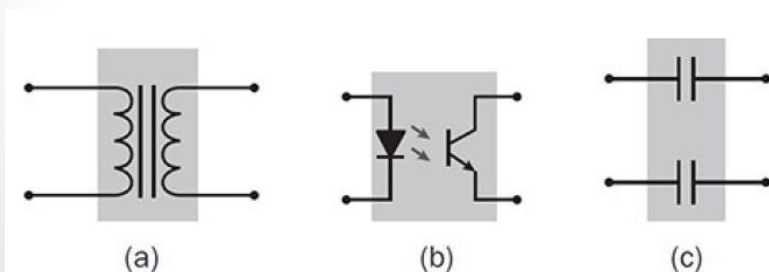
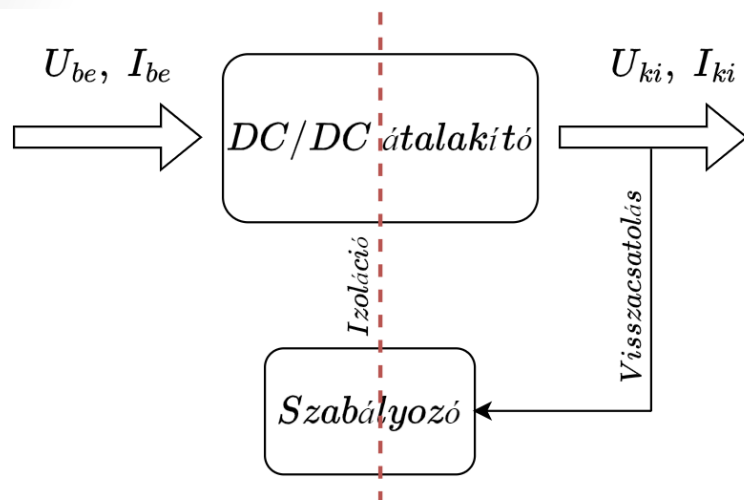


Teljesítményelektronika Kapcsolóüzemű átalakítók (Izolált DC/DC konverterek)

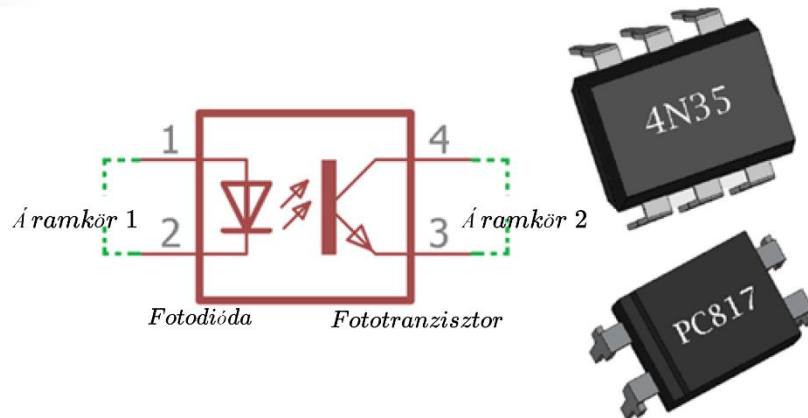


Galvanikus leválasztás, izoláció

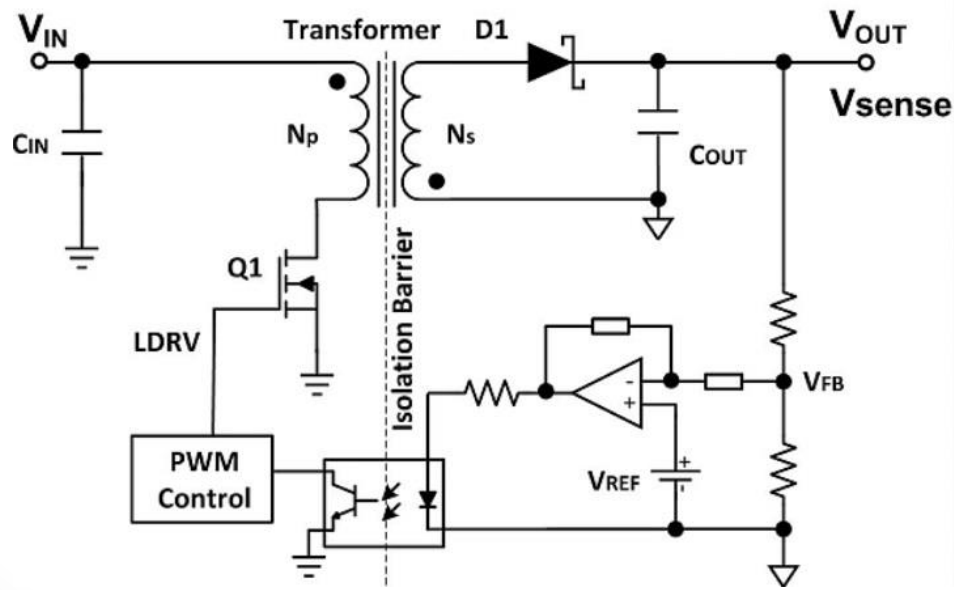


- Egy teljesítményátalakító akkor mutat galvanikus leválasztást, ha teljes dielektromos leválasztást biztosít.
- Ez úgy magyarázható, hogy a kimeneti tápkábelek nem érintkeznek elektromosan az átalakító rendszer bemeneti vezetékeivel.
- Miért is van erre szükség?
 - Hálózati működés, illetve például a bemeneti oldal magas feszültsége esetén (élettvédelem)
 - Zavarvédelem (EMI): A hálózatról ne jusson zaj a kimenetre, illetve a terhelés felől ne jusson zaj a hálózatra
- A nagyteljesítményű résznél transzformátort alkalmaznak izolációra (a.)
- Általában zárt szabályozási körrel dolgozunk, így a visszacsatolt (hiba) jelet is izolálni kell. Ezt leggyakrabban optocsatolóval kerül megoldásra (b.)
- A hagyományos leválasztási megközelítés mellett kondenzátorok is csatlakoztathatók a teljesítményútvonalba, hogy galvanikus leválasztást biztosítsanak (c.)

Optocsatoló működése



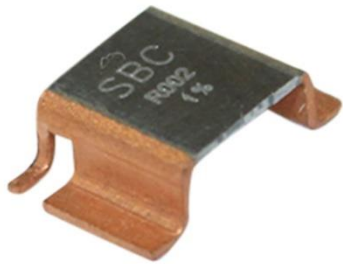
- Kisteljesítményű jelátvitelre használatos
- Egy LED és egy fototranzisztor egy tokba épített együttese
- Az optocsatoló a bemenetén lévő eltérő szintű elektromos jelet (áram/feszültség) fénné alakítja, majd ismét elektromos jellé (áram/feszültség)



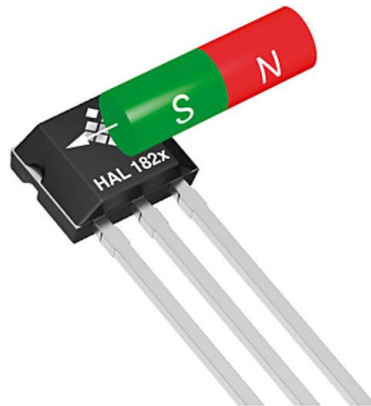
Izolált árammérő szenzorok/árammérés

Árammérés

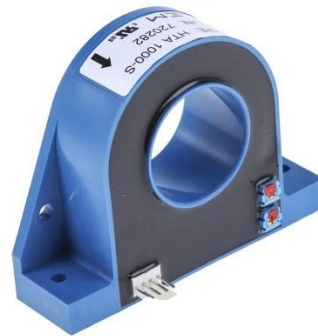
Ellenállásos
(Ohm törvényen alapuló)



Hall elemes



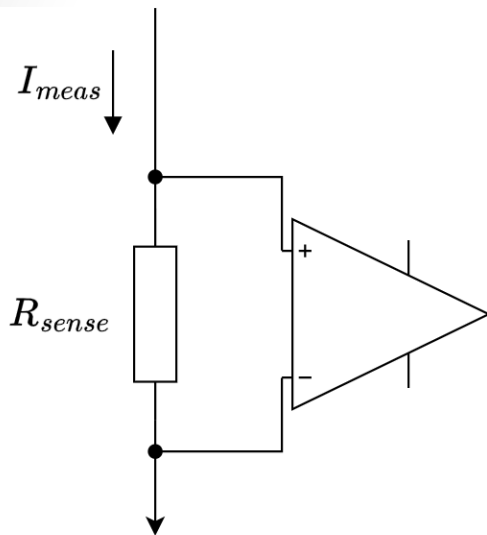
Fluxgate-alapú



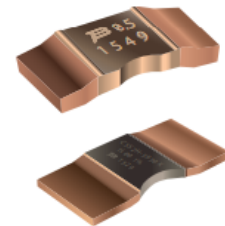
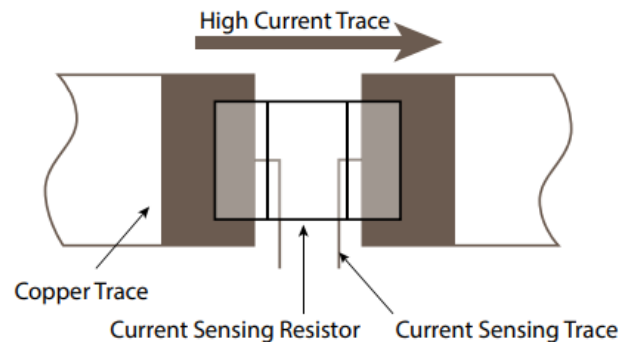
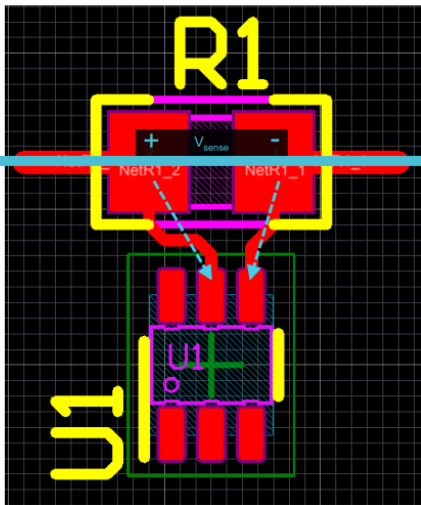
Légmagos tekercsek,
Rogowski tekercs



