



Практически пример:

Защо микроконтролер не може да управлява мощен MOSFET?

Практически пример: Защо микроконтролер не може да управлява мощен MOSFET?

Сценарият: Студенти по електроника искат да направят прост PWM контролер за нагревателен елемент 12V, 36W. Те избират популярният мощен MOSFET IRF540N, който да действа като ключ. Планът е да управляват гейта на MOSFET-а директно от изводите на Arduino Uno, който работи на 5V.

Целта: Те искат да включват и изключват нагревателя с честота 100 kHz. Те приемат, че докато сигналът от 5V е над праговото напрежение на MOSFET-а, всичко ще работи добре. Нека направим сметките, за да видим защо това е опасно предположение.

Стъпка 1: Съберете данните от техническите спецификации на избраните елементи и от проектното задание.

Микроконтролер Arduino Uno / ATmega328P

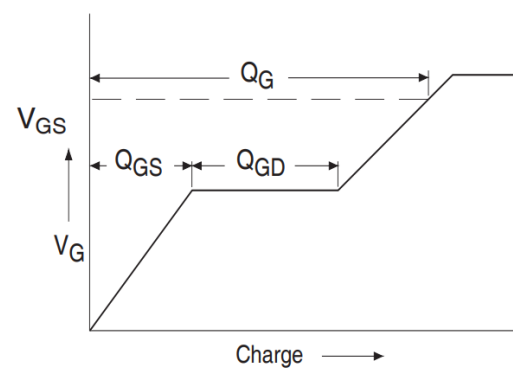
- Напрежение на логическа „1“ на изходите $\approx 5V$
- Максимален ток, който може да отдава един изход $\approx 20\text{ mA (0.02 A)}$

MOSFET транзисторът IRF540N

- Прагово напрежение (V_{th}): от 2V до 4V. Така че, 5V може да включи транзистора.
- Заряд на гейта (Q_g): Типичен заряд Q_g , необходим за да се включи напълно транзистора (при $V_{gs}=10V$): **71 nano-coulombs (nC)**.

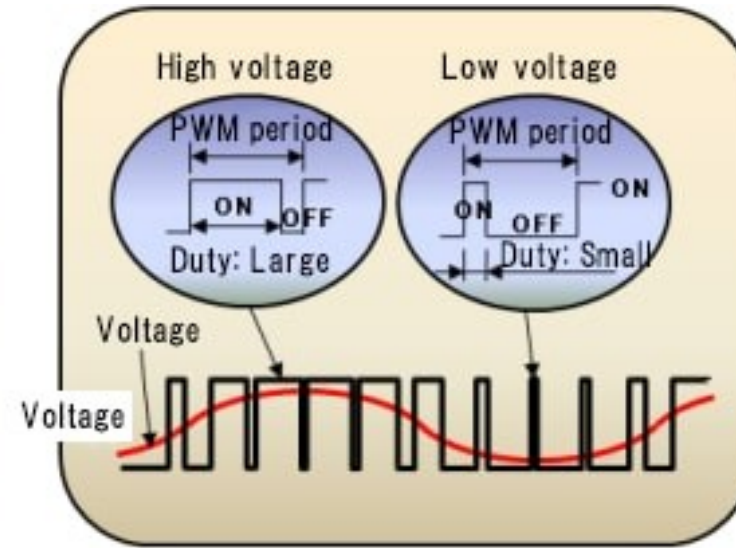
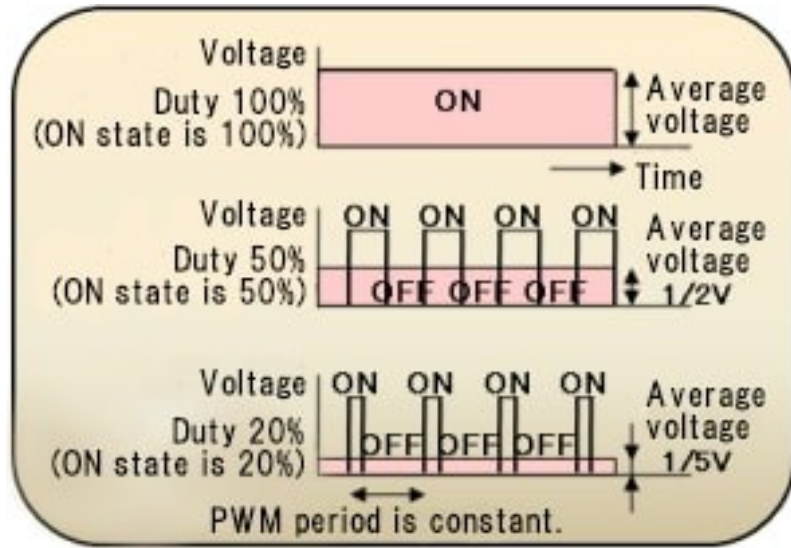
Товар:

