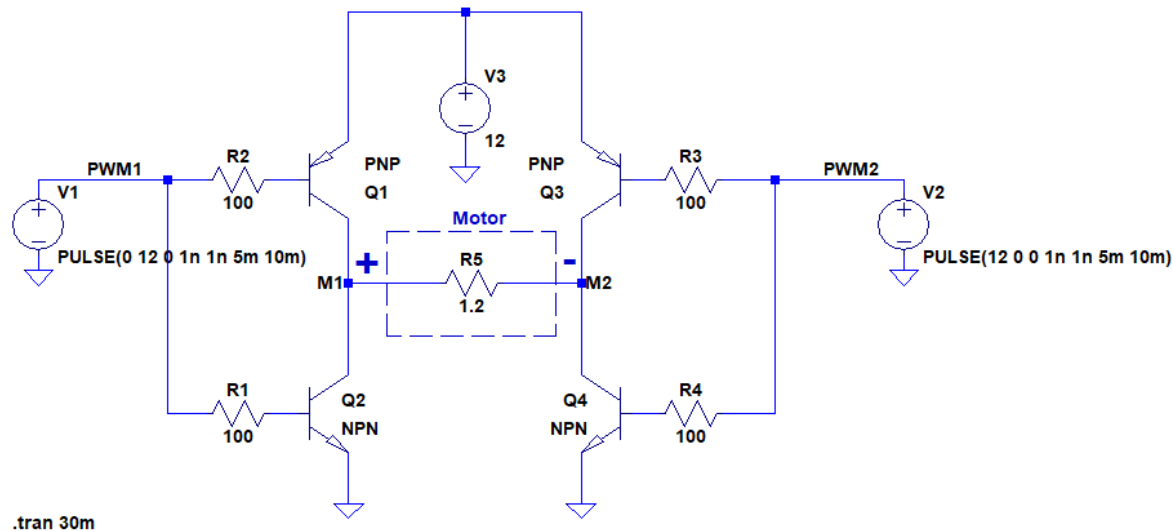


Teljesítményelektronika

Frekvenciaváltók



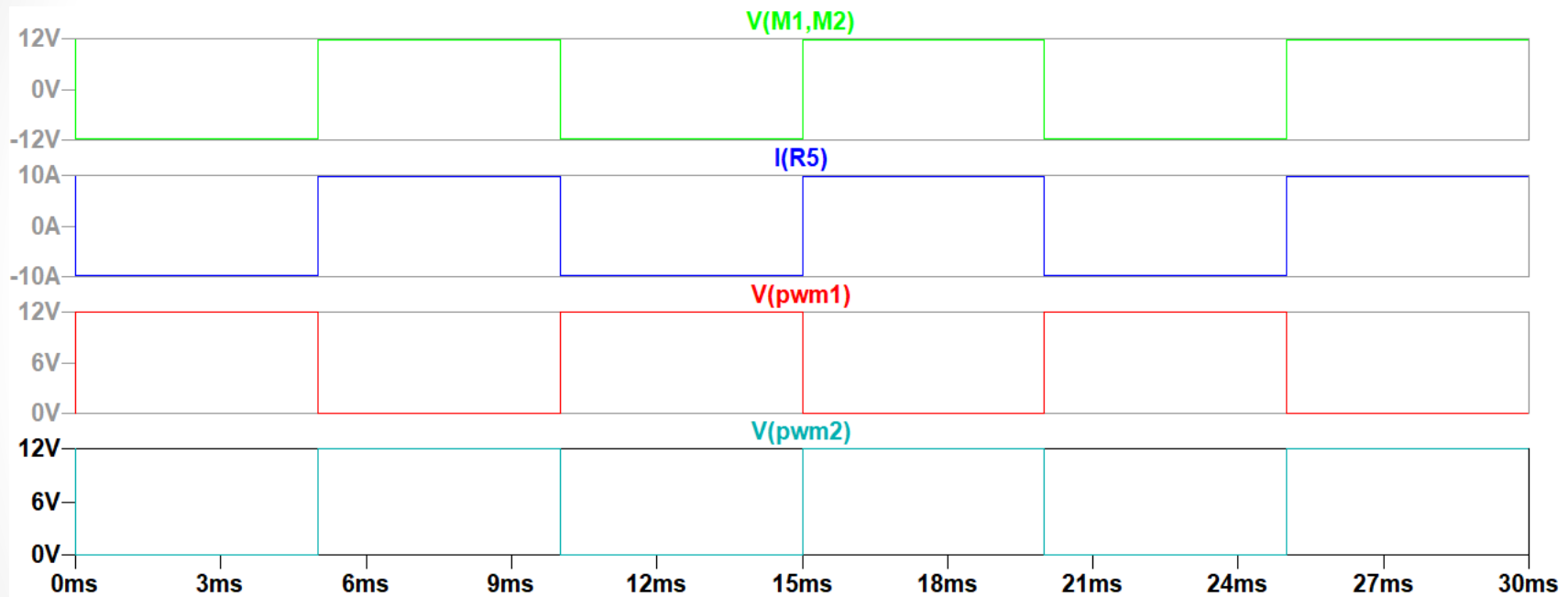
Áttekintés – H híd (BJT-vel) – DC Motorvezérlés forgásirányváltással



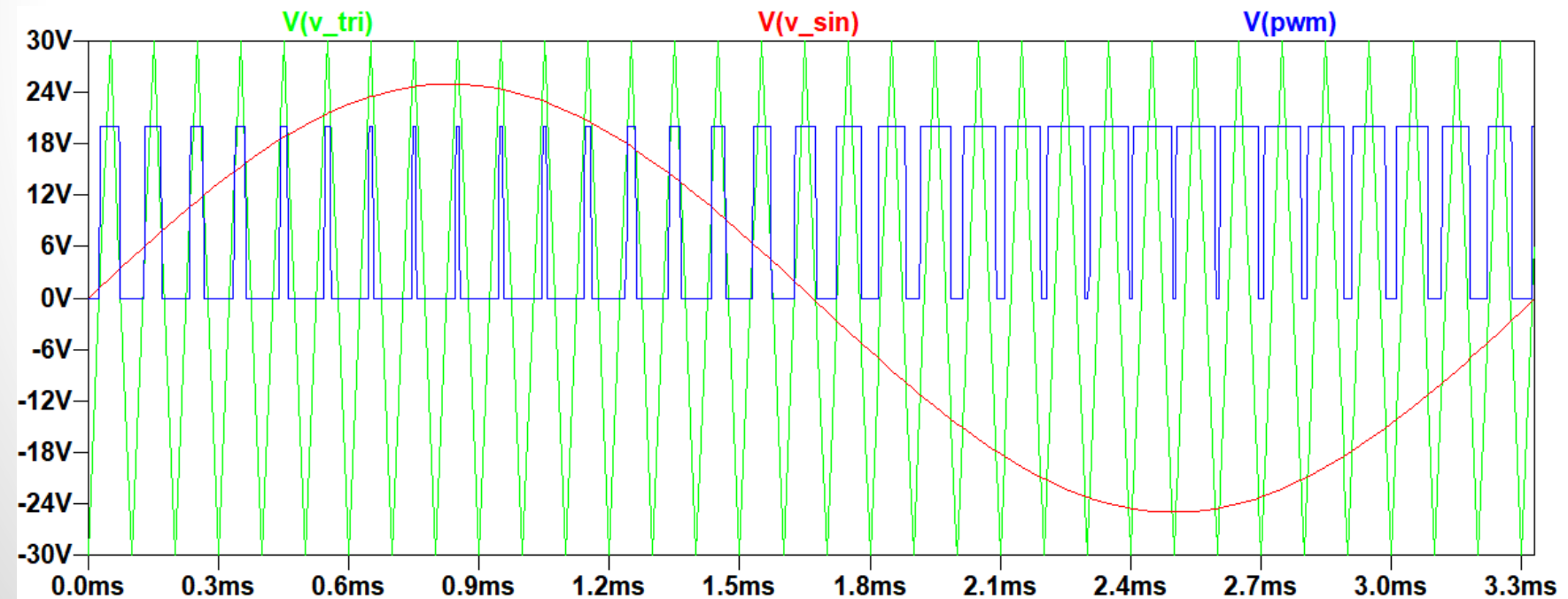
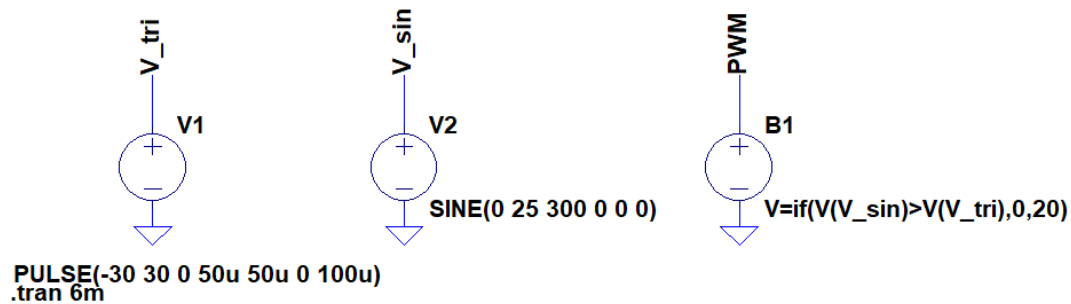
Ideális eset!