Ellenállásos árammérés

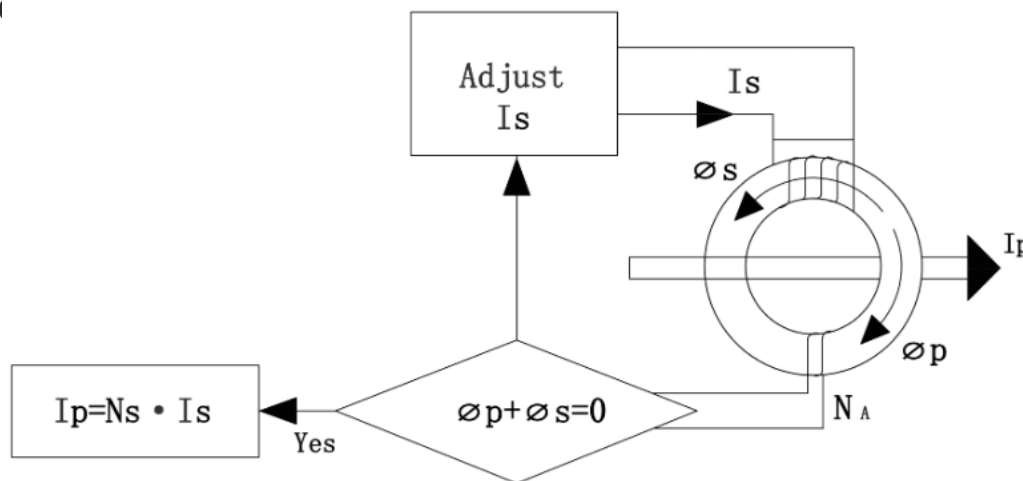


- A mérendő áramot egy söntellenálláson vezetik át, amely jellemzően kis értékű (néhány mΩ) és nagy teljesítményű (W-os nagyságrend).
- A mért áram egy kis értékű feszültséget ejt az ellenálláson ($U = IR$), amelyet egy mérőerősítőbe szükséges vezetni jelfeldolgozás miatt.
- Gyakran több párhuzamos ellenállást kapcsolnak össze, hogy a disszipációt megosszák;
- A söntellenállást Kelvin kapcsolattal kell huzalozni a NYÁK-on: A Kelvin-csatlakozás egy négyvezetékes csatlakozási módszer az ellenállás, a feszültség stb. rendkívül pontos mérésére. A huzalozásnak a lehető legrövidebbnek kell lennie!
- Előnye a relatív egyszerűség, hátránya hogy amennyiben nem folyik áram, nincs információ, hogy az áramkör rossz, vagy tényleg nem folyik áram



Fluxgate alapú árammérés

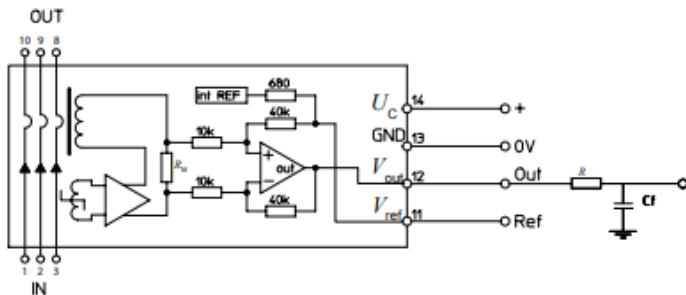
- A fluxgate technológia egy precíziós mágneses térérzékelési módszer, amelyet gyakran használnak árammérésre is.
- Működése egy nagy permeabilitású mágneses magra épül, amelyet egy gerjesztő tekercs időszakosan telítésbe visz egy váltakozó áram segítségével.
- Ha nincs külső mágneses tér (például áram által keltett tér), a mag fluxusváltozása szimmetrikusan követi a gerjesztő áramot. Ha azonban egy vezetőben áram folyik, az általa létrehozott mágneses tér eltolja ezt a szimmetriát, amit egy érzékelő tekercs jelez. Az érzékelő tekercsben indukált jel tartalmazza az árammal arányos információt, amelyet egy elektronikus áramkör feldolgoz.
- A fluxgate alapú árammérők gyakran zárt hurkú (closed-loop) szabályozást alkalmaznak, amely kompenzáló áramot hoz létre egy másik tekercsben, hogy kiegyenlítse a mágneses eltérést. Ez az áram közvetlenül arányos a mérendő árammal, így rendkívül pontos és stabil mérési módszer.



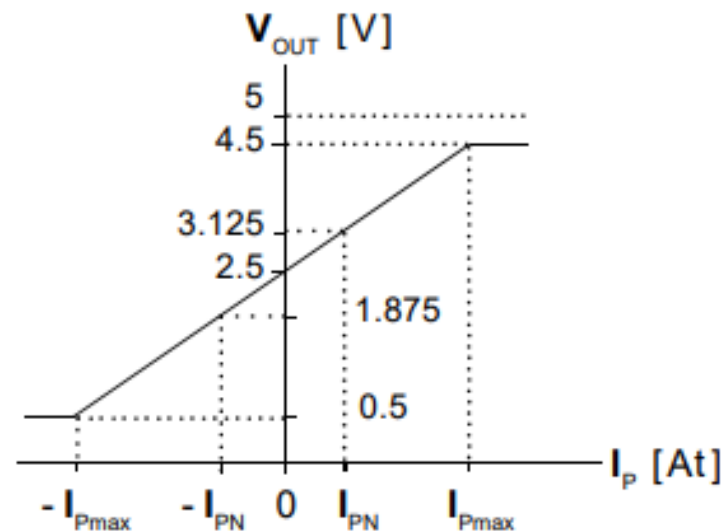
Fluxgate alapú árammérés



- Érintkezésmentes árammérést valósít meg
- Létezik NYÁK-ba építhető verziója is
- Általában zárt (kompenzált)
- Pontos és jó dinamikai tulajdonságokkal rendelkezik, kis áramok mérésére is kiválóan alkalmas
- Egy szenzort több méréshatárba is köthetünk (hurkok száma – amennyiben lehetséges)

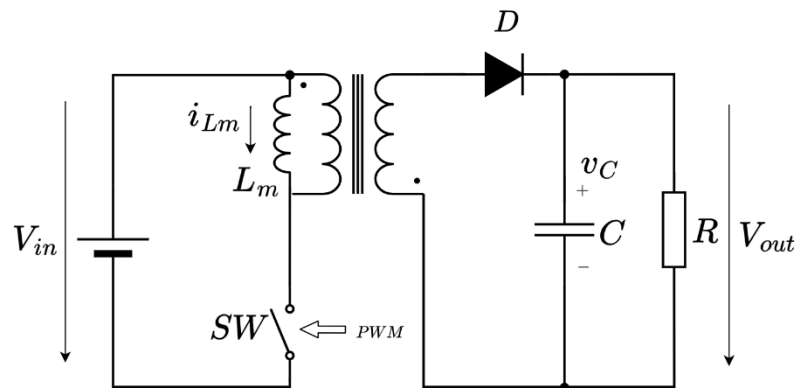
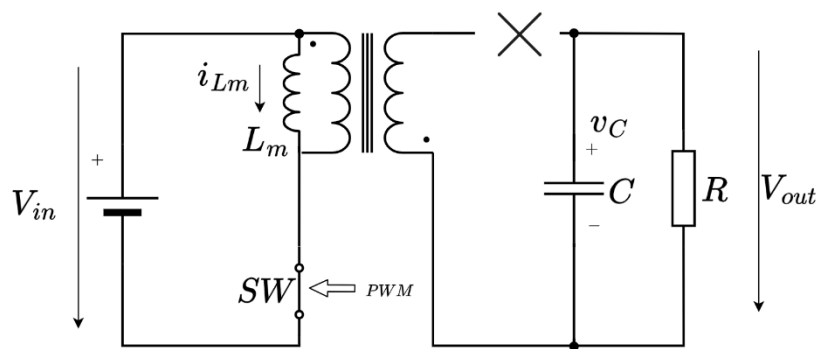
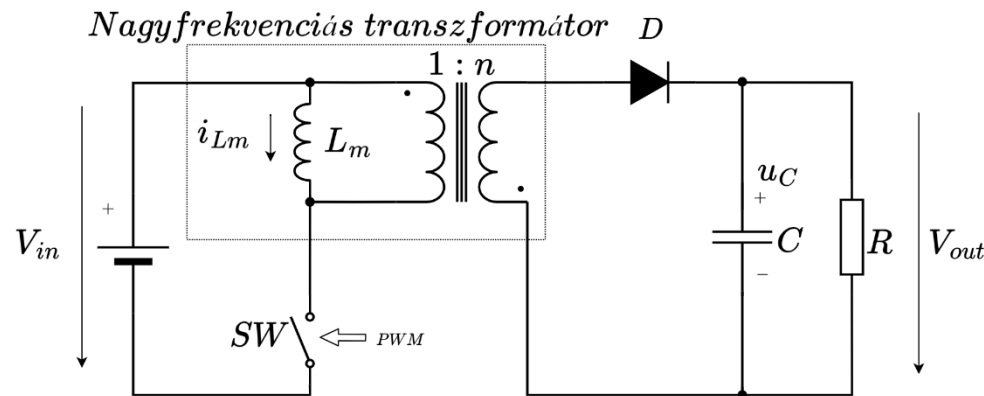


Number of primary turns	Primary resistance R_p [mΩ]	Recommended connections
1	0.24	10 9 8 OUT 1 2 3 IN
2	1.08	10 9 8 OUT 1 2 3 IN
3	2.16	10 9 8 OUT 1 2 3 IN

