

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar**



***DC-DC BUCK ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS
DINAMIKUS TERHELÉSSEL***

HÁZI FELADAT ELEKTRONIKUS ÁRAMKÖRÖK SZIMULÁCIÓJÁBÓL

Szerző:

Neptun kód:

Konzulens:

2014. Budapest

Rövid leírás

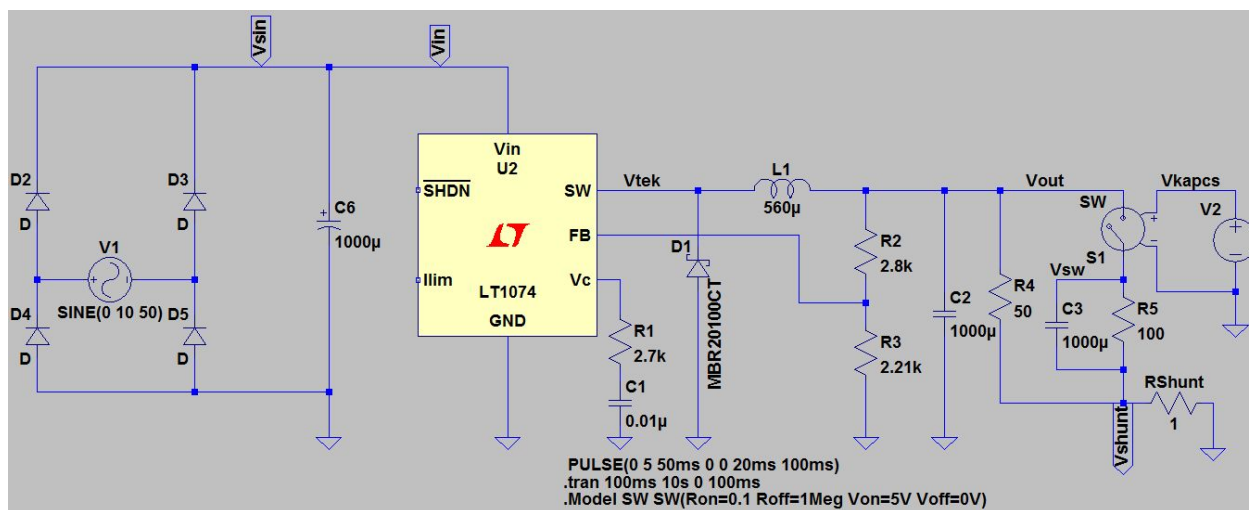
A munkámban egy kapcsoló üzemű feszültségcsökkentő (buck) átalakító áramkörét szimuláltam statikus és dinamikus terheléssel. Az áramkör nagy előnye, hogy a **kimenő feszültség állítható** be (az LM78XX-es integrált áramkörökkel ellentéttel) a **nagy hatások** (20 V-os bemenő és 12 V-os kimenő feszültségre 3 A-os fogyasztás mellett akár több mint 85%-os hatásfokkal is képes működni) és 5 V-os feszültség mellett akár 10 A-t is képes leadni.

Először az egyenirányító (AC-DC átalakító) átalakítja a váltakozó áramot egyenárammá, majd a buck átalakító stabilizálja 5 V-ra (ezt az R3 és az R3 arányával lehet beállítani a stabilizált feszültség értékét).

A tekercset 100 kHz frekvenciával rendelkező impulzus szélesség modulációval (PWM) vezérli. Azt, hogy mekkora lesz a kimenet feszültsége, az impulzus szélesség moduláció kitöltési tényezőjével állítja be.

A szimulált áramkört három fő elemre lehet felosztani:

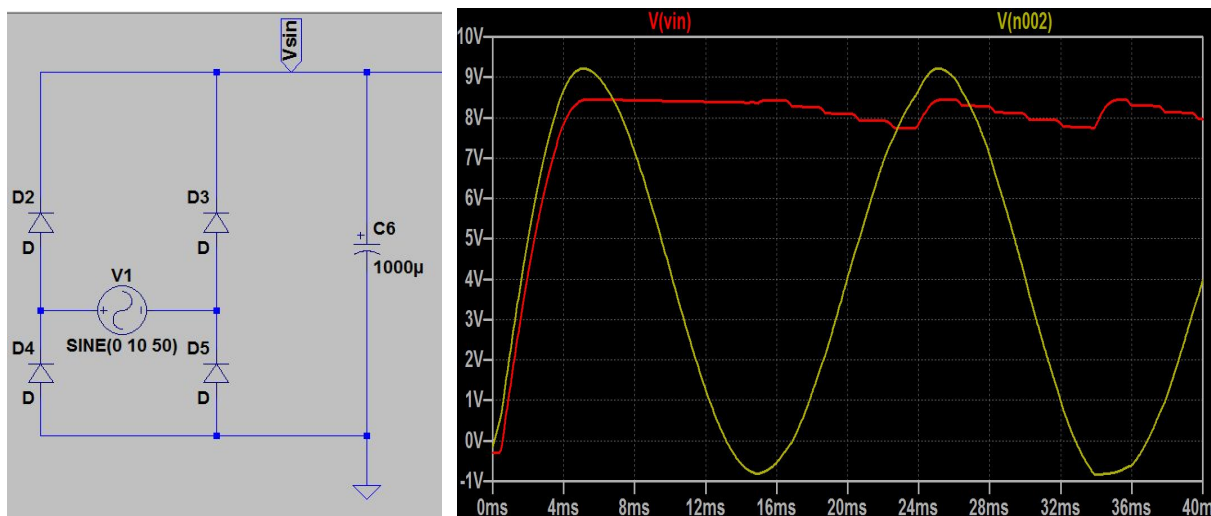
- egyenirányító (AC-DC átalakító)
- feszültségcsökkentő (buck) átalakító (DC-DC átalakító)
- fogyasztó (statikus és dinamikus)



