

УДК 621.375.4:004.31

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ MOSFET ПОСРЕДСТВОМ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Вернези М.А., Горянина К.И.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: slavikvernezi@mail.ru

На сегодняшний день в качестве силовых переключательных приборов наиболее распространены полевые и IGBT транзисторы. Это связано с отсутствием механических контактов, высокой скоростью переключения и низким сопротивлением открытого канала, что обуславливает высокий КПД. Таким образом, сегодня вопрос синтеза выходных каскадов микропроцессорной вычислительной техники (как правило, построенных по принципу КМОП технологии) с силовыми коммутирующими транзисторами. В статье приводится методика расчета цепей управления силовых полупроводниковых приборов с изолированным затвором, обеспечивающие оптимальные значения времени переключения с целью снижения коммутационных потерь и повышении надежности схем управления различными исполнительными устройствами (например такими как электродвигатели, нагревательные элементы и т.д.). Учитываются наиболее влияющие паразитные параметры транзистора, такие как входная емкость и индуктивность стока.

Ключевые слова: MOSFET, усилители, схемотехника, микропроцессоры

THE METHOD OF CALCULATION OF THE CONTROL CIRCUIT OF THE MOSFET BY MEANS OF MICROPROCESSOR TECHNOLOGY

Vernese M.A., Goryanin I.K.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: slavikvernezi@mail.ru

Today as power switching devices field and IGBT transistors are the most widespread. This is due to the lack of mechanical contacts, high switching speed and low resistance of the open channel, which leads to high efficiency. Thus, today the issue of synthesis of output stages of microprocessor computer technology (as a rule, built on the principle of CMOS technology) with power switching transistors. The article presents a method of calculating the control circuits of power semiconductor devices with an isolated gate, providing optimal switching time values in order to reduce switching losses and improve the reliability of control circuits of various actuators (such as motors, heating elements, etc.). The most influential parasitic parameters of the transistor, such as the input capacitance and the inductance of the drain, are taken into account.

Keywords: MOSFET, amplifiers, circuitry, microprocessor

В настоящее время MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor) активно набирают популярность. Это обусловлено такими преимуществами над устаревшими биполярными транзисторами, как:

- быстрота переключения;
- простота управления;
- высокий КПД.

Транзисторы с изолированным затвором преимущественно используются в оконечных силовых каскадах в целях управления таких устройств как: сварочные инверторы, электродвигатели, преобразователи напряжения, усилители звуковой частоты и т.д.

В виду активного внедрения микропроцессорной вычислительной техники в системы управления, актуален вопрос синтеза выходных каскадов устройств управления (как правило, построенных по принципу КМОП технологии) с силовыми коммутирующими транзисторами.

Принято считать, что транзистор с изолированным затвором управляется напряжением. Однако на деле, в виду особенностей технологического процесса производства

транзисторов, реальные приборы обладают рядом паразитных параметров. На рис. 1 приведена модель полевого транзистора с индуцированным каналом [2].

Наибольшее влияние на динамические характеристики полупроводником с изолированным затвором (в т.ч. IGBT), оказывает емкость затвор – исток C_{GS} . Формируется она при наложении затворного электрода на области истока и канала, соответственно, его величина зависит от геометрических размеров перекрытия и остается постоянным при любых условиях работы. Таким образом, открытие MOSFET транзистора, непосредственно связано с напряжением на паразитном конденсаторе C_{GS} . Исходя из модели (рис. 1) – цепь Gate – Source представляет собой RC цепь, в которой напряжение на конденсаторе описывается следующим выражением:

$$U = e^{t/RC}, \quad (1)$$

где t – время; R – сопротивление затвора R_g , C_{GS} – емкость перехода затвор – исток.