Q1	Q2	Q3	Q4	Leírás
1	0	0	1	A motor az óramutató járásával ellentétesen forog.
0	1	1	0	A motor az óramutató járásával megegyezően forog.
1	1	0	0	A motor fékez, lassul.
0	0	1	1	A motor fékez, lassul.

Működés diagram



Ismétlés - PWM (impulzus szélesség moduláció)



Energiakonverzió

- Energia konverzió szempontjából két nagy csoportot különböztetünk meg:



Konverterek

- Alapvetően energiát tud átvinni a bemenetről a kimenetre és fordítva, tehát **kétirányú** az energiatranszfer
- A forrás és a terhelés lehet AC vagy DC jellegű
- Ennek megfelelően megkülönböztetünk AC/DC (egyenirányítók), DC/DC, DC/AC konvertereket



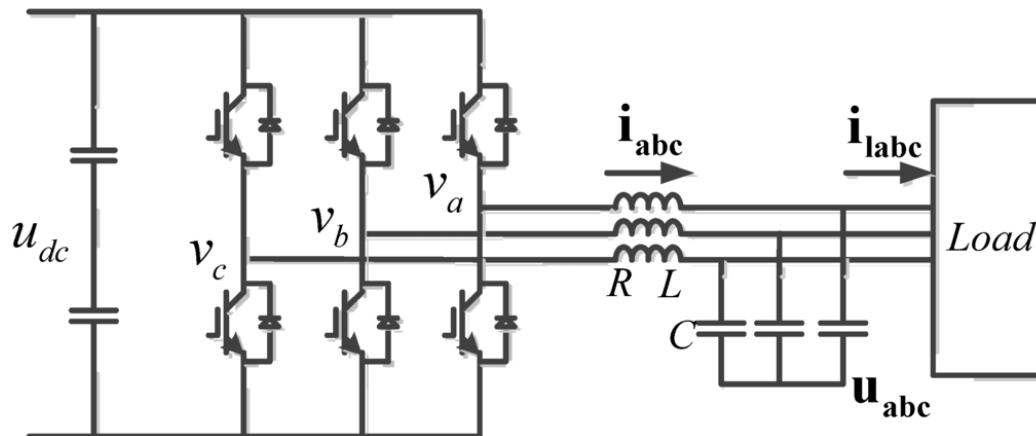
Inverterek

- Az inverter egy speciális energiaátalakító, melyben az energiaáramlás **egyirányú** (a bemenettől a kimenet felé)
- A bemeneti feszültségük DC, a kimeneti feszültségük AC

Mi is különbözteti meg a kettőt?

Vezérlés

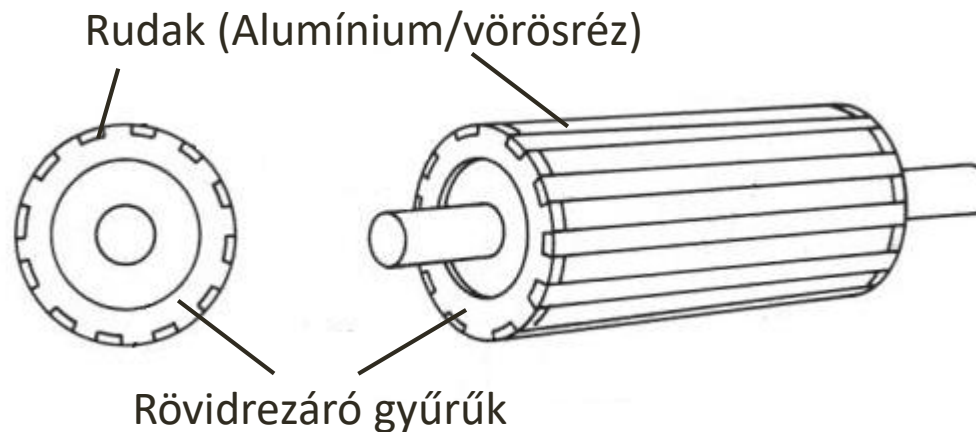
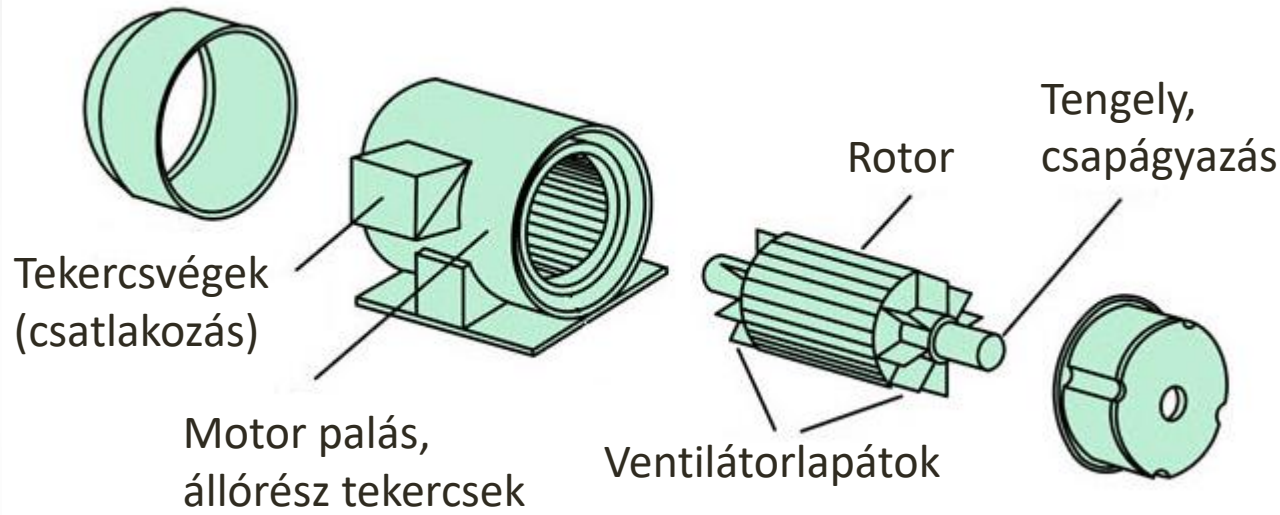
- A különbséget a **vezérlés módja** jelenti!
- Egy inverter is lehet konverter, illetve egy egyenirányító is lehet konverter. Az átalakítás jellegének eldöntésében az elnevezések segítenek: Inverter (DC/AC), egyenirányító (AC/DC).
- Például az ábrán látható elrendezés gyakran feszültség inverterként jelenik meg (VSC – Voltage Source Inverter):
 - Ha az energiaátvitel rögzített (egyirányú) (AC/DC), akkor valóban egy feszültséginverterről beszélünk
 - Ha kétirányú (feszültséginverter, vagy pedig vezérelt egyenirányító) akkor konverterről beszélünk. Jó példa erre a villamos járművekben a regeneratív (visszatápláló) fékezés.



