

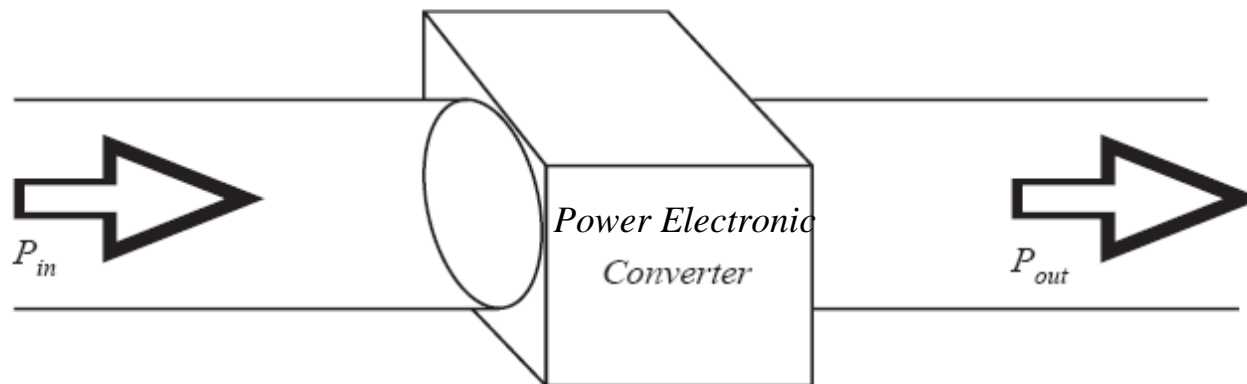
# الکترونیک قدرت

# Power Electronics

- تعریف
- هدف
- فهرست مطالب
- مراجع
- نحوه ارزیابی

# تعریف

- الکترونیک قدرت مبحثی از مهندسی الکترونیک است که از پردازش انرژی الکتریکی صحبت می کند. به کمک آن درمی یابیم که چگونه با مبدل های الکترونیک قدرت می توان از منبع انرژی الکتریکی موجود انرژی مورد نیاز بار را تامین کرد.



## هدف

- هدف از این درس ایجاد شناخت از عناصر و سیستمهای الکترونیک قدرت و ارائه پایه های لازم به منظور انتخاب صحیح، تحلیل، طراحی و بهینه سازی ادوات و سیستم های الکترونیک قدرت می باشد.

## مطالب درس

■ بخش اول ادوات الکترونیک قدرت  
شامل:

- ماسفت قدرت
- ترانزیستور با گیت عایق شده IGBT
- GTO
- ادوات مغناطیسی

## مطالب درس

- بخش دوم مدارهای یا سیستمهای الکترونیک قدرت:
  - مبدل‌های DC/DC مجزا
  - اینورترهای منبع ولتاژ VSI یا تغذیه با ولتاژ VFI
  - اینورترهای منبع جریان CSI یا تغذیه با جریان CFI
  - مبدل‌های تشدید
  - مبدل‌های AC/AC

## مطالب درس

- بخش سوم کنترل سیستمهای الکترونیک قدرت:
  - نظریه میانگین گیری و مدل میانگین
  - مدل فضای حالت

## مطالب درس

### ■ بخش چهارم مدارهای جانبی:

- مدارهای ضربه گیر
- مدارهای راه انداز
- سنسورهای جریان و ولتاژ
- مدارهای مجتمع کنترل کننده
- میکروکنترلر و DSP کنترلر

## مطالب درس

■ بخش پنجم مباحث مرتبط:

- سازگاری الکترومغناطیسی EMC
- مدیریت گرمایی Thermal Management



- J. Kassakian, M. Schlecht, G. Verhese, “Principles of Power Electronics, Addison Wesley, 1991.
- N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins, “Power Electronics, Converters, Application and Design,” Wiley, 1995.
- B. Bose, “Modern Power Electronics and AC Drives,” Prentice Hall of India, 2005.
- P. Krein, “Elements of Power Electronics,” Oxford University Press, 1998.

# ترانزیستور ماسفت قدرت

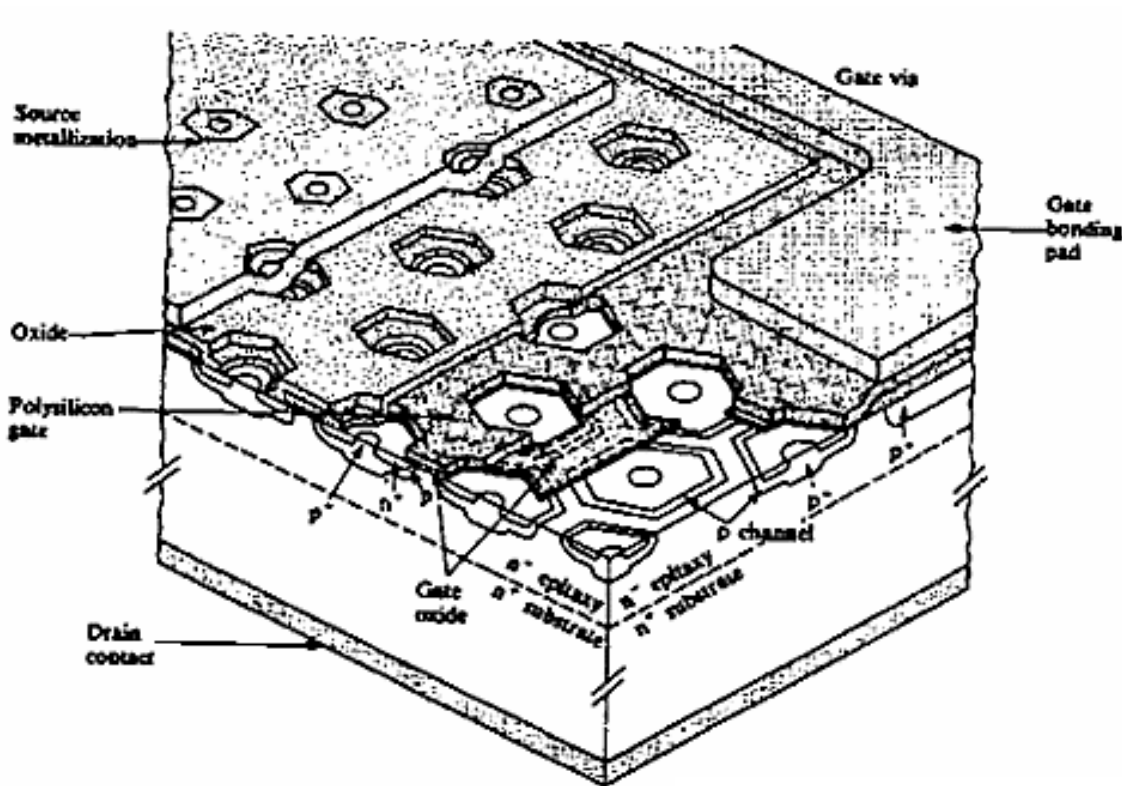
## Power MOSFET

- تاریخچه
- ساختمان و اصول کار
- مشخصه ها
- مدارهای راه انداز

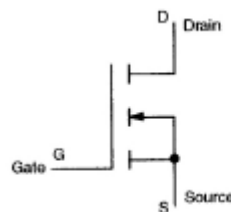
## تاریخچه و ویژگی ها

- پیدایش: ۱۹۸۰
- اولین سازنده: شرکت International Rectifier
- سریعترین کلید الکترونیک قدرت
- تفاوت عمده با ماسفت سیگنال: ماسفت قائم VMOS
- دقت فن آوری ساخت: رده LSI
- محدوده قدرت قطع: چند وات تا حدود صد کیلو وات

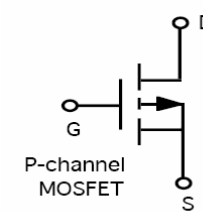
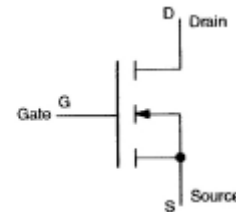
# ساختمان