1. ábra: a szimulált áramkör kapcsolási rajza

Egyenirányító

Az egyenirányító segítségével a váltó áramot egyen árammá alakítja át. Az egyfázisú teljeshullámú egyenirányítónál (2. ábra) a pozitív félperiódusban az D₂-es és D₅-es dióda vezet, a negatívban pedig a D₃-as és D₄-es dióda. A kimeneti feszültség szűrését a C₆ kondenzátor végzi. Nagy kapacitású kondenzátorral a kimeneti feszültség hullámossága csökken. [1]



2. ábra: Teljeshullámú egyenirányító (bal oldalt), a bemeneti (sárga) és kimeneti feszültség (piros)

Kapacitás nagyságának meghatározása:

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{\Delta t \cdot I_{fogy}}{C} = \frac{2}{50} \cdot I_{fogy} = \frac{I_{fogy}}{25 \cdot C}$$
$$C = \frac{25 \cdot \Delta U}{I_{fogy}}$$

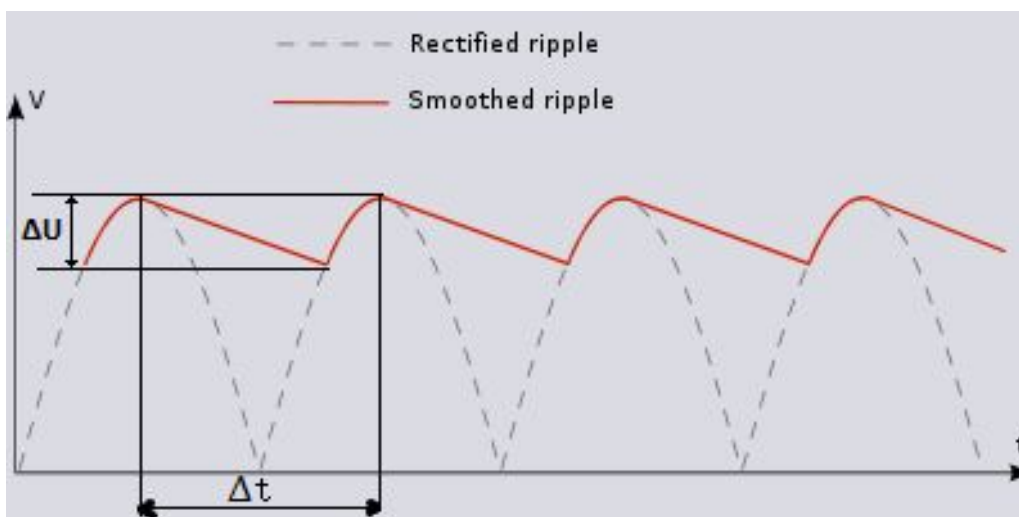
ΔU - maximálisan feszültség változás

I_{fogy} - fogyasztó árama

C - szükséges kapacitás

Δt - az idő ameddig a kondenzátor ürül

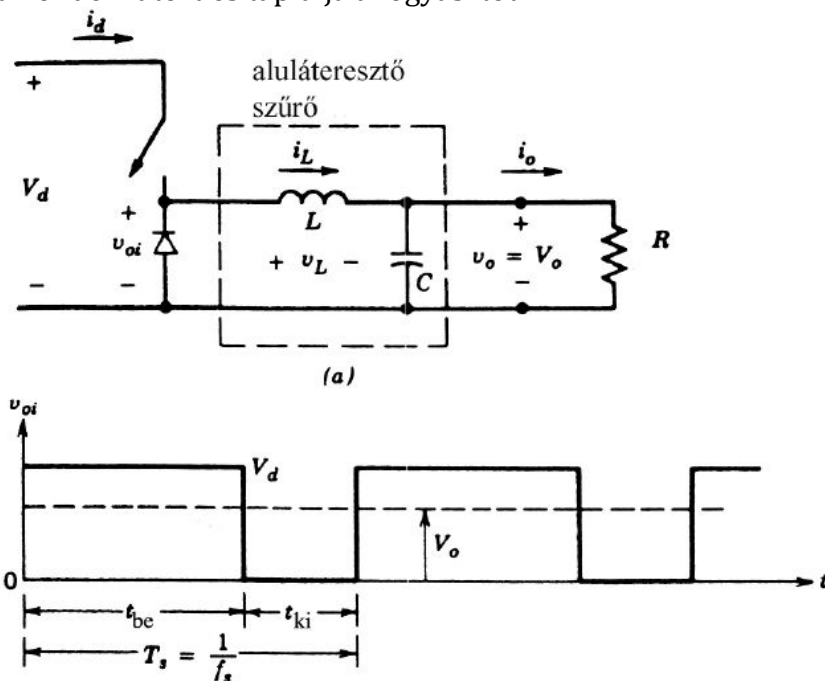
BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL



3. ábra: A kondenzátor feszültségének időbeli változása

Feszültségcsökkentő (buck) átalakító

Ezt a kapcsolást akkor alkalmazzák, ha a bemeneti feszültségtől kisebb kimeneti feszültségre van szükség, pl. egyenáramú motorok fordulatszám szabályzásánál. A jelen esetben a terhelés egyszerű ellenállás terhelés. Amíg a kapcsoló bekapcsolt állapotban van, a dióda záróirányban van előfeszítve. Ily módon a bemeneti feszültség változatlanul megjelenik a kapcsoló utáni ponton. A feszültségnek köszönhetően a tekercsen áram indul meg, mely tölti a kondenzátort és táplálja a fogyasztót.



4. ábra: Feszültség csökkentő DC-DC átalakító: az alapkapsolás (a), a dióda feszültségének jelalakja (b).

A kapcsoló nyitásakor a tekercs árama, a felhalmozott energiából kifolyólag, nem szűnhet meg pillanatszerűen, indukált feszültség jelentkezik a tekercsen, aminek következtében a dióda nyit, az áramkör pedig a tekercs-ellenállás-dióda (illetve tekecskondenzátor-dióda) útvonalon záródik. A dióda feszültségének változása az 1. b ábra

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

szerint alakul.