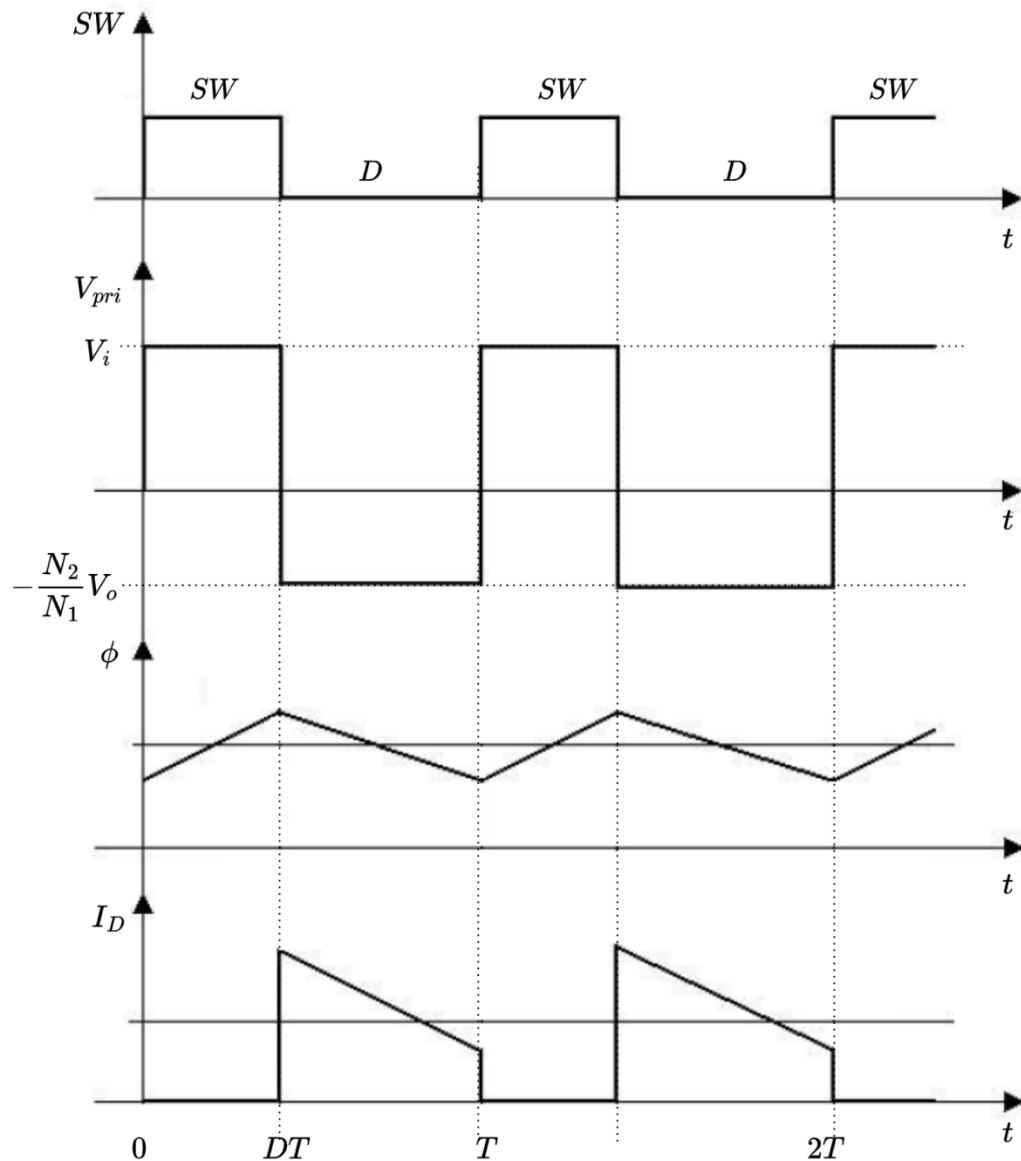


Feszültségcsökkentő (Flyback) konverter

$$V_{out} = \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{1-D} V_{in}$$



Jelalakok – Flyback konverter



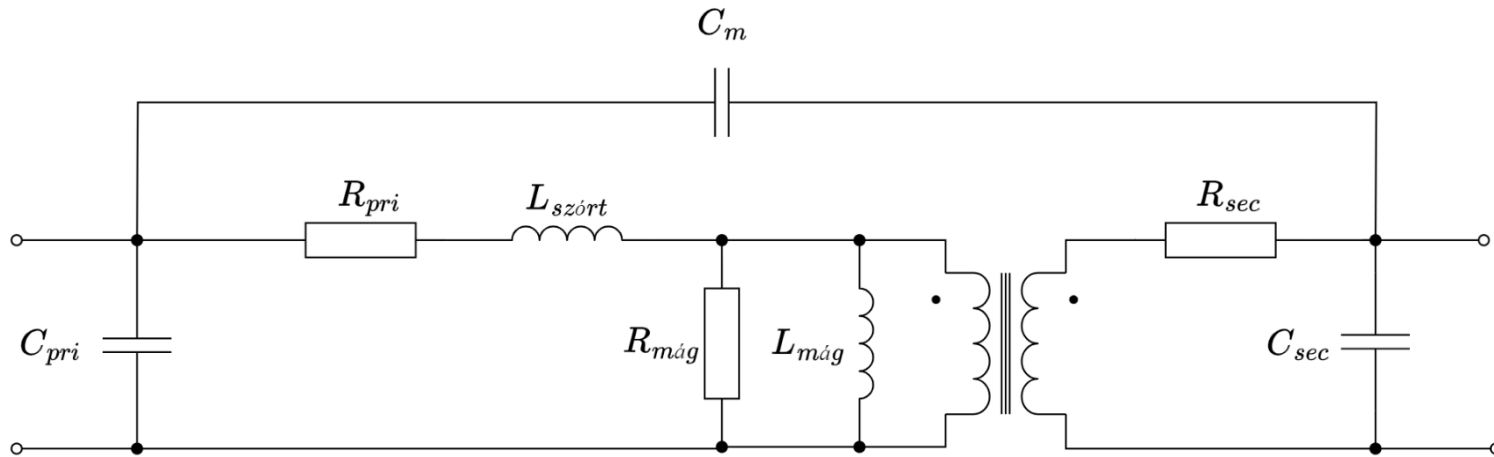
Kapcsolási idődiagram

Primer feszültség

Transzformátor fluxus

Dióda áram

Nagyfrekvenciás transzformátor modell

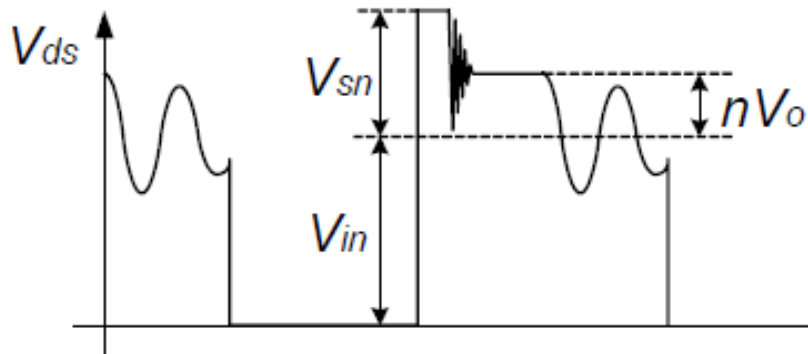


- R_{pri} jelöli a primer R_{sec} a szekunder oldali ohmos ellenállást, míg $L_{szórt}$ a tekercselésből adódó szórt , illetve $L_{mág}$ a mágnesező inductivitást. C_{pri} a primer oldali, míg C_{sec} a szekunder oldali, illetve C_m jelöli a primer és szekunder tekercselések közötti kapacitást
- Miért fontosak a parazita mennyiségek?



- A záróüzemű működés miatt a primer oldali szórt mágneses inductivitás önindukciós feszültséget okoz, amely a kapcsolóelemet tönkretelheti.

Primer oldali önindukciós feszültség, snubber áramkörök



- A záróüzemű működés miatt a kapcsoló kikapcsolt állapotában a primer oldalon is megjelenik egy feszültségérték, számszerűen:

$$-nV_o = -\frac{N_2}{N_1}V_o$$

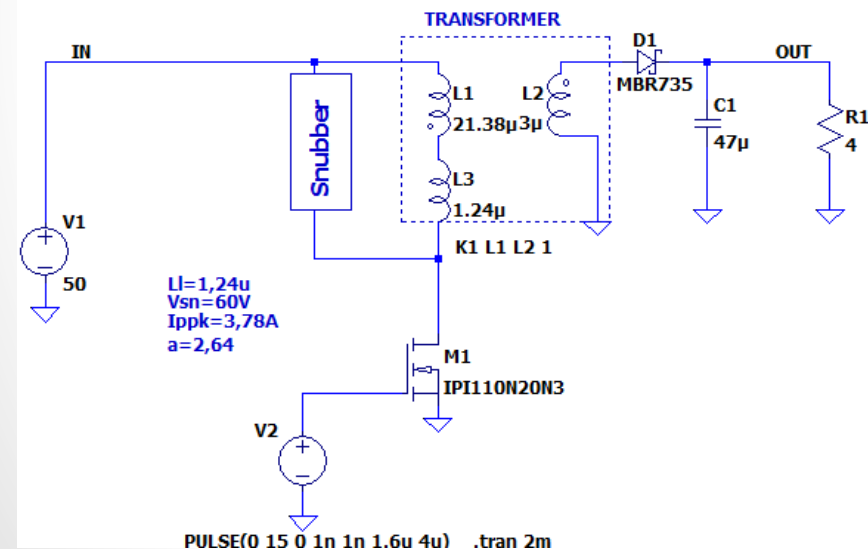
- További feszültség indukálódik a transzformátor szórt inductívitasán (L_{szort}), melynek értéke az áramváltozás sebességétől (fluxusváltozás), illetve a szórt inductívitas nagyságától függ, azaz:

$$u_{ind_szort} = -L_{szort} \frac{di}{dt}$$

- Megállapítható, hogy a kapcsolóelemen a névleges bemeneti feszültség többszöröse is megjelenhet!
- Ez a kapcsolóelemet tönkreteszi
- A folyamat „kézben tartható” ha valamilyen áramkör segítségével a feszültséget limitálni tudjuk!