- ساختار سلولی
- پیاده سازی قائم
- اتصال سورس در
- رو
- اتصال درین در
- زیر

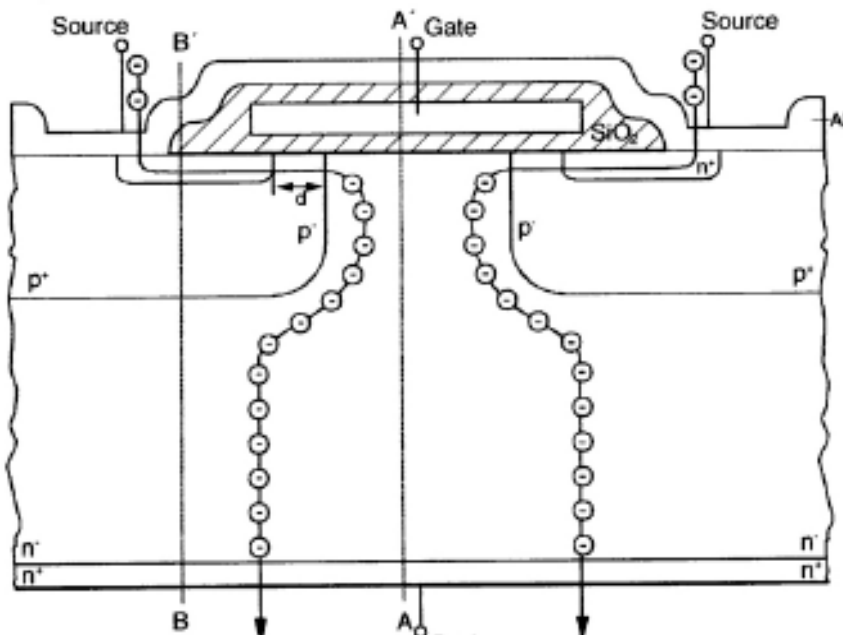


نماد ماسفت کانال n  
University of Tehran



نماد ماسفت کانال p

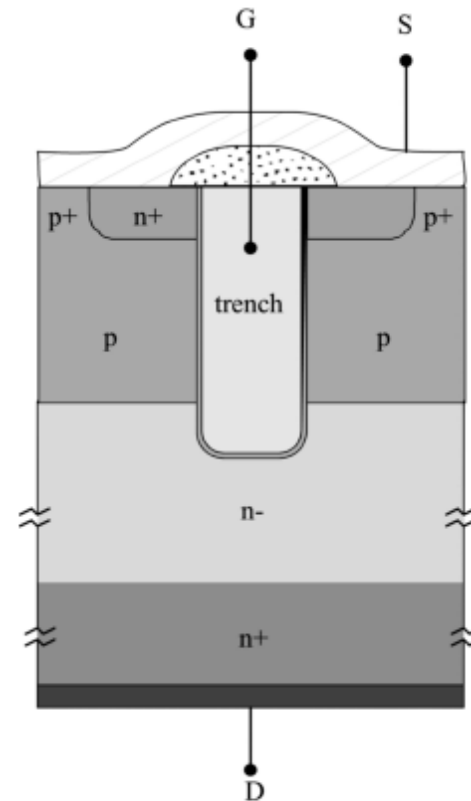
## نمایش مقطعی یک سلول در دو نوع ماسفت قدرت



Power MOSFET (SIPMOS planar gate structure)

d: length of channel

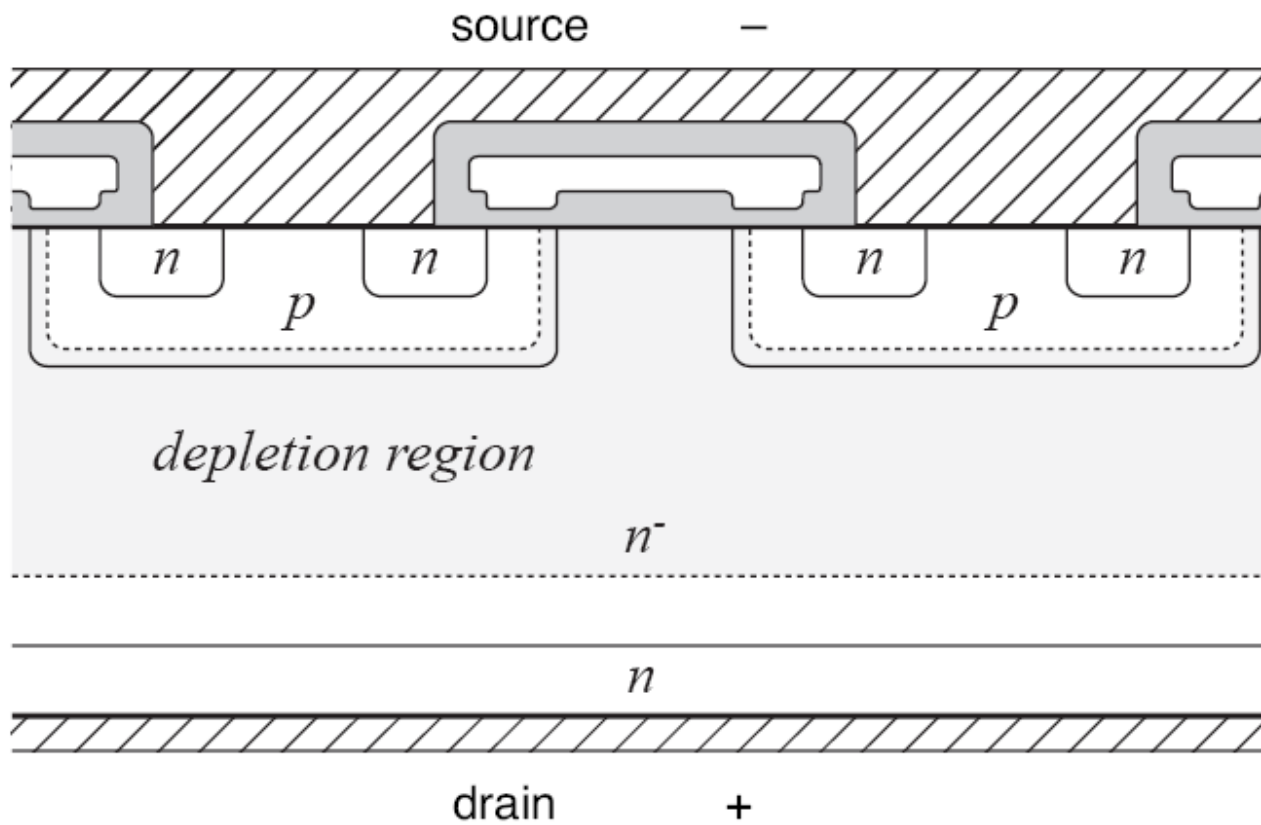
ساختار ماسفت قدرت با گیت سطحی (ساختار متعارف)