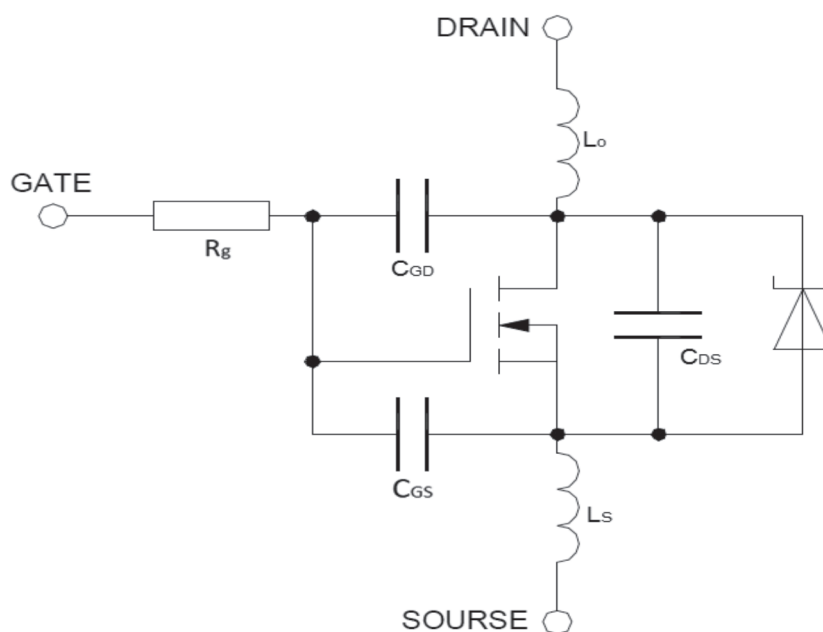


Рис. 1. Модель полевого транзистора с индуцированным каналом

Значение паразитных емкостей явно не указывается в документации на транзистор. Но по методике, описанной в статье [2], значение C_{GS} быть вычислено из выражения:

$$C_{GS} = C_{ISS} - C_{RSS}, \quad (2)$$

При этом произведение $R_g C_{GS}$ называется постоянным времени T^g [1], отображающим время, за которое конденсатор заряжается на 63%. На рис. 2 представлен график зависимости напряжения от времени, при протекании постоянного тока через конденсатор.

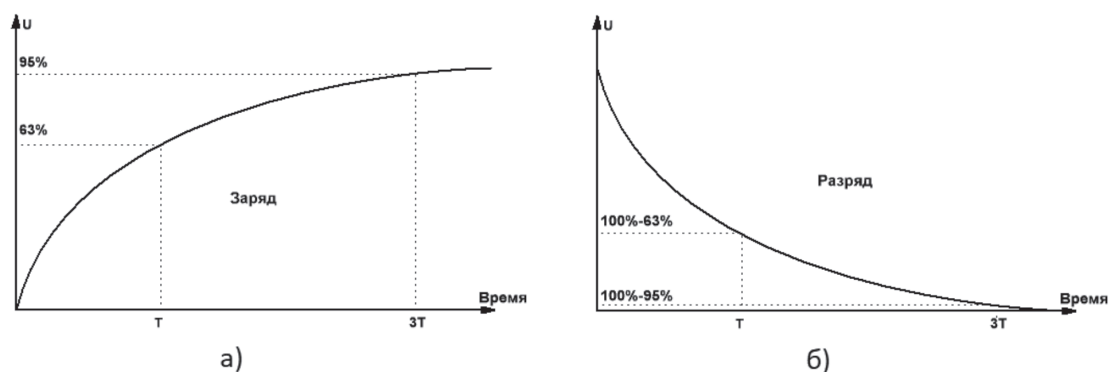


Рис. 2. Время заряда (а) и разряда (б) конденсатора

Также, на работу транзистора в режиме ключа наибольшее влияние оказывает индуктивность истока. Обуславливается он внутрикорпусной индуктивностью самого транзистора L_S , а также индуктивностью печатного проводника на плате. Именно для снижения этой индуктивности шунтирующий конденсатор необходимо располагать как можно ближе к выводам транзистора. Таким образом, цепь из сопротивлений $R_{HI} + R_{GATE} + R_G$, входной емкости C_{ISS} и паразитной индуктивности L_S образуют резонансный контур. Негативное влияние этого контура заключается в том, что при резком нарастании/спаде управляющего сигнала, в цепи затвора появляются колебательные процессы (рис. 3). Но резонансный контур демпфируется рядом сопротивлений в цепи затвора. То есть, изменяя сопротивление R_{GATE} , мы влияем на этот контур:

$$R_{GATE} = 2\sqrt{\frac{L_S}{C_{ISS}}} - (R_{DRV} + R_G), \quad (3)$$

где R_{DRV} – выходное сопротивление источника управляющего сигнала.