Aszerint, hogy a tekercs árama a kapcsoló kikapcsolt állapotában eléri-e a nulla értéket vagy sem, megkülönböztetünk kontinuális (folyamatos) és diszkontinuális (szakadós) üzemmódot.

A kontinuális üzemmódra a tekercs áram- és feszültségdiagramja a 5. ábra szerint követhető. A kapcsoló zárásakor a tekercsen megjelenő feszültség értéke:

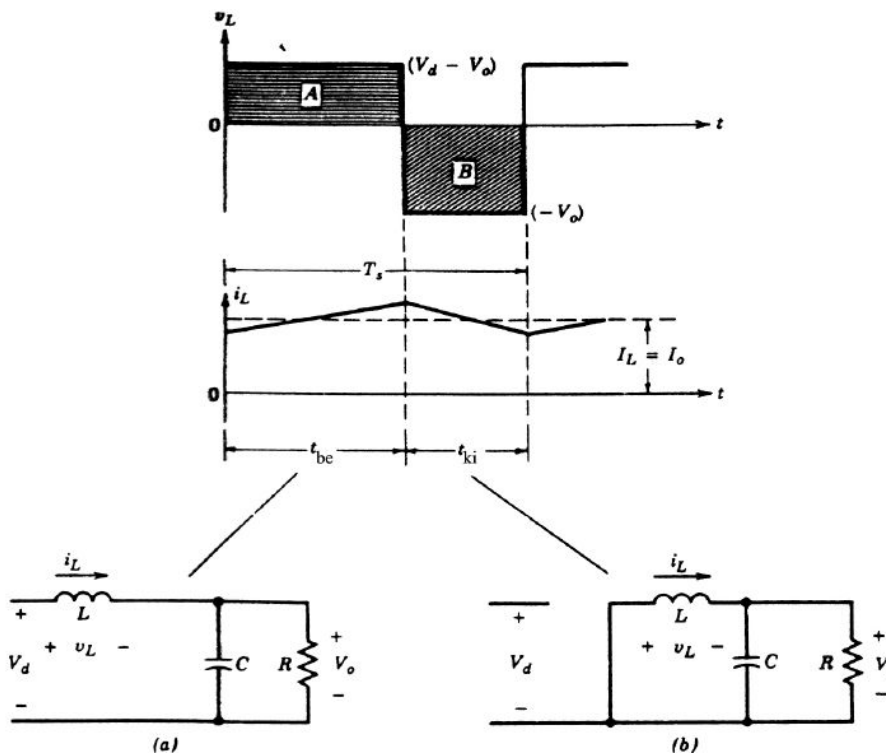
$v_L = V_d - V_o$ lesz a t_{be} intervallumban.

A tekercs árama közben növekszik és elér egy I_{max} értéket. Ekkor nyitjuk a kapcsolót, aminek következtében a tekercsen a korábbi feszültséggel ellentétes irányú feszültség indukálódik. Az indukált feszültség hatására a dióda nyit, a tekercsen megjelenő feszültség értéke pedig: $v_L = -V_o$. A tekercs árama folyamatosan csökken, a periódusidő (T_s) végén elér egy bizonyos I_{min} értéket. Ekkor a folyamat előről kezdődik. A kontinuális üzemmód jellemzője, hogy a tekercs árama $I_{max} \div I_{min}$ érték között ingadozik, tehát nem esik le nulla értékre. Alkalmazva az előző összefüggést, miszerint a tekercsen fellépő feszültség időintegráljának értéke egy kapcsolási periódus alatt nullával egyenlő, kapjuk:

$$(V_d - V_o)t_{be} = V_o(T_s - t_{be})$$

ebből:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{be}}{T_s} = D$$

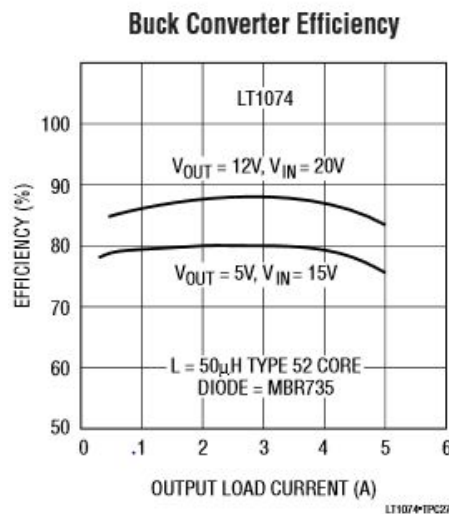
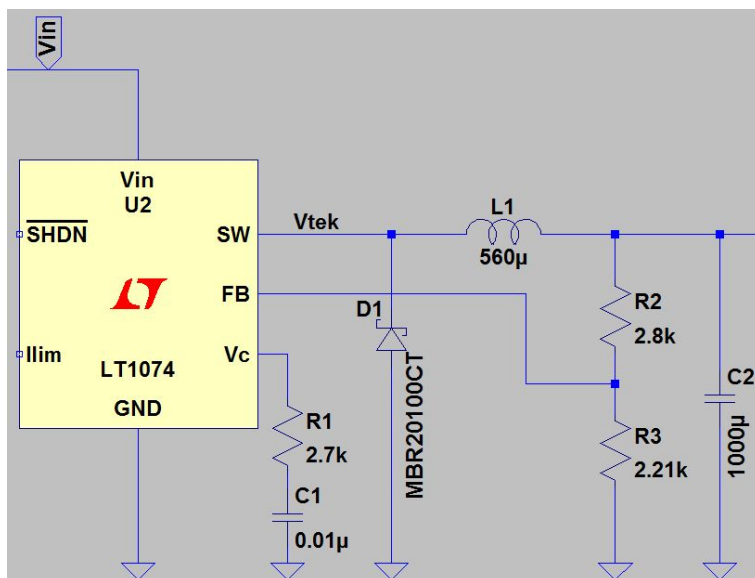


5. ábra: Feszültségcsökkentő átalakító jeldiagramjai és helyettesítő rajzai a kapcsoló bekapcsolt állapotában (a), és kikapcsolt állapotában (b).