Snubber áramkörök



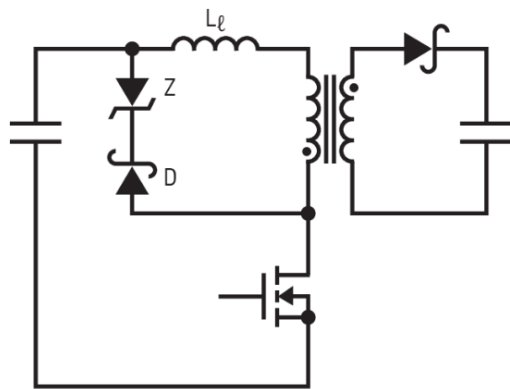
Snubber áramkörök kialakítása, tulajdonságai

- Főleg induktív elemeket tartalmazó áramkörök esetén használatos
- Összességében elmondhatók (összes típusra vonatkoztatva):
 - Csökkentik a káros áram és feszültségtűskéket és a kapcsolóelem igénybevételét
 - Limitálják dv/dt , di/dt nagyságát (típustól függően)
 - Csökkentik a kapcsolási veszteséget
 - Csökkentik az EMI kibocsátást (a feszültség és áramcsúcsok limitálásával)

Snubber áramkörök

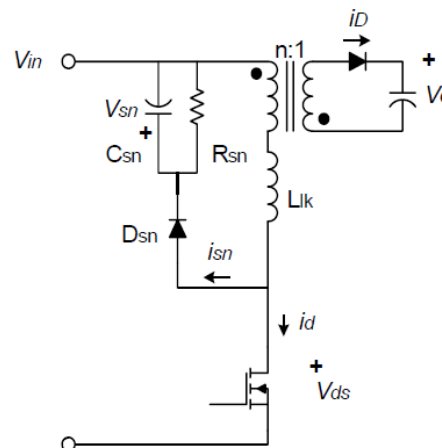
Kisebb feszültség, illetve konstans bemeneti feszültség esetén

Zener diódás snubber

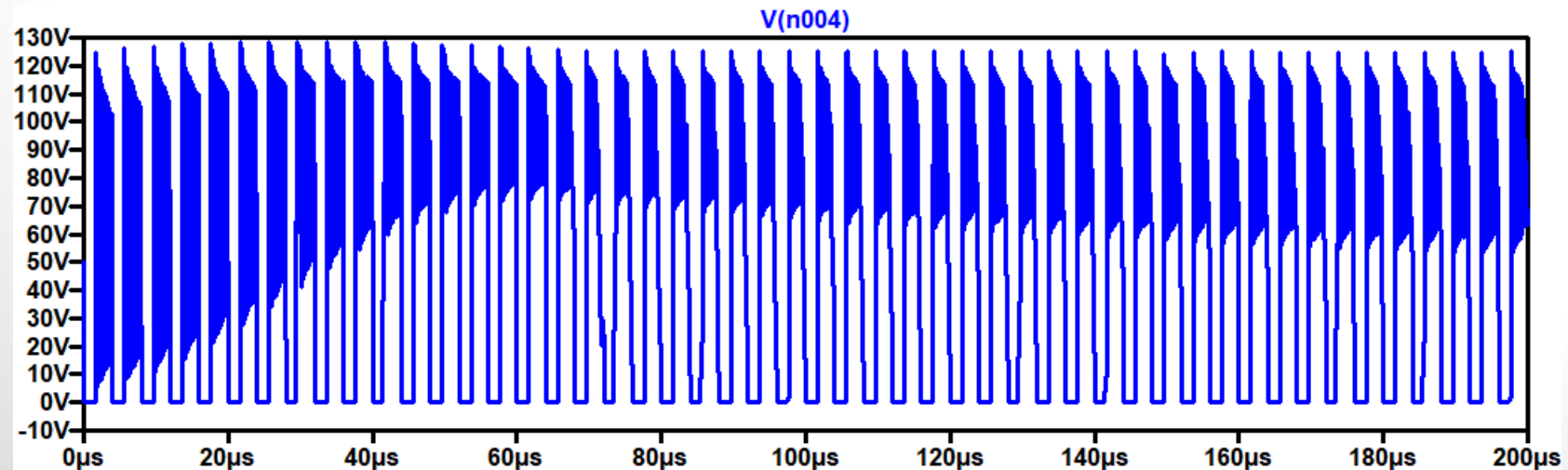
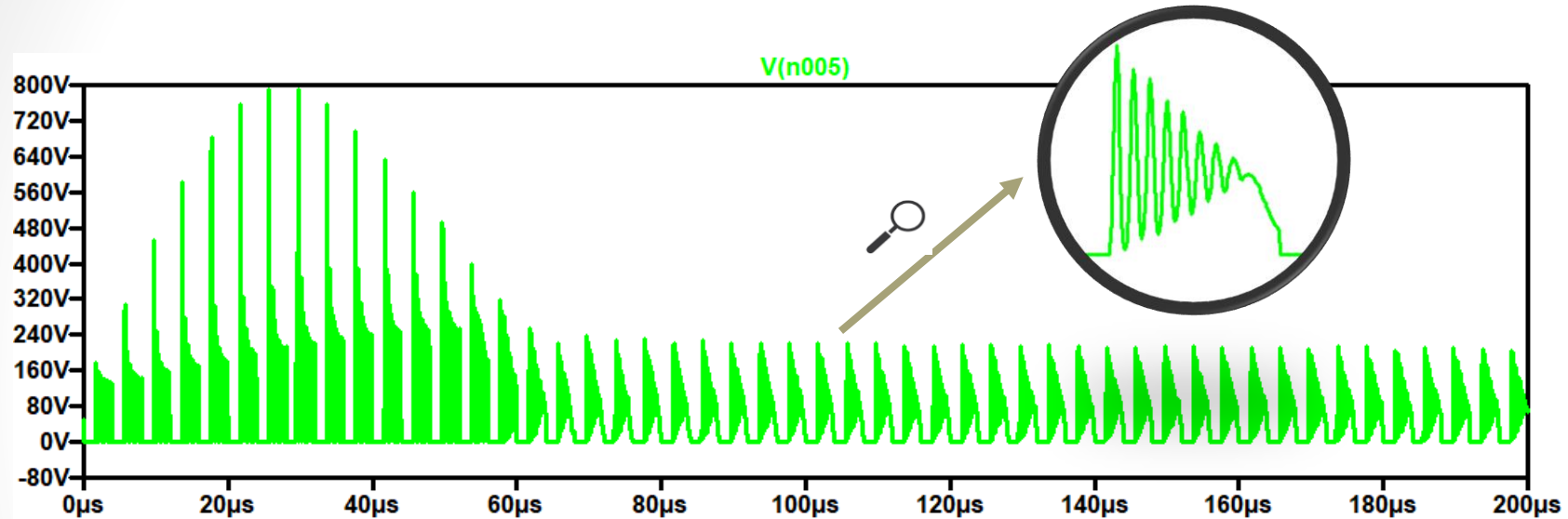


