

Teljesítményelektronikai áramkörök tervezése és szimulációja Félvezető kapcsolóelemek

Napjaink félvezető kapcsolóelemei

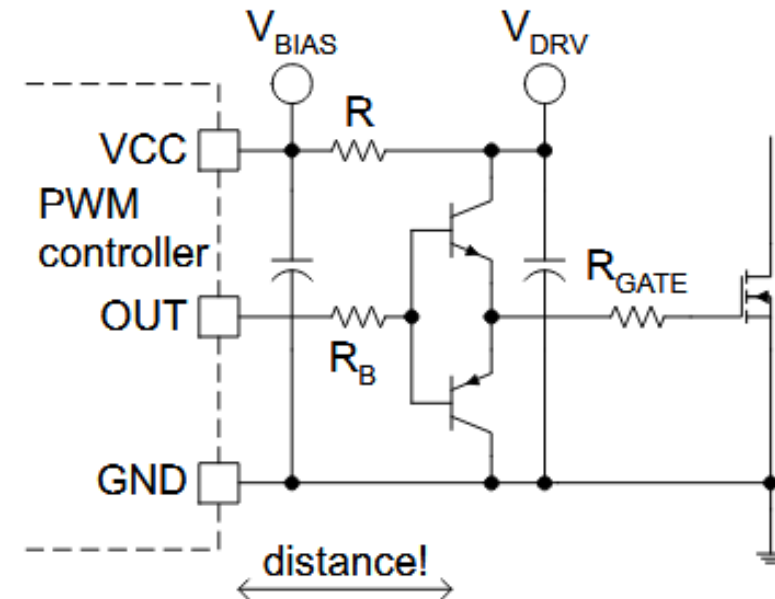
- Kapcsolóüzemben jellemzőn MOSFET és IGBT kapcsolóelemeket használunk
- Bipoláris tranzisztor használata Totem-pole meghajtóáramkörök esetén előnyös (Balogh László)

MOSFET-et előnybe részesítjük:

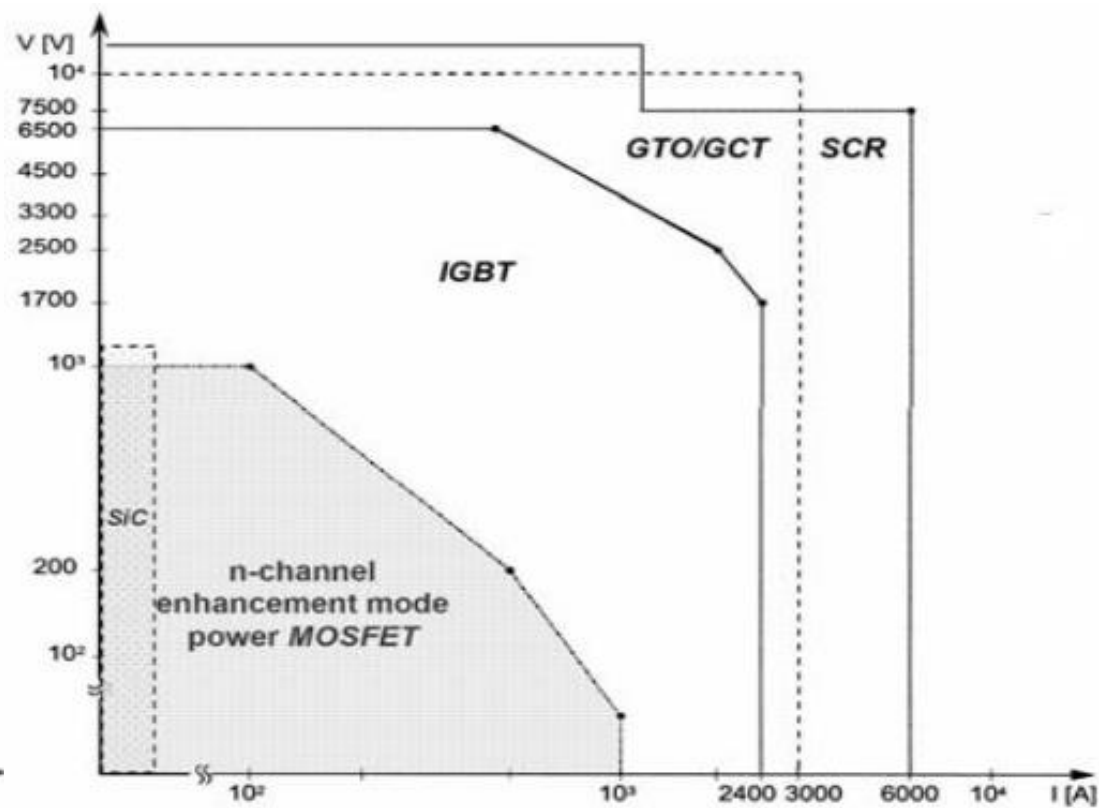
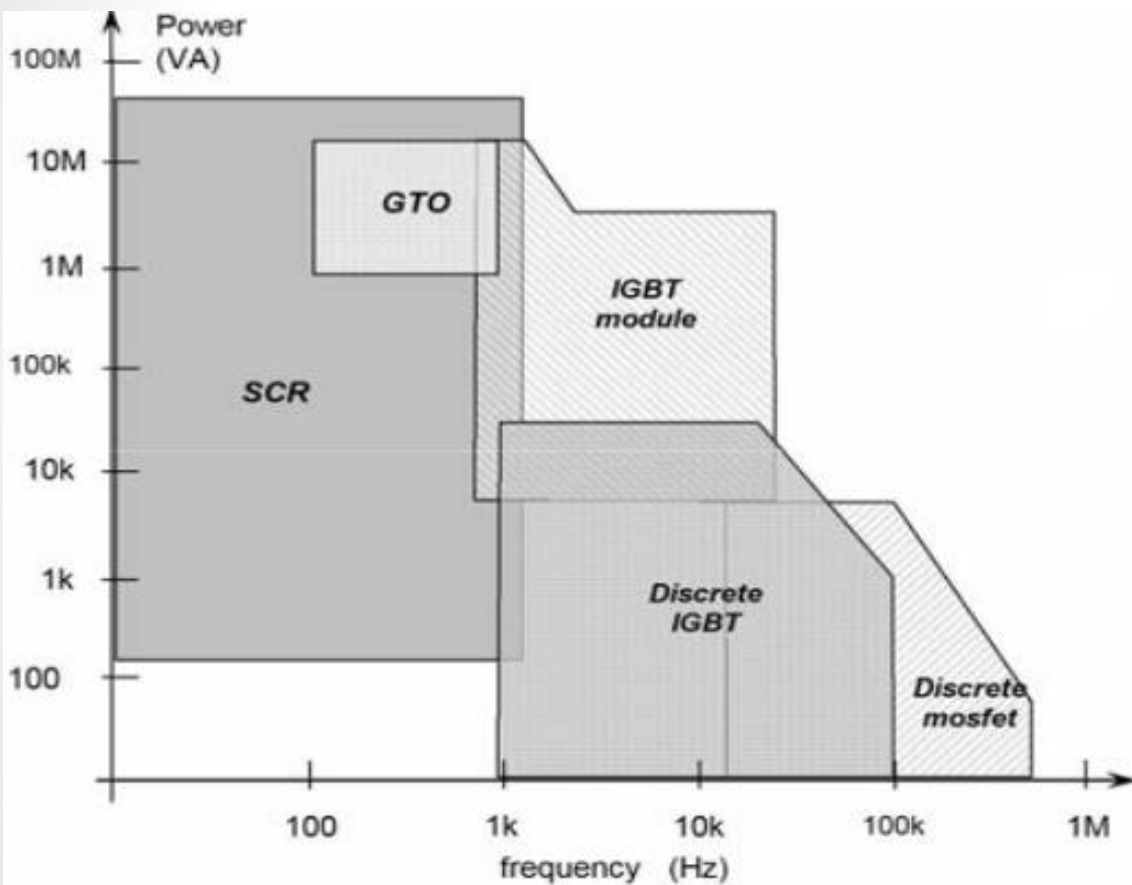
- Kisebb feszültség esetén ($<250\text{V}$)
- Magasabb kapcsolási frekvencia esetén ($>200\text{kHz}$)
- Széles terhelési tartományban
- Alacsonyabb kapcsolt teljesítmény esetén ($<1000\text{W}$)