A kitöltési tényező változtatását, állandó kapcsolási frekvencia mellett, impulzusszélesség modulációnak (pulse-width modulation - PWM) nevezik. Az impulzusszélesség moduláció a teljesítményelektronikai átalakítók többségében alapját képezi a kapcsolók vezérlésének. Léteznek más modulációs eljárások is, de azok ritkábban használatosak. [1]

LT1074-es integrált áramkör

Linear Technology által gyártott Az LT1074-es integrált áramkör egy kapcsolóüzemű feszültség csökkentő. 100 kHz-es frekvenciával rendelkező PWM-et ad le, amely által stabilizálja a kimenet feszültségét. Az buck átalakító kapcsolási rajza:



6. ábra: buck átalakító LT1074-es integrált áramkörrel (bal oldalt) és az integrált áramkör hatásfoka a leadott teljesítmény függvényében

bemenetére akár 60 V-os feszültséget is kapcsolhatunk., és 5 V feszültségnél képes 10 A áramerősséget is leadni, amit egy átlagos nem kapcsolóüzemű regulátor nem képes. Az integrált áramkör lábkiosztása:

Vin - bemenő feszültség

GND - föld

Vc - a bemenetet egy RC tagon keresztül a földre kell kötni, hogy az LT1074 normál PWM módban fog működjön

ILM - ennek segítségével korlátozhatjuk a maximális áramerősséget amit lead az átalakító

FB - az integrált áramkör visszacsatolásra szolgáló bemenete amelynek egy feszültségosztón keresztül biztosítjuk a feszültséget. A feszültségosztó ellenállás értékeivel tudjuk beállítani a feszültséget amelyre stabilizál az áramkör

SW - ez a kapcsoló lába amely segítségével változtatja a tekercs kitöltési tényezőjét

Hatásfokát a következő diagramon láthatjuk:

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

Ha az LM7805 (5V-ra) és LM7812 (12V) feszültség stabilizátorral hasonlítjuk össze, akkor a következő eredményeket kapjuk:

LM7805

$$V_{in} = 15 \text{ V}$$

$$V_{out} = 5 \text{ V}$$

$$I_{fog} = 1 \text{ A}$$

$$P_{hő} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{fog} = (15 - 5) \cdot 1 = 10 \text{ W}$$

LT1074

$$V_{in} = 15 \text{ V}$$

$$V_{out} = 5 \text{ V}$$

$$I_{fog} = 1 \text{ A}$$

$$\eta = 80\%$$

$$P_{hő} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{fog} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = (15 - 5) \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{80}{100}\right) = 2 \text{ W}$$

LM7812

$$V_{in} = 20 \text{ V}$$

$$V_{out} = 12 \text{ V}$$

$$I_{fog} = 1 \text{ A}$$

$$P_{hő} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{fog} = (20 - 12) \cdot 1 = 8 \text{ W}$$

LT1074

$$V_{in} = 20 \text{ V}$$

$$V_{out} = 12 \text{ V}$$

$$I_{fog} = 1 \text{ A}$$

$$\eta = 85\%$$

$$P_{hő} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{fog} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = (20 - 12) \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{85}{100}\right) = 1.2 \text{ W}$$

Látható, hogy nagy különbség van a 78XX-es család és a LT1074-es integrált áramkörök által leadott hő között. Ahhoz, hogy csökkentsük a leadott hőt, több 78XX integrált áramkört lehet párhuzamosan kötni nagyobb hűtőbordára. Az ugyan akkora áramerősségnél és feszültségnél az LT1074 sokkal kisebb hőt ad le, itt nem szükséges több darabot párhuzamosan kötni, és egy, közepes nagyságú hűtőborda is megfelelő.

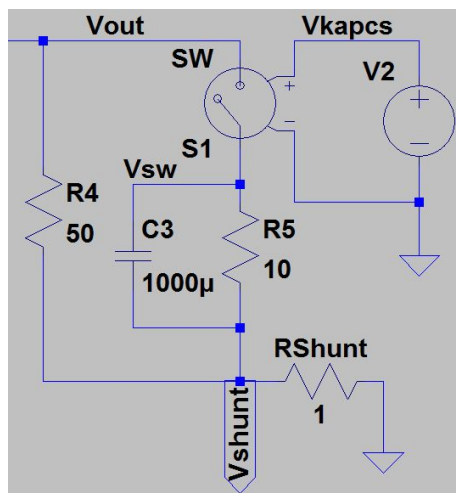
Statikus és dinamikus terhelés

Az átalakító kimenetére két terhelés van rákötve:

- statikus (50Ω)
- dinamikus ami kapacitív és ohmikus jellegű ($1000 \mu\text{F} + 10 \Omega$)

A dinamikus terhelést egy kapcsoló kapcsolja ki vagy be amely 50 ms után 20 ms-ig be van kapcsolva majd 100 ms-os periódussal ismétlődik.

Az Rshunt söntellenállás segítségével megmérhetjük a két fogyasztó összesített fogyasztását.



