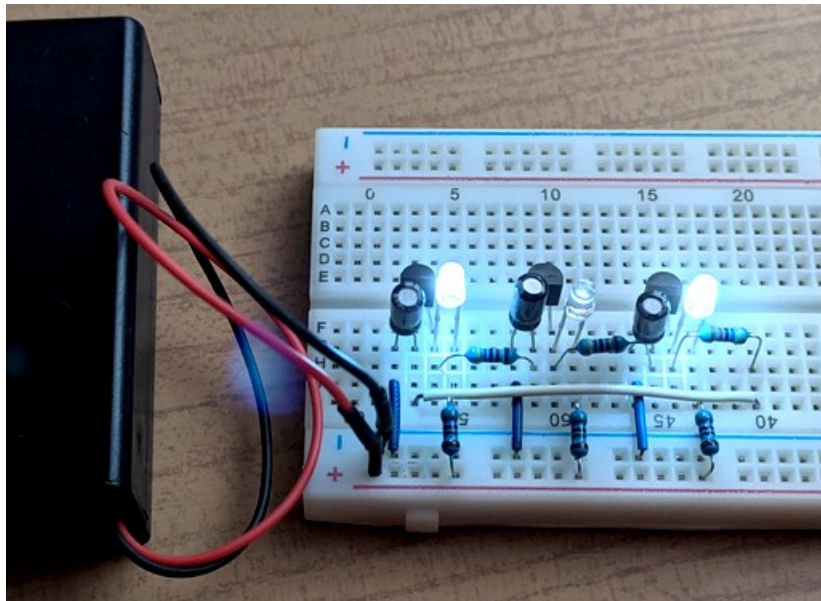


# Bevezetés az elektronikába



## 12. Térvezérlésű tranzisztorok

# Felhasznált és ajánlott irodalom

---

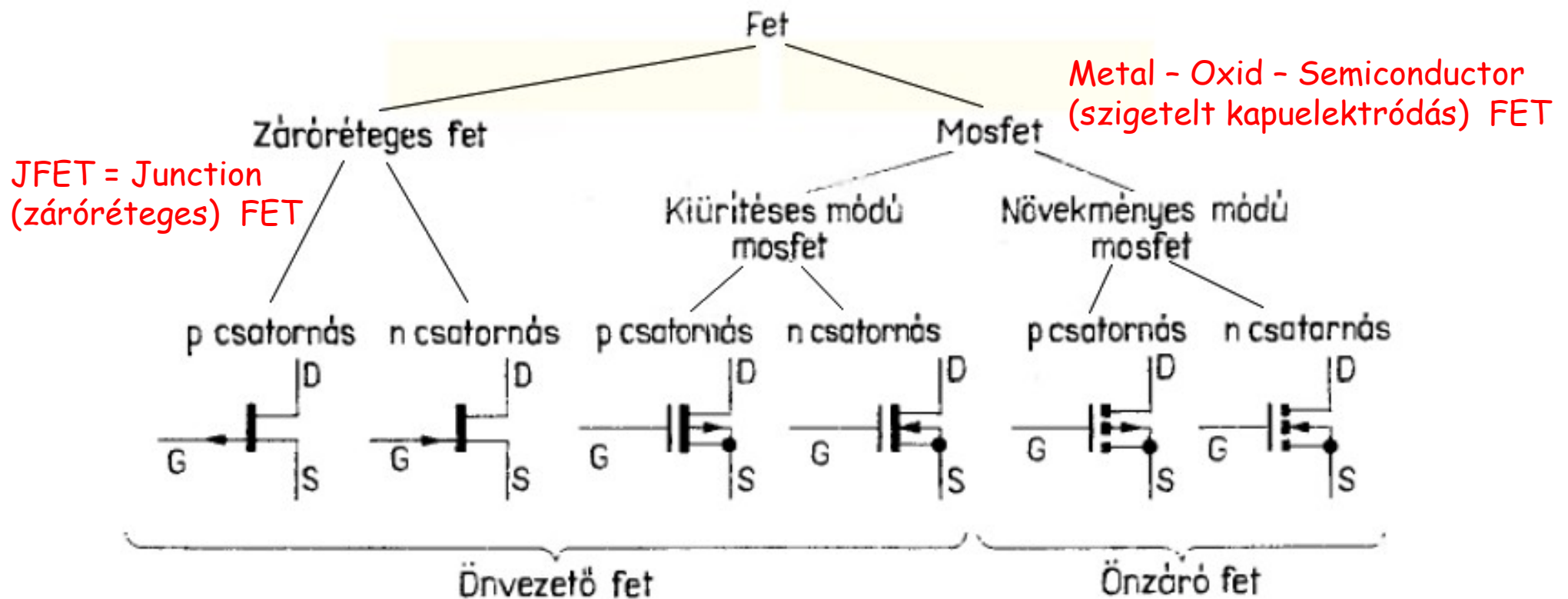
- Sulinet Tudásbázis: [Unipoláris tranzisztorok](#)
- Borbély Gábor: [Elektronika I.](#)
- Fellegi József: [Tervezélés tranzisztorok](#)
- Electronics Tutorials: [The MOSFET](#)
- Talking Electronics: [The MOSFET](#)

## Korábbi előadások ebben a témakörben:

- ❖ 2020. április 16. - Tervezélésű tranzisztorok (FET): [előadásvázlat video](#)
- ❖ 2016. november 17. - Tervezélésű tranzisztorok (FET): [előadásvázlat](#)

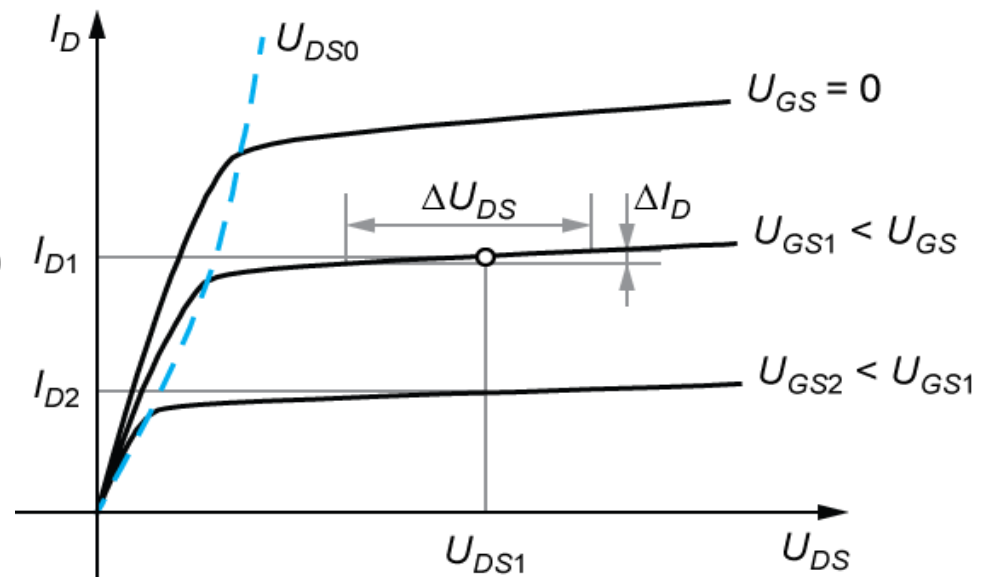
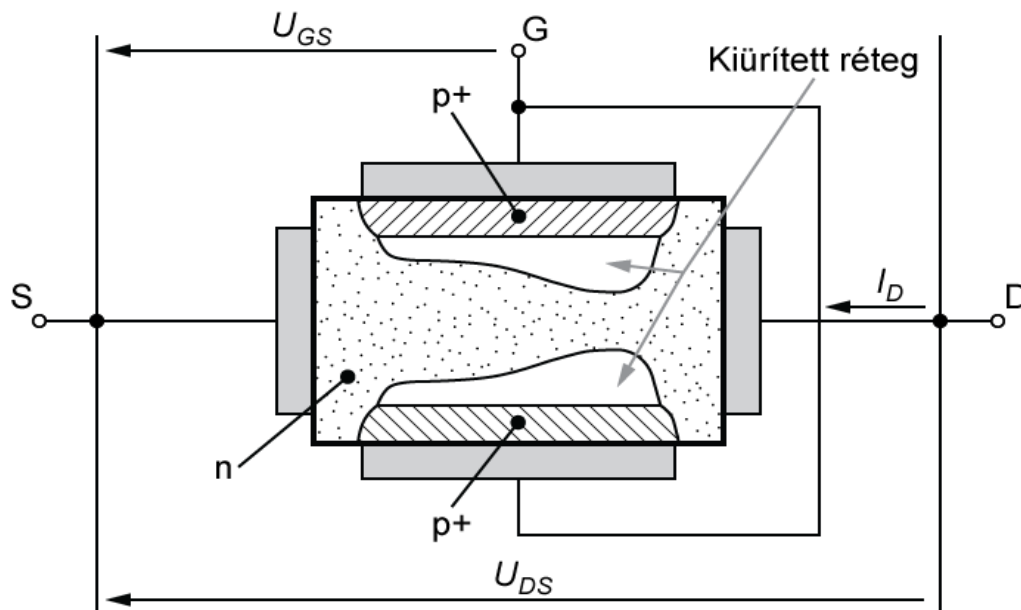
# FET tranzisztorok

- FET = Field Effect Transistor, azaz **térvezérlésű tranzisztor**
- A **Drain** (nyelő) és **Source** (forrás) elektródák között folyó áramot a **Gate** (kapu) elektródára kapcsolt feszültség **elektromos tere** szabályozza. Sokféle fajtája van, melyek felépítésben, működésben és tulajdonságaikban eltérnek.