Nagyobb feszültség, illetve AC bemeneti feszültség esetén

RCD snubber

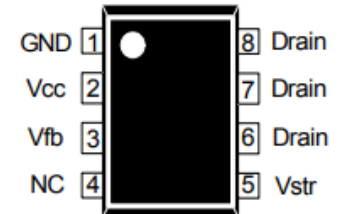


Szimulációs eredmények snubber alkalmazása esetén

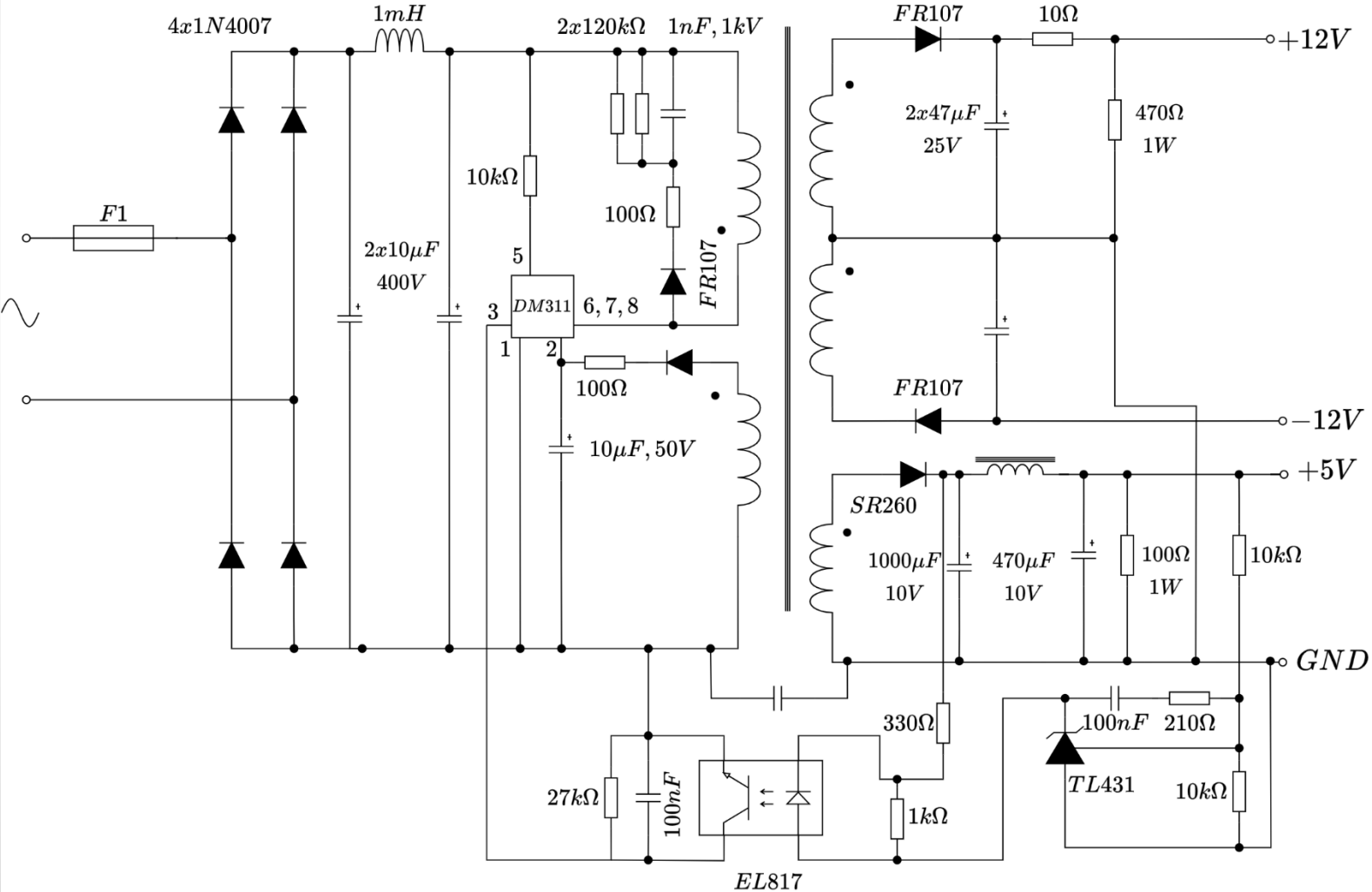


Áramköri példa

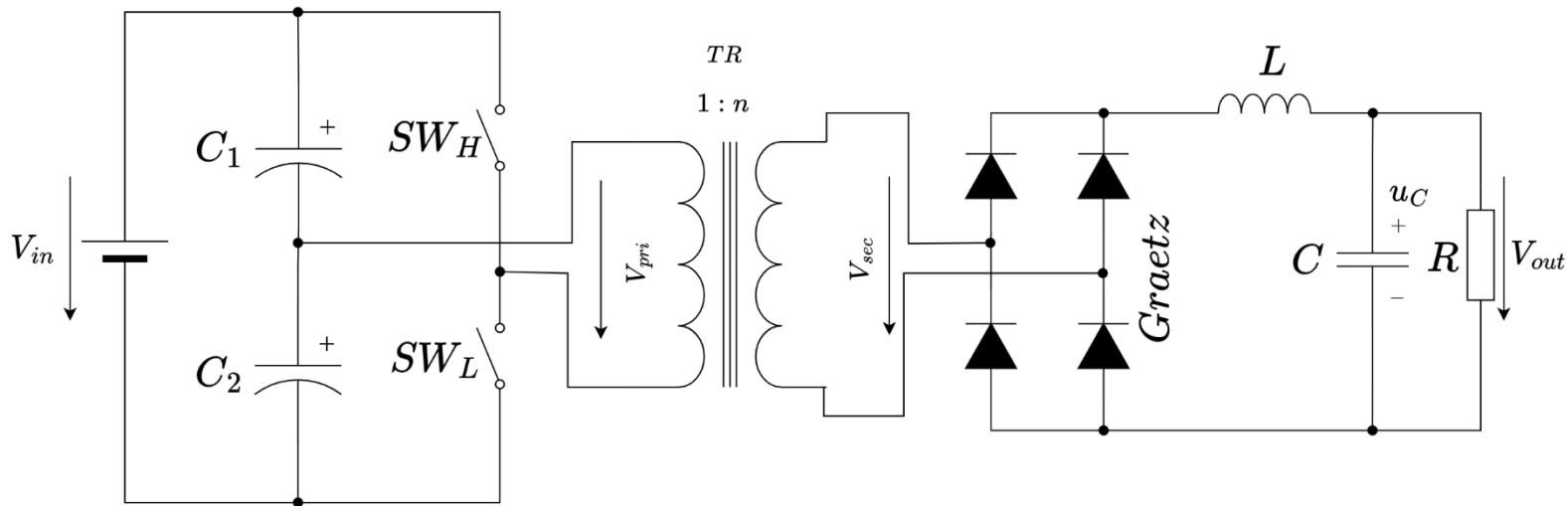
8DIP
8LSOP



FSDM311



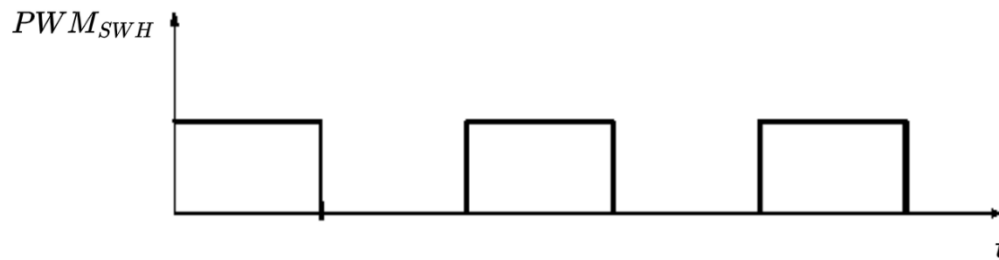
Félhidas konverter



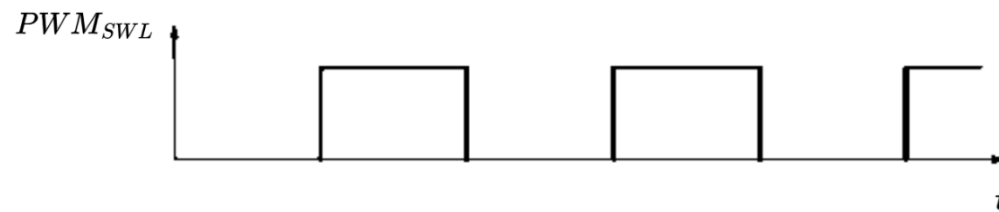
- C_1 és C_2 nagy kapacitású osztó, a kapacitások pedig egyforma értékűek: az osztó közepén pontosan a tápfeszültség fele ($V_{in}/2$) jelenik meg
- A felső (SW_H) és az alsó (SW_L) félvezető kacsolóelemek felváltva kapcsolnak (azonos időben soha!)
- SW_H , SW_L , C_1 és C_2 együttesen ún. félhidas invertert alkot
- A kimeneten a kapott feszültséget egyenirányítani szükséges (Graetz-híd, vagy középmegecsapolásos transzformátor), illetve szűrni (LC szűrő)
- A kimeneti feszültséget az alábbi összefüggés adj meg:

$$V_{out} = a \cdot V_{in} \cdot D = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D$$

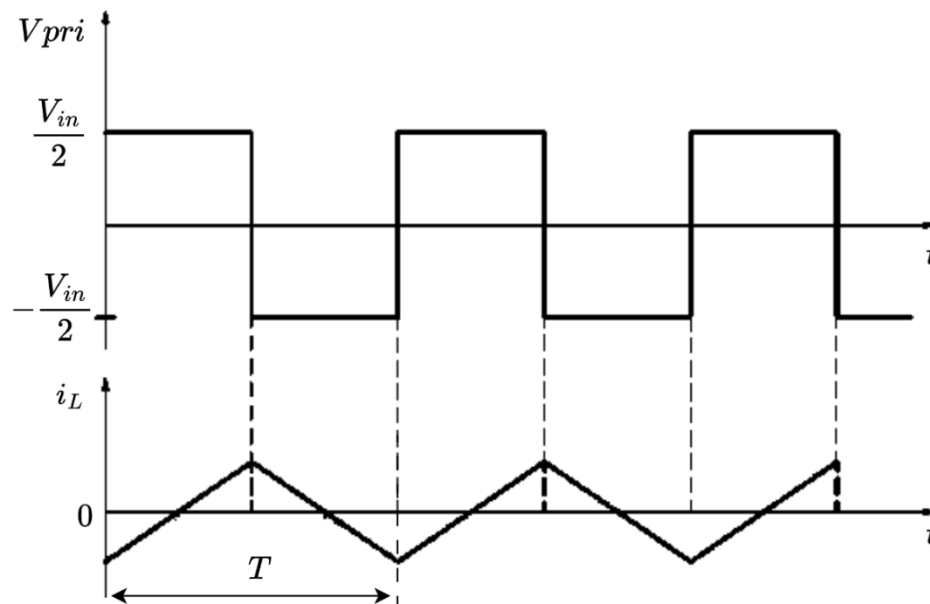
Jelalakok – Félhidas konverter



Magas oldali PWM



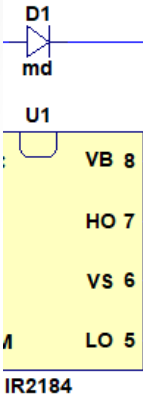
Alacsony oldali PWM



Primer feszültség

Tekercsáram

17

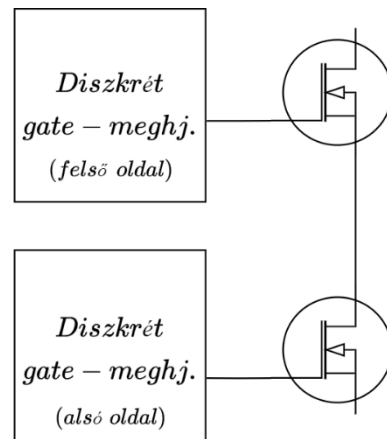


- V(n012)

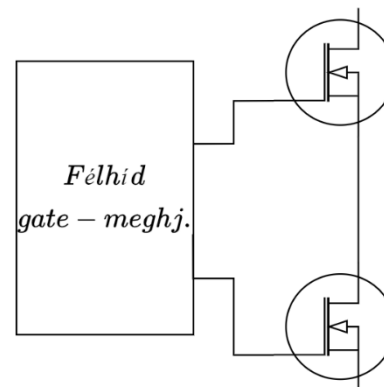


Holtidő beikatatása

- A févezetők bekapcsolását gate meghajtó áramkör végzi
- Ennek feladata sokrétű (ld. később)
- A holtidő szempontjából két megoldás létezik:
 - Diszkrét gate-meghajtó áramkör (egy félvezetőhöz) (a. ábra)
 - Alsó oldali gate meghajtó (low-side gate driver)
 - Felső oldali gate-meghajtó (high-side gate driver)
 - Félhidat meghajtani képes gate meghajtó (egy félhídhoz) (half-bridge gate-driver) (b. ábra)
- Az egy félhidat vezérlő gate-meghajtó áramkörökbe a holtidő generálása általában be van építve, míg diszkrét esetben erről szoftveresen kell gondoskodni



a.



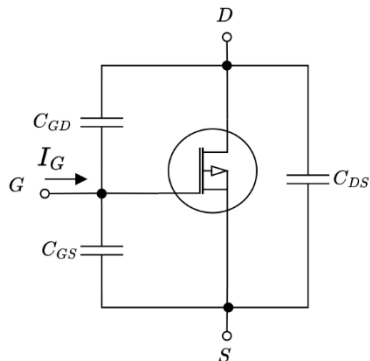
b.