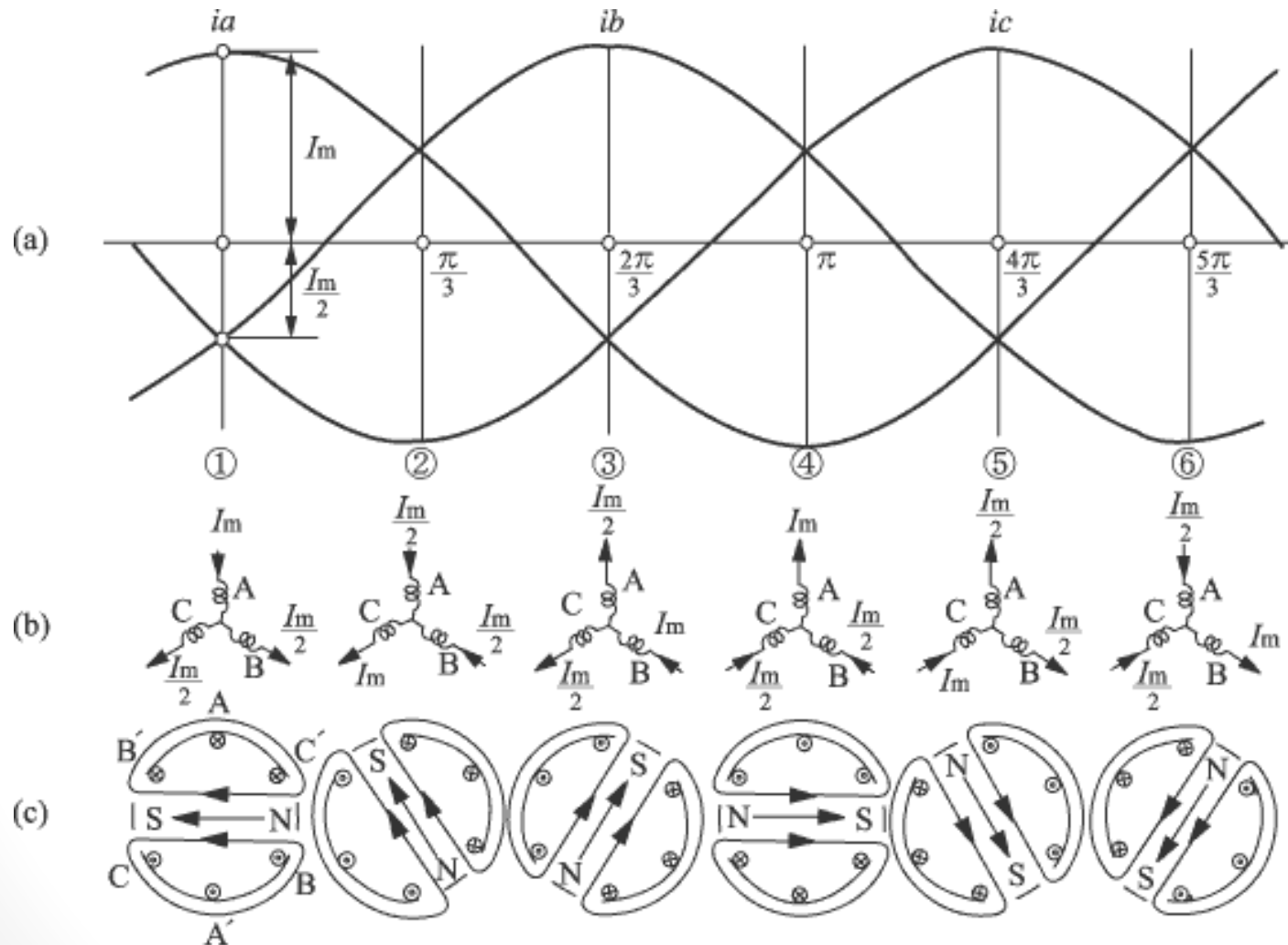
Alapprobléma

- Elektromos járműhajtás során (ipari környezetben) a motorok fordulatszám szabályozása elengedhetetlen művelet
- Járműhajtás esetén a hatásfok rendkívül fontos, így a lehető legjobb hatásfokú megoldást célszerű alkalmazni
- A frekvenciaváltók szükségességét egy konkrét (legegyszerűbb) példán keresztül fogjuk áttekinteni: Aszinkron motor
- Az aszinkron motor mind az iparban, mint a járműhajtásban közkedvelt:
 - Egyszerű felépítés
 - Olcsó
 - Tömegtermelésre alkalmas (lásd Tesla Model S)
 - Megbízható (meghibásodásra nem hajlamos)
 - Szélsőséges helyeken, és üzemi körülmények között is működőképes

Aszinkron motorok szerkezeti felépítése (rövidrezárt forgórészű)



Háromfázisú aszinkron motorok működése



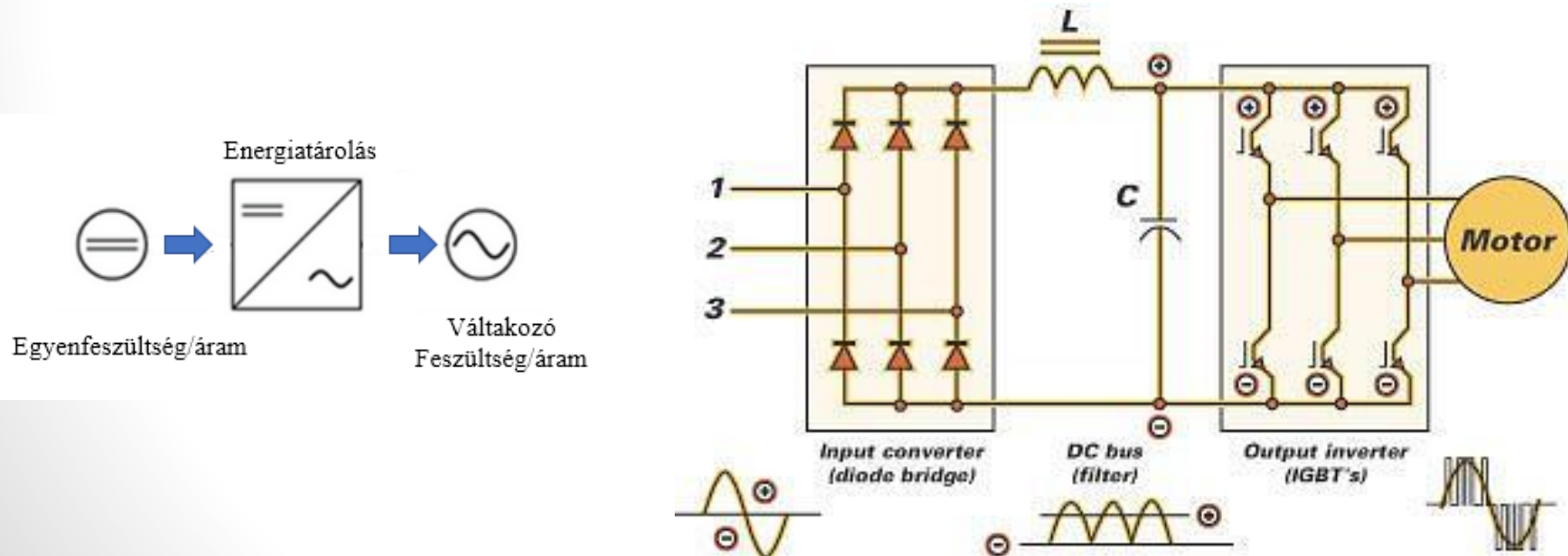
Aszinkron motor fordulatszám szabályozási lehetőségei