c) MOSFET with trench gate structure

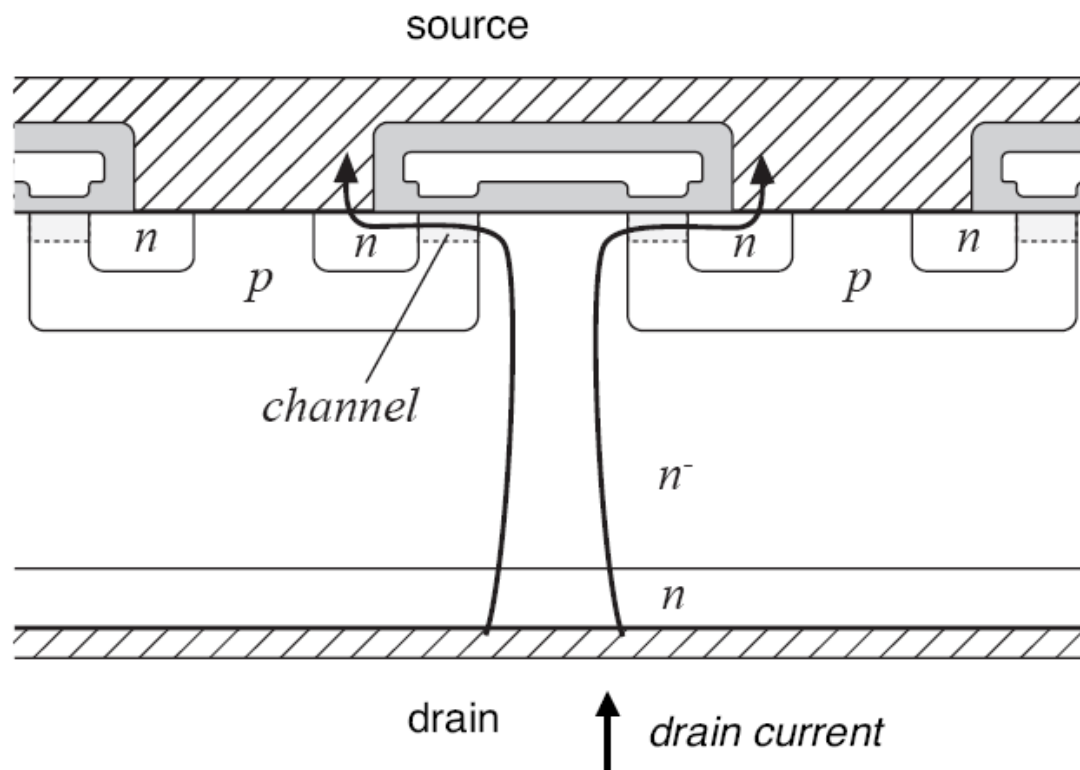
ساختار ماسفت با گیت به صورت کانال عمیق

## مکانیسم تحمل ولتاژ



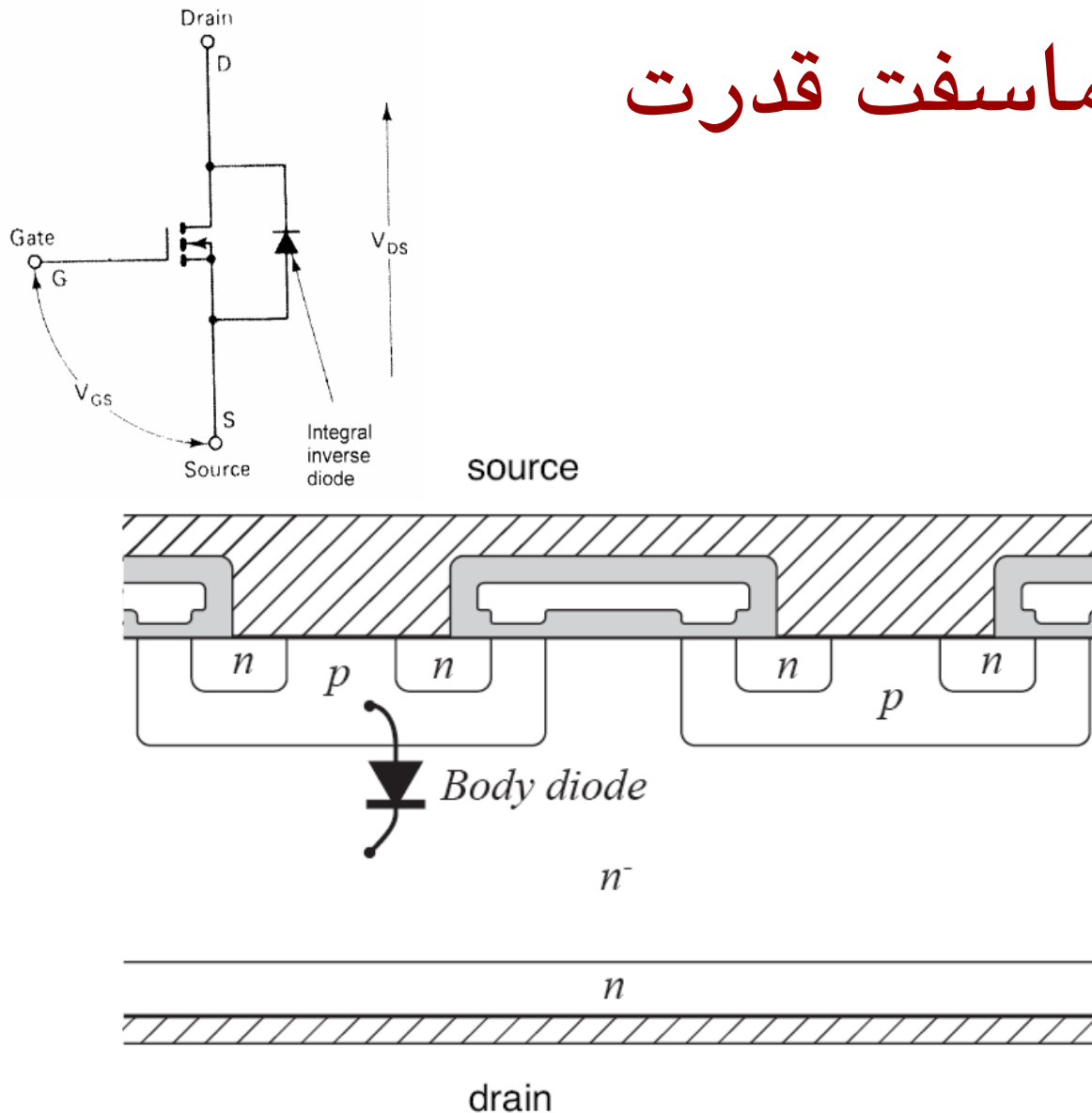
- $p-n^-$  junction is reverse-biased
- off-state voltage appears across  $n^-$  region

## مکانیسم عبور جریان



- $p-n$  junction is slightly reverse-biased
- positive gate voltage induces conducting channel
- drain current flows through  $n^-$  region and conducting channel
- on resistance = total resistances of  $n^-$  region, conducting channel, source and drain contacts, etc.

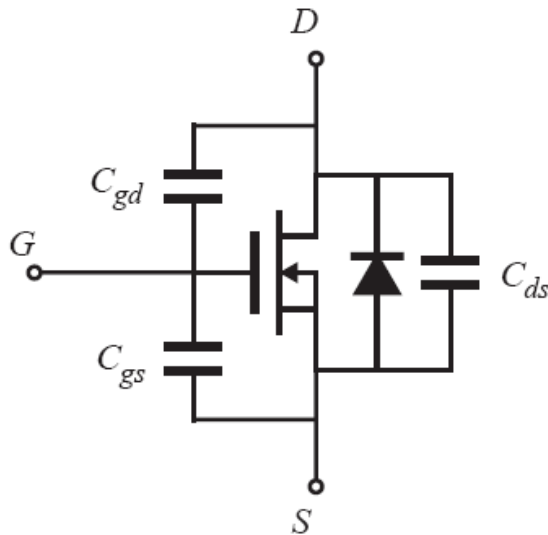
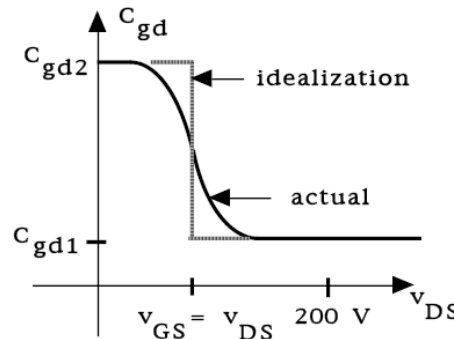
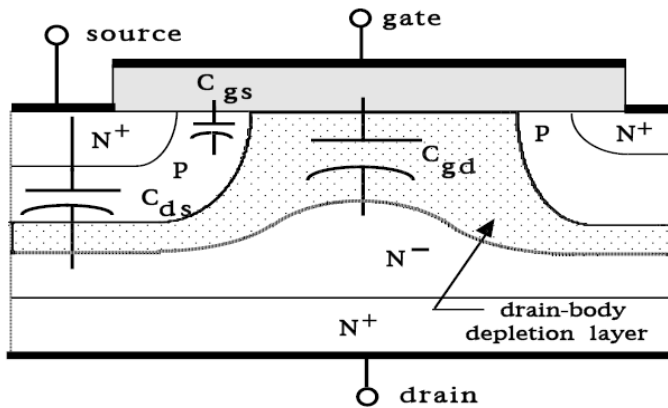
# دیود بدنه در ماسفت قدرت



- $p-n$  junction forms an effective diode, in parallel with the channel
- negative drain-to-source voltage can forward-bias the body diode
- diode can conduct the full MOSFET rated current
- diode switching speed not optimized — body diode is slow,  $Q_r$  is large