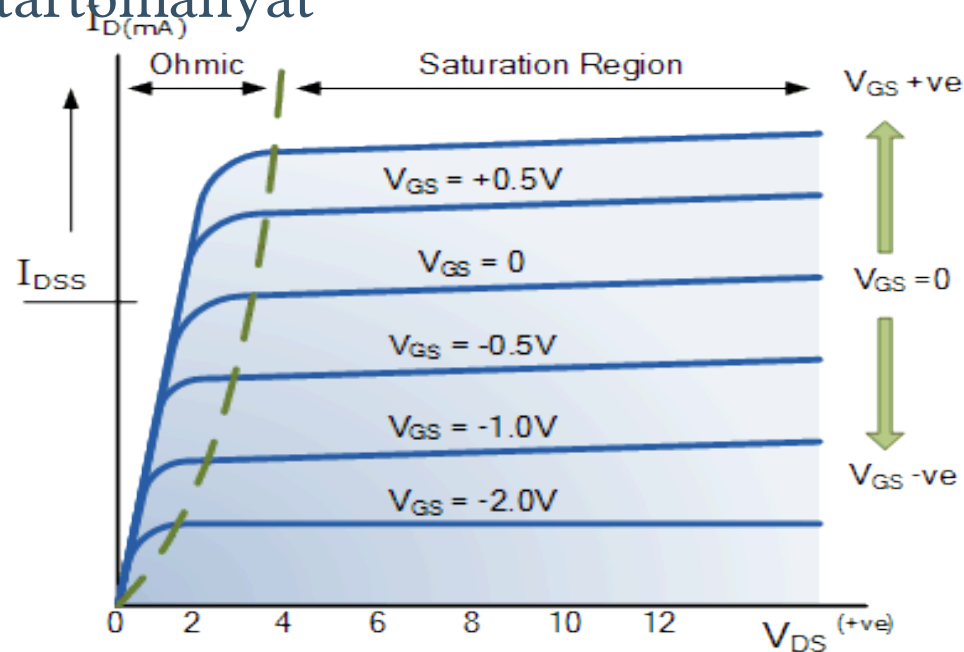
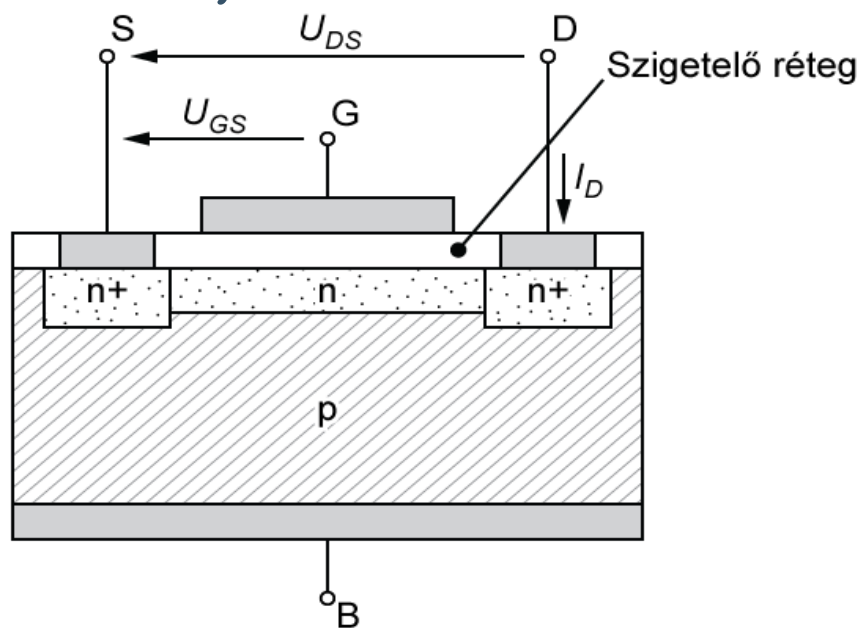
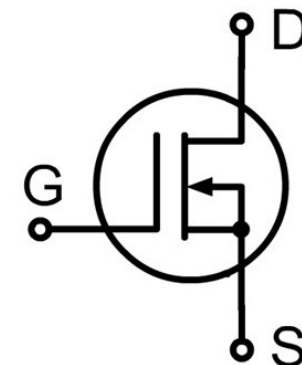
# JFET (záróréteges FET)

- Az alábbi ábrákon egy n-csatornás térvezérlésű rétegtranzisztor (N-JFET) felépítését és működését mutatjuk be
- A **D** nyelő és az **S** forrás az n-típusú gyengén szennyezett félvezető csatorna végeire csatlakoznak. A **G** vezérlőelektróda a p-típusú réteghez csatlakozik. A záróirányú G-S előfeszítés növelése esetén a kiürített réteg kiterjeszkedik, s a D-S áram lecsökken (viselkedése és jelleggörbéje az elektroncsöves triódára hasonlít).



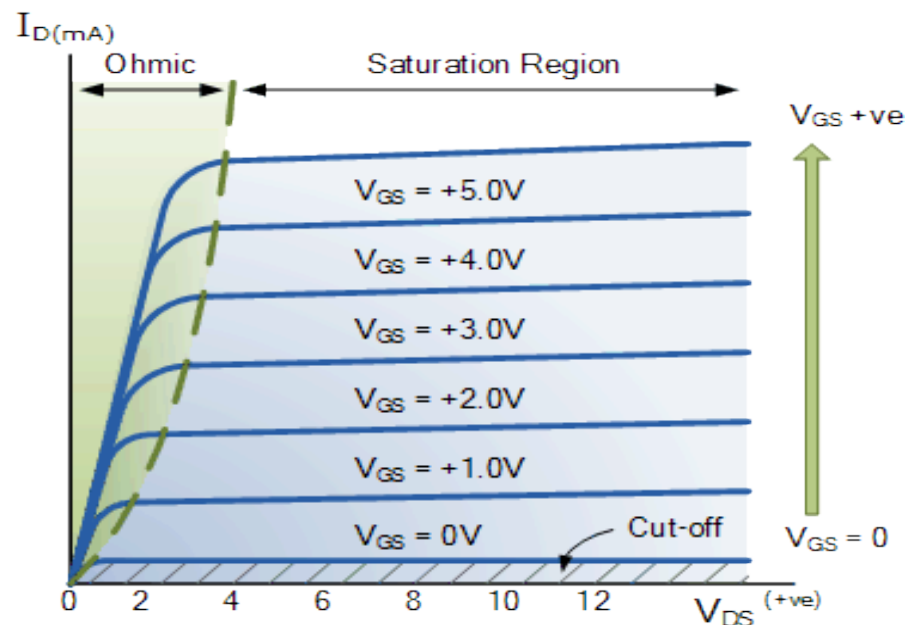
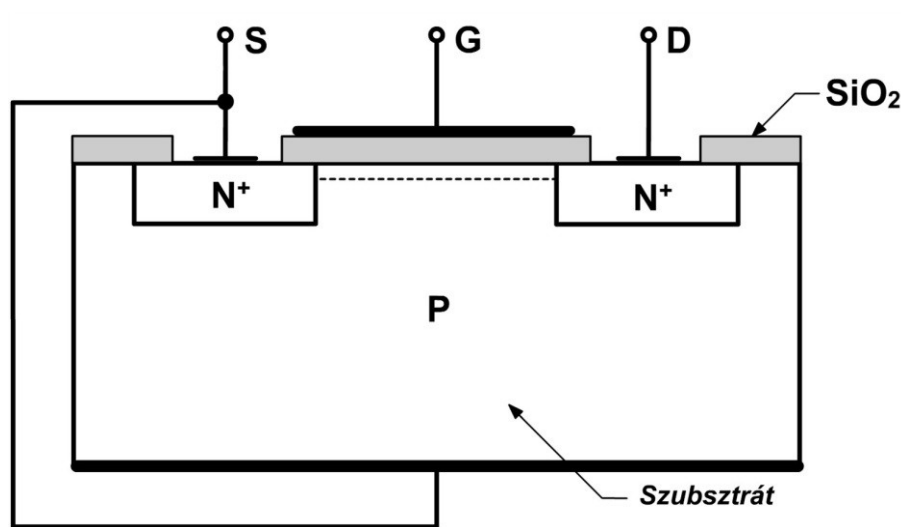
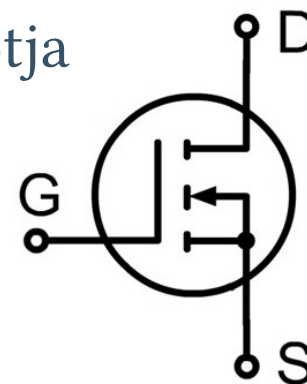
# Önvezetéses (kiürítéses) MOS FET

- Pozitív G-S vezérlőfeszültség esetén a csatorna negatív töltéseket akumulál, mintha a szennyezettséget növeltük volna meg → a FET jobban vezet.
- Negatív G-S feszültség esetén a csatornában pozitív lyukak jelennek meg, amelyek az elektronokkal rekombinálnak → a FET kevésbé vezet
- Végeredményben a csatornában akumulált töltéshordozók számával szabályozzuk az eszköz működési tartományát



# Önzáró (növekményes) MOS FET

- A szubsztrát p-típusú, gyengén szennyezett Si alapkristály, melyben két erősen szennyezett n-típusú vezető sziget alkotja a tranzisztor S (forrás) és D (nyelő) elektródáját
- A tranzisztor alaphelyzetben nem vezet. Ha a G (kapu) elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, a szubsztrát kisebbségi töltéshordozó elektronjai a szigetelőréteghez vándorolnak és az S és D elektróda között egy *n*-típusú vezetőcsatornát alkotnak





# Adatlapok olvasása (BS170)

**Absolute Maximum:** az a határ, ahol tönkremegy az eszköz, ha átlépjük a megadott határértékeket!



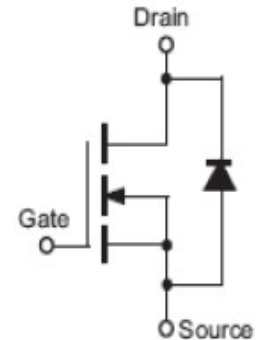
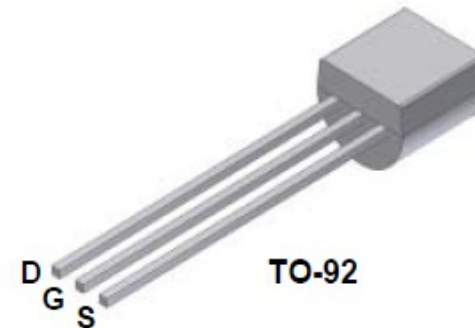
## BS170 / MMBF170

## N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

**Absolute Maximum Ratings**  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
$V_{DSS}$	Drain-Source Voltage	60		V
$V_{DGR}$	Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} \leq 1\text{M}\Omega$ )	60		V
$V_{GSS}$	Gate-Source Voltage	$\pm 20$		V
$I_D$	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
$T_J, T_{STG}$	Operating and Storage Temperature Range	- 55 to 150		$^\circ\text{C}$
$T_L$	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		$^\circ\text{C}$

## BS170

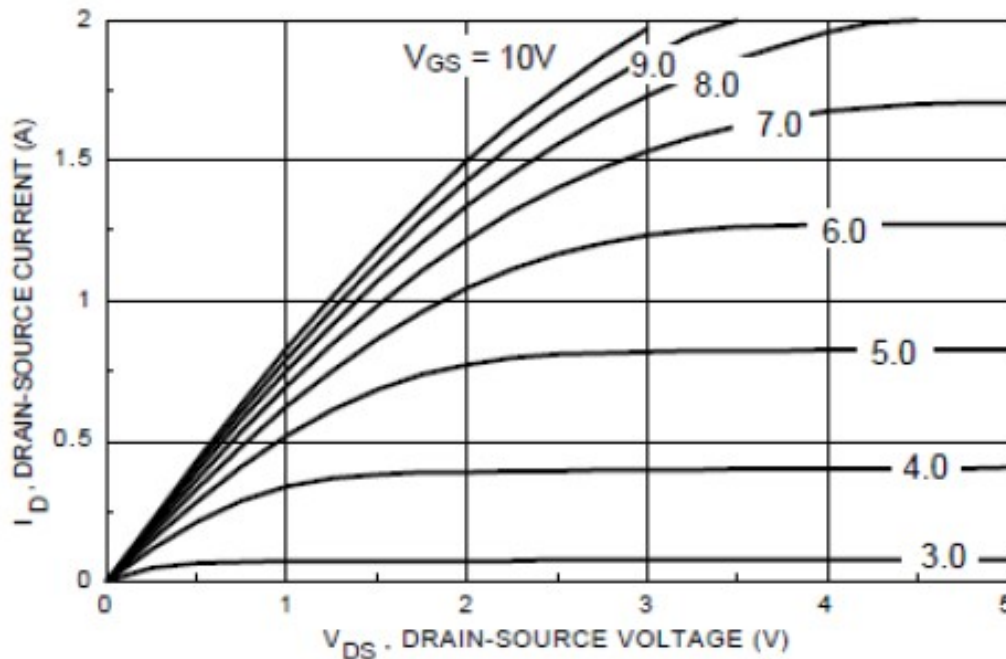


# Adatlapok olvasása (BS170)

## Electrical Characteristics $T_A=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min.	Typ.	Max.	Units
OFF CHARACTERISTICS							
$BV_{DSS}$	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 100\mu A$	All	60			V
$I_{DSS}$	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V$	All			0.5	$\mu A$
$I_{GSSF}$	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15V, V_{DS} = 0V$	All			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Notes 1)							
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1mA$	All	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 200mA$	All		1.2	5	$\Omega$

A **BS170** mint kapcsoló: 5 V-os jellel akár 0.5 A kapcsolható, 1 V maradékfeszültség mellett...