$$n_m = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

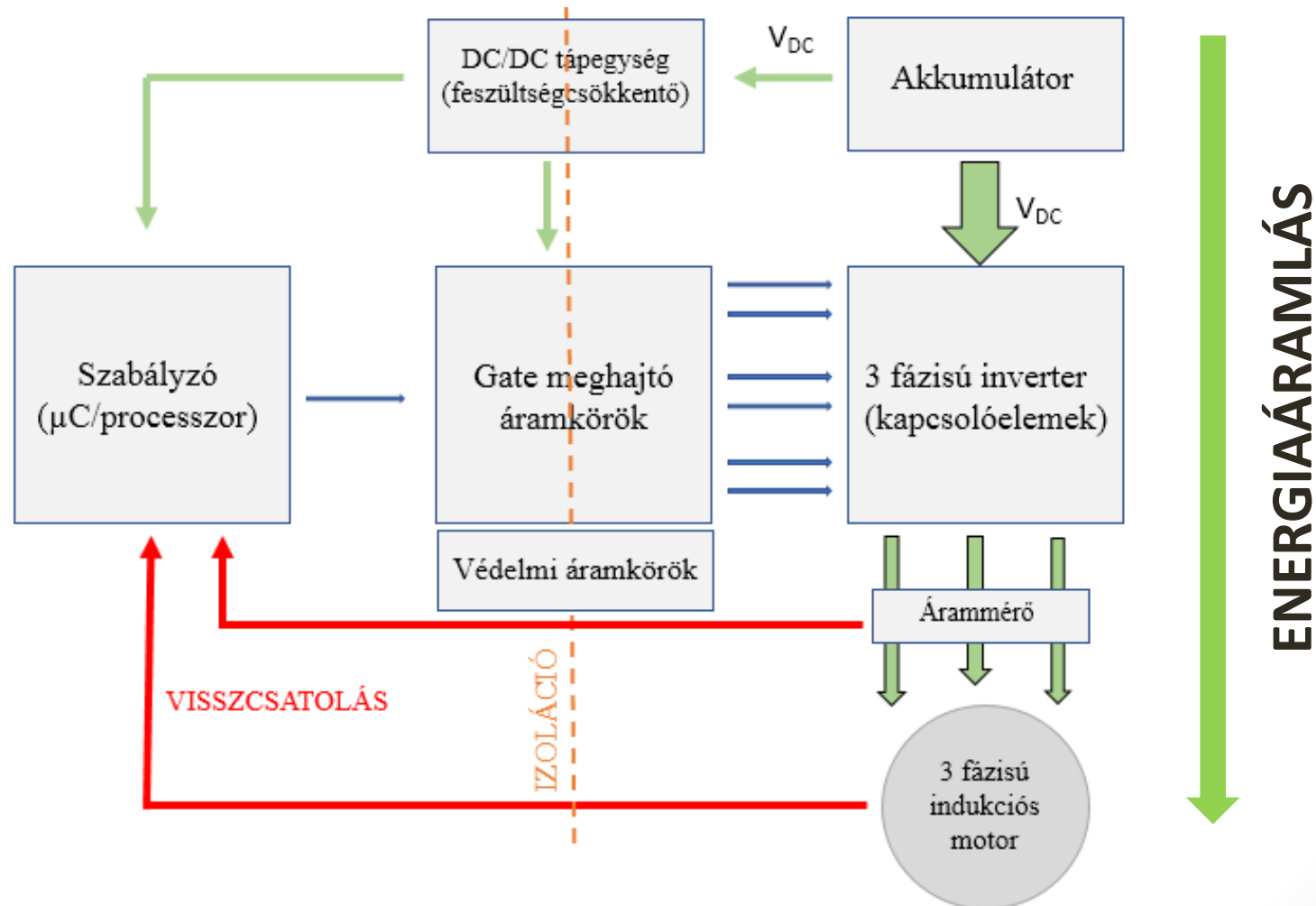
- A képletből látszik, hogy három módon lehetséges a fordulatszám változtatása:
 - Póluspárok számának változtatásával
 - Szlip változtatásával
 - A frekvencia változtatásával
- A póluspár szám több tekercselést igényel és csak diszkrét(véges számú) átkapcsolás lehetséges (pl.: Dahlander). Segítségével folytonos szabályzás nem érhető el.
- A szlip változtatása esetén a névlegesnél csak kisebb fordulatszám érhető el. Nagy szlip esetén nyomatékingadozás (hatásfokcsökkenés) lép fel. Jellemzően 20-30%-os fordulatszám-csökkentésig használatos.

Frekvenciaváltók általános tulajdonságai

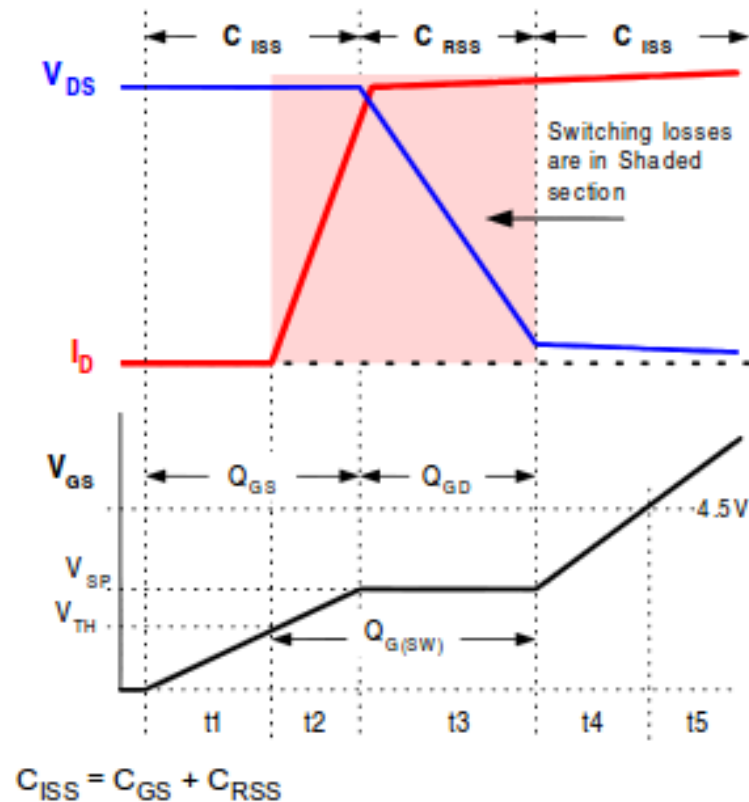
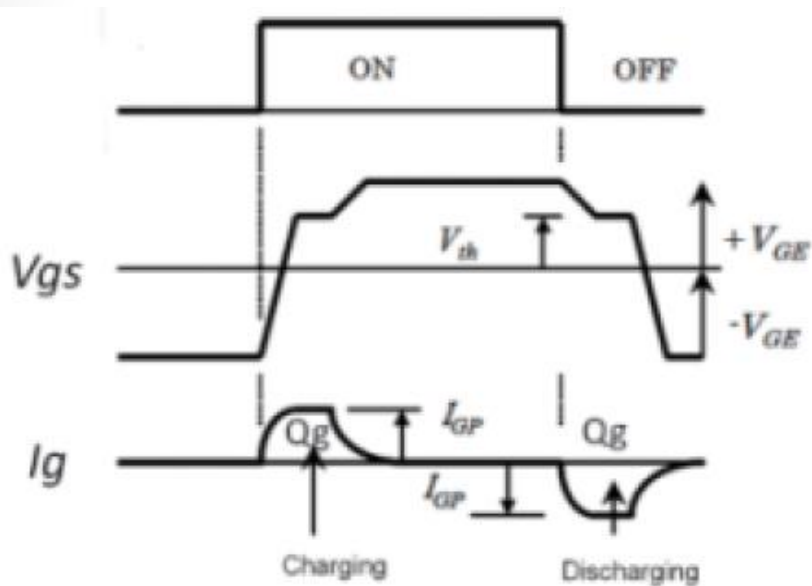
- A fordulatszám szabályzás leghatékonyabb módja
- Ez a módszer a névleges fordulathoz kisebb és nagyobb fordulatot is lehetővé tesz, fokozatosan (a legkisebb veszteség mellett)
- Léteznek erre specializált integrált vezérlő áramkörök, melyek a szabályzó egységet is tartalmazzák
- Az energiaáramlás egyirányú



