

## РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ЧАСТОТЫ УПРАВЛЕНИЯ MOSFET ТРАНЗИСТОРОМ

*О.И. Фисенко<sup>1)</sup>, А.В. Паврозин<sup>2)</sup>*

1) студент Армавирского механико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [oleg.fisenko.99@inbox.ru](mailto:oleg.fisenko.99@inbox.ru)

2) к.п.н., доцент Армавирского механико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [pavrosin@mail.ru](mailto:pavrosin@mail.ru)

**Аннотация:** в статье приведён расчёт максимально допустимой частоты управления mosfet транзистором портом ввода-вывода микроконтроллера.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, MOSFET транзистор, входная ёмкость.

## THE CALCULATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE FREQUENCY OF THE CONTROL MOSFET TRANSISTOR

*Oleg I. Fisenko<sup>1)</sup>, Alexander V. Pavrozin<sup>2)</sup>*

1) the student Armavir mechanics-technological Institute (branch) Kuban state technological University, city of Armavir, Russia, [oleg.fisenko.99@inbox.ru](mailto:oleg.fisenko.99@inbox.ru)

2) Ph. D., associate Professor, Armavir mechanics-technological Institute (branch) Kuban state technological University, city of Armavir, Russia, [pavrosin@mail.ru](mailto:pavrosin@mail.ru)

**Abstract:** the article presents the calculation of the maximum allowable frequency of mosfet control by the input-output port of the microcontroller.

**Keywords:** microcontroller, MOSFET transistor, input capacitance.

В статическом режиме активное сопротивление цепи затвор-исток полевых транзисторов с изолированным затвором (MOSFET) составляет сотни мегаом, а энергия и ток, необходимые для управления транзистором – минимальны. Однако при переключении MOSFET транзисторов необходимо перезаряжать входную ёмкость затвор-исток. На высоких частотах переключения токи заряда-разряда входной ёмкости велики, поэтому необходимо рассчитывать максимально допустимую

частоту управления MOSFET транзистором. Превышение этой частоты ведёт к резкому увеличению выходного тока источника управляющего сигнала, что приводит к неэффективному согласованию и перегрузке.

Произведём расчёт максимально допустимой частоты переключения MOSFET транзистора «AUIRFR2405» для порта ввода-вывода микроконтроллера фирмы atmel «attiny 13», при коэффициенте заполнения ШИМ сигнала равным 50%.

В описании микроконтроллера «attiny 13» приведены максимально допустимые значения электрических параметров (рисунок 1). Максимально допустимый постоянный ток порта ввода вывода равен 40 мА.

## ATtiny13

### Electrical Characteristics

#### Absolute Maximum Ratings\*

|   |                        |
|---|------------------------|
| Operating Temperature .....   | -55°C to +125°C        |
| Storage Temperature .....   | -65°C to +150°C        |
| Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$<br>with respect to Ground ..... | -0.5V to $V_{CC}+0.5V$ |
| Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground .....                   | -0.5V to +13.0V        |
| Maximum Operating Voltage .....   | 6.0V                   |
| DC Current per I/O Pin .....  | 40.0 mA                |
| DC Current $V_{CC}$ and GND Pins .....  | 200.0 mA               |

\*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Рисунок 1 – Фрагмент документации Attiny13

Следует обратить внимание на предупреждение производителя о том, что длительное воздействие любого из максимально допустимых значений параметров может негативно сказаться на надёжности устройства. Поэтому для расчёта принимаем максимальное действующее значение тока порта ввода-вывода равным 20 мА. Для определения длительности фронтов управляющего сигнала, необходимо знать внутреннее сопротивление порта ввода-вывода. В документации на микроконтроллер этой информации нет, зададимся значением 10 Ом (из опыта).

В документации на транзистор «AUIRFR2405» приведён график зависимости заряда затвора  $Q_g$  от напряжения затвор-исток (рисунок 2).

Напряжение управления  $U_{I/O}$  равно напряжению питания микроконтроллера, в нашем случае 5 В. По графику находим: заряд затвора для такого напряжения управления приблизительно равен 35 нКл.