7. ábra: a statikus és dinamikus terhelés kapcsolási rajza

LTspice



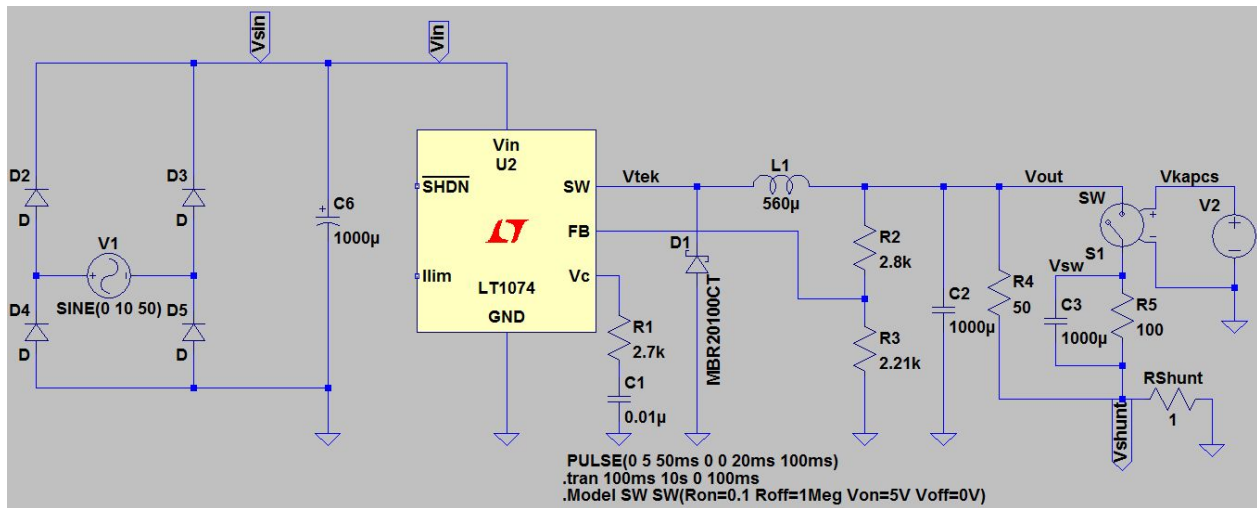
8. ábra: LTSPICE lógó

A mindennapi mérnöki tervezői gyakorlat során rutinszerűen használunk számítógépes tervezői eszközöket. Ezek az eszközök a mindenki által ismert programfejlesztői vagy grafikai programokon túl a legtöbb esetben valamely specializált szakmai feladatkör igényeinek megfelelően lettek kialakítva, az adott területen felmerülő problémák elemzését, megoldását támogatják több-kevesebb sikerrel. Az eszközök sohasem oldják meg a feladatokat a tervező helyett, de nagyon hasznos segítséget nyújtanak a minél alaposabb elemzéshez, ellenőrzéshez és megfelelő dokumentáláshoz. Az elektronikai tervezésben ezeket a feladatokat a kapcsolási rajz szerkesztők, áramkör szimulátorok és jelfolyam megjelenítők, illetve az ezen funkciókat egyéb projektadminisztrációs (könyvtárkezelés, modellgenerálás, stb.) modulokkal kiegészített integrált tervezői környezetek biztosítják. [2]

LTspice IV egy ingyenes SPICE alapú program, amely lehetőséget az áramkörök szimulálására (AC és DC analízis egyaránt). A legtöbb Linear Technology által gyártott integrált áramköröket tartalmazzák a könyvtárai (erősítők, tranzistorok, MOSFET-ek és passzív alkatrészek).

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

Szimuláció



9. ábra: a szimulált áramkör kapcsolási rajza

A szimuláció folyamán a buck átalakító előtti tekercsét, bemenetén és kimenetén levő kondenzátorok értékeit változtattam, és néztem a kimenetre való hatását. A következő feszültségekkel találkozunk:

U_{sin} - diódák által egyenirányított feszültség (C6-os kondenzátor előtt)

U_{in} - a buck átalakító bemenetén levő feszültség (C6-os kondenzátor után)

U_{tek} - a SW kimenet által leadott feszültség (L1-es tekercs előtt)

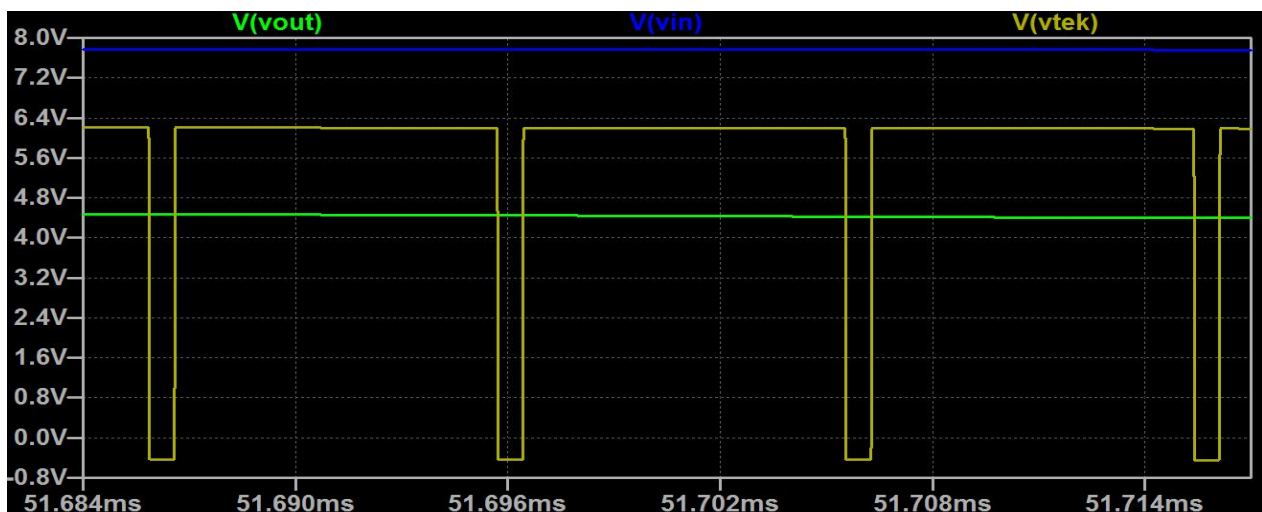
U_{out} - a buck átalakító kimenetén levő feszültség (L1-es tekercs után)