3,3 V-os jelszinttel csak kis (50 – 100 mA) kapcsolható!

9 – 10 V-os bemenőjel esetén minimális a maradékfeszültség ( $U_{GS} < 1 V$ )



# Adatlapok olvasása (2N7000)

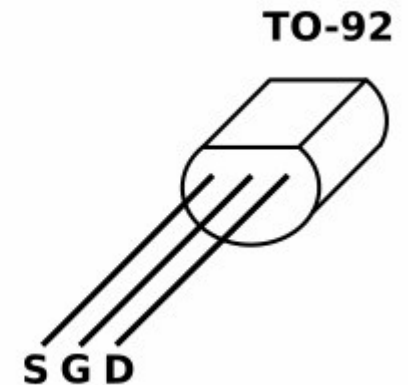
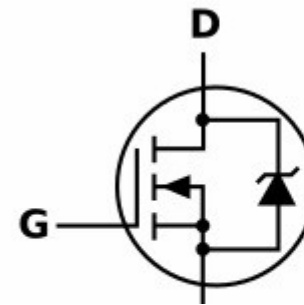
## 2N7000G

### Small Signal MOSFET 200 mAmps, 60 Volts

N-Channel TO-92

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain Source Voltage	$V_{DSS}$	60	Vdc
Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} = 1.0 \text{ M}\Omega$ )	$V_{DGR}$	60	Vdc
Gate-Source Voltage - Continuous - Non-repetitive ( $t_p \leq 50 \mu\text{s}$ )	$V_{GS}$ $V_{GSM}$	$\pm 20$ $\pm 40$	Vdc Vpk
Drain Current - Continuous - Pulsed	$I_D$ $I_{DM}$	200 500	mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	350 2.8	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$



**ON Semiconductor®**

<http://onsemi.com>

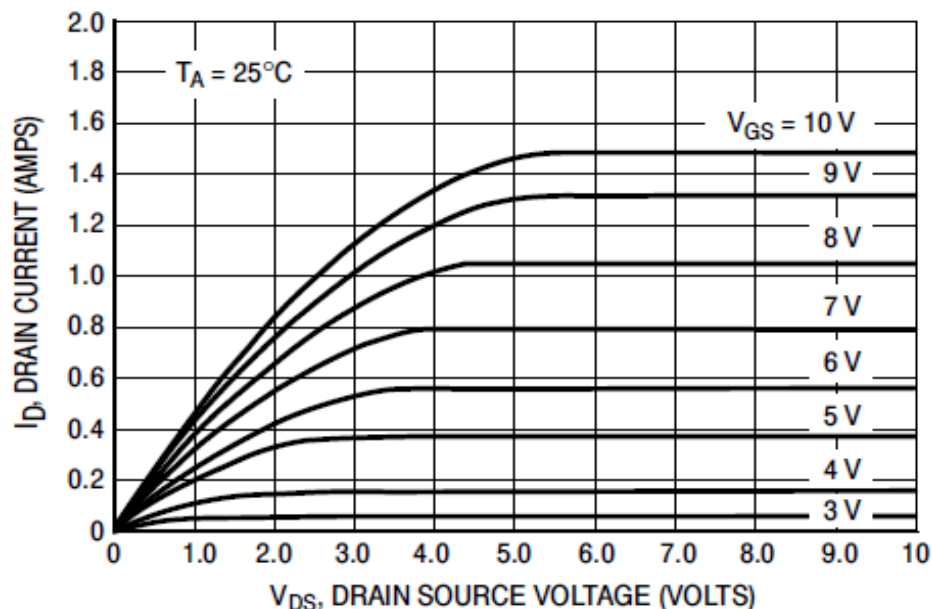
**200 mAmps**  
**60 VOLTS**  
 $R_{DS(on)} = 5 \Omega$

# Adatlapok olvasása (2N7000)

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Drain-Source Breakdown Voltage ( $V_{GS} = 0, I_D = 10 \mu\text{A}_{dc}$ )	$V_{(BR)DSS}$	60	-	Vdc
Zero Gate Voltage Drain Current ( $V_{DS} = 48 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0$ ) ( $V_{DS} = 48 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0, T_J = 125^\circ\text{C}$ )	$I_{DSS}$	-	1.0	$\mu\text{A}_{dc}$ mA <sub>dc</sub>
Gate-Body Leakage Current, Forward ( $V_{GSF} = 15 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$ )	$I_{GSSF}$	-	-10	nA <sub>dc</sub>
<b>ON CHARACTERISTICS (Note 1)</b>				
Gate Threshold Voltage ( $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mA}_{dc}$ )	$V_{GS(th)}$	0.8	3.0	Vdc
Static Drain-Source On-Resistance ( $V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 0.5 \text{ A}_{dc}$ ) ( $V_{GS} = 4.5 \text{ Vdc}, I_D = 75 \text{ mA}_{dc}$ )	$r_{DS(on)}$	-	5.0 6.0	$\Omega$

A **2N700** mint kapcsoló: 5 V-os jellel akár 0.2 A kapcsolható, 1 V maradékfeszültség mellett...

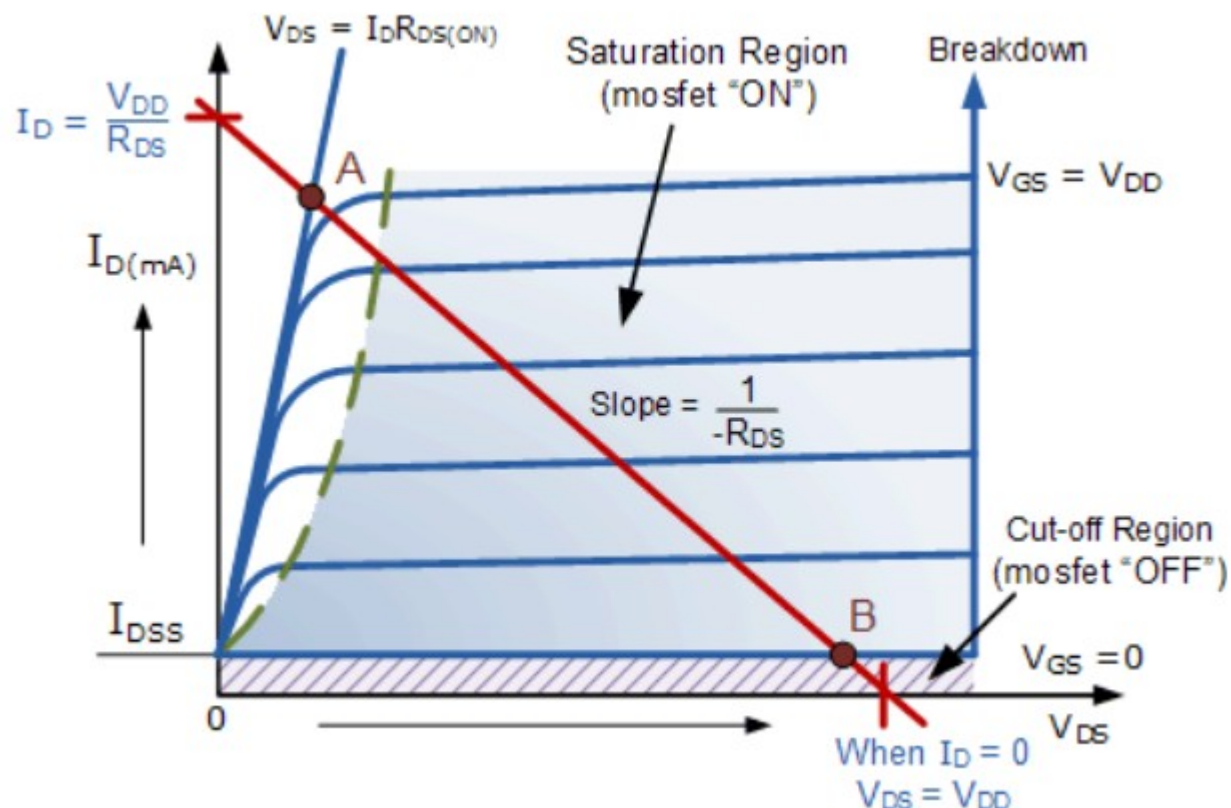
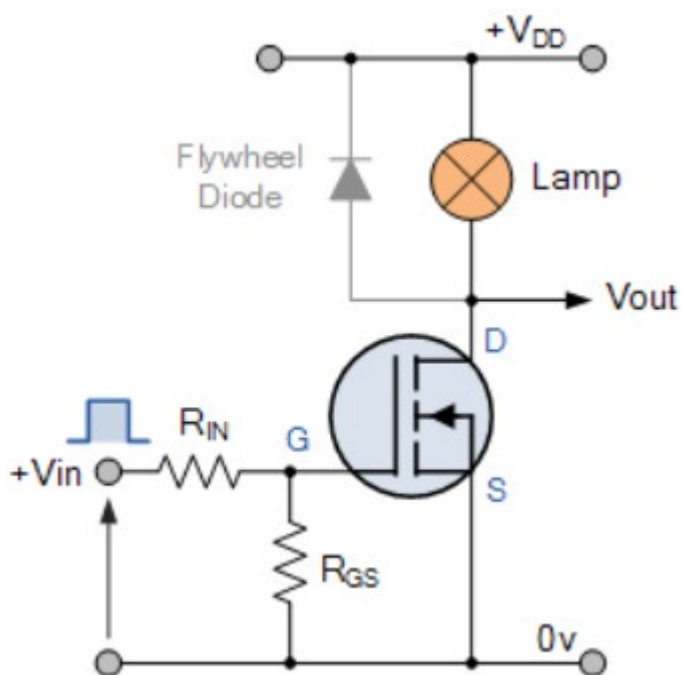


3,3 V-os jelszinttel csak kis (5 – 20 mA) kapcsolható!