Frekvenciaváltók általános felépítése (blokkvázlat)



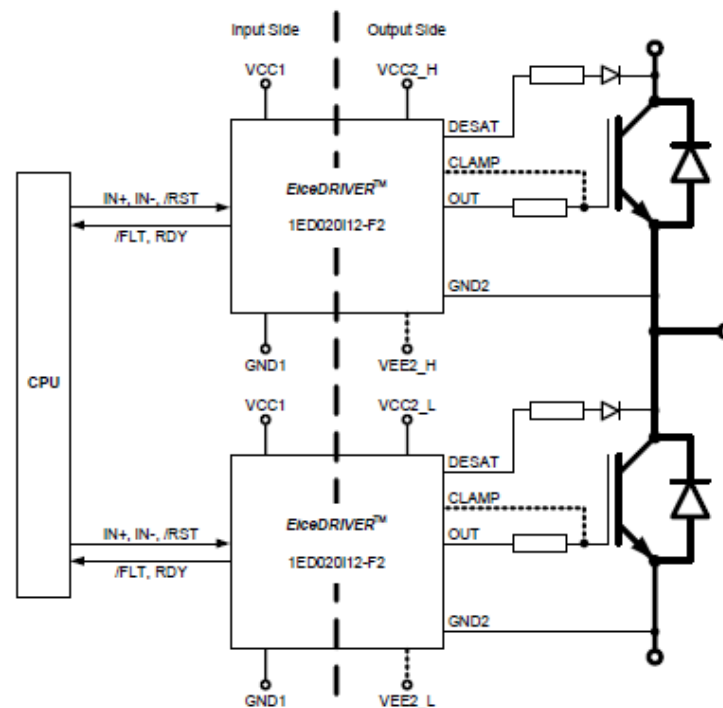
Félvezetők (MOSFET, IGBT) kapcsolási jellege



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

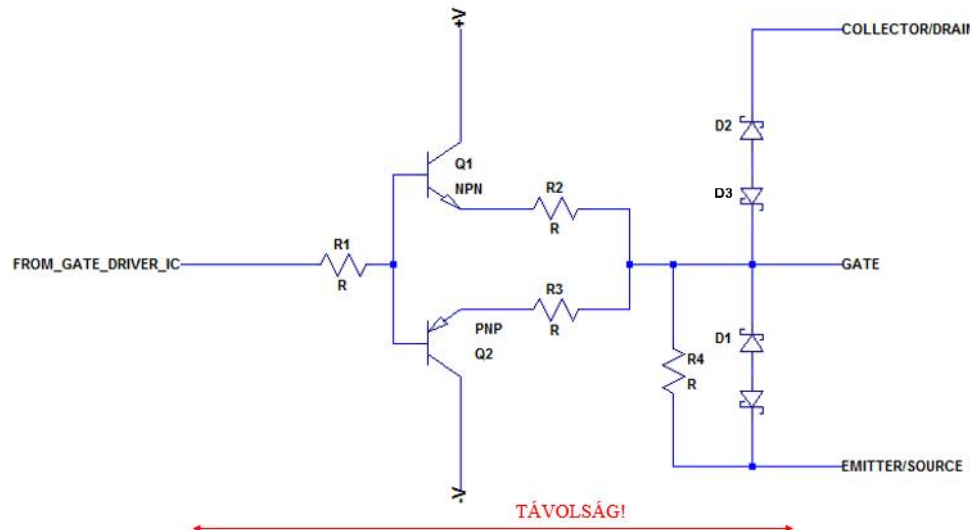
Gate meghajtó áramkörök feladatai

- 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
- Léteznek egy félvezetőt illetve félhidat meghajtó kivitelben is
- 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.)



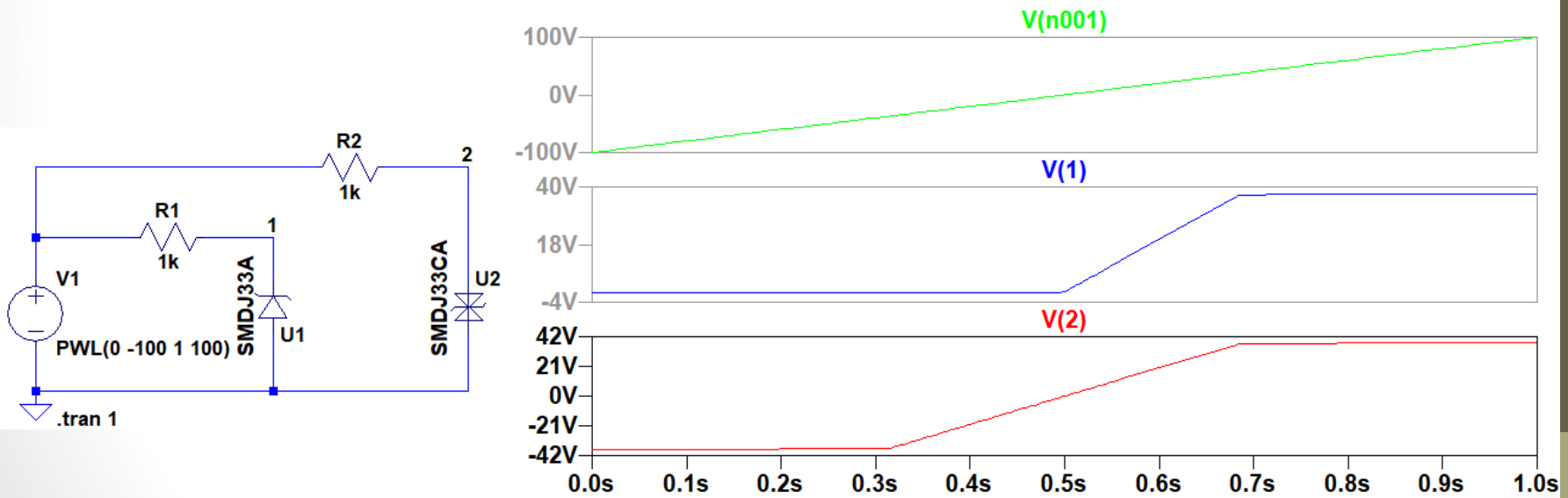
Gate meghajtó áramkör általános felépítése

- A kapcsolási tulajdonságok javítása érdekében általában a be és kikapcsolást különválasztják, ennek több gyakorlati haszna is van (Totem-pole (Q1,Q4)):
 - A megható tranzisztorokon, illetve gate ellenállásokon (R2, R3) egyenként kisebb a disszipáció
 - A kikapcsolás negatív feszültséggel gyorsítható
- Lehúzó ellenállás (R4) (esetleg üzemzavar esetén a gate potenciál nem „lebeg”)
- Szupresszor diódák (D1) (V_{GS}/V_{GE} feszültség limitálása)
- Active Miller Clamping (D2, D3)



TVS (szupresszor diódák működése)