# خازنهای ماسفت

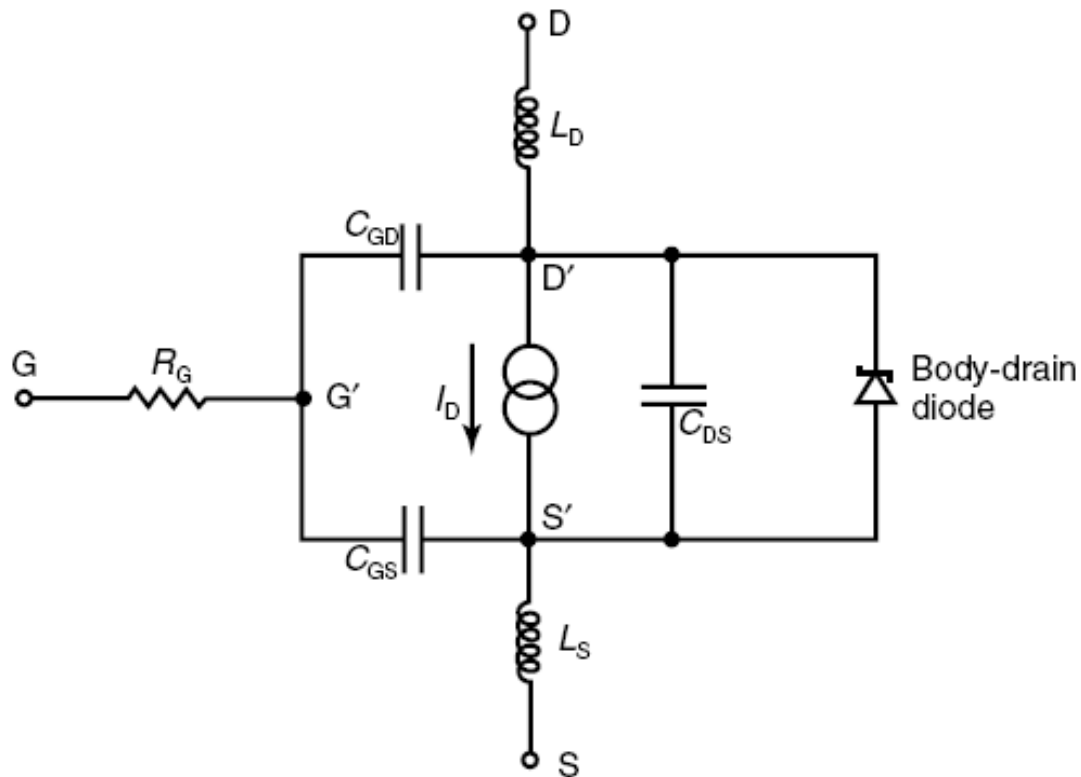


- $C_{gs}$  : large, essentially constant
- $C_{gd}$  : small, highly nonlinear
- $C_{ds}$  : intermediate in value, highly nonlinear
- switching times determined by rate at which gate driver charges/discharges  $C_{gs}$  and  $C_{gd}$

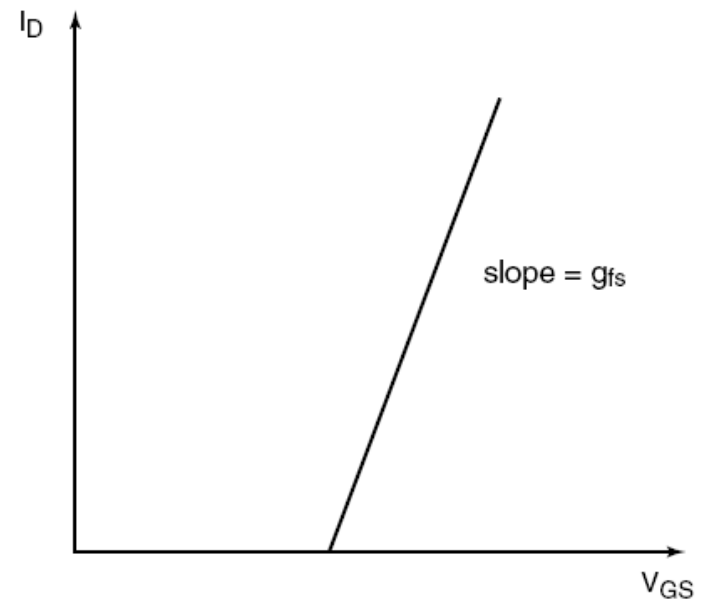
$$C_{ds}(v_{ds}) = \frac{C_0}{\sqrt{1 + \frac{v_{ds}}{V_0}}}$$

$$C_{ds}(v_{ds}) \approx C_0 \sqrt{\frac{V_0}{v_{ds}}} = \frac{C'_0}{\sqrt{v_{ds}}}$$

# مدار معادل دینامیکی ماسفت

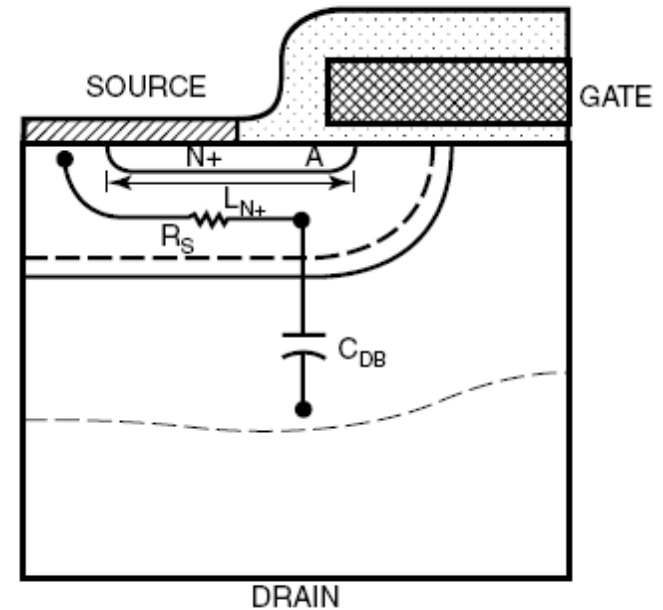
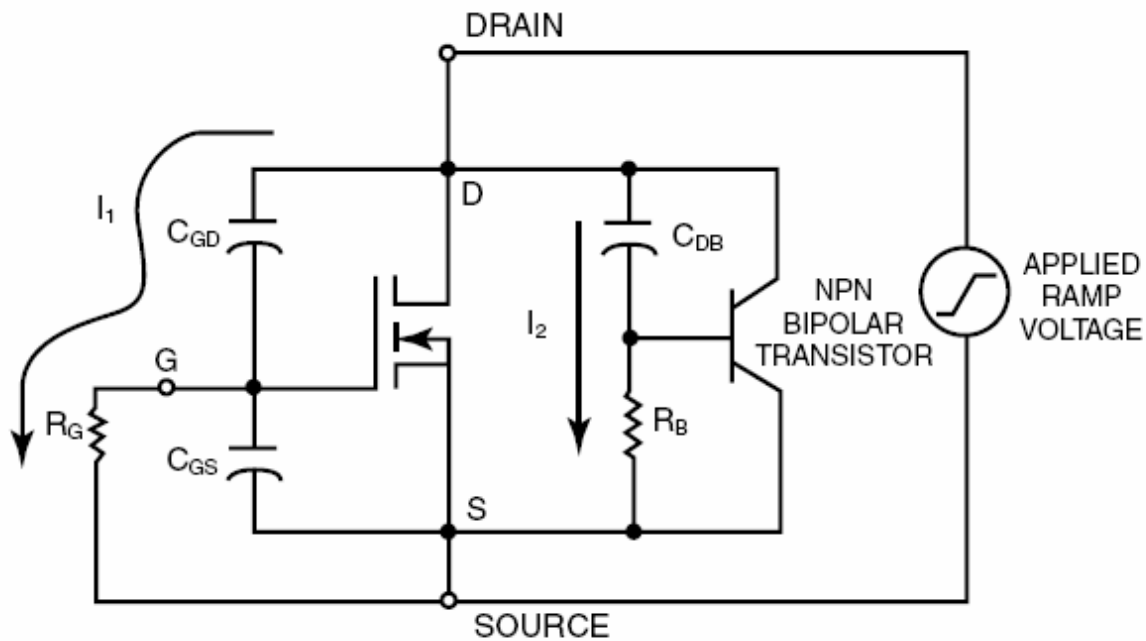


عناصر پارازیت در مدار معادل ماسفت



مشخصه انتقالی

# محدودیت $dV/dt$ در ماسفت

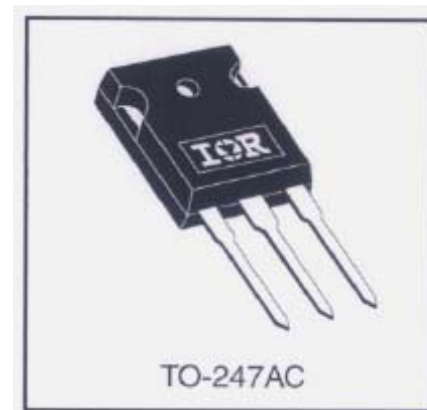
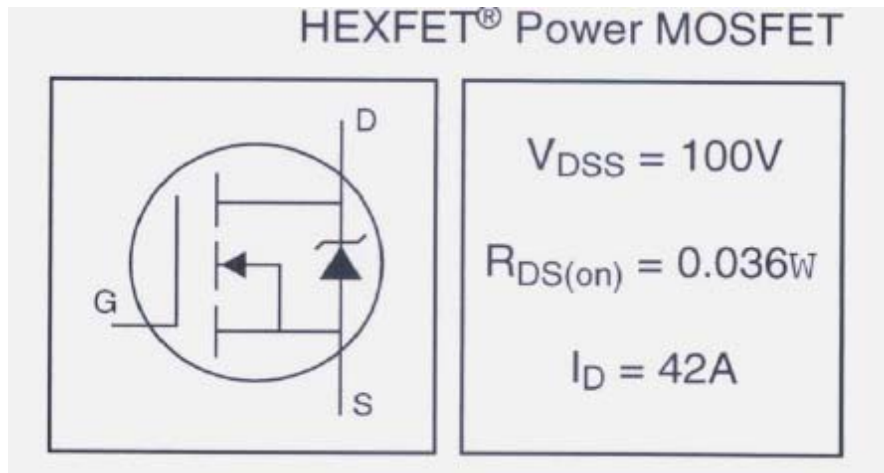