9 – 10 V-os bemenőjel esetén minimális a maradékfeszültség ( $U_{GS} < 1 \text{ V}$ )

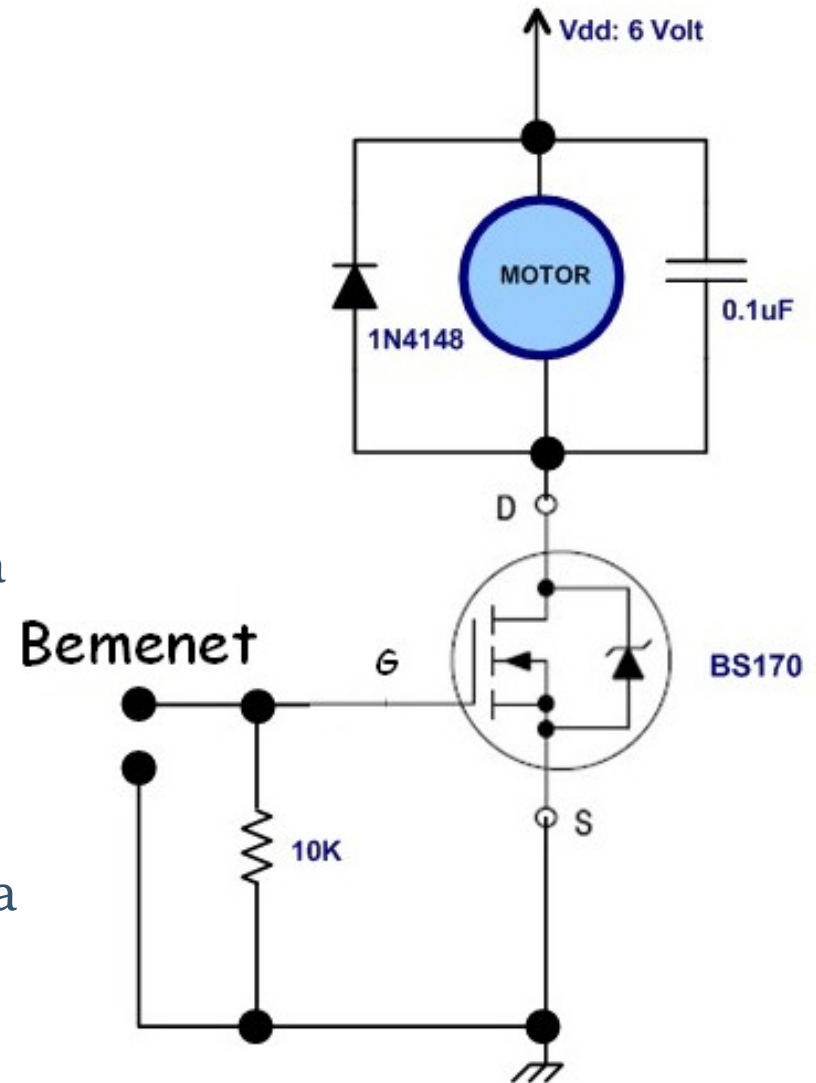
# A MOSFET mint kapcsoló

- Ha  $V_{in}$  nulla körüli alacsony feszültség, akkor a tranzisztor nem vezet, az **S** forrás és a **D** nyelő között közelítőleg a tápfeszültség mérhető (**B**)
- Ha a kapu (**G**) elektródájára pozitív feszültséget kapcsolunk, a tranzisztor vezet, a forrás (**S**) és nyelő (**D**) elektródák közt csak 100 mV nagyságrendű maradékfeszültség mérhető (**A**)

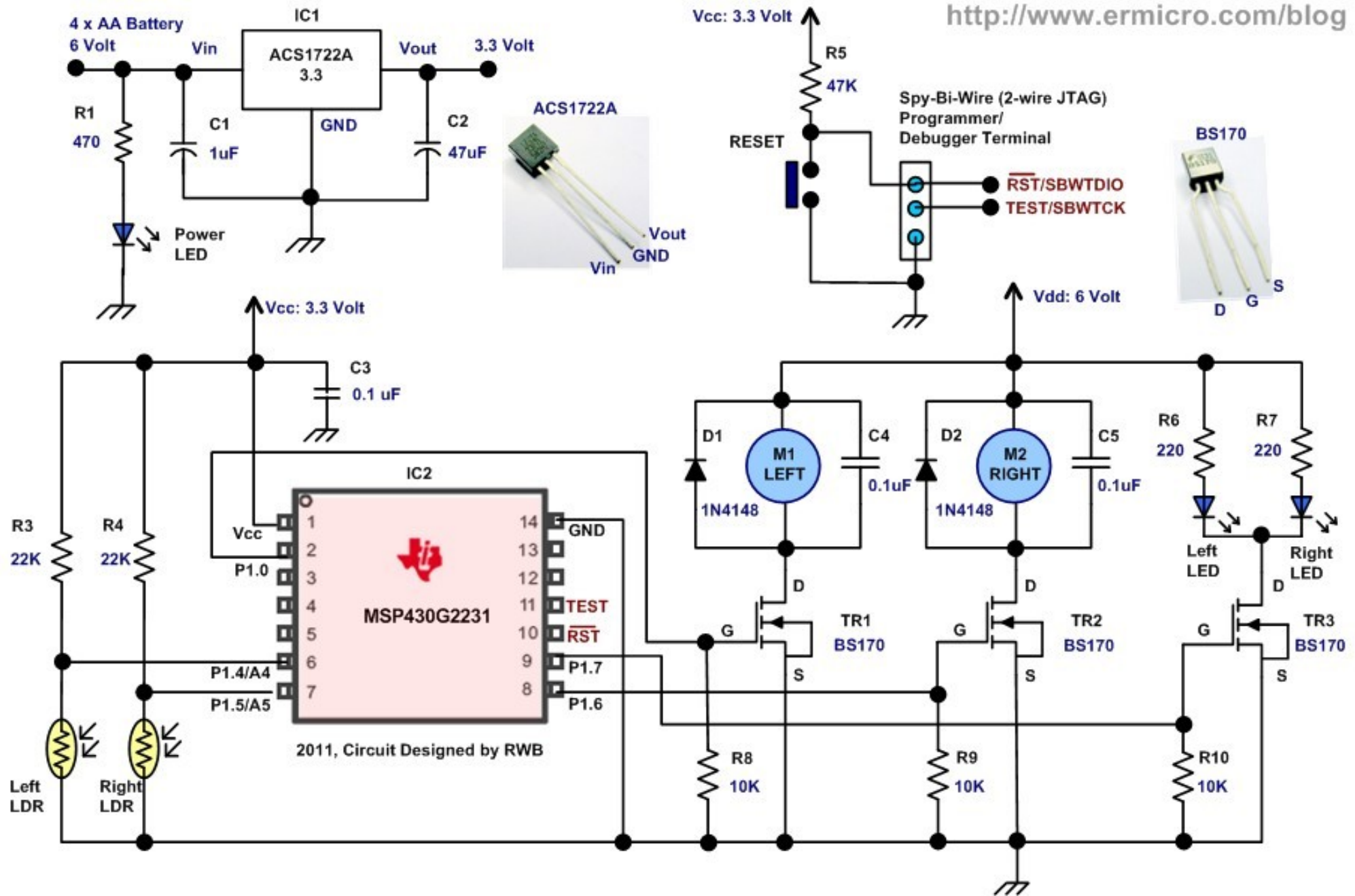


# A MOSFET mint kapcsoló

- Az alábbi n-csatornás MOSFET kapcsolás a földelt emitteres NPN tranzisztoros kapcsoláshoz hasonlít
  - ❖ Feszültségvezérlés miatt nem kell soros ellenállás a bemenetre
  - ❖ A Gate és a föld közé kötött ellenállás megakadályozza, hogy a lebegő bemenet esetleges feltöltődése kinyissa a tranzisztort
  - ❖ Az 1N4148 dióda az induktív terhelés miatt szükséges védelem.
  - ❖ A kondenzátor a kefések motor szikrázása miatti zavarokat szűri



# FET alkalmazási példa: Vonalkövető robot kapcsolóelemeiként (motorok, LED-ek vezérlése)

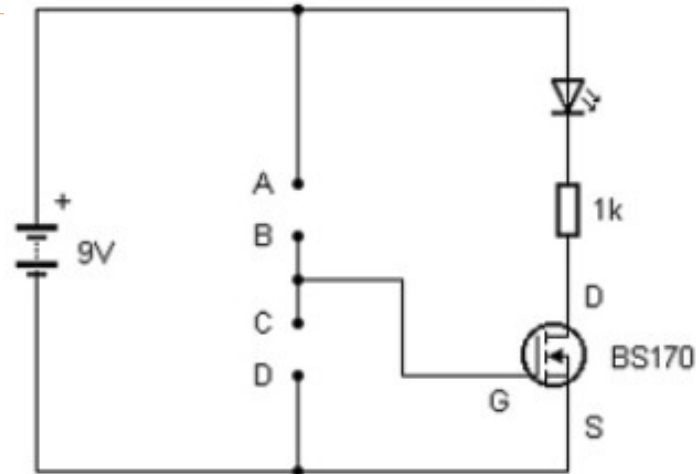


<http://www.ermicro.com/blog>

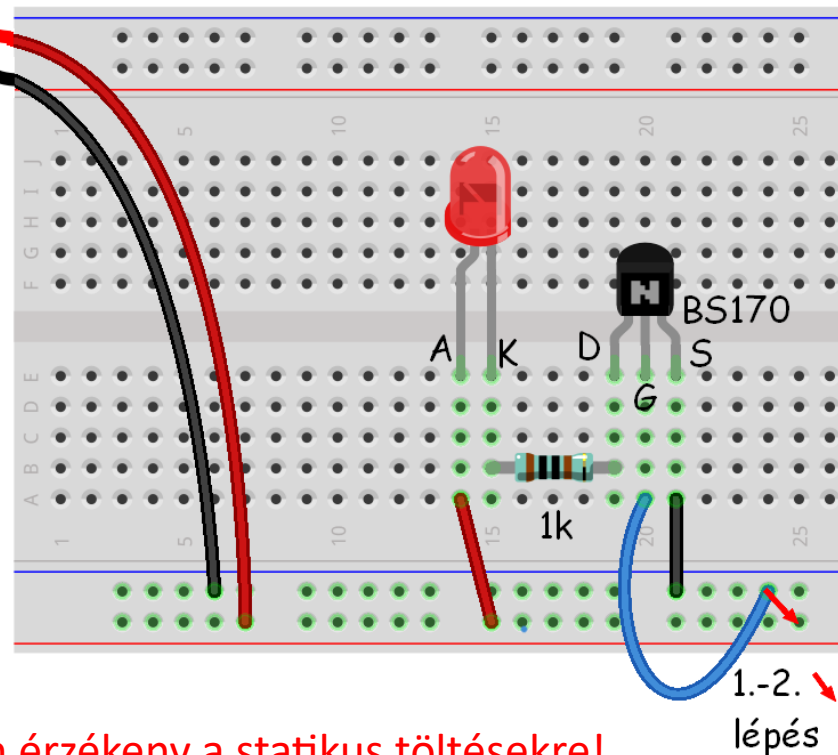


# Egyszerű FET-es kapcsolás

A MOSFET vezérelt árama (D-S között) a G és S közé kapcsolt feszültségtől függ. Ha G-re legalább kb. 2V pozitív feszültség jut, a tranzisztor vezet. A G kivezetés teljesen szigetelt, és egy kis, kb. 60 pF-os kondenzátort képez. Ezért, ha a Gate egyszer fel lett töltve, a Gate-feszültség sokáig fennmarad.