Gate-megajtó alapok

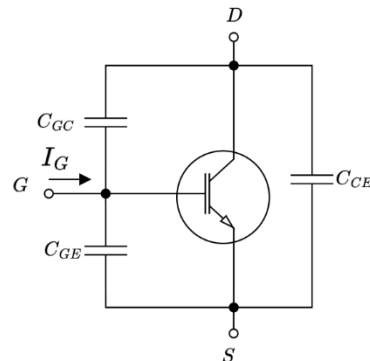
- A FET jellegű félvezetők dinamikus modellje tartalmazza a parazita kapacitásokat (a. MOSFET, b. IGBT)
- A kapacitás feszültségét az alábbi összefüggés adja meg:

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_c(\tau) d\tau$$

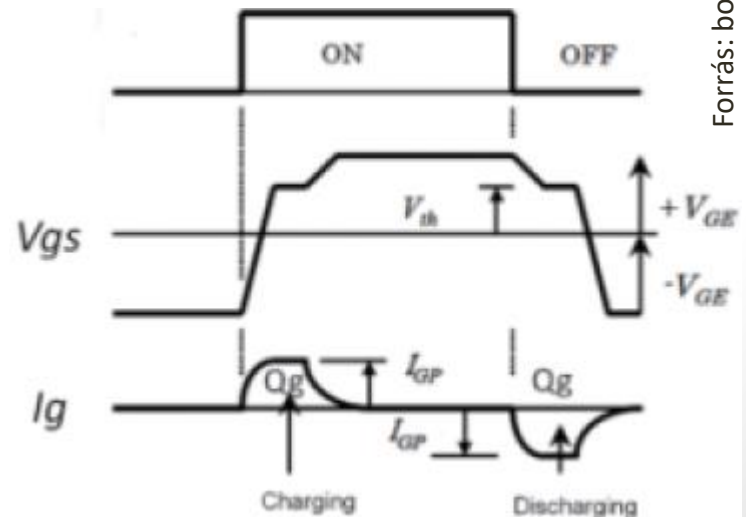
- Azaz, a feszültségváltozás a kapacitáson a magától a kapacitás értékétől, illetve az áram nagyságától függ!
- I_G pozitív értéke feszültség növekedéshez, míg negatív értéke csökkenéshez vezet
- Konklúzió: a gyors kapcsoláshoz nagy gate áram szükséges (illetve kis kapacitás)
- Egy mikrovezérlő által kiadott PWM jel általában nem elégséges I_G nagy értékének eléréséhez: a félvezető és a mikrovezérlő közé szükséges egy köztes áramkör, ami ezt az áramot biztosítja



a.

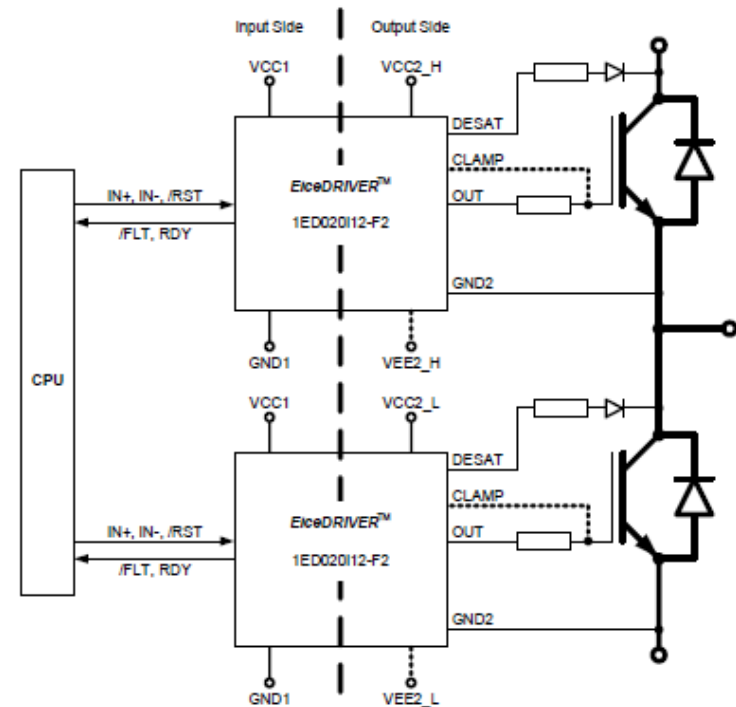


b.



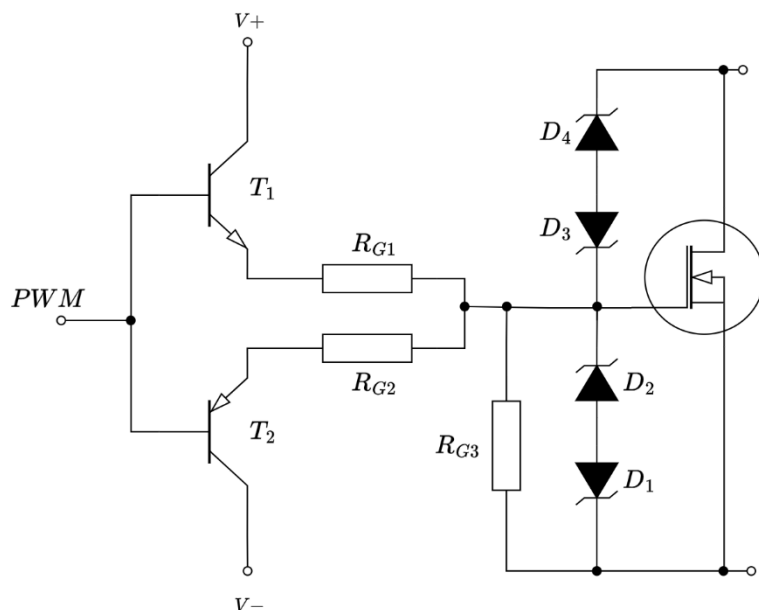
Gate meghajtó áramkörök feladatai

- A gate meghajtó áramkörök biztosítják a félvezetők be és kikapcsolását:
 - Biztosítják a szükséges gate feszültséget (V_{GS}/V_{GE})
 - Biztosítják a szükséges gate áramot (I_G)
 - Biztosítják az izolációt a nagyfeszültségű és a kisfeszültségű oldal között (ha szükséges)
- Ezen kívül még számos funkcióval rendelkezhetnek:
 - Védelmi funkciók (túlfeszültség, túláram)
 - Egyéb specializált védelmek (Active Miller Clamp, Deszaturációs védelem)
 - Diagnosztikai funkciók (Ready, Fault, Reset)
 - Kommunikációs funkciók (CAN, UART stb.)

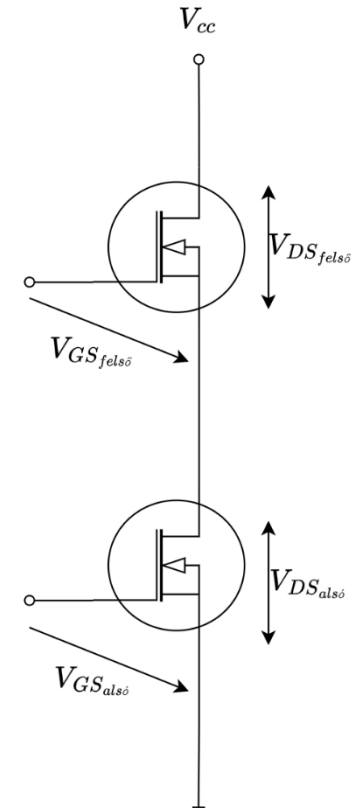
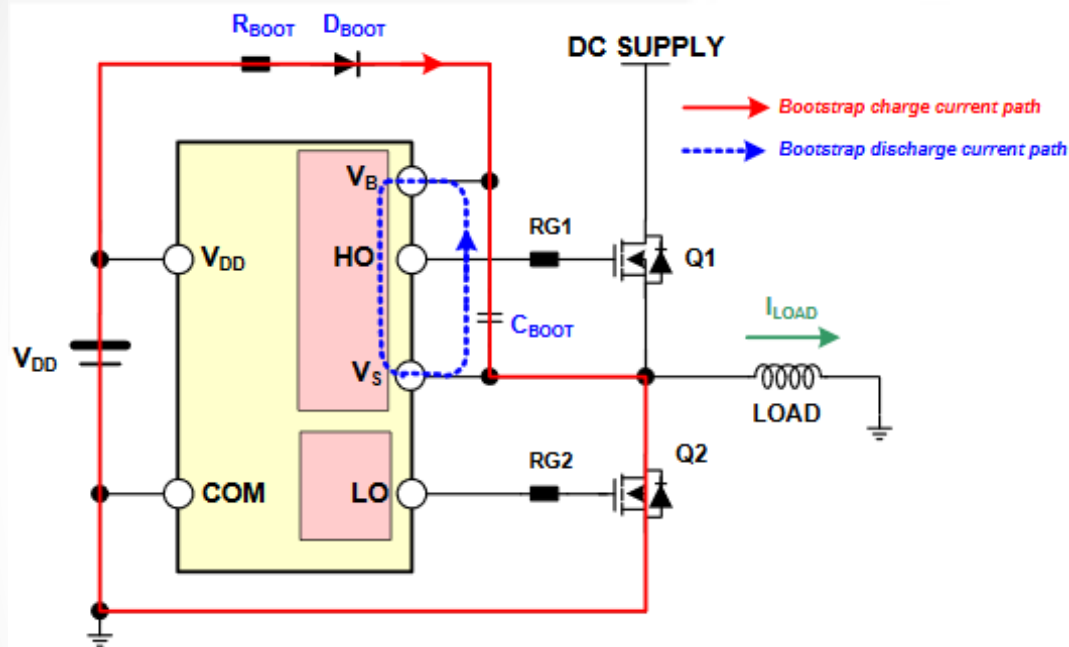


Gate meghajtó áramkörök általános felépítése

- A kapcsolási tulajdonságok javítása érdekében általában a be és kikapcsolást különválasztják, ennek több gyakorlati haszna is van (Totem-pole (T_1, T_2)):
 - A megható tranzisztorokon, illetve gate ellenállásokon (R_{G1} , R_{G2}) egyenként kisebb a disszipáció
 - A kikapcsolás negatív feszültséggel gyorsítható
- Lehúzó ellenállás (R_{G3}) (esetleg üzemzavar esetén a gate potenciál nem „lebeg”)
- Szupresszor diódák: (D_1 - D_2) V_{GS}/V_{GE} feszültség limitálása, (D_3 - D_4) Active Miller Clamping

