény a 13. ábrán látható:



13. ábra. Példafeladat kapcsolási rajz és szimulációs eredmény

A és B pont közötti ellenállás kiszámításához alkalmazzuk az Ohm törvényt!

$$R = \frac{U}{|I|} = \frac{1V}{503,17124\mu A} = 1,987k\Omega$$

Megjegyzés:

Az abszolút érték használatára a pozitív ellenállás érték miatt van szükség. A jelenség oka, hogy az ellenállások fogyasztóként viselkednek, V1-es generátor pedig forrásként. Amennyiben a 2.3 Szimulációs eredmények összefoglalása fejezetben kapott értékekkel kiszámítjuk a teljesítmény értékeket az összes komponensre vonatkozóan, úgy beláthatjuk ennek okát (Kicsit pongyolábban fogalmazva: A generátor annyi teljesítményt ad le, amennyit a fogyasztók felvesznek).