## ویژگی های ماسفت قدرت

- A majority-carrier device: fast switching speed
- Typical switching frequencies: tens and hundreds of kHz
- On-resistance increases rapidly with rated blocking voltage
- Easy to drive
- The device of choice for blocking voltages less than 500V
- 1000V devices are available, but are useful only at low power levels (100W)
- Part number is selected on the basis of on-resistance rather than current rating

# پارامترها و مشخصه های مهم ماسفت قدرت

## IRFP150NPbF



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	42	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	30	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①⑤	140	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	160	W
	Linear Derating Factor	1.1	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	± 20	V

## مشخصه خروجی

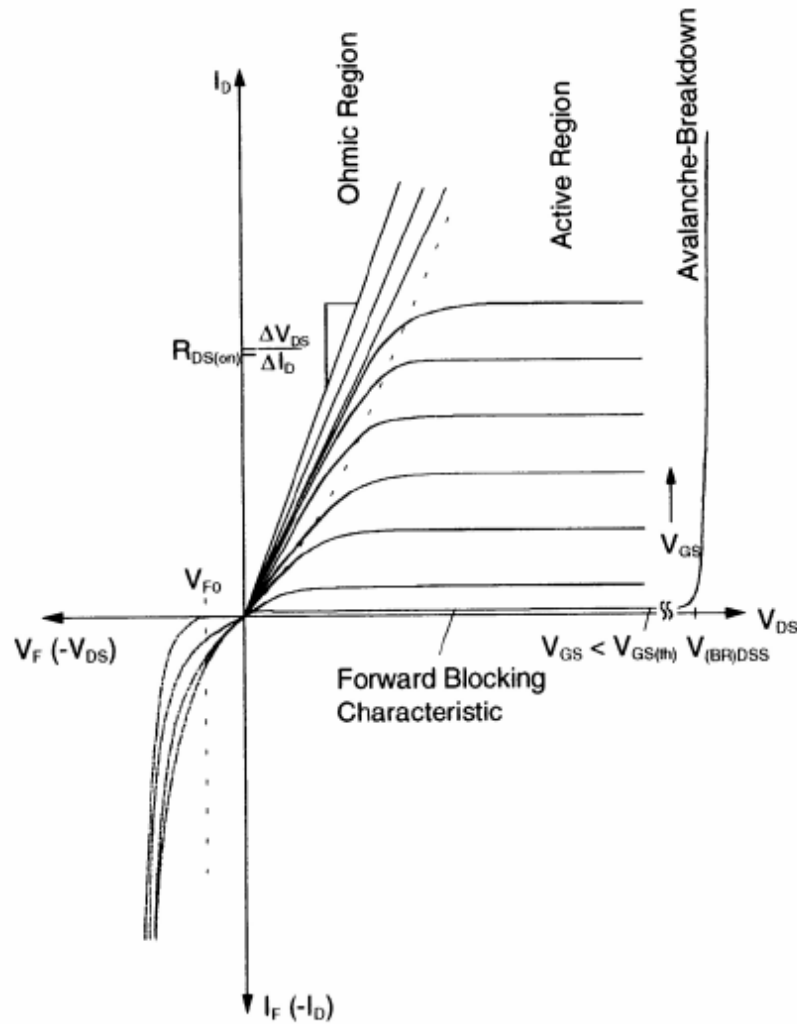


Fig. 3 a) Output characteristic of MOSFETs

# مشخصه خروجی در برگه اطلاعات

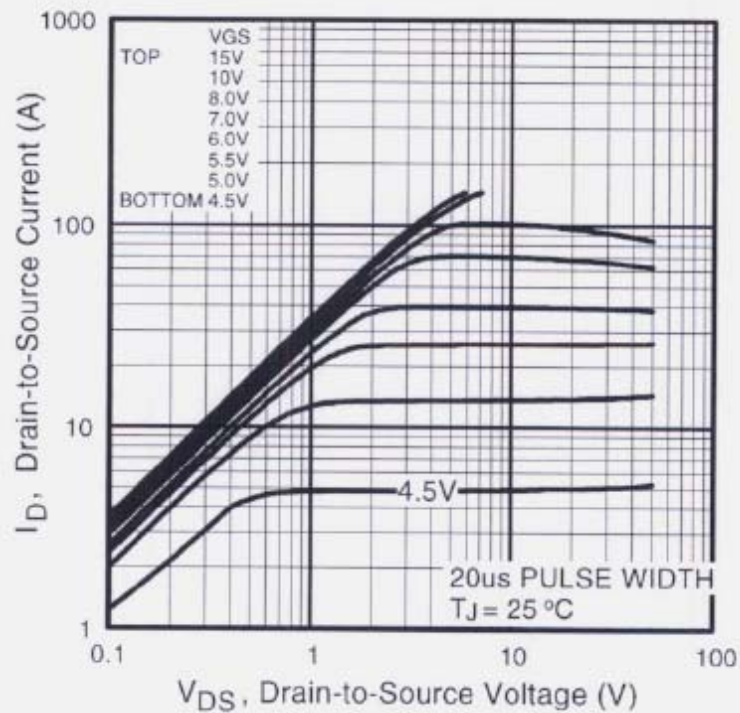


Fig 1. Typical Output Characteristics

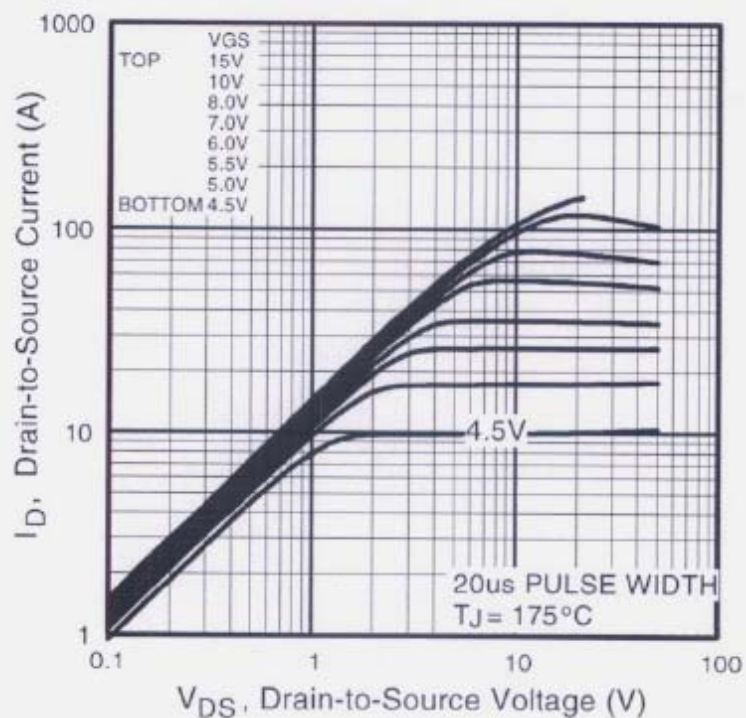
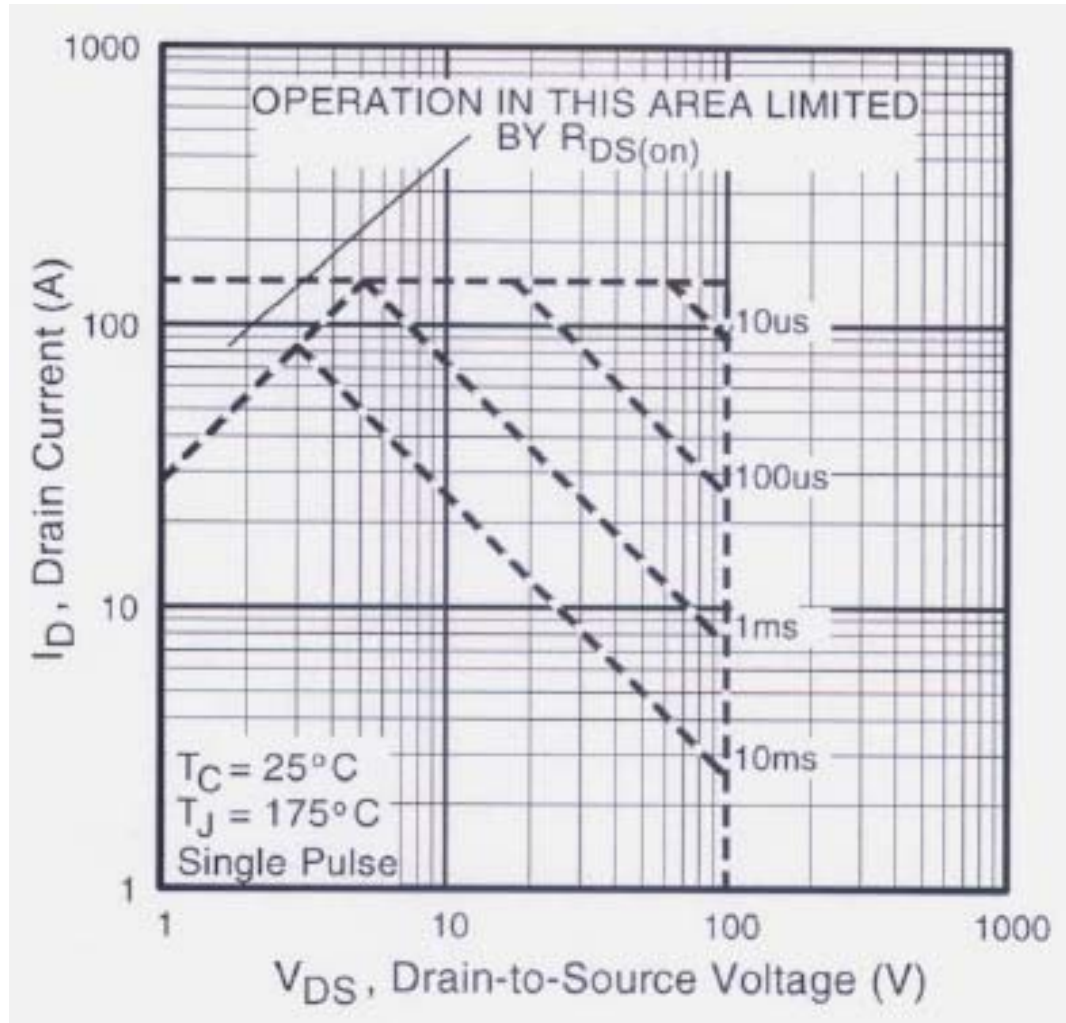