- 1. feladat:** Építsük meg a kapcsolást, majd az **A-B** pontok zárásával töltsük fel a G elektródát!
- 2. feladat:** A **C-D** pontok zárásával süssük ki a G elektródát!



**Forrás:** Conrad Elektronikai kísérletezőkészlet mintapéldája, 15. MOSFET-es érintés érzékelő

**Figyelem:** Vigyázzunk a Gate bemenetre, ami különösen érzékeny a statikus töltésekre!



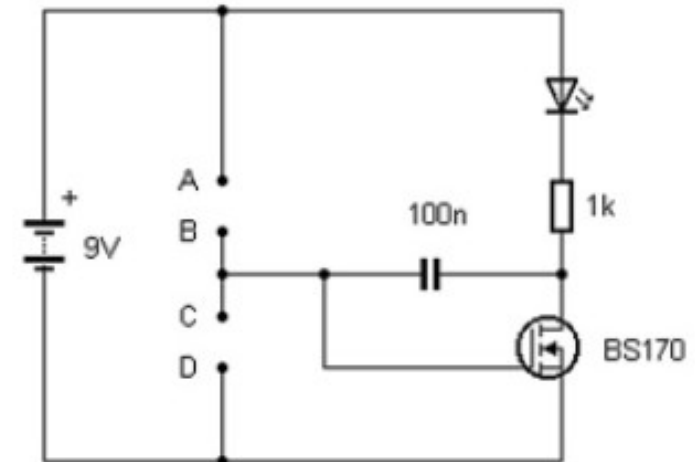
# LED fényerejének változtatása

Ha beiktatunk egy kondenzátort a Gate és Drain közé, a „teljesen be“ és „teljesen ki“ közötti állapotok is fennmaradhatnak. Ha a Gate feszültség csökken, a Drain-áram kisebb lesz, a LED fényereje csökken.

- Az A és B kontaktusok érintésekor a LED fényesebben világít.
- A C és D-t kontaktusok érintésekor a LED elhalványodik.

**Megjegyzés:** Az érintésre adott válasz sebessége különböző. A fényerő növekedés a nagyobb töltőfeszültség miatt gyorsabb, mint az elhalványodás.

**Forrás:** Conrad Elektronikai kísérletezőkészlet mintapéldája, 15. Érintésérzékelő dimmer

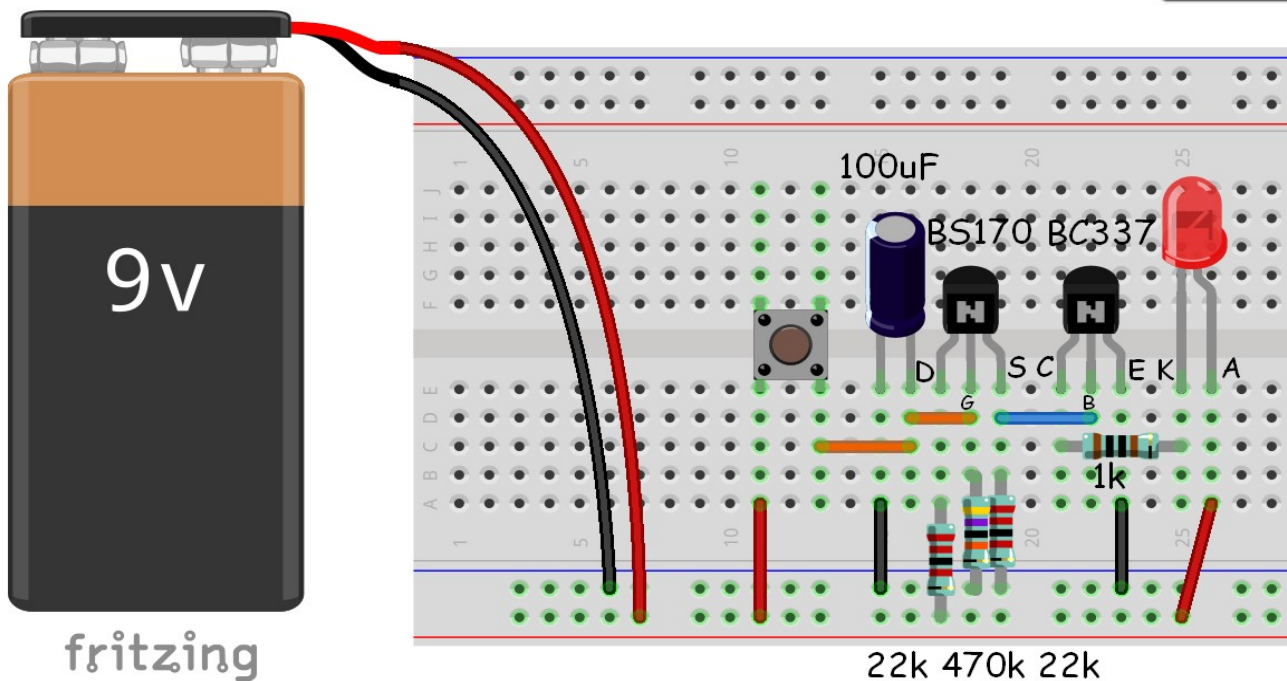
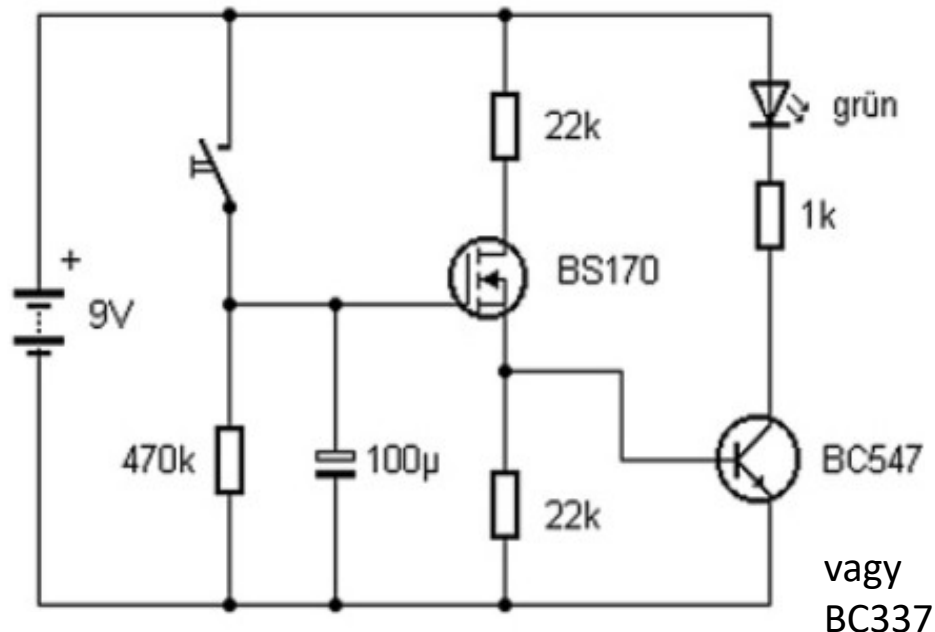


**3. feladat:** Az 1. feladatnál megépített áramkört egészítsük ki egy kondenzátorral a fenti ábrán látható módon! Vizsgáljuk meg az áramkör működését!

**Figyelem:** Vigyázzunk a Gate bemenetre, ami különösen érzékeny a statikus töltésekre!

# Egyperces időzítő

A nyomógomb megnyomásakor a LED bekapcsol, és körülbelül egy percig világít. Az átmenet a be- és kikapcsolás között lágy, de viszonylag gyors. A kondenzátor 9 V-ra töltődik fel. Kisülni a 470-k $\Omega$ -os ellenálláson keresztül fog. Amíg a Gate feszültség kb. 2,6 V fölött van, a FET vezet, és bázisárammal látja el az NPN tranzisztort, amely a LED-et bekapcsolja.



**Forrás:** Conrad Elektronikai kísérletezőkészlet mintapéldája, 20. Egyperces világítás

# Három LED-es villogó

Forrás: [www.talkingelectronics.com/projects/MOSFET/MOSFET.html](http://www.talkingelectronics.com/projects/MOSFET/MOSFET.html)

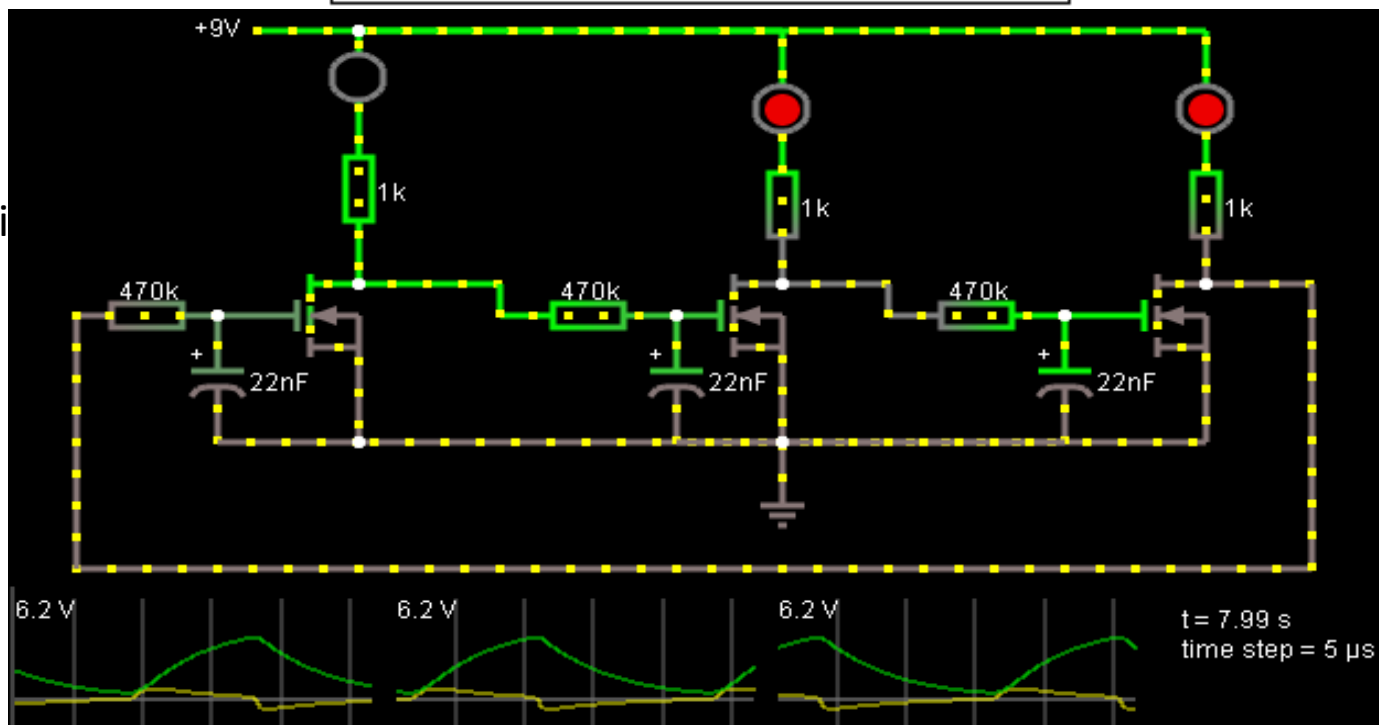
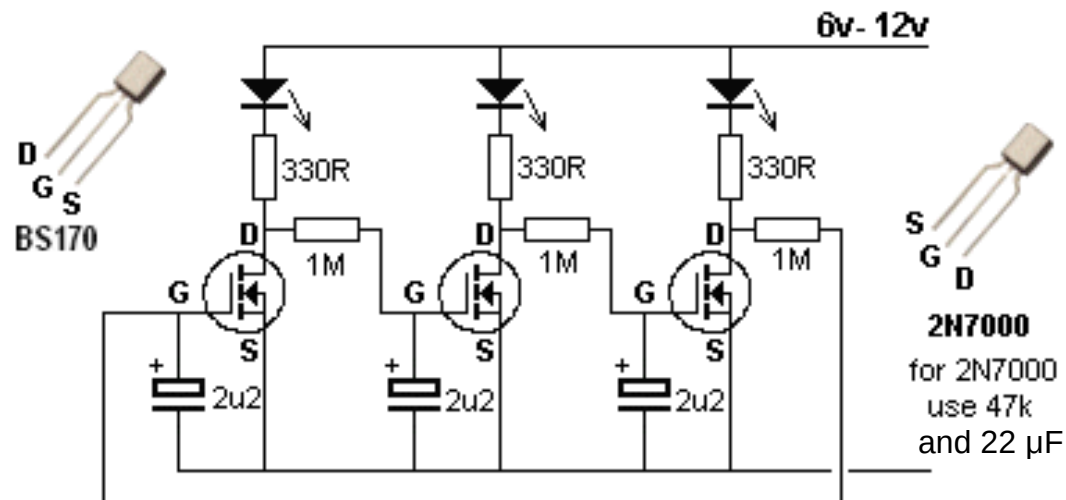
Mindhárom FET bemenete töltési és kisütési fázisokon megy keresztül, de fáziseltolással.