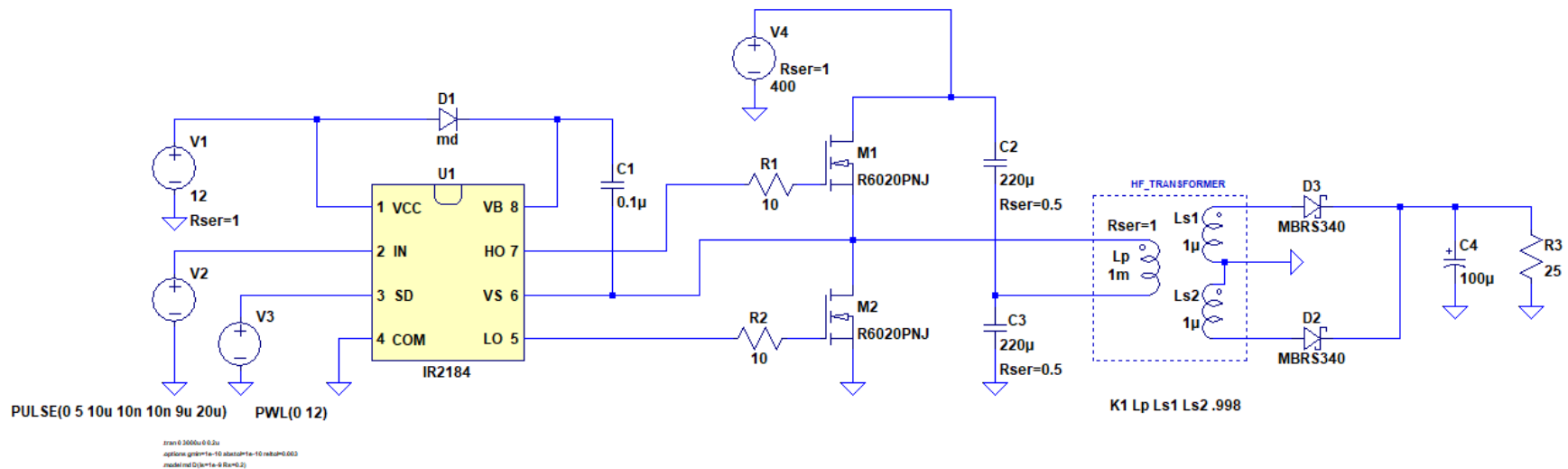


Bootstrap (feszültség utánhúzó kapcsolás)



- A hídág felső kapcsolóeleme más potenciálon lesz, mint a hídág alsó kapcsolóeleme
- Ennek érdekében fejlesztették ki az úgyn. bootstrap (feszültség utánhúzó) áramkört
- A felső félvezető kikapcsolt állapotában $C1$ kondenzátor feltöltődik, majd bekapcsoláskor a töltőkörtől elszigetelten táplálja a felső kapcsolóelem meghajtókörét

Áramköri példa – Egészhidas konverter



- A transzformátor áttétele:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{1mH}{1uH}} = 31,623$$

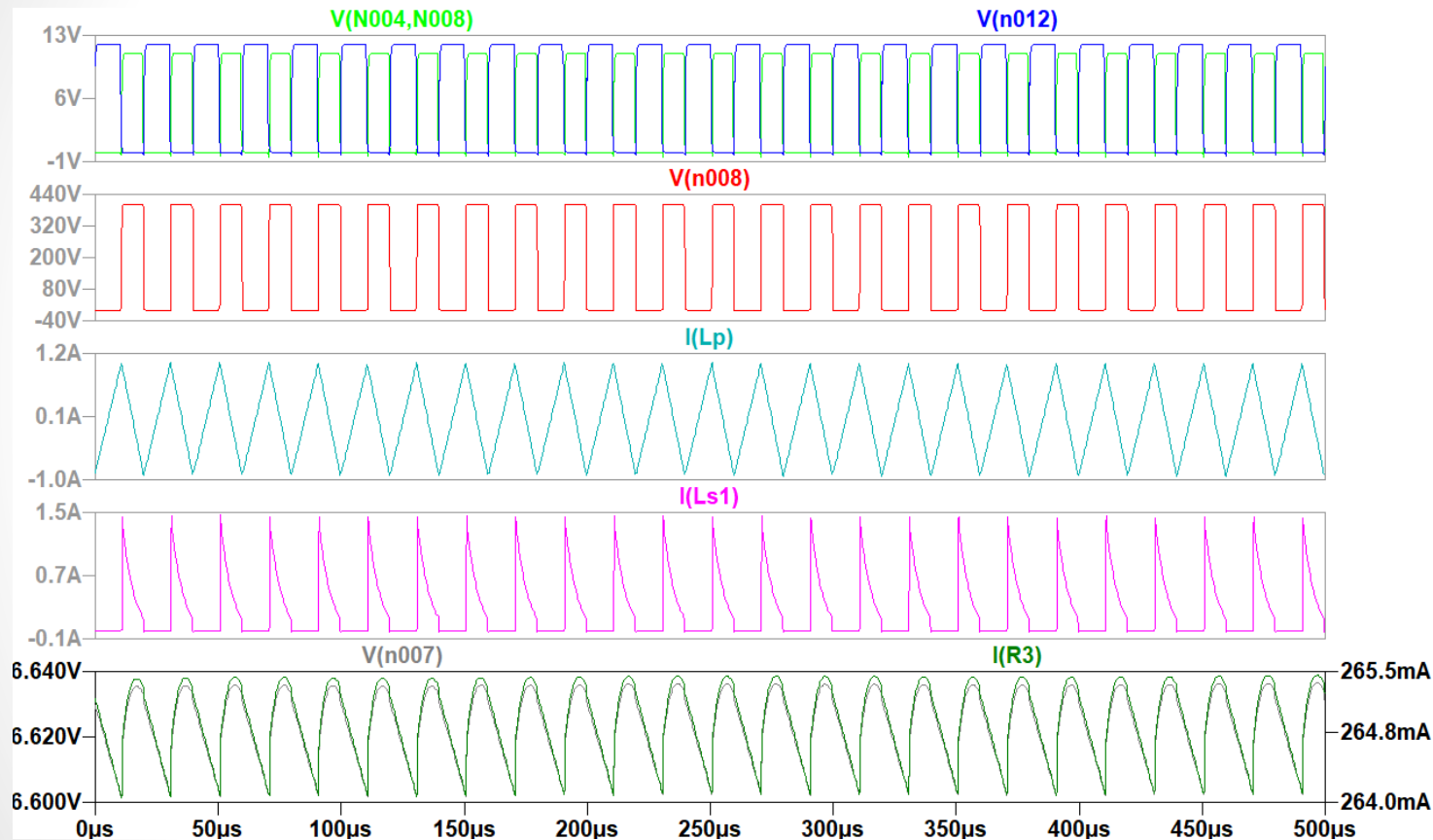
- Kitöltési tényező:

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{9us}{20us} = 0,45$$

- Kimeneti feszültség:

$$V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D = \frac{1}{30,623} \cdot 400V \cdot 0,45 \cong 6V$$