Az IGBT-t előnybe részesítjük:

- Alacsonyabb frekvenciák esetén ($<20\text{kHz}$)
- Nagyfeszültségű alkalmazások esetén ($>1000\text{V}$)
- Nagyteljesítményű alkalmazások esetén ($>5\text{kW}$)
- Magasabb tokhőmérséklet ($>100^\circ\text{C}$) megengedett



Kapcsolóelemek összehasonlítása

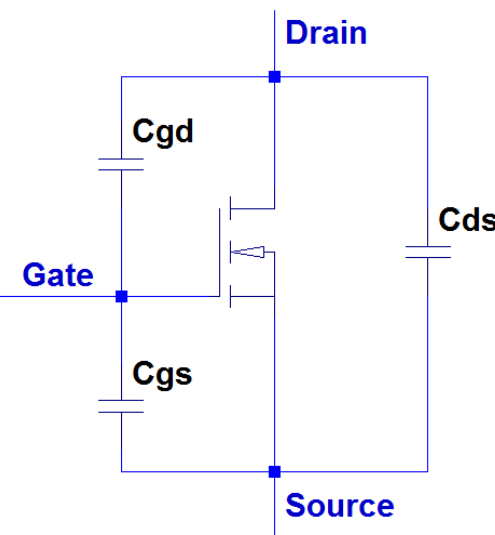


Félvezető kapcsolóelemek jellemző tulajdonságai

1. **V_{DS} (V_{CE}) feszültségérték:** A félvezetőre kapcsolható maximális feszültségérték. Fontos, hogy ezt semmikép nem léphetjük túl, mivel az a félvezető tönkremeneteléhez vezet. Ennek főleg induktív terhelés esetén van nagy jelentősége, ugyanis ilyenkor a névleges feszültség többszöröse is megjelenhet a félvezetőn. Ez tehát mindenképp káros. Ennek elhárítása érdekében snubber áramköröket, active clamp áramköröket, illetve adott esetben lágykapcsolást alkalmazhatunk.
2. **V_{GStH} (V_{GEth}) küszöbfeszültség:** Ez a félvezetők esetén egy olyan küszöbérték, ahol a félvezető kvázi bekapcsol.
3. **V_{GS} (V_{GE}) feszültségérték:** Ez szinte minden félvezető kapcsolóelem esetén egy jellemzően $\pm 10\text{--}30\text{V}$ -ig terjedő feszültségérték. Ahhoz, hogy az félvezető eszközünket be tudjuk kapcsolni, a V_{GStH} feszültségnél nagyobb érték szükséges. Célszerű az adatlap által maximalizált V_{GS} (V_{GE}) érték $\sim 80\%$ -val működtetni a félvezetőt, a helyes működés érdekében. A kikapcsolás negatív V_{GS} (V_{GE}) feszültséggel gyorsítható (töltések eliminálása).