Рассмотрев факторы, оказывающие влияние на динамические характеристики транзистора, определим параметры управляющей цепи, схема которой изображена на рис. 4. В момент подачи отпирающего напряжения, ток затворной цепи, в начальный момент времени, описывается следующим выражением [3]:

$$I_{GATE} = \frac{U_{DRV} + U_{GS}}{R_{HI} + R_{GATE} + R_G}, \quad (4)$$

где U_{DRV} – напряжение цепи управления затвором; U_{GS} – напряжение на затворе; R_{HI} – выходное сопротивление схемы управления затвором; R_{GATE} – сопротивление резистора в цепи затвора; R_G – сопротивление затвора транзистора.

При закрытии транзистора необходимо брать во внимание выходное сопротивление на закрытие:

$$I_{GATE} = \frac{U_{DRV} + U_{GS}}{R_{LO} + R_{GATE} + R_G}, \quad (5)$$

где R_{LO} – выходное сопротивление драйвера на закрытие.



Рис. 3. Колебательные процессы в цепи затвора

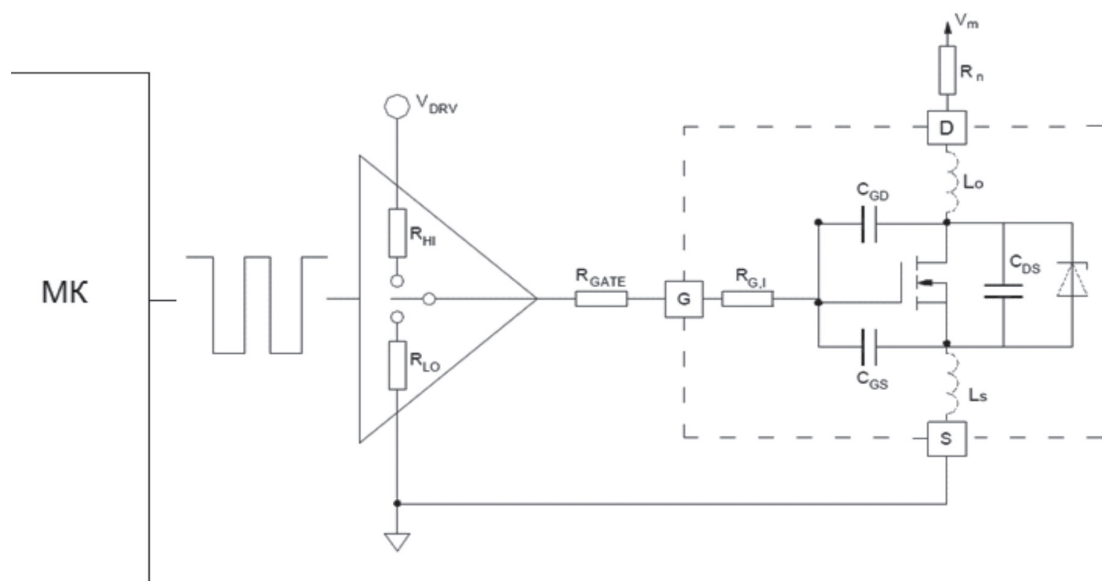


Рис. 4. Схема управления изолированным затвором

По мере нарастания напряжение U_{GS} ток будет падать (по той же экспоненте), но при расчете схемы управления принимается во внимание максимальный ток цепи затвора MOSFET транзистора.

Заключение. Разработка схемы управления силовыми MOSFET и её схемотехническая реализация является основополагающим фактором, определяющим динамические характеристики всей схемы, что в свою очередь определяет максимальную частоту коммутации и потери при переключении. В работе описан расчет параметров цепей управления коммутирующих

полупроводниковых приборов, основываясь на модель, представленную в работе [2].

Автор выражает благодарность научному руководителю – к.т.н., доценту Лукьянову А.Д. за оказанную помощь при написании настоящей статьи.

Список литературы

1. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. 3-е, изд. стер. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 2016. – С. 30–32.
2. Balogh L., Design And Application Guide for High Speed MOSFET Gate Drive Circuits // Материалы конференции SEM-1400 UNITRODE, 2001.
3. Саундбаррель [Электронный ресурс]. – http://soundbarrel.ru/pitanie/IR2153_01.html Доступ 28.11.2017.