Part Number (Uni)	Part Number (Bi)	Marking		Reverse Stand off Voltage V_R (Volts)	Breakdown Voltage V_{BR} (Volts) @ I_T		Test Current I_T (mA)	Maximum Clamping Voltage V_C @ I_{pp} (V)	Maximum Peak Pulse Current I_{pp} (A)	Maximum Reverse Leakage I_R @ V_R (μA)	Agency Approval
		UNI	BI		MIN	MAX					
5.0SMDJ33A	5.0SMDJ33CA	5PFM	5BFM	33.0	36.70	40.60	1	53.3	93.90	5	X

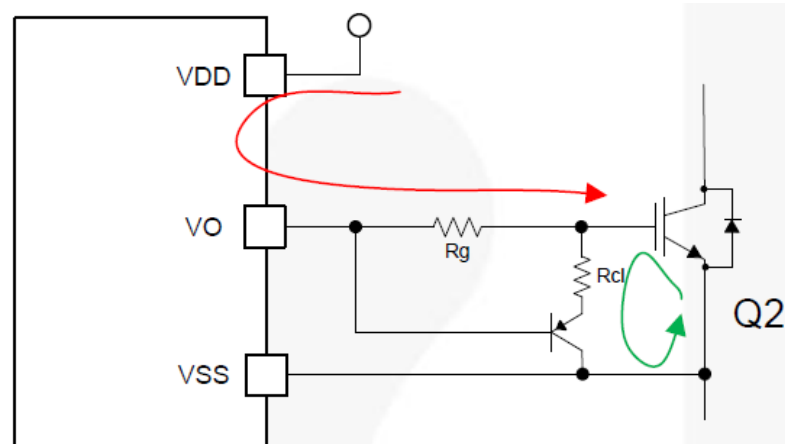
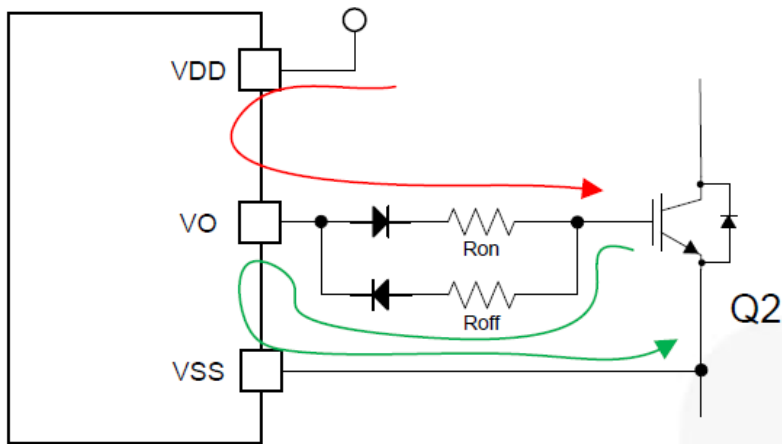
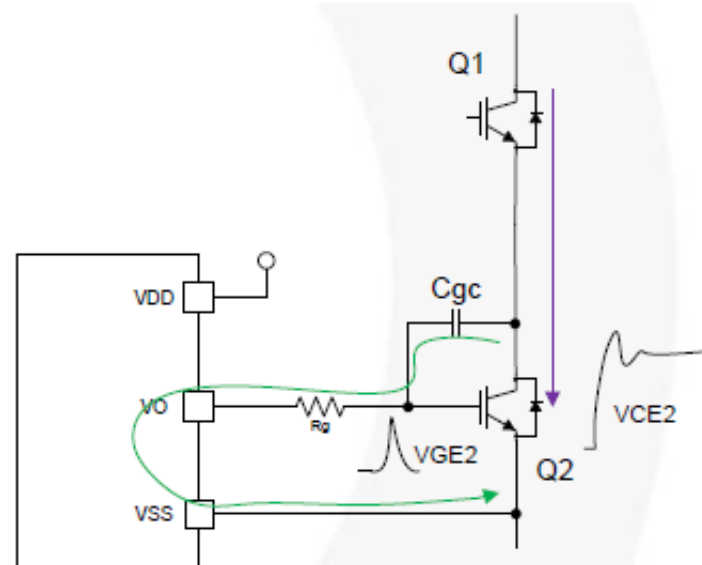


U1 egyirányú, U2 kétirányú szupresszordiódák.

Active Miller clamping

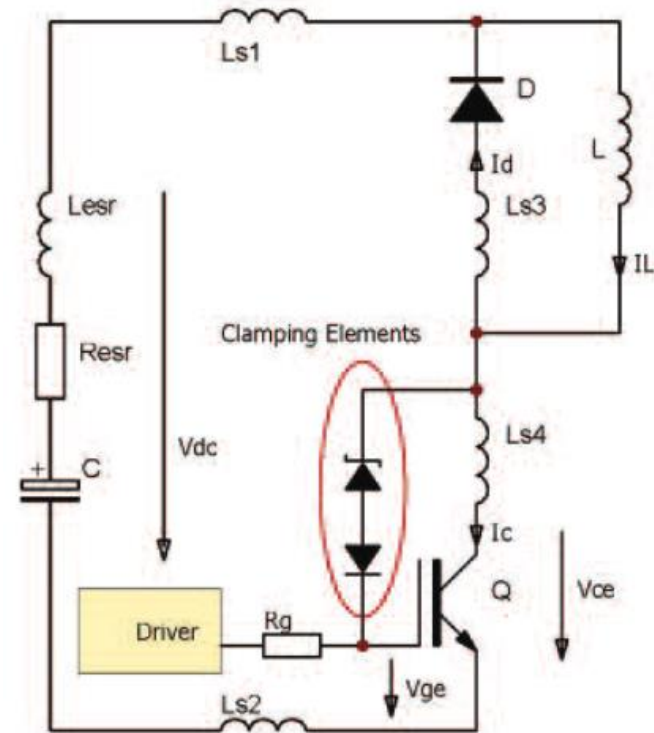
- Ha Q1-et be és Q2-t kikapcsoljuk, Q2-n a feszültség valamely du/dt meredekséggel emelkedik
- A nagy du/dt miatt C_{gc} -n és R_G -n áram indul meg, mely feszültségesét okoz a GE-ponton
- Ennek következtében Q2 ismét kinyit, hídág rövidzárat előidézve

Megoldási lehetőségek:



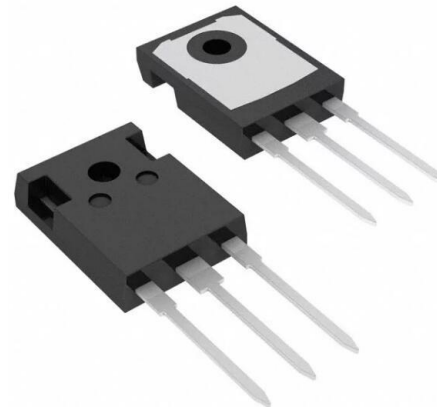
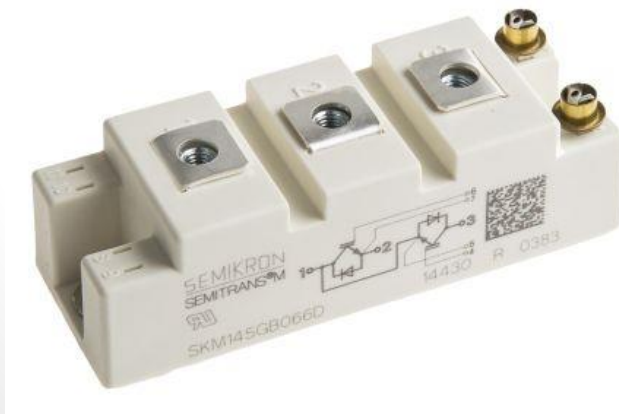
Advanced Active Miller clamping

- A parazitainduktivitások miatt a du/dt értéke nagyon nagy lehet, ezért a névlegesnél nagyobb feszültség is kialakulhat
- Ez a félvezetőt tönkreteszi
- Ez a nemkívánatos feszültséget leggyakrabban egy szupresszor dióda (TVS) és dióda kettőssel korlátozzák:
- Egy előre beállított feszültségérték túllépése esetén az IGBT gate pontja nyitófeszültséget kap, bekapcsolva az IGBT-t. Ez egy önszabályozó folyamatot gerjeszt. A kívánt feszültségértéket szupresszor diódával lehet beállítani.