Félvezető kapcsolóelemek jellemző tulajdonságai

4. **I_D áramérték:** A félvezetőre kapcsolható maximális áramérték. Értéke nagyban függ a hőmérséklettől (jellemzően növekvő hőmérsékletre csökken az érték). Meg kell különböztetni folyamatos és impulzusszerű áramterhelést. Az impulzusszerű megengedett áramérték szinte mindig nagyobb, mint a folyamatos. Az adatlapon található SOA (Safe Operating Area - Biztonságos működési tartomány) grafikon a különböző bekapcsolási periódusidőkre megadja a maximális I_D és V_{GS} (V_{GE}) értékeket. Ennek túllépése az eszköz tönkremenetelét okozza.
5. **R_{DSon} :** Ez egy tipikusan MOSFET-kre jellemző érték. A DS csatorna ellenállását adja meg. Értéke a vezetési veszteség számítása során mérvadó. Választás során célszerű minél kisebb értéket választani, ugyanis a vezetési veszteség az áram négyzetes értékével nő. Jellemző értékük néhány $m\Omega$ - a néhány Ω -os tartományba esik. Mivel jellegre pozitív tékájú (növekvő hőmérsékletre nagyobb ellenállással rendelkezik), így jól párhuzamosíthatók.
6. **Kapacitások (C_x):** Ezek jellemzően három nagy csoportra oszthatók: Bemeneti kapacitás (C_{iss}), transzfer (Miller kapacitás) (C_{rss}), Kimeneti kapacitás (C_{oss}). Az „ss” a small signal, vagyis kisjelű viselkedésre utal. A kapacitások hőmérséklet függetlenek.

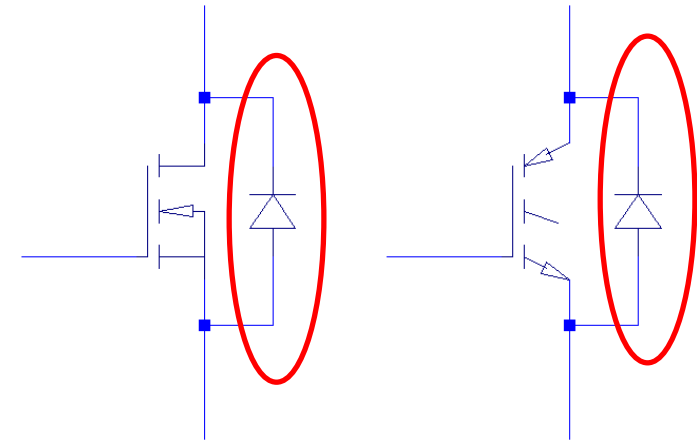


Félvezető kapcsolóelemek jellemző tulajdonságai

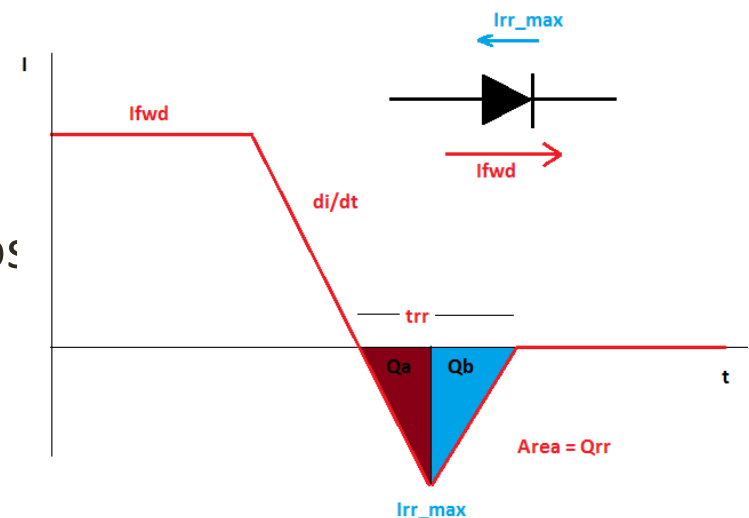
7. **Töltések (Q_x):** Ezen értékek közül a legfontosabb a Gate charge (egyes adatlapokban Q_{sw} -el jelölik). Értéke minél kisebb, annál gyorsabb kapcsolás érhető el (nagyobb gate charge érték esetén a gate áram növelésével ugyan ezt érhetjük el, de a nagyobb áram nagyobb veszteséget generál a gate ellenálláson).
8. **Kapcsolási energia (E_{on} , E_{off}):** A be és kikapcsoláshoz szükséges energiát adják meg. Ebből az értékből pl. IGBT-k esetén jó közelítést lehet kapni a keletkező veszteségekre (az adatlapon megadott értékhez kell normalizálni).
9. **Hőmérsékleti adatok (T_x):** Itt találjuk a félvezető által maximálisan elviselhető hőmérsékleti értéket (P_{tot}), a félvezető kristály és a tok közötti hőellenállás értéket (R_{THJC}), a tok és a környezet közötti hőellenállás értéket (R_{THJA}) és a működési hőmérsékleti tartományt. Utóbbi jellemzően attól, függ, hogy milyen célra készül az adott félvezető (Industrial, Automotive, Military stb.)
10. **Kapcsolási idők (t_r , t_f):** A félvezető ki és bekapcsolásához szükséges idők. A gate ellenállás méretezése során mérvadók az értékek.