Szimulációs eredmények – Egészzhidas konverter



Vezérlő
jelek

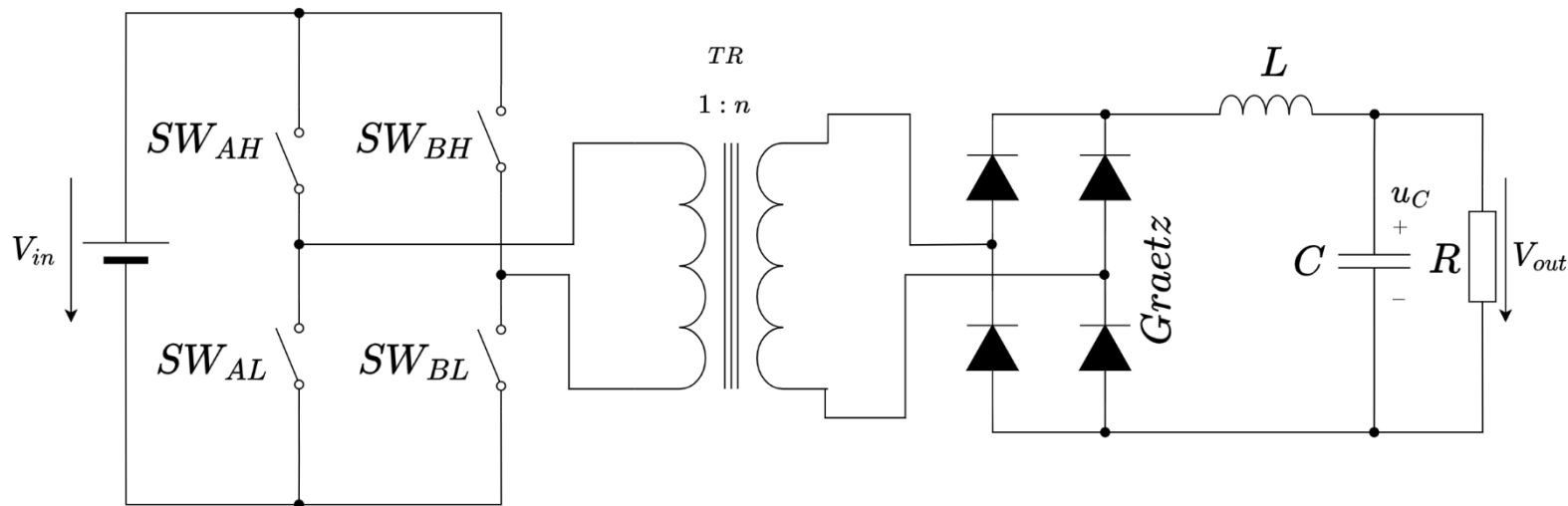
Primer
feszültség

Primer
áram

Szekunder
áram

Kimeneti
áram és
feszültség

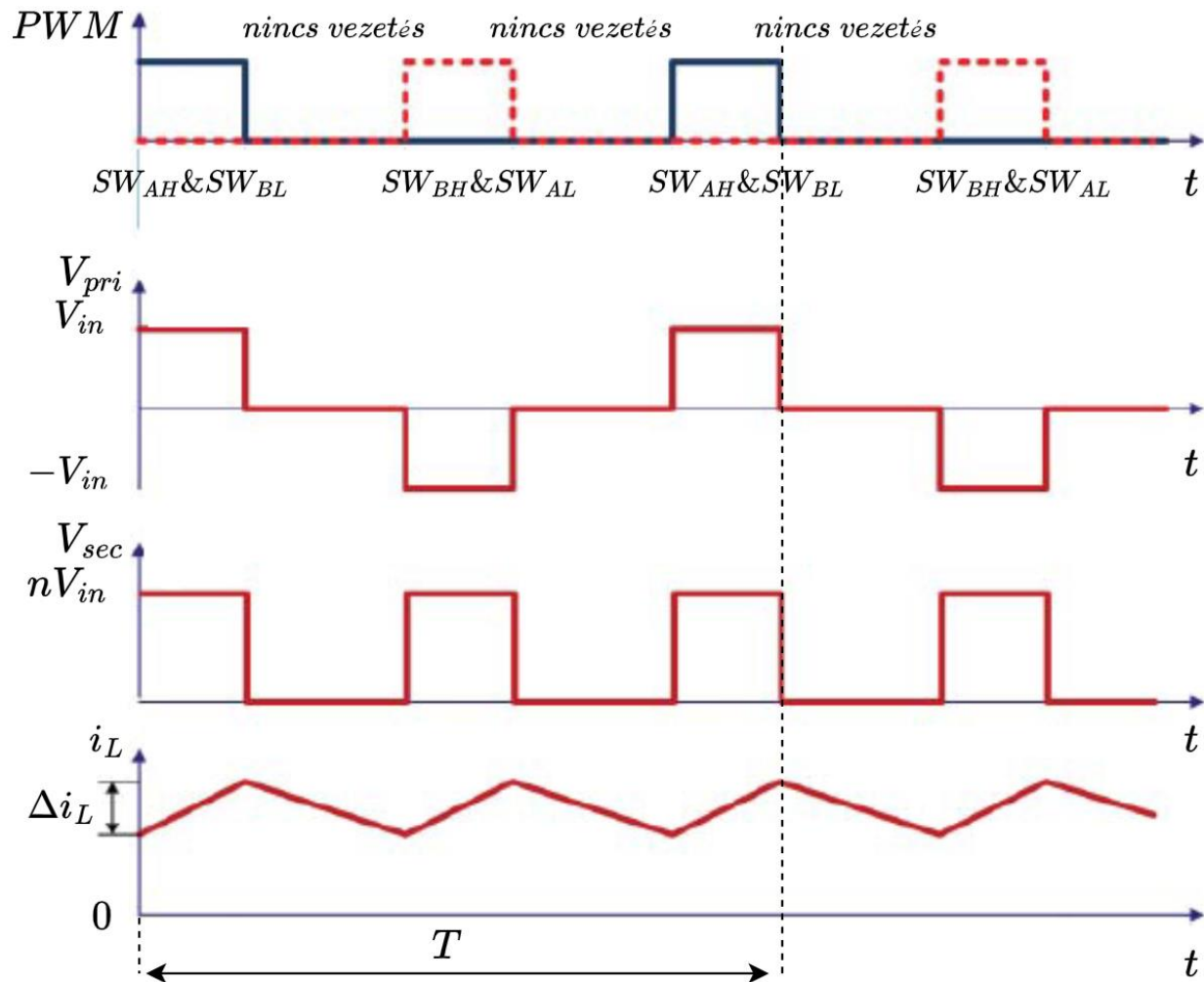
Egészhidas (Full-Bridge) konverter



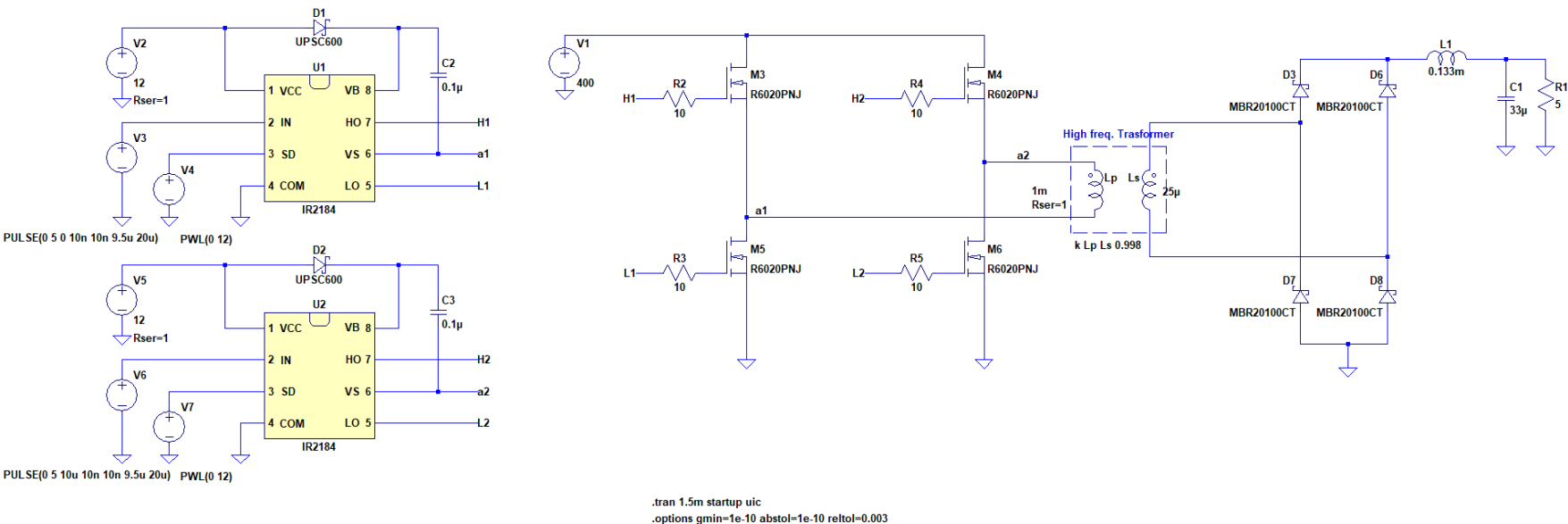
- A félhidas konverterhez képest a kapacitív osztó is egy félvezetős félhídra lett cserélve
- A kimeneti egyenirányítás lehet Graetz, vagy középccsapolósos (modernebb esetben szinkron)
- Ennek megfelelően egy időben két félvezető fog vezetni, azaz SW_{AH} és SW_{BL} a pozitív ciklusban, míg SW_{AL} és SW_{BH} a negatív ciklusban
- Egyidőben tilos az egy hídagban lévő félvezetők kapcsolása!
- A kimeneti feszültség a félhidasnak megfelelő, azaz

$$V_{out} = a \cdot V_{in} \cdot D = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D$$

Jelalakok – Egészzhidas konverter



Áramköri példa



A transzformátor áttétele:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{1mH}{25uH}} = 6,325$$

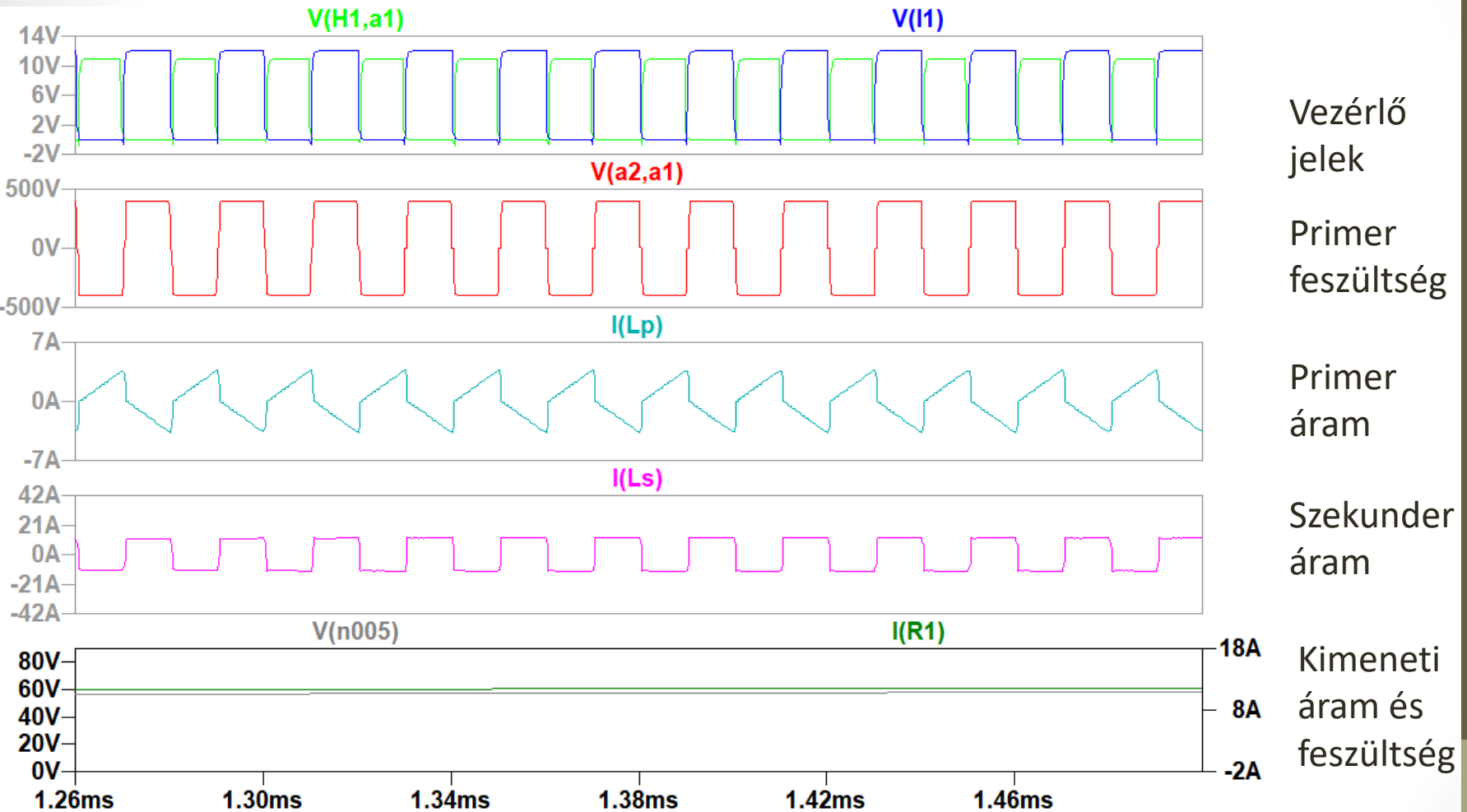
Kitöltési tényező:

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{9,5us}{20us} = 0,475$$

Kimeneti feszültség:

$$V_o = 2 \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D = 2 \cdot \frac{1}{6,325} \cdot 400V \cdot 0,475 \cong 60V$$

Jelalakok



Összefoglalás

Topológia	Mágneses kihasználtság	V_{stress}	Teljesítményszint
Flyback	Egy síknegyed	$V_{\text{in}} + nV_{\text{o}}$	< 200W
Forward (együtemű)	Egy síknegyed	$2V_{\text{in}}$	200 – 500W
Forward (kétütemű)	Egy síknegyed	V_{in}	200 – 500W
Félhidas	Két síknegyed	$V_{\text{in}}/2$	200 - 800W
Egészhidas	Két síknegyed	V_{in}	>200W