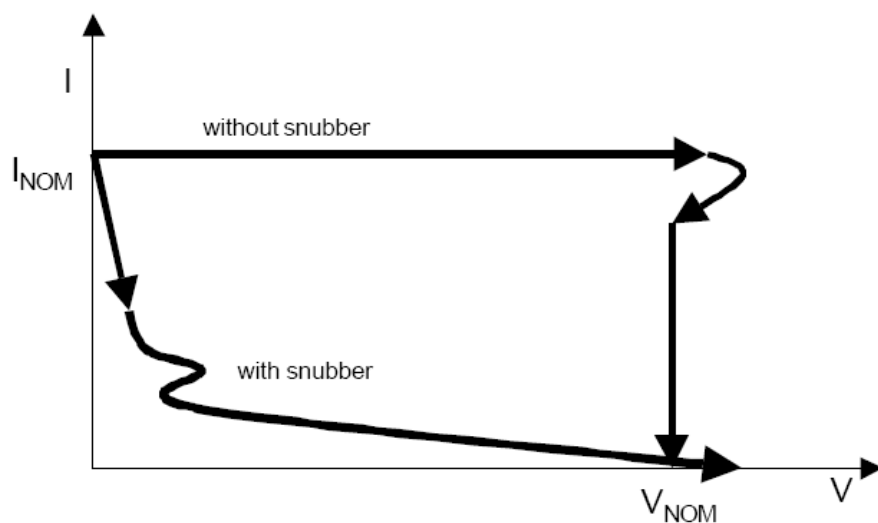
Fig 2. Typical Output Characteristics

مشخصه ناحیه کار ایمن

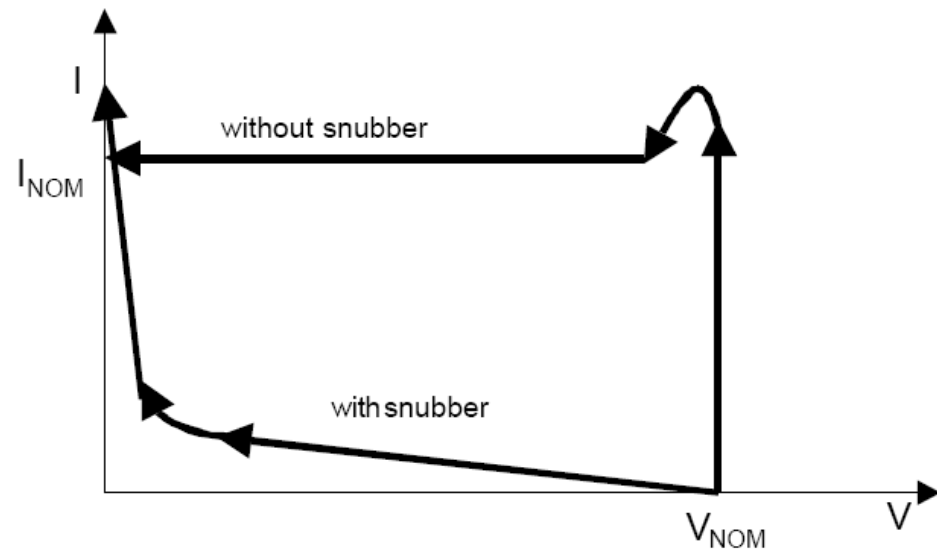




# مسیر نقطه کار ماسفت به هنگام وصل و قطع بار سلفی

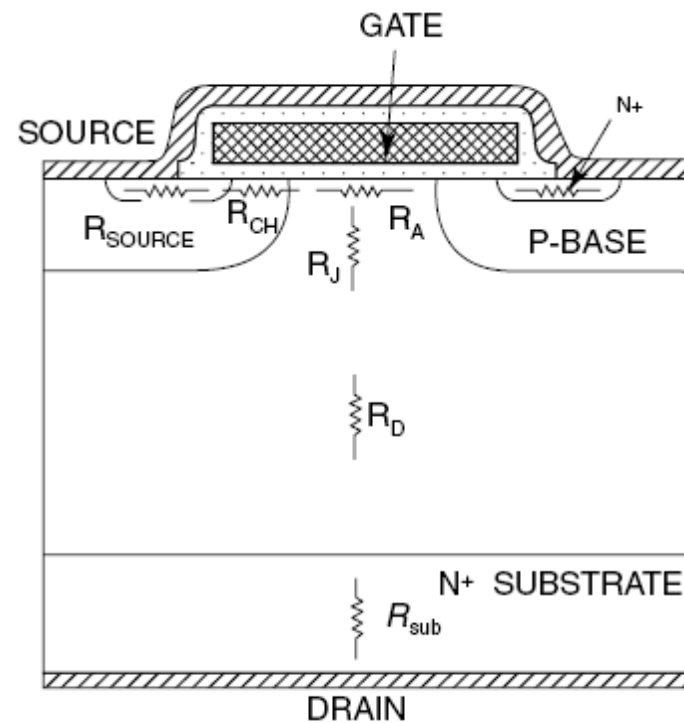
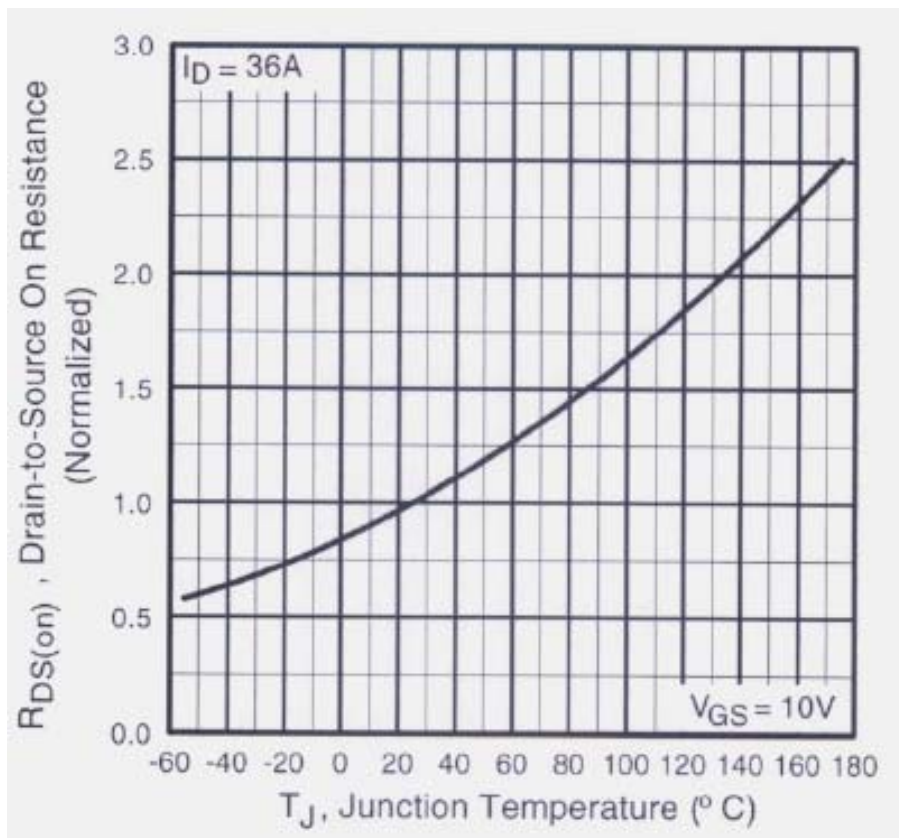