Félvezető kapcsolóelemek jellemző tulajdonságai - Belső (parazita) dióda jellemzői

A legtöbb IGBT és MOSFET rendelkezik belső diódával, mely jellemzően a drain – source (kollektor – emitter) kivezetések között található. Polaritását tekintve normál működés esetén záróirányba előfeszített.



- 11. V_F feszültség:** A dióda nyitóirányú feszültségesése. Jellemzően néhány V értékű feszültség.
- 12. t_{rr} :** A belső dióda nyitóirányú szabaddáválási ideje. Ez az idő a vezetésből zárásba való átmenetet jellemzi, idő tekintetében, amíg a feszültségnek megfelelően kialakul a határréteg.
- 13. I_s :** Dióda maximális áramértéke. Ez általában azonos a kapcsolóelem értékeivel (folyamatos, impulzus). Ha mégsem, mindig a kisebbet kell figyelembe venni.



Gyakoribb tranzisztor tokozások



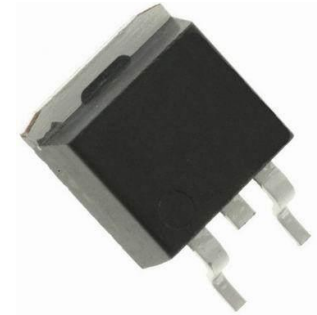
TO3



TO264



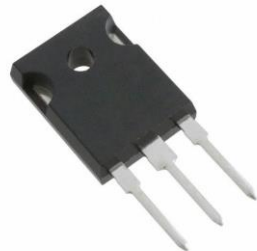
SOT23



TO263



TO220



TO247



TO252

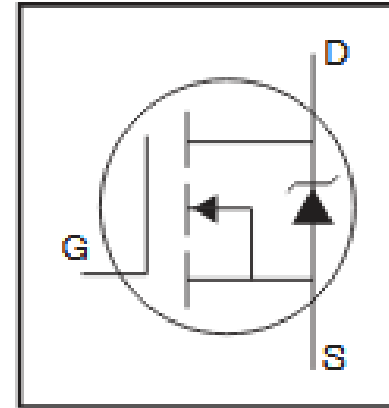
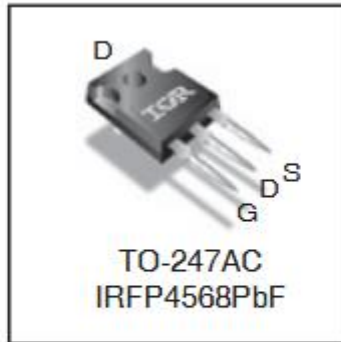


TO92

True hole

Surface mount

IRFP4568PBF adatlap (maximumok)



G	D	S
Gate	Drain	Source

	Symbol	Parameter	Max.	Units
4. {	$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Silicon Limited)	171	A
	$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Silicon Limited)	121	
	I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	684	
	$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Maximum Power Dissipation	517	W
		Linear Derating Factor	3.45	W/°C
3. →	V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
	dv/dt	Peak Diode Recovery ③	18.5	V/ns
9. {	T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
	T_{STG}	Storage Temperature Range		
		Soldering Temperature, for 10 seconds (1.6mm from case)	300	
		Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10lb·in (1.1N·m)	

Termikus és statikus paraméterek

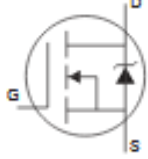
Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case ⑧	—	0.29	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ⑦⑧	—	40	

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	150	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.17	—	V/°C	Reference to 25°C, $I_D = 5mA$ ①
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	4.8	5.9	mΩ	$V_{GS} = 10V, I_D = 103A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	μA	$V_{DS} = 150V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 150V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
R_G	Internal Gate Resistance	—	1.0	—	Ω	