- Напрежение V_{load} : **12V**
- Ток I_{load} : $36W / 12V = 3\text{ A}$



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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/ $^{\circ}C$	Reference to $25^{\circ}C, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 16A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^{\circ}C$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	71	nC	$I_D = 16A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		$V_{GS} = 10V, \text{ See Fig. 6 and 13}$



Стъпка 2: Изчислете необходимия ток на гейта за бързо превключване

Нека дефинираме „бързо“ превключване за приложение със 100kHz. Транзисторът има $t_d(on) = 11\text{ ns}$. Периодът на PWM сигнала е $T = 1/100\text{ kHz} = 10\text{ ms}$. За да минимизираме загубите при превключване, нека изберем $t_{on} = 100\text{ ns}$.

Формула: Ток = Заряд / Време или $I_{gate} = Q_g / t_{on}$

Необходим ток:

$$I_{gate(optimal)} = 71\text{ nC} / 100\text{ ns}$$

$$I_{gate(optimal)} = 71 \times 10^{-9}\text{ C} / 100 \times 10^{-9}\text{ s} = 0.71\text{ A}$$

NB 1!

Нашата цел за бързо превключване изисква пиков ток на гейта от 710 mA. Избраният микроконтролер може да осигури 20 mA. Това е повече от **35 пъти по малко** от тока необходим за да осигурим желаната скорост на превключване.

Стъпка 3: Време за включване

И така, ако можем да осигурим само 20mA, колко време ще отнеме реално включването на MOSFET-а?

Формула: Време = Заряд / Ток или $t_{on} = Q_g / I_{gate(mcu)}$

Действително време за включване:

$$t_{on(actual)} = 71\text{ nC} / 20\text{ mA}$$

$$t_{on(actual)} = 71 \times 10^{-9}\text{ C} / 0.02\text{ A} = 3.550\text{ ns} \approx 3.6\text{ }\mu\text{s}$$

NB 2!

Вместо желаните 100 ns, времето за включване ще бъде 3.6 μs . Ключът работи 36 пъти по-бавно отколкото искахме.

Стъпка 4: Изчислете последствията - загуба на мощност при превключване

Това **бавно** превключване създава огромно количество топлина. Нека оценим загубата на мощност по време на превключването.

Формула: Загубата на мощност по време на превключване (P_{sw}) може да се апроксимира като:

$$P_{sw} \approx 0.5 * V_{load} * I_{load} * f_{sw} * (t_{rise} + t_{fall})$$

Където f_{sw} е честотата на превключване, а t_{rise} и t_{fall} са равни на изчисленото от нас време за превключване $3.55\mu s$.

Сценарий А: Управление с микроконтролера

$$t_{switch} = 3.6 \mu s$$

$$P_{sw}(MCU) \approx 0.5 * 12V * 3A * 100kHz * (3.6\mu s + 3.6\mu s)$$

$$P_{sw}(MCU) \approx 18 * 100,000 * (7.2 \times 10^{-6})$$

$$P_{sw}(MCU) \approx \mathbf{12.96 \text{ W}}$$

Сценарий Б: Управление със гейт драйвер

Интегрална схма за управлени на MOSFE (gate driver) лесно ще осигури скорост на превключване от $100ns$.

$$P_{sw}(Driver) \approx 0.5 * 12V * 3A * 100kHz * (100ns + 100ns)$$

$$P_{sw}(Driver) \approx 18 * 100,000 * (200 \times 10^{-9})$$

$$P_{sw}(Driver) \approx \mathbf{0.36 \text{ W}}$$

Заклучение

При директно управление на MOSFET-а от микроконтролера, процесът на превключване разсейва почти **13 W** като топлина.

Стандартен TO-220 корпус без радиатор може да разсее само около 2 W. MOSFET-ът би прегрял и би се самоунищожил за секунди.

Чрез използването на подходящ гейт драйвер, загубата при превключване се намалява до 0.36 W — напълно поносима стойност.

Това доказва, че въпреки че микроконтролерът с изход 5V е достатъчен, за да включи MOSFET-а, неговата способност да отдава ток е напълно недостатъчна за да го включи бързо. За всяко приложение, включващо PWM или бързо превключване, специализираният гейт драйвер е задължителен елемент на схемата.