Végeredményben a három LED közül valamelyik mindig kikapcsolt állapotban van, kettő pedig világít.

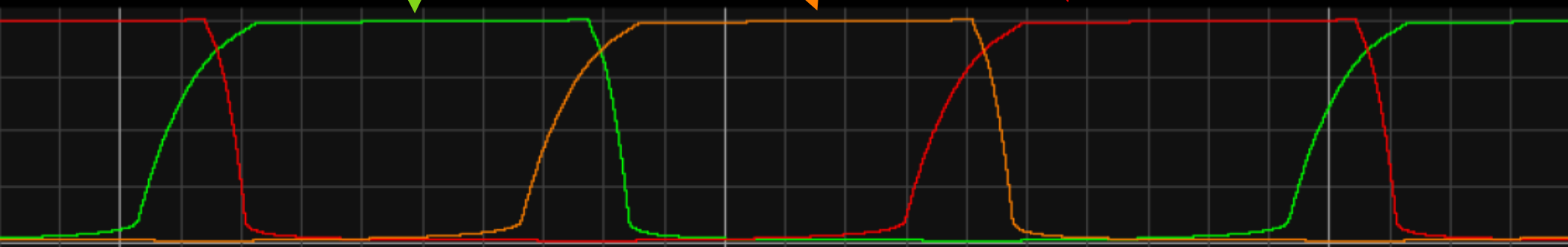
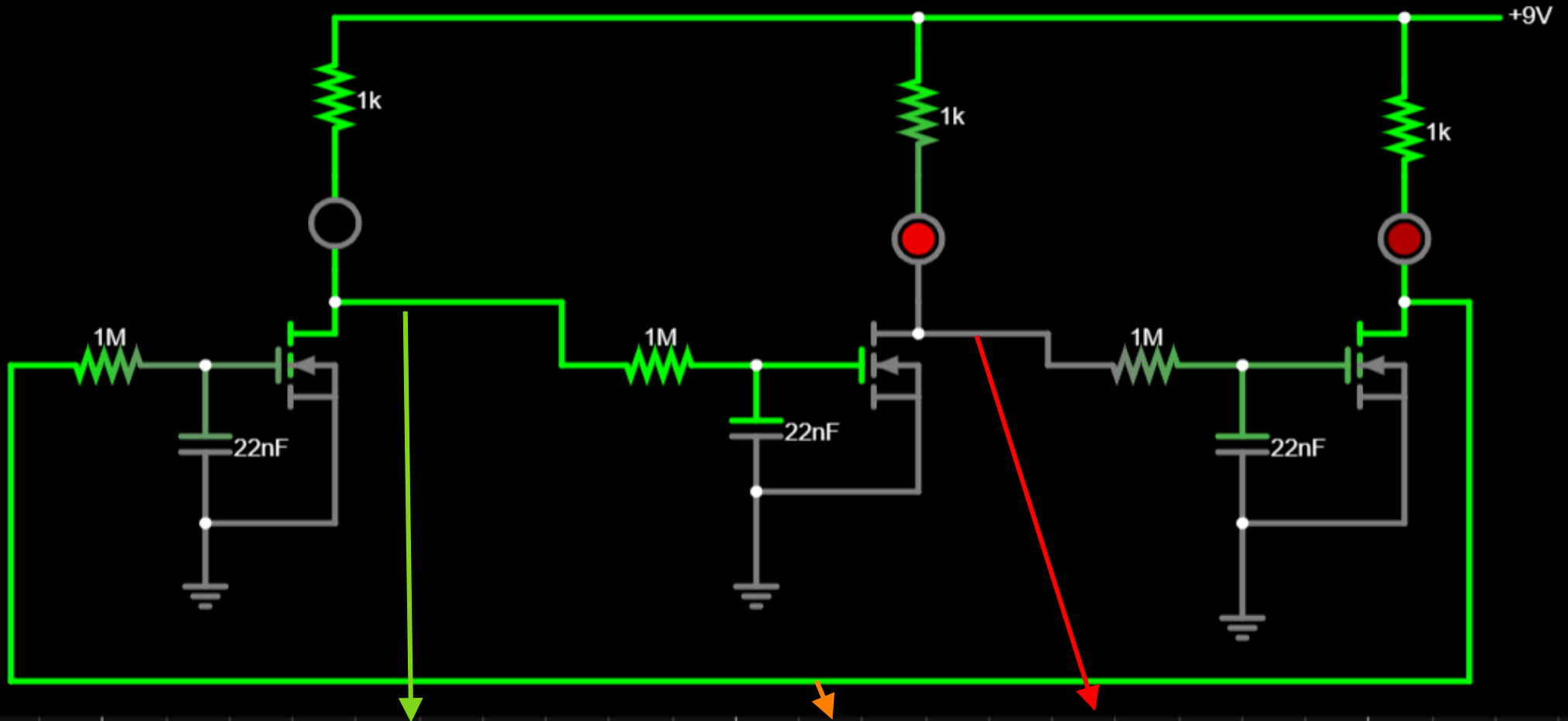
Az áramkört a szimulátorban is kipróbálhatjuk. A szimulációhoz az időállandót a századrészére csökkentettük, hogy a jelalak áttekinthető legyen.

Szimulátor:

[www.falstad.com/circuit/](http://www.falstad.com/circuit/)