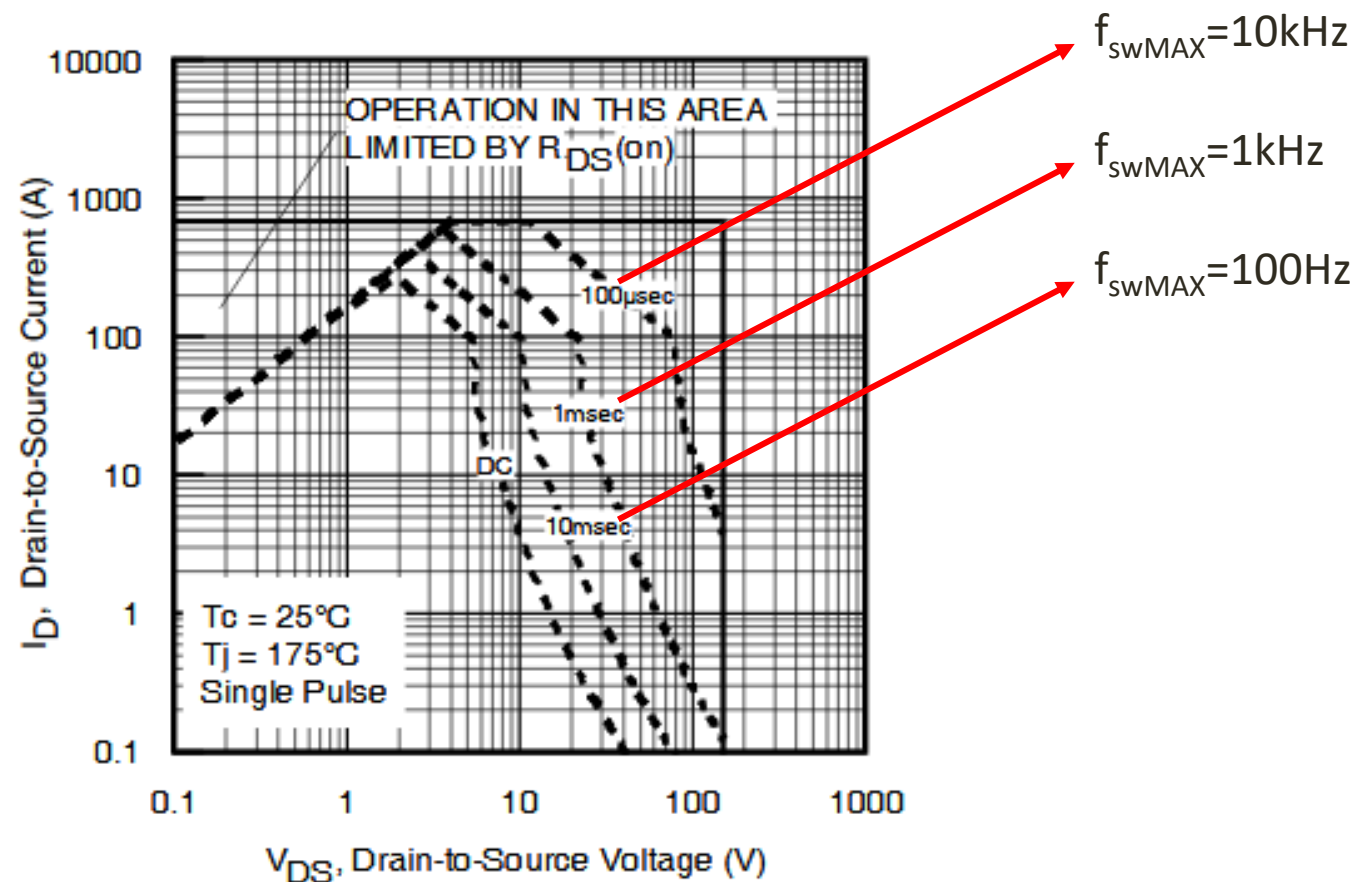
Dinamikus paraméterek

	Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
	g_{fs}	Forward Transconductance	162	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 103A$
7.	Q_g	Total Gate Charge	—	151	227	nC	$I_D = 103A$
	Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	52	—		$V_{DS} = 75V$
	Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	55	—		$V_{GS} = 10V$ ④
	Q_{sync}	Total Gate Charge Sync. ($Q_g - Q_{gd}$)	—	96	—		$I_D = 103A, V_{DS} = 0V, V_{GS} = 10V$ ④
10.	$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	27	—	ns	$V_{DD} = 98V$
	t_r	Rise Time	—	119	—		$I_D = 103A$
	$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	47	—		$R_G = 1.0\Omega$
	t_f	Fall Time	—	84	—		$V_{GS} = 10V$ ④
6.	C_{iss}	Input Capacitance	—	10470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
	C_{oss}	Output Capacitance	—	977	—		$V_{DS} = 50V$
	C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	203	—		$f = 1.0MHz, (See Fig 5)$
	$C_{oss} \text{ eff. (ER)}$	Effective Output Capacitance (Energy Related) ⑥	—	897	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V \text{ to } 120V$ ⑥ (See Fig.11)
	$C_{oss} \text{ eff. (TR)}$	Effective Output Capacitance (Time Related) ⑤	—	1272	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V \text{ to } 120V$ ⑤