U_{kapcs} - a kapcsoló irányított feszültsége

U_{sw} - a dinamikus fogyasztó bemeneti feszültsége

U_{shunt} - a söntellenállás feszültsége

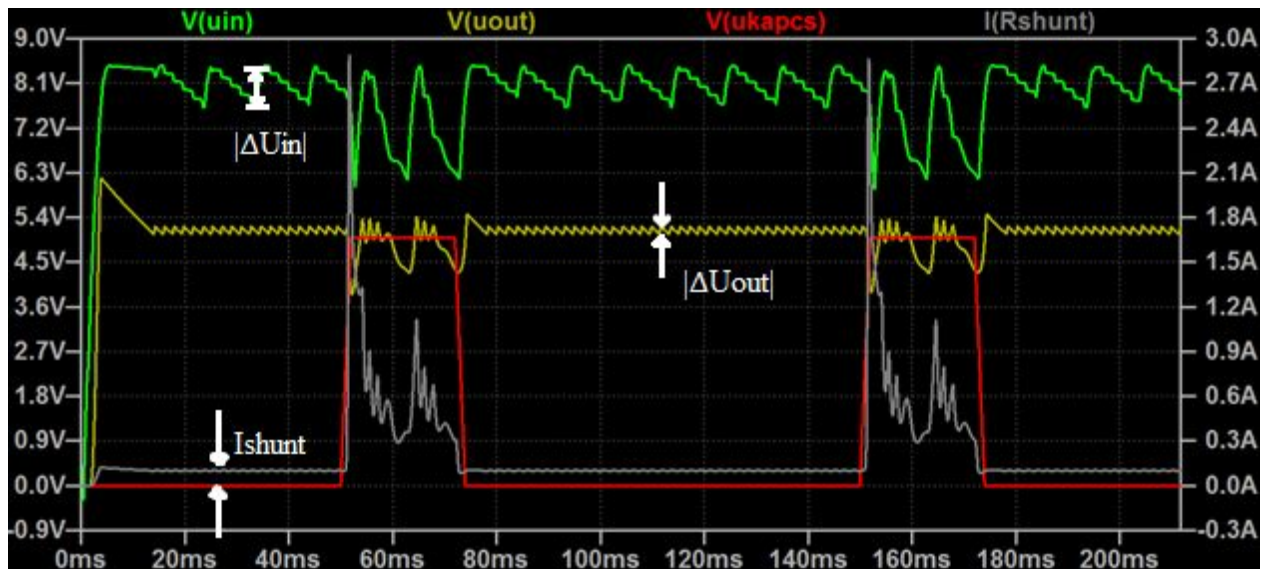
I_{Rshunt} - a söntellenállás árama



10. ábra: a tekercset irányító impulzus szélesség moduláció (PWM)

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

A stabilizátor kimenete különböző induktivitásra és kapacitásra:



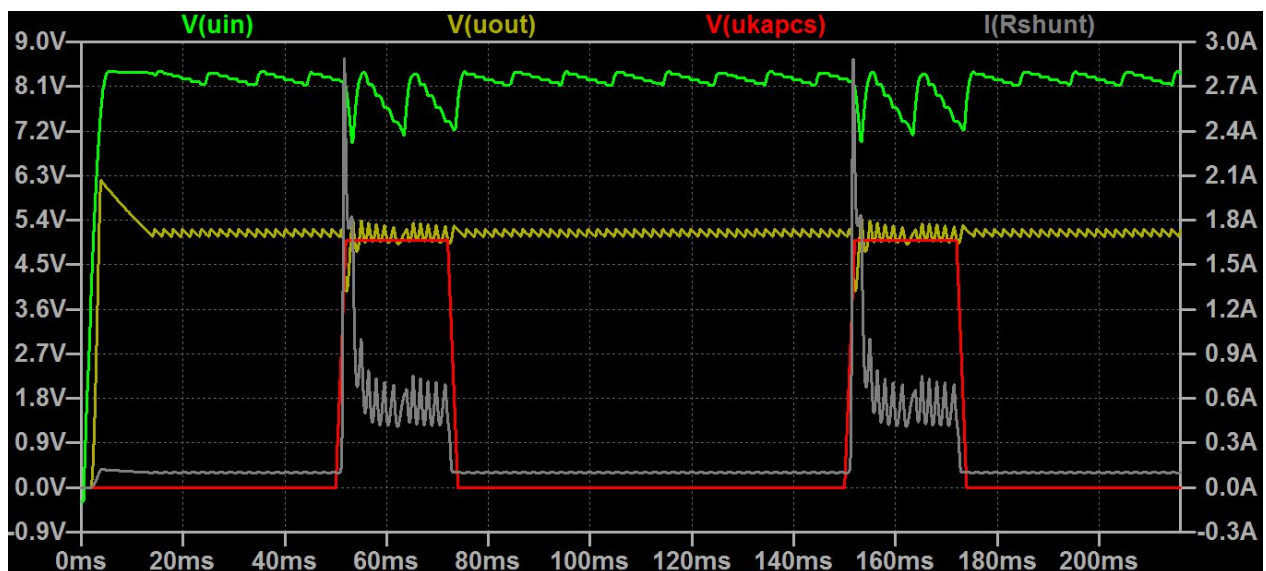
11. ábra: szimuláció a $L1 = 500 \mu\text{H}$, $C2 = 1000 \mu\text{F}$, $C6 = 1000 \mu\text{F}$ paraméterekkel

Csak statikus terhelés a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	829.50 mV	$ \Delta U_{out} $	139.42 mV	$ I_{shunt} $	99.51 mA
-------------------	-----------	--------------------	-----------	---------------	----------

Statikus + Dinamikus terhelés esetén a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	2301.86 mV	$ \Delta U_{out} $	1511.80 mV	$ I_{shunt} $	2889.29 mA
-------------------	------------	--------------------	------------	---------------	------------