## AUIRFR2405

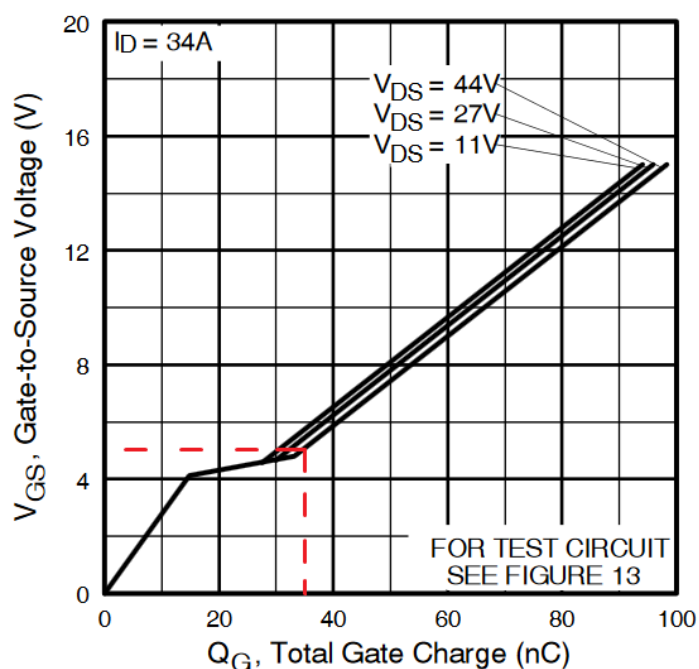


Рисунок 2 – Зависимость полного заряда затвора от напряжения на нём для транзистора AUIRFR2405

Рассчитаем максимальную частоту переключения  $f_{\max}$  транзистора, при которой ток порта ввода-вывода  $I_{G\max}$  не превышает максимального значения:

$$f_{\max} = \frac{I_{G\max}}{Q_g} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ А}}{3.5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}} = 571,43 \text{ кГц.}$$

Построим в программной среде «MathCad Express Prime» график напряжения на затворе за один период переключения транзистора (рисунок 3), пренебрегая зависимостью полной ёмкости затвора от напряжения затвор-исток.

$Q_g := 35 \cdot 10^{-9} \text{ Кл};$      $R_{io} := 10 \text{ Ом};$      $U_{io} := 5 \text{ В};$      $f := 571.43 \cdot 10^3 \text{ Гц};$