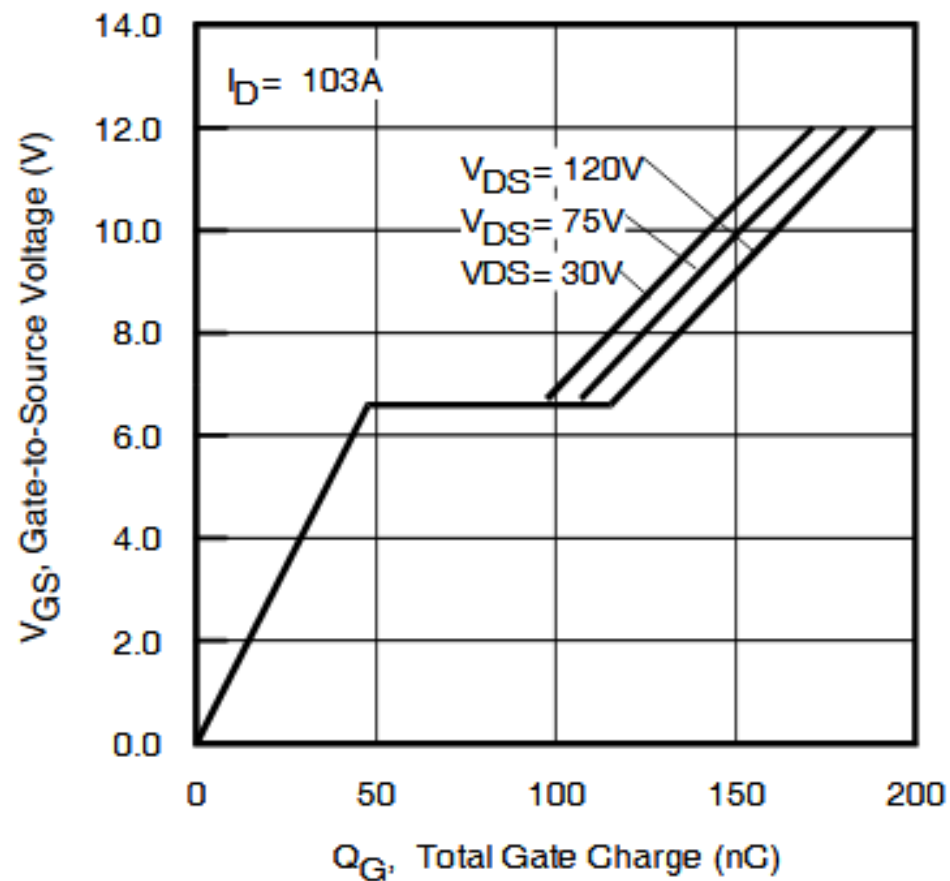
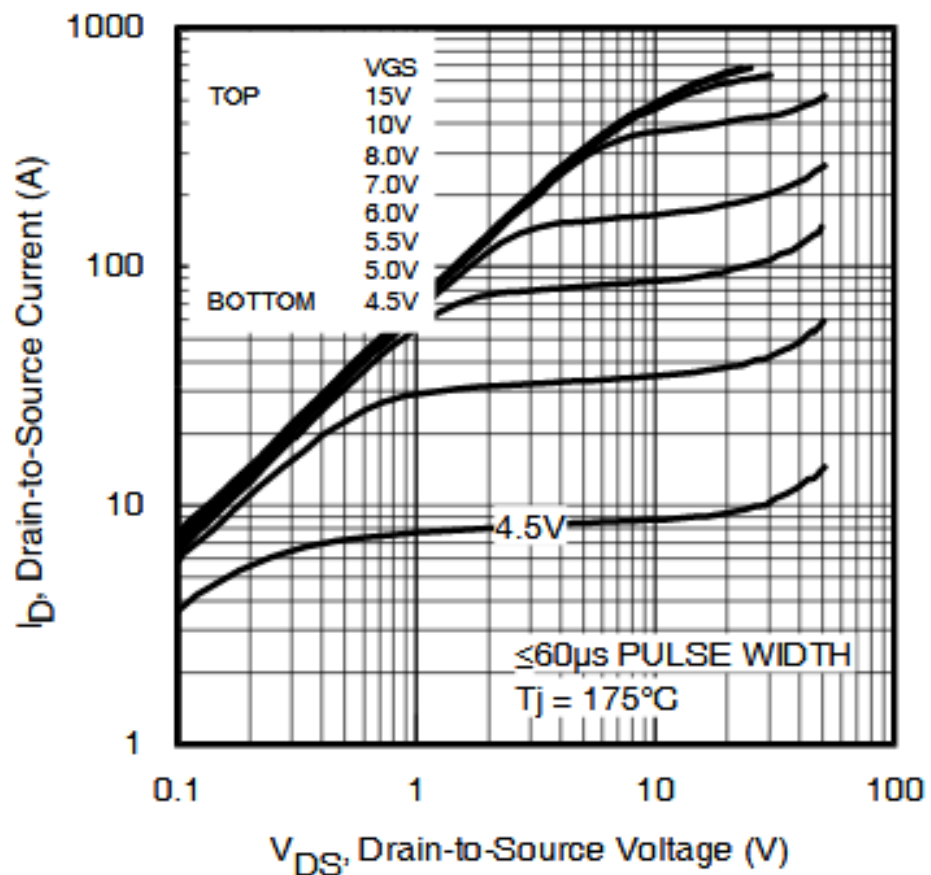
Belső dióda paraméterek

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	171	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	684	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 103\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	110	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_R = 100\text{V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$ $I_F = 103\text{A}$ $di/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ ④
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	515	—		
		—	758	—	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{RRM}	Reverse Recovery Current	—	8.8	—	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by LS+LD)				

Fontosabb adatlapi gráfok (SOA)