قطع شدن ماسفت بدون و با مدار ضربه گیر



وصل شدن ماسفت بدون و با مدار ضربه گیر

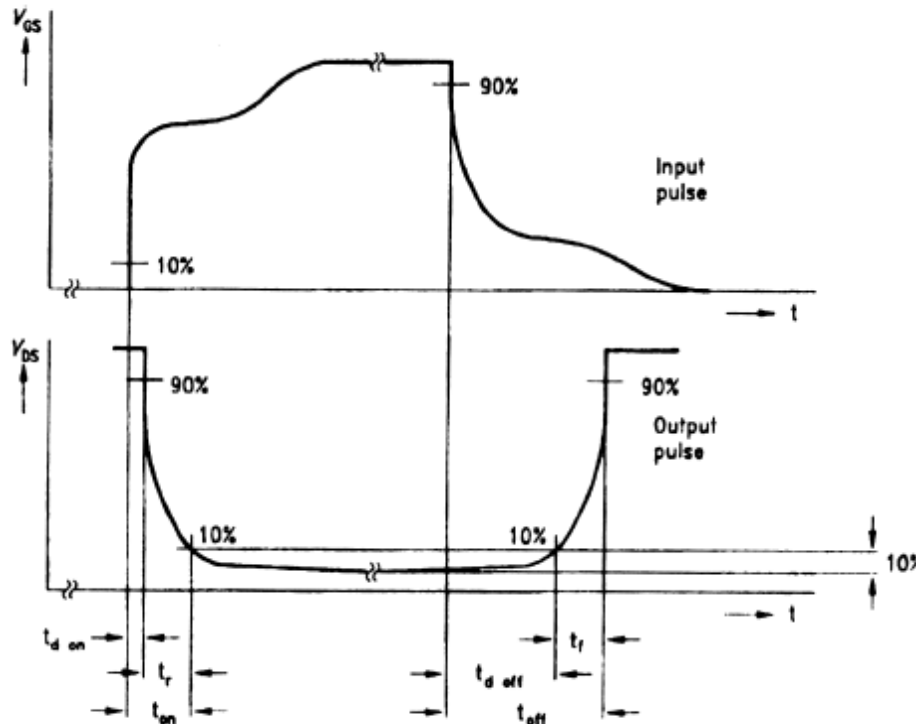
## اجزای $R_{DS(on)}$ - اثر دما بر مقاومت حالت وصل



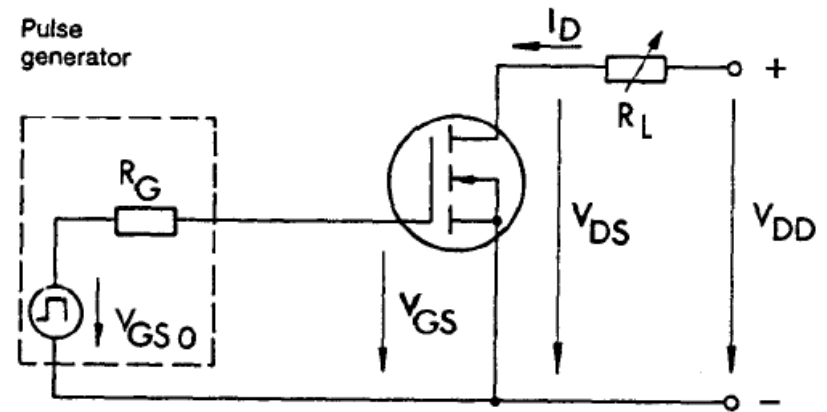
The origin of the internal resistances in a power MOSFET.

$$R_{dson} = R_{source} + R_{ch} + R_A + R_J + R_D + R_{sub} + R_{wcm1}$$

# زمانهای کلیدزنی: تعریف و روش آزمایش



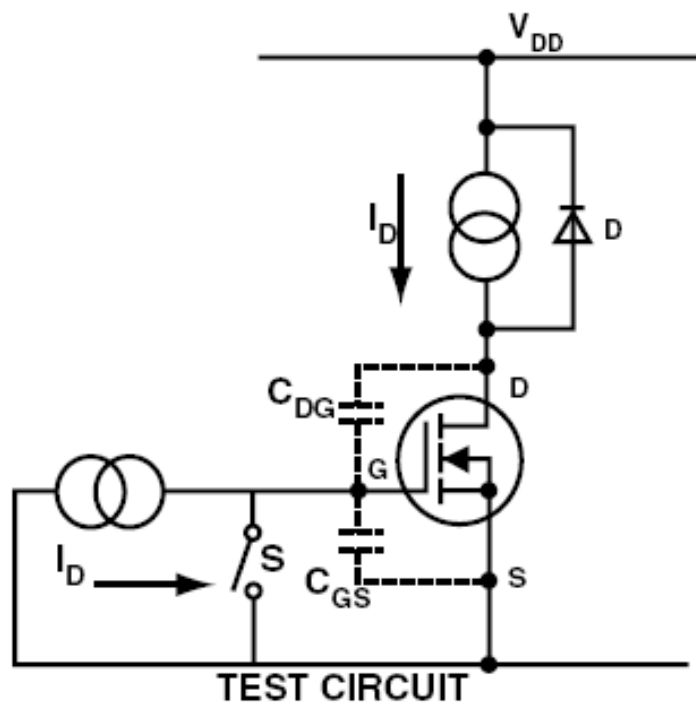
شکل موجهای ولتاژ گیت و درین،  
تعریف زمانهای وصل و قطع



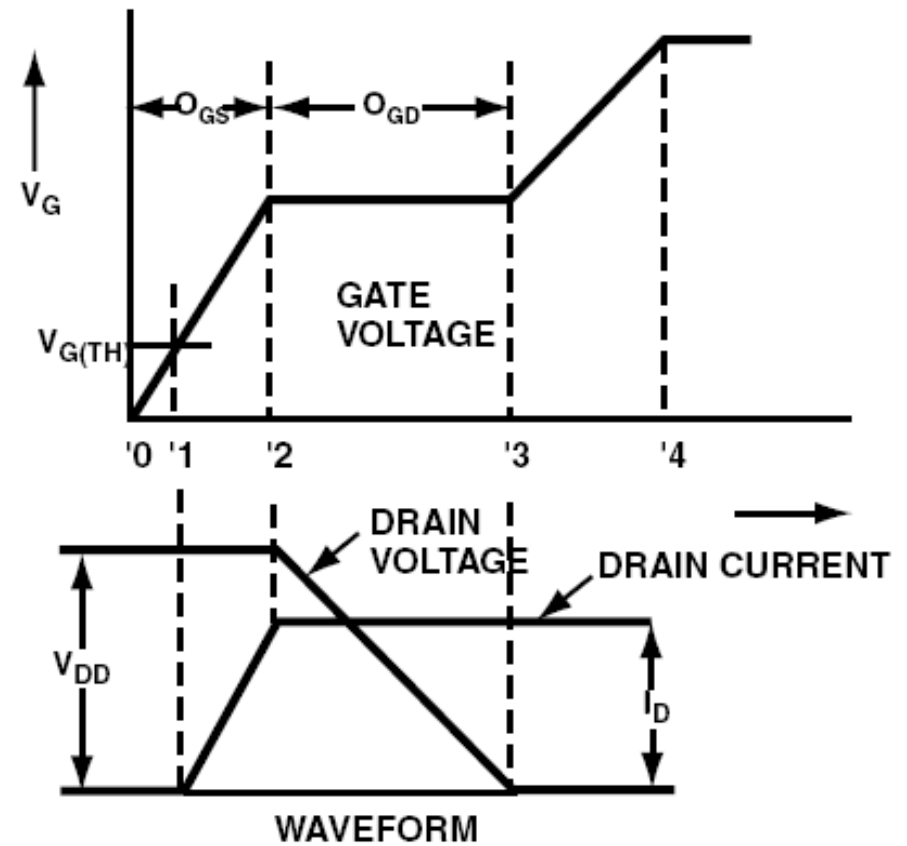
مدار آزمایش زمانهای کلیدزنی

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$ $I_D = 22A$ $R_G = 3.6\Omega$ $R_D = 2.9\Omega$ See Fig. 10 ④⑤
$t_r$	Rise Time	—	56	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—		
$t_f$	Fall Time	—	40	—		