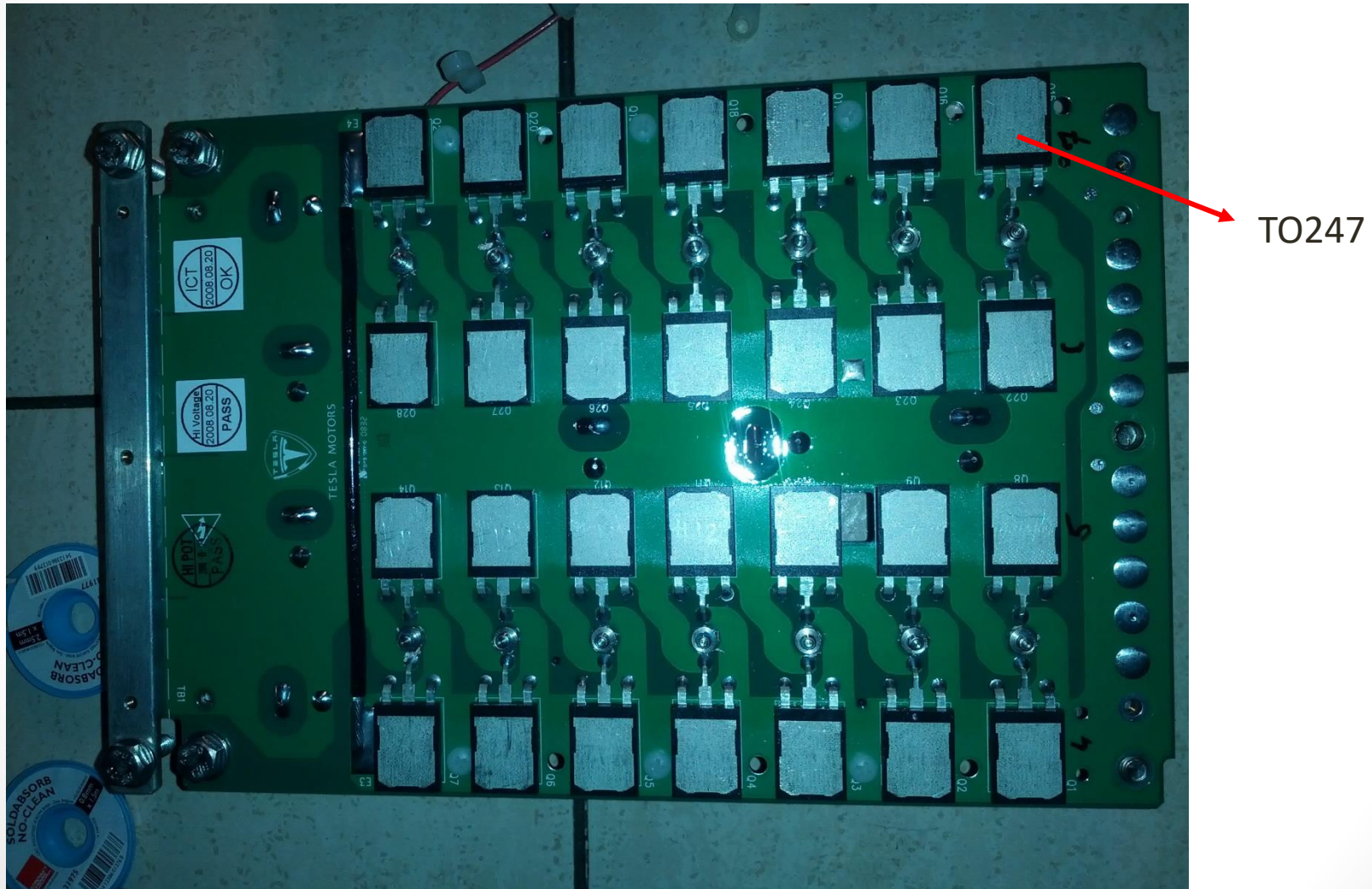


Diszkrét félvezetők – moduláris félvezetők

- A félhidak félvezetőinek fizikai kialakítására két megoldás létezik:
 - Félvezető modulok
 - Diszkrét félvezetők (nagyon gyakran több párhuzamosítva)
- Mikor melyiket válasszuk?
- Erre nincs egyértelmű válasz, a körülmények határozzák meg:
 - Fejlesztési körülmények (testreszabhatóság, modularitás)
 - Hűtési lehetőségek
 - Összetettség
 - Ár (a modulok drágábbak, mint a diszkrét félvezetők)
- Ha a rugalmasság és a testreszabhatóság fontos, akkor jellemzően diszkrét félvezetőket alkalmaznak, míg modularitás esetén inkább modulokat

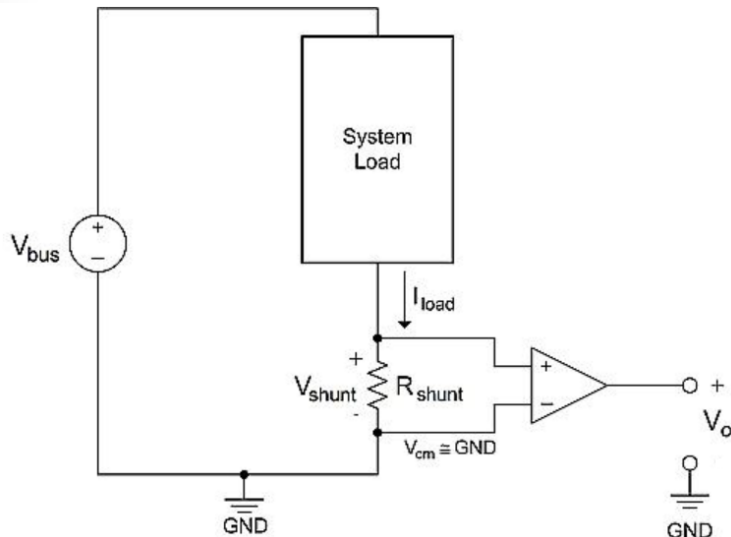


Model S (diszkrét IGBT-k)