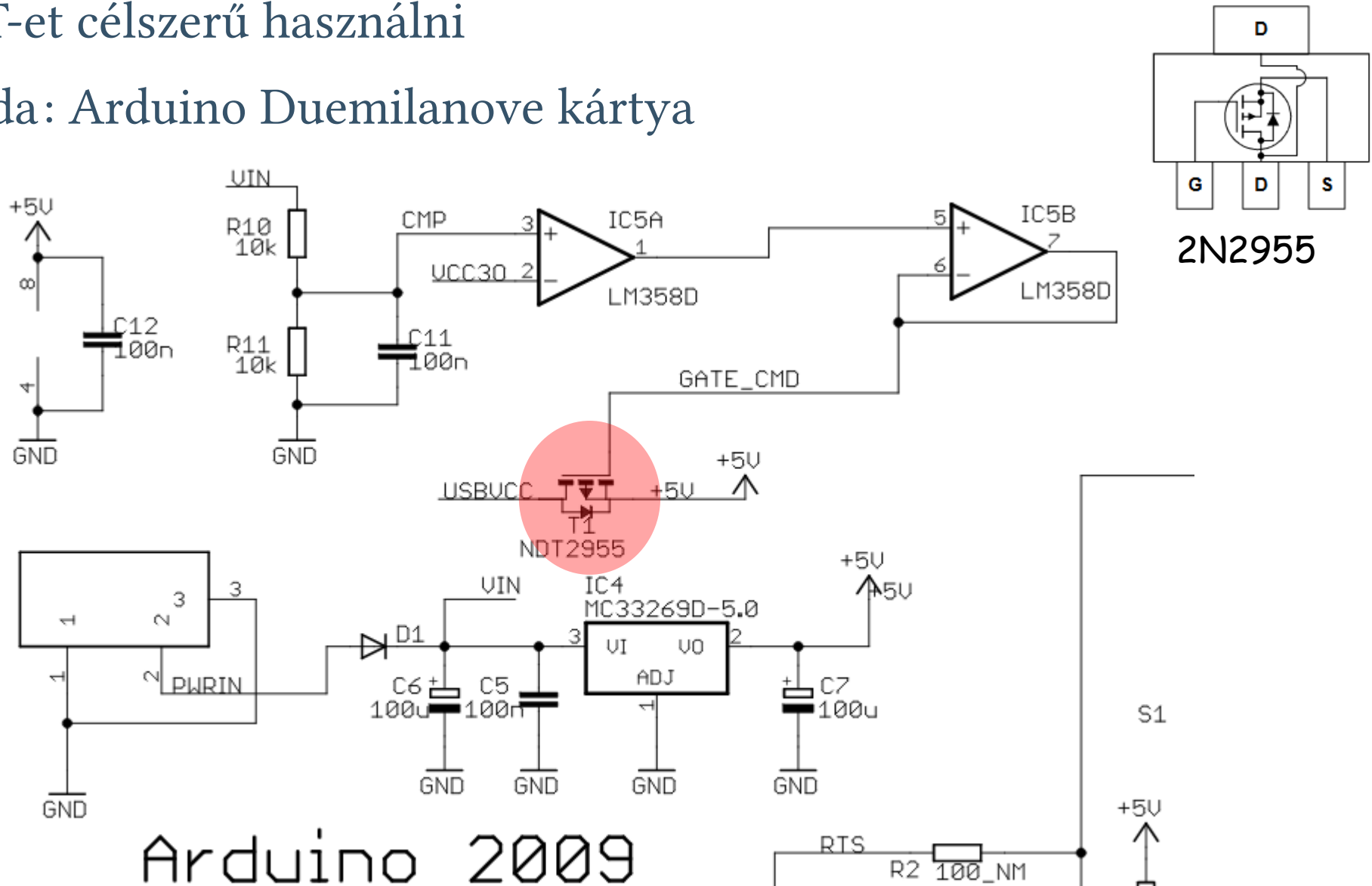


# Három LED-es villogó (szimuláció)



# FET, mint tápfeszültség kapcsoló

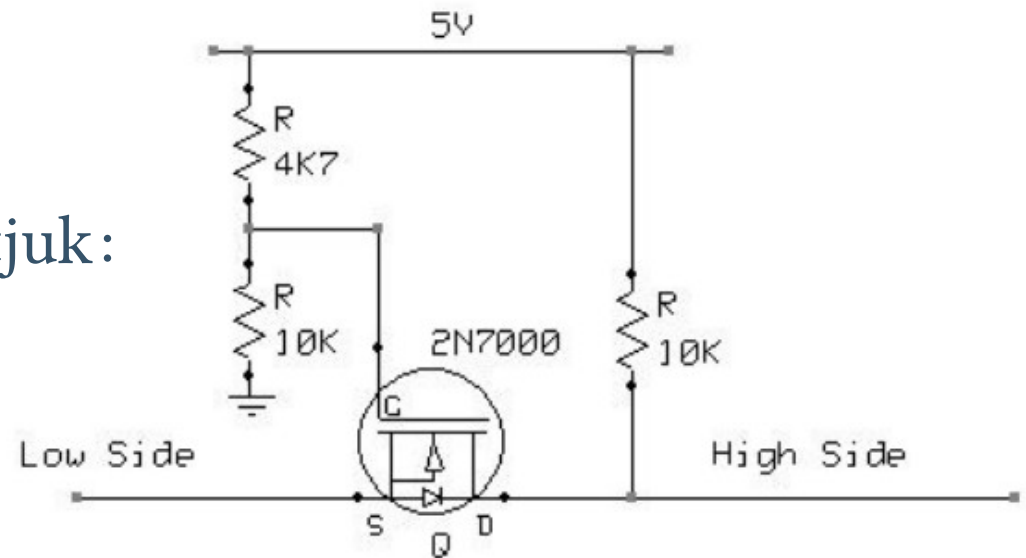
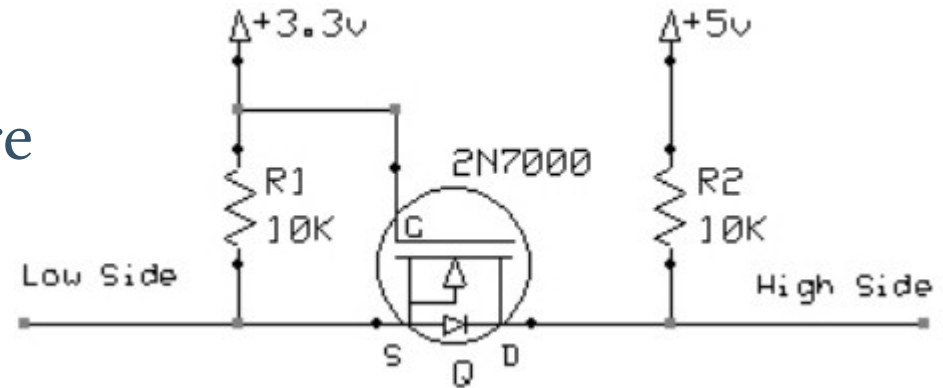
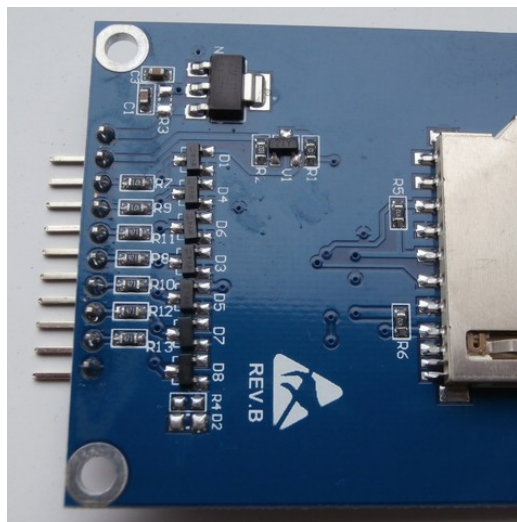
- Ha a pozitív tápfeszültség oldalon kell kapcsolni, akkor P-csatornás FET-et célszerű használni
- Példa: Arduino Duemilanove kártya



Arduino 2009

# Jelszint illesztés FET-tel

- Arduino, vagy más, 5 V-os eszköz és 3.3 V-tal működő eszközök összekapcsoláskor szintillesztésre van szükség. Ennek egyik megoldása lehet az alábbi FET kapcsolás, amely kétirányú szintillesztésre is alkalmas
- Ha a FET környezetében nincs 3.3V, akkor az 5V-ot is leoszthatjuk:

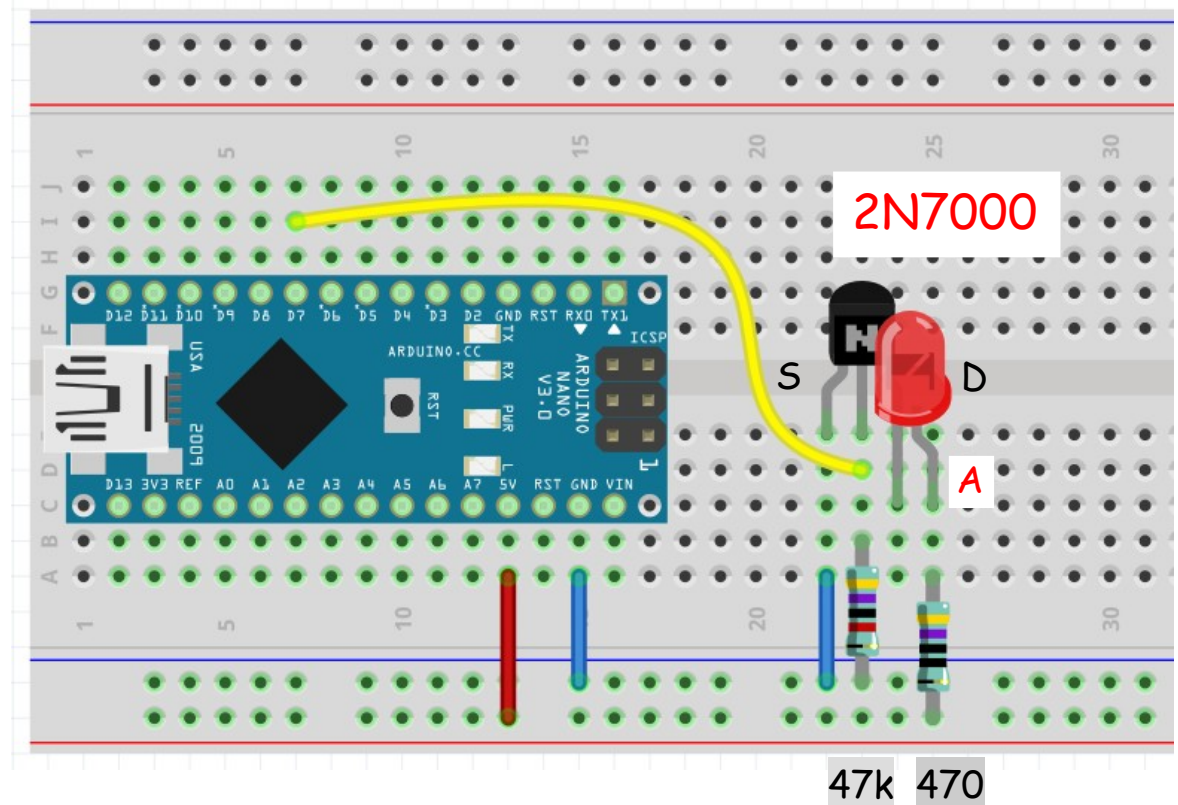
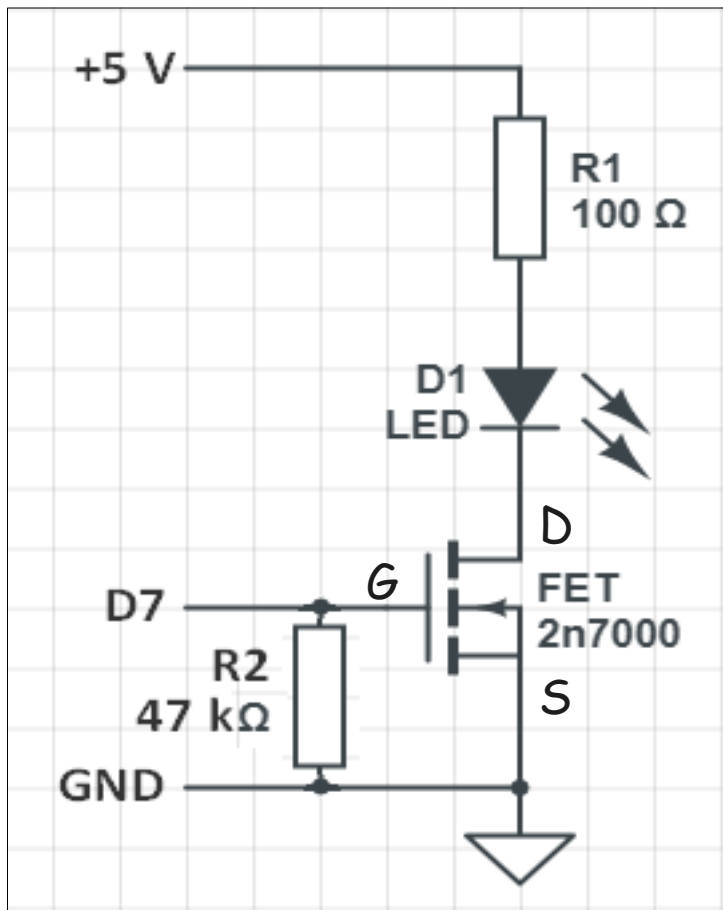


← Példa: Arduinohoz illesztett TFT kijelző hátlapja



# LED kapcsolgatása FET-tel

- Kapcsolgassunk egy LED-et 2N7000 típusú n-csatornás FET-tel!
- A FET G elektródáját a D7 digitális kimenetre kötöttük
- Ne feledkezzünk meg a LED áramkorlátozásáról (R1)!
- Az R2 ellenállás azért kell, hogy vezérlés nélkül ne vezessen a FET (levezeti a fölösleges töltéseket)



# fet\_ledblink.ino

- Vegyük észre, hogy ez a program semmiben sem különbözik attól, mintha a kimenetről közvetlenül táplálnánk a LED-et!
- A különbség a hardverben (a kapcsolásban) van: az Arduino digitális kimenetét nem terheljük meg a LED áramával, tehát akár nagyobb teljesítményű vagy feszültségű fogyasztót is vezérelhetnénk