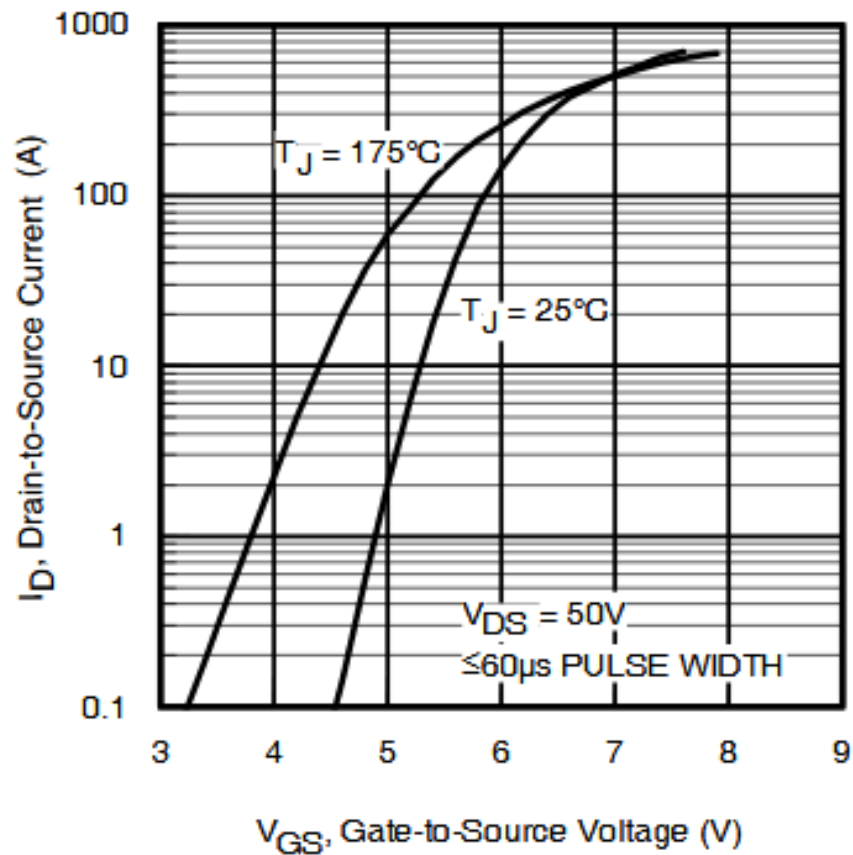


Alacsonyabb frekvencián csökken a kapcsolható feszültség és áram (nagyobb reaktáns elemek)!

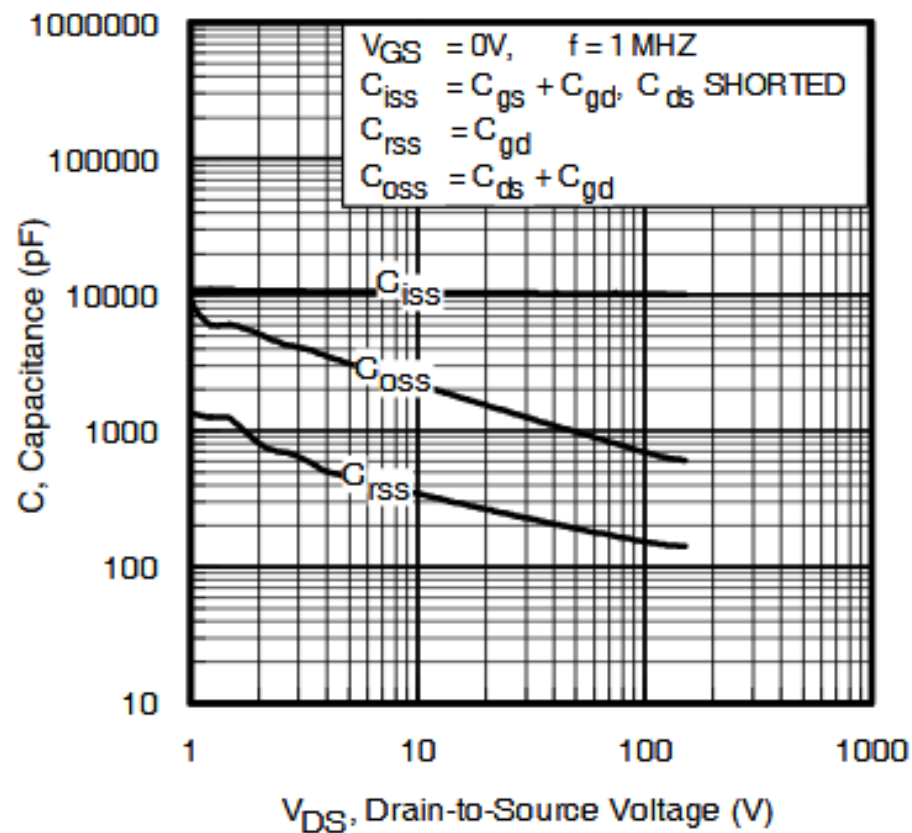


V_{DS} és I_D a gate meghajtó feszültség függvényében (175°C -os kristályhőmérséklet mellett)