12. ábra: szimuláció a $L1 = 500 \mu\text{H}$, $C2 = 1000 \mu\text{F}$, $C6 = 3000 \mu\text{F}$

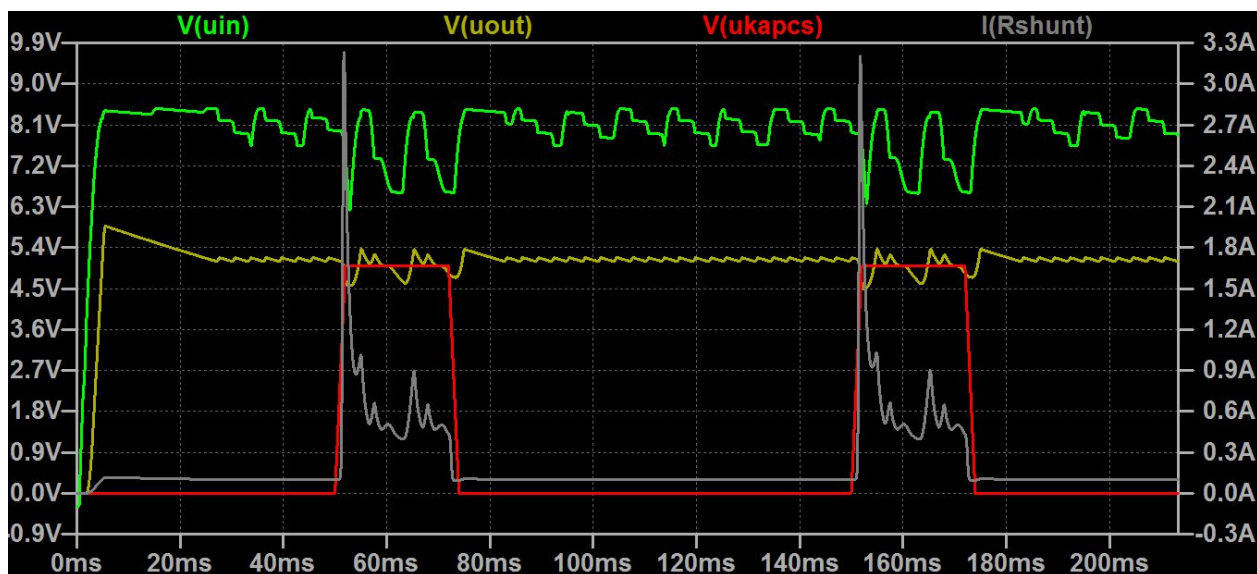
Csak statikus terhelés a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	258.18 mV	$ \Delta U_{out} $	138.15 mV	$ I_{shunt} $	100.28 mA
-------------------	-----------	--------------------	-----------	---------------	-----------

Statikus + Dinamikus terhelés esetén a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	1411.06 mV	$ \Delta U_{out} $	1455.43 mV	$ I_{shunt} $	2879.45 mA
-------------------	------------	--------------------	------------	---------------	------------

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

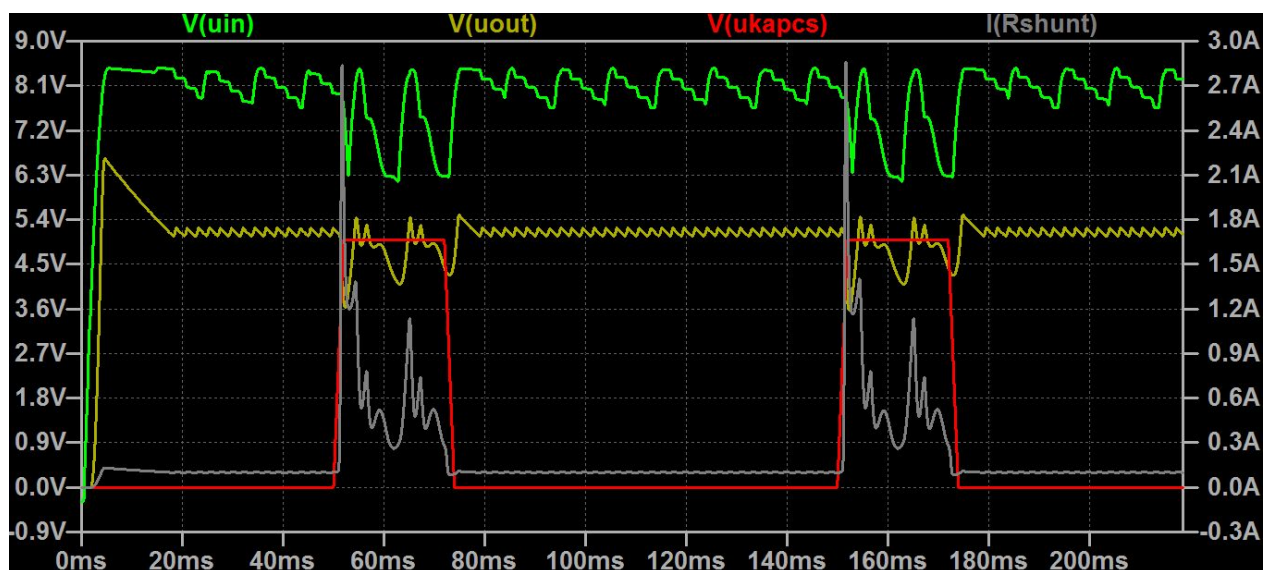


13. ábra: szimuláció a $L1 = 500 \mu\text{H}$, $C2 = 3000 \mu\text{F}$, $C6 = 1000 \mu\text{F}$ paraméterekkel
Csak statikus terhelés a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	717.29 mV	$ \Delta U_{out} $	83.58 mV	$ I_{shunt} $	100.28 mA
-------------------	-----------	--------------------	----------	---------------	-----------

Statikus + Dinamikus terhelés esetén a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	2167.95 mV	$ \Delta U_{out} $	789.55 mV	$ I_{shunt} $	3220.17 mA
-------------------	------------	--------------------	-----------	---------------	------------