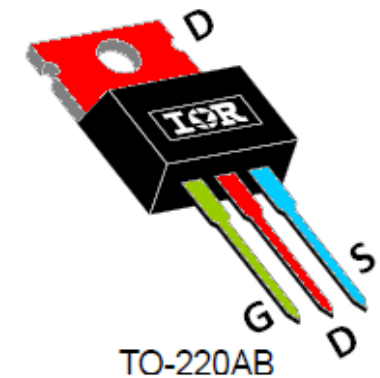
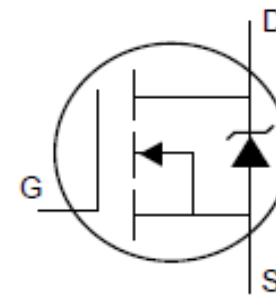
```
#define GREEN_LED 7

void setup() {
  pinMode(GREEN_LED,OUTPUT);    // D7 legyen kimenet
}

void loop() {
  digitalWrite(GREEN_LED,HIGH); // GREEN_LED világít
  delay(1000);                  // 1 s várakozás
  digitalWrite(GREEN_LED,LOW);  // GREEN_LED nem világít
  delay(1000);                  // 1 s várakozás
}
```

# IRLZ44N power FET

- Nagyteljesítményű: 55 V, 47 A HEXFET, n-csatornás, növekményes
- Kis maradékellenállású:  $R_{DS(on)} = 0.022 \Omega$
- Kis nyitófeszültségű („logikai” FET): 4-5 V
- TO-220 tokozású (hűthető)
- Gyártó: **International Rectifier**

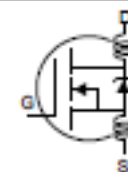


## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	47	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	33	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	110	W
	Linear Derating Factor	0.71	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 16$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	210	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	25	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	11	mJ
$dv/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ ③	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf·in (1.1N·m)	

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

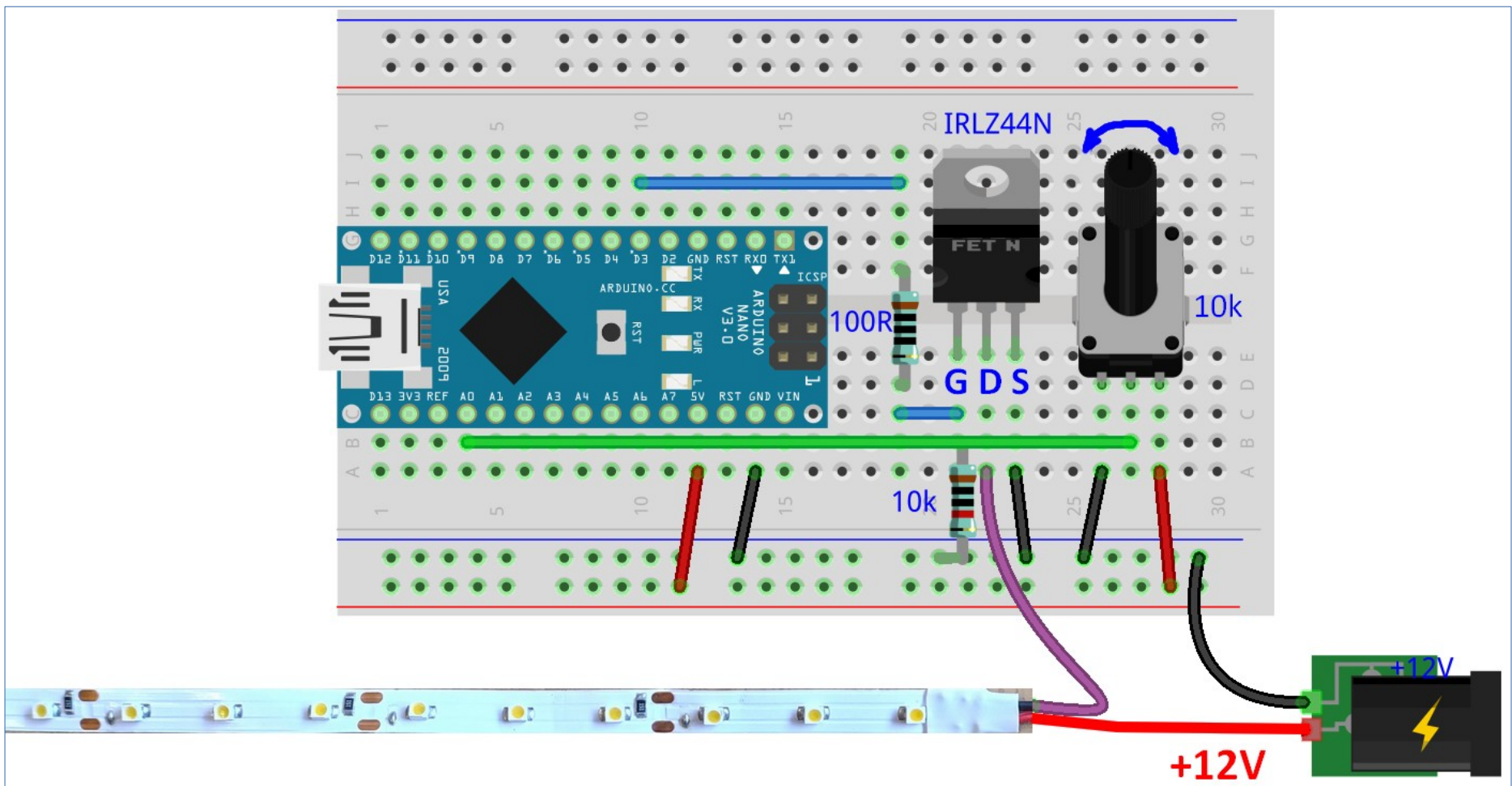
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.070	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.022	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
		—	—	0.025		$V_{GS} = 5.0V, I_D = 25A$ ④
		—	—	0.035		$V_{GS} = 4.0V, I_D = 21A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 16V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -16V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	48	nC	$I_D = 25A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	8.6		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	25		$V_{GS} = 5.0V$ , See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	84	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	26	—		$R_G = 3.4\Omega, V_{GS} = 5.0V$
$t_f$	Fall Time	—	15	—		$R_D = 1.1\Omega$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1700	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	400	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	150	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5





# Kapcsolási elrendezés

- A LED szalagot egy 12 V-os külső tápegységről járattuk, s ez az áramkör az **IRLZ44** FET-en, mint kapcsolón keresztül zárul
- A Gate elektródát az Arduino **D3** kimenete vezérli PWM módban



# fet\_pwm\_control.ino

- A kapcsolást egy potméterrel kiegészítve, az **A0** bemeneten mért feszültséggel vezéreljük a LED szalag teljesítményét, négyzetes összefüggés alapján ( $P \propto V_{in}^2$ )

```
#define led      3 // D3-ra van kötve a FET
void setup() {
  analogReference(DEFAULT); // VCC legyen a referencia
}

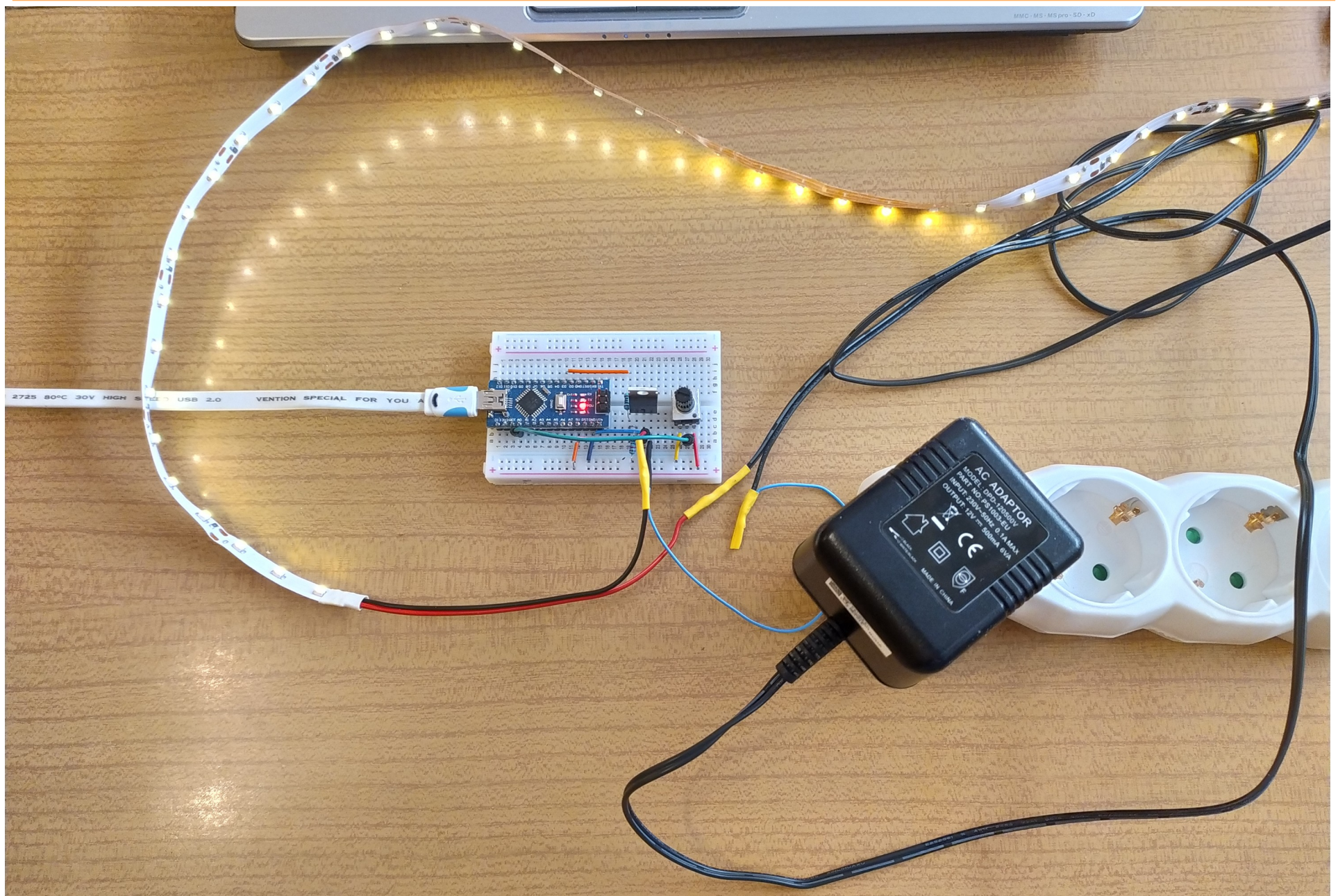
void loop() {
  long a = meres(A0, 500); // 500 mérés átlagolással
  int duty = map(a*a,0,1046529,0,255); // a*a-t átskálázzuk 0-255 közé
  analogWrite(led, duty); // de (a*a)>>12 is megfelelne
  delay(50);
}

int meres(int pin, int n) {
  long sum=0;
  for(int i=0; i<n; i++) {
    sum += analogRead(pin);
  }
  return sum/n;
}
```

Ezt a függvényt egy korábbi előadásban már használtuk több mérés eredményének átlagolására



# fet\_pwm\_control.ino futási eredménye





# Ellenállás színkódok