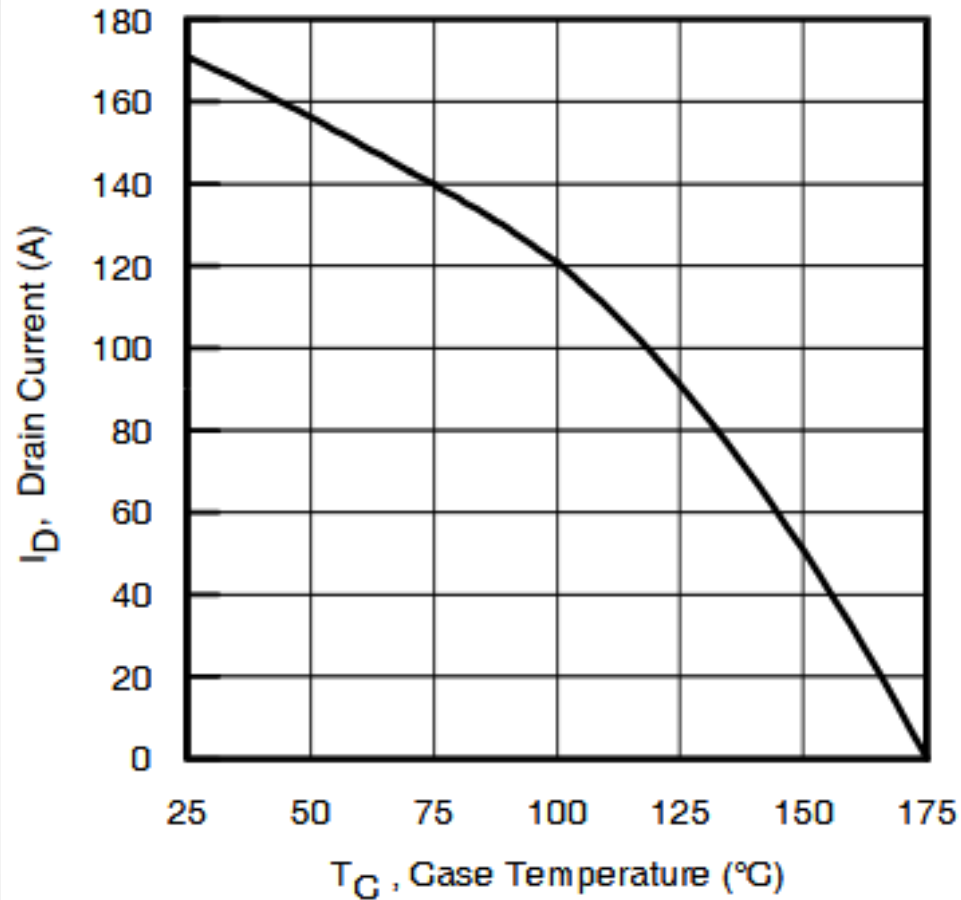
$V_{GS} - Q_g$; A gate meghajtó feszültsége és árama miatt fontos!



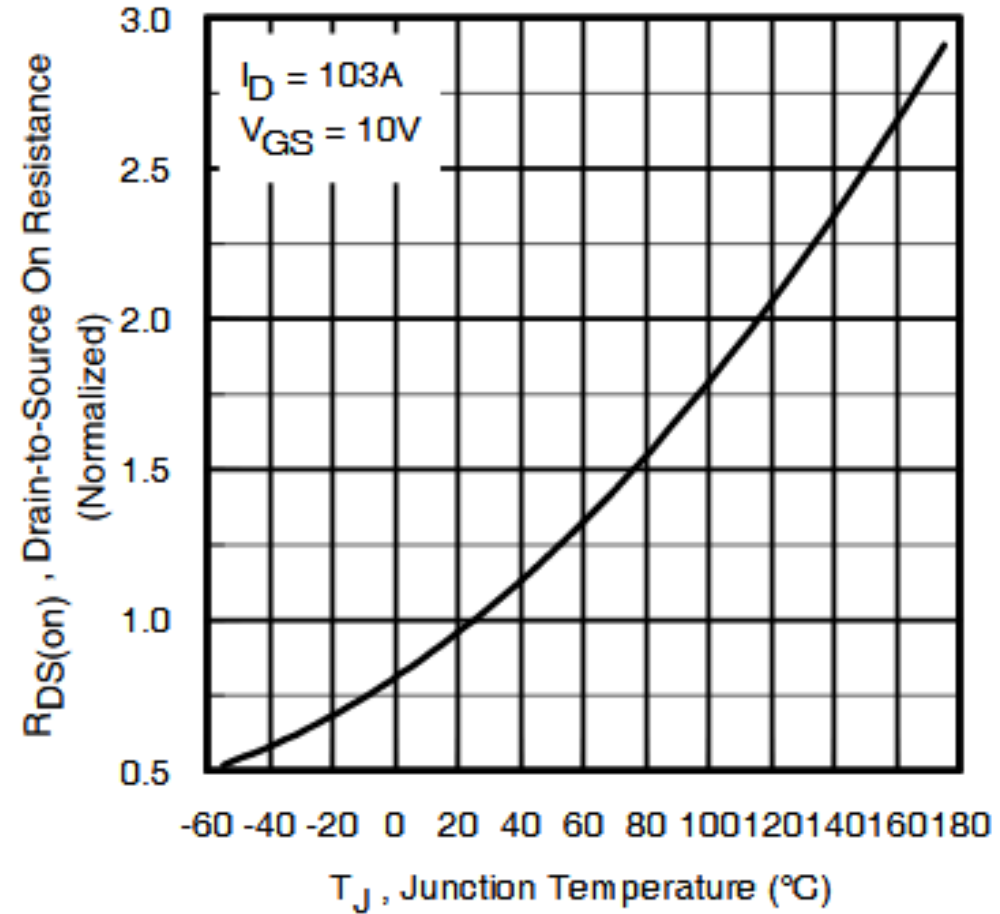
I_D áram a V_{GS} feszültség függvényében. Látható hogy a treshold feszültség alatt nem kapcsol be az eszköz.



Kapacitások a feszültség függvényében



Drain áram a tokhőmérséklet függvényében; Az eszköz kiválasztása során ez a görbe rendkívül fontos!



$R_{DS(on)}$ csatornaellenállás emelkedése a hőmérséklet függvényében (pozitív téka!)