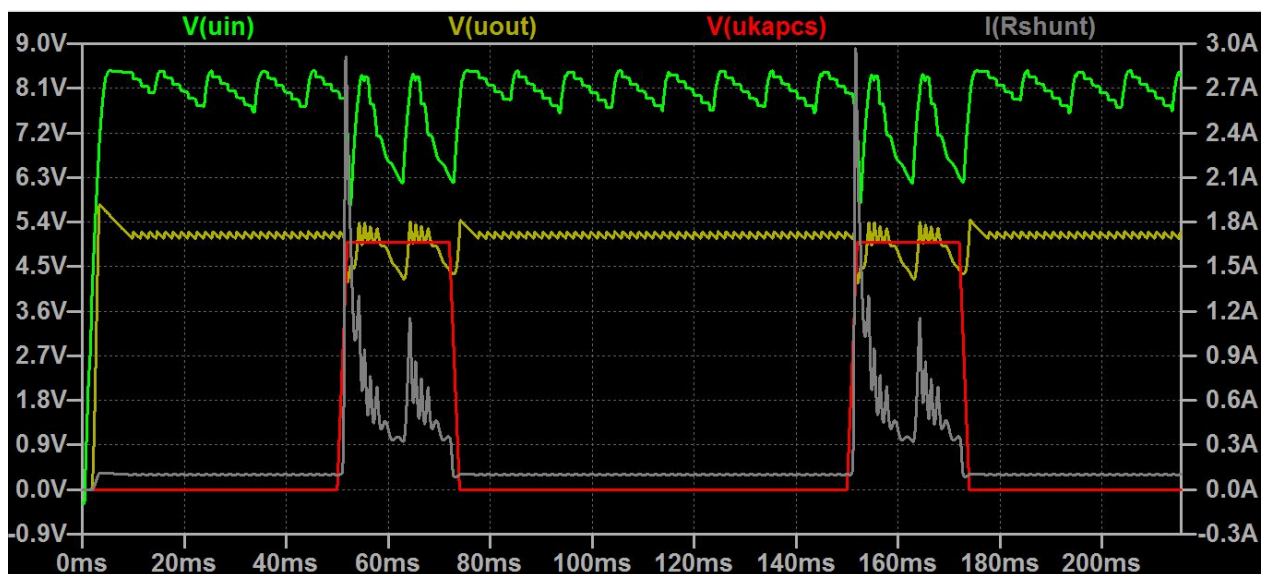
14. ábra: szimuláció a $L1 = 1000 \mu\text{H}$, $C2 = 1000 \mu\text{F}$, $C6 = 1000 \mu\text{F}$ paraméterekkel
Csak statikus terhelés a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	676.18 mV	$ \Delta U_{out} $	156.74 mV	$ I_{shunt} $	100.95 mA
-------------------	-----------	--------------------	-----------	---------------	-----------

Statikus + Dinamikus terhelés esetén a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	2239.46 mV	$ \Delta U_{out} $	1817.56 mV	$ I_{shunt} $	2436.56 mA
-------------------	------------	--------------------	------------	---------------	------------

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL



15. ábra: szimuláció a $L1 = 250 \mu\text{H}$, $C2 = 1000 \mu\text{F}$, $C6 = 1000 \mu\text{F}$ paraméterekkel

Csak statikus terhelés a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	787.93 mV	$ \Delta U_{out} $	125.05 mV	$ I_{shunt} $	101.73 mA
-------------------	-----------	--------------------	-----------	---------------	-----------

Statikus + Dinamikus terhelés esetén a maximális értékek:

$ \Delta U_{in} $	2201.60 mV	$ \Delta U_{out} $	1192.83 mV	$ I_{shunt} $	2092.09mA
-------------------	------------	--------------------	------------	---------------	-----------

Összegzés:

Nem véletlen, hogy manapság a kapcsolóüzemű stabilizátorok sokkal elterjedtebbek, mint a nem kapcsolóüzemű stabilizátorok, mivel sokkal nagyobb a hatásfokuk és nagyobb áramerősséget tudnak leadni. A kimenő feszültséget PWM kitöltési tényezőjével lehet beállítani. A munka tartalmaz számításokat a hőveszteségekről, és egyenirányító puffer kapacitásának meghatározásáról.

Az első szimuláció értékeit tekintetem viszonyítási alapnak. Ehhez képest az második alkalommal az átalakító bemenetén levő kondenzátor kapacitását háromszorosára növeltem. Várható volt, hogy a maximális ΔU_{in} feszültség csökkenni fog, és (ami meglepő volt számomra) jelentősen csökkentette a hirtelen terhelés miatt létrejött kilengés idejének hosszát.

A harmadik alkalommal az átalakító kimeneti kondenzátor kapacitását növeltem háromszorosára. Ahogy várható volt ΔU_{out} feszültség csökkent, kisebb mértékben csökkentett a ΔU_{in} feszültség kilengésén, és növelte a terhelhetőséget, a dinamikus

BUCK DC-DC ÁTALAKÍTÓ STATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSSEL

fogyasztó több áramot vett fel.

A negyedik alkalommal az átalakítóban a tekercs induktivitását kétszeresére növeltem, amely csökkentett részben a $|\Delta U_{in}|$ -t de növelte a $|\Delta U_{out}|$ feszültséget.

Az ötödik alkalommal az átalakítóban a tekercs induktivitását felére csökkentettem ami csökkentett a $|\Delta U_{out}|$ feszültségen, de ez mellett terhelhetőséget is.

Hivatkozások:

[1] Burány Nándor: Teljesítményelektronika

[2] <http://www.mit.bme.hu/eng/oktatas/targyak/vimm1220/jegyzet> letöltve: 2014.12.04.

3.ábra:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/7/7e/Smoothed_ripple.svg/400px-Smoothed_ripple.svg.png