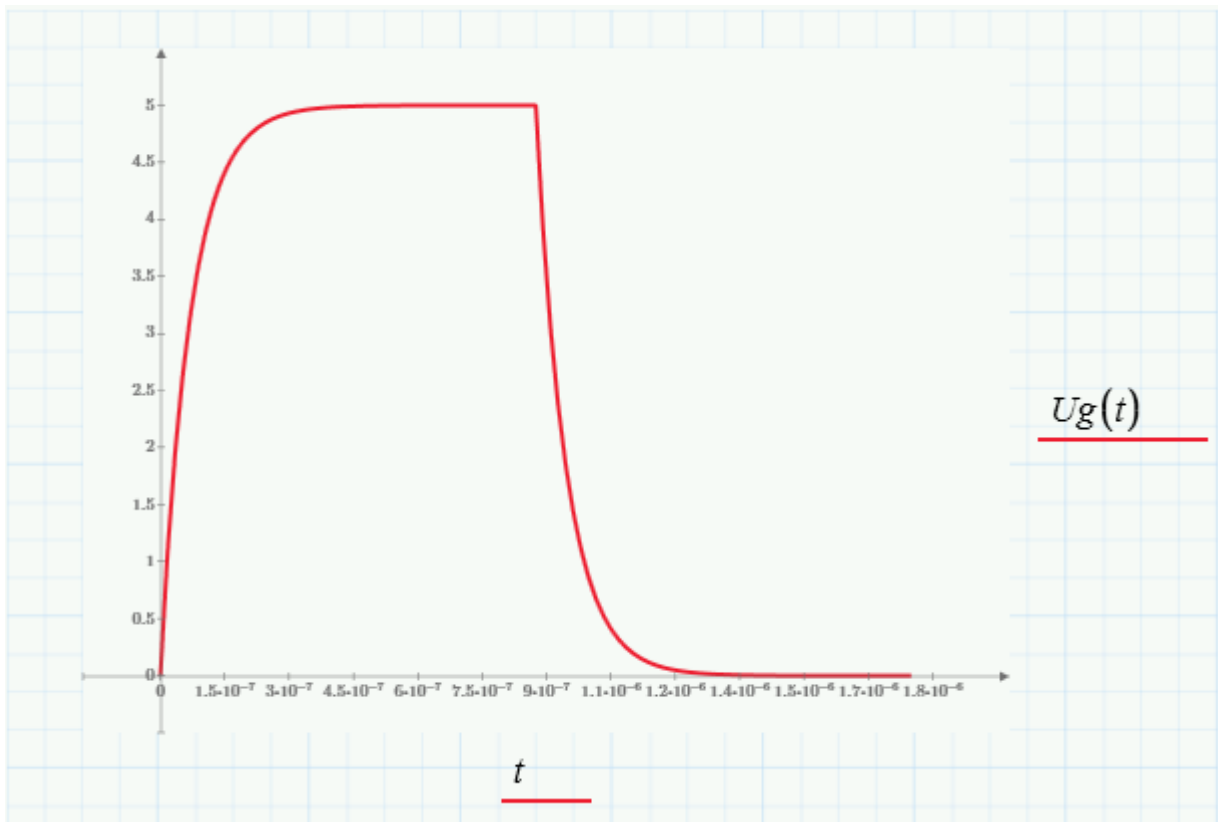
Период переключения транзистора:     $T := \frac{1}{f} = 1.75 \cdot 10^{-6} \text{ с};$

Полная ёмкость затвора, при напряжении  $U_{i/o}$ :     $C_g := \frac{Q_g}{U_{io}} = 7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф};$

Ранжированная переменная времени для построения графика зависимости напряжения на затворе транзистора, от времени:     $t := 0, \frac{T}{100} .. T \text{ с};$

Функция напряжения на затворе от времени, определённая для одного периода переключения транзистора:     $U_g(t) := \left\{ \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ \text{if } (t \geq 0) \wedge (t < 8 \cdot R_{io} \cdot C_g) \\ \left\| \begin{array}{l} s \leftarrow U_{io} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_{io} \cdot C_g}} \right) \end{array} \right\| \\ \text{if } (t \geq 8 \cdot R_{io} \cdot C_g) \wedge \left( t < \frac{T}{2} \right) \\ \left\| \begin{array}{l} s \leftarrow U_{io} \end{array} \right\| \\ \text{if } \left( t \geq \frac{T}{2} \right) \wedge \left( t < \frac{T}{2} + 8 \cdot R_{io} \cdot C_g \right) \\ \left\| \begin{array}{l} s \leftarrow U_{io} \cdot e^{-\frac{-t + \frac{T}{2}}{R_{io} \cdot C_g}} \end{array} \right\| \\ \text{if } \left( t \geq \frac{T}{2} + 8 \cdot R_{io} \cdot C_g \right) \wedge (t < T) \\ \left\| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \end{array} \right\| \\ s \end{array} \right.$

Рисунок 3 – Листинг расчёта графика зависимости напряжения на затворе транзистора от времени в программной среде «MathCad Express Prime».



**Рисунок 4 – График зависимости напряжений на затворе от времени, построенный для одного периода переключения транзистора.**

График подтверждает, что на рассчитанной нами предельной частоте управляющего сигнала уже заметно проявляется емкостной характер нагрузки. Дальнейшее увеличение частоты приведёт к некорректной работе MOSFET транзистора; возможен его перегрев из-за пологих фронтов управляющего импульса.

**Список используемых источников:**

1. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/80274/ATMEL/ATTINY13.html>
2. <https://datasheetpdf.com/pdf/file/788335/InternationalRectifier/AUIRF2405/1>