Villamos mennyiségek mérése

Ellenállásos



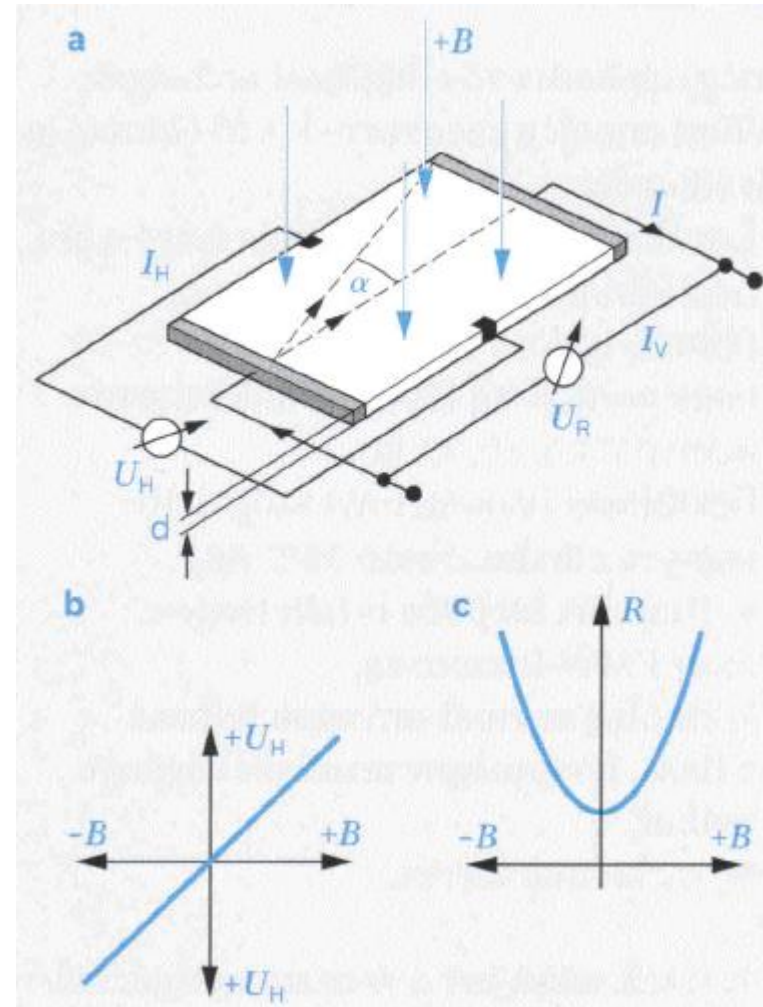
$$R_{sönt} < 1\Omega$$

- Ennél a módszernél az áramkört meg kell szakítani és jellemzően egy nagyon kis értékű ellenállást kell beiktatni
- A kis ellenálláson kis feszültség esik, így a hasznos jel nagyságát nem csökkenti, illetve az Ohm törvényből következik, hogy kisebb is lesz a sönt ellenálláson a veszteség
- A gyakorlatban a mért feszültség műveleti erősítővel (vagy erre specializált mérőerősítővel) kerül további feldolgozásra, vagy maga a vezérlő egység dolgozza fel

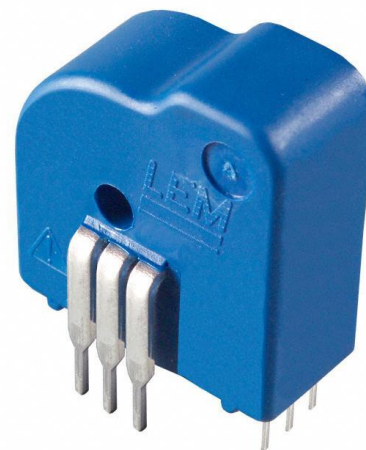
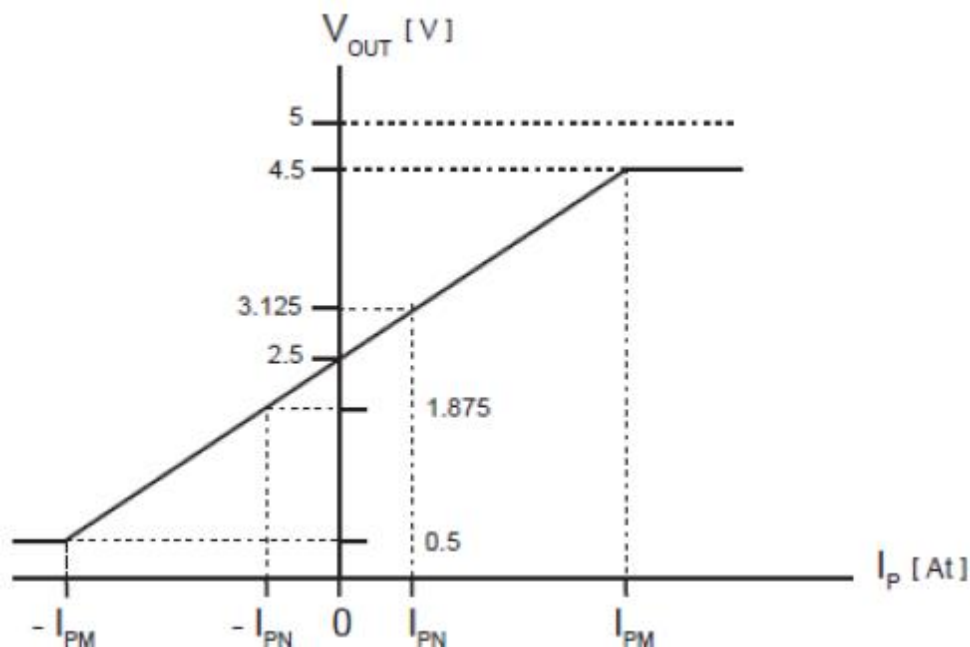
Villamos mennyiségek mérése

Hall szenzor

- Gyakran van szükség érintkezés mentes árammérésre
- Ennek legelterjedtebb módja a Hall-elemes szenzor
- Nevét a jelenség felfedezőjéről kapta (Edwin Hall 1879)
- Működése: Amennyiben egy ilyen áramvezető lapkát B mágneses térbe helyezünk, és rajta I áramot folytatunk át, a lapka két vége között Hall feszültséget mérhetünk
- Tehát a mért árammal arányos U_H (Hall) feszültséget ad ki a szenzor, mely áram érzékelésre (is) alkalmas (b. ábra)



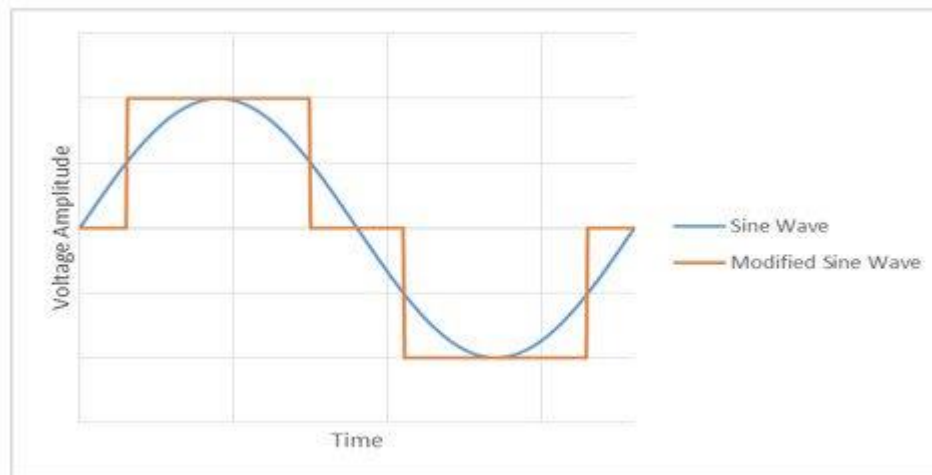
Hall szenzorok a gyakorlatban



Number of primary turns	Primary nominal current rms I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
1	± 15	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	6 5 4 OUT IN 1 2 3
2	± 7.5	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	6 5 4 OUT IN 1 2 3
3	± 5	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	6 5 4 OUT IN 1 2 3

Inverterek kimeneti jelalakja, THD

- Az optimális esetben az inverterek kimenete szinuszos jellegű: A gyakorlatban ez nem mindig valósul meg. Megkülönböztetünk:
 - Szinuszos
 - Módosított szinusz
 - Négyszögjel kimenetű invertereket
- A THD (Total Harmonic Distortion) megmutatja, hogy alapjel mennyi nemkívánatos felharmonikust tartalmaz (Fourier sor)
- A nagyon jó inverterek, melyek kimenete megközelíti a szinuszt, 3-5%-os THD-vel, míg a módosított szinusz jellemzően 20-25%



Ajánlott irodalom

- <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-converter-and-inverter>
- <http://www.frequencyinverter.org/what-is-frequency-converter-how-it-works-631601.html>
- <https://www.quora.com/What-is-the-purpose-of-a-MOSFET-gate-driver>
- <http://www.ti.com/lit/ml/slua618/slua618.pdf>
- <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-5073.pdf>
- <https://www.pntpower.com/on-tesla-electric-vehicles-semiconductor-packaging/>
- <http://www.oztekcorp.com/blog/bid/100757/What-is-a-Power-Inverter>