وصل شدن با بار سلفی، دیود ایده ال و فرمان منبع جریان



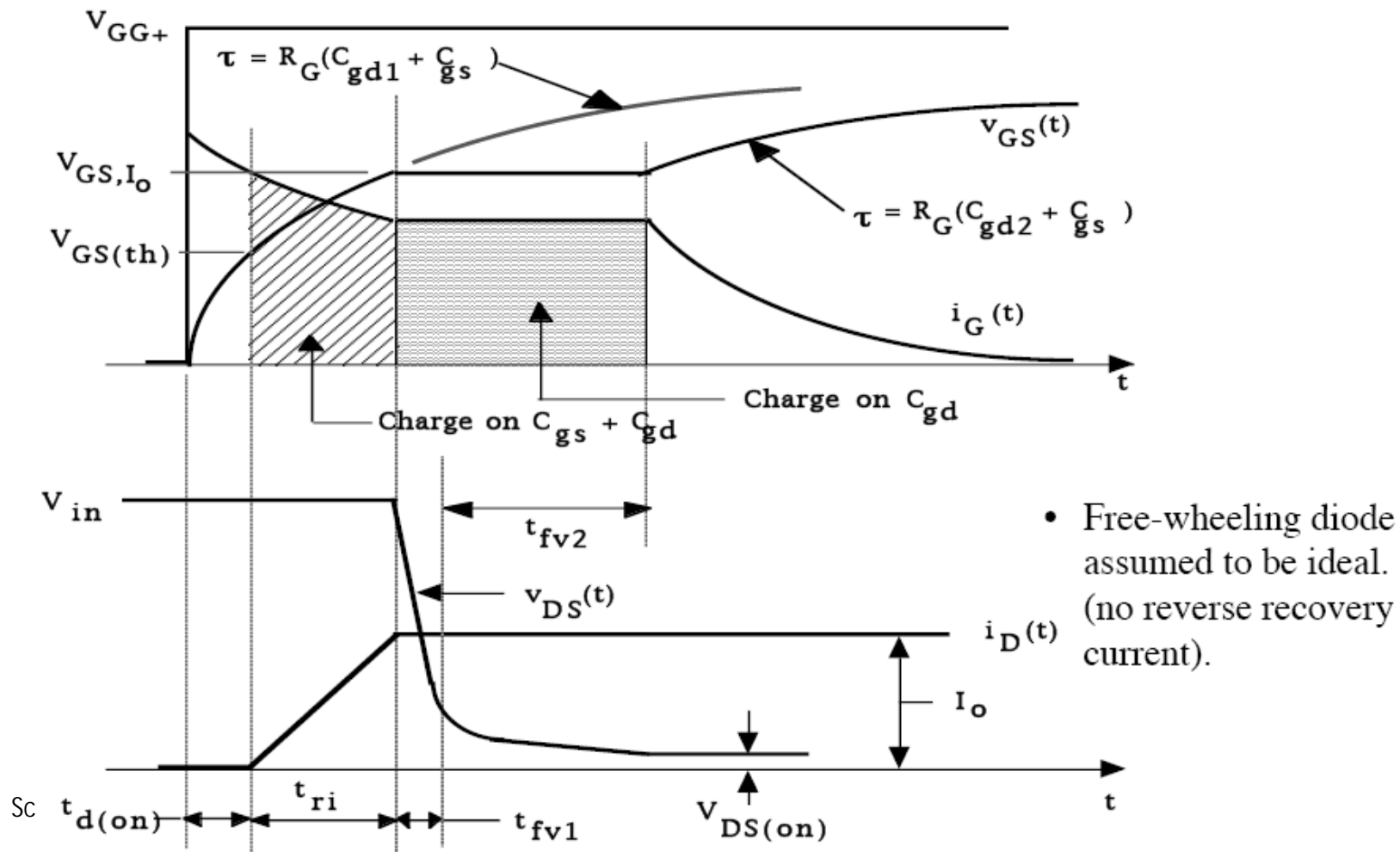
(a)



(b)

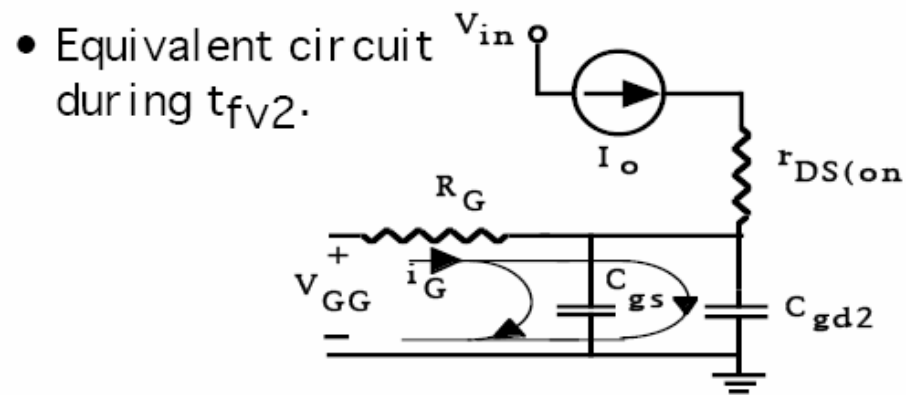
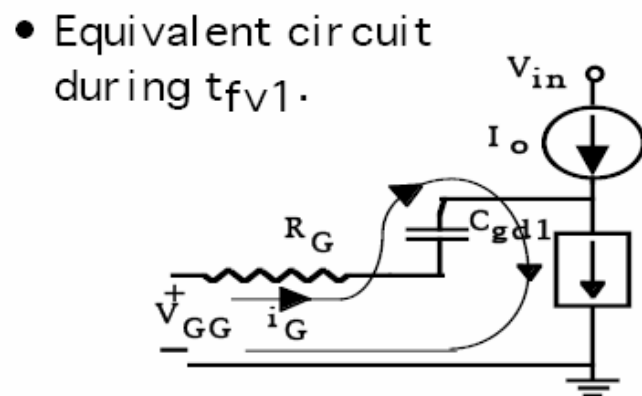
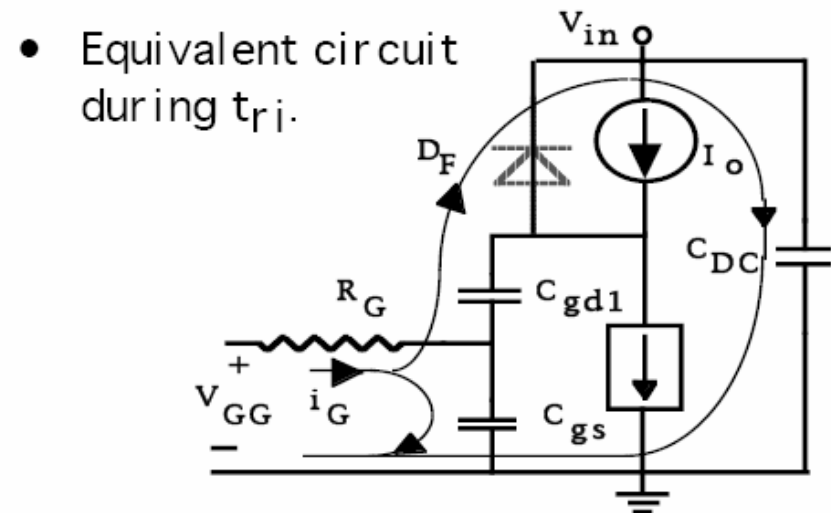
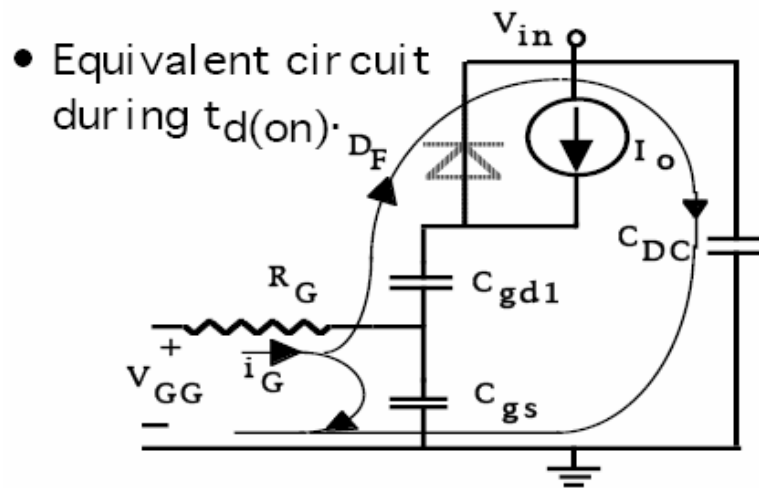
## وصل شدن با بار سلفی، دیود ایده ال و فرمان منبع ولتاژ

### MOSFET-based Buck Converter Turn-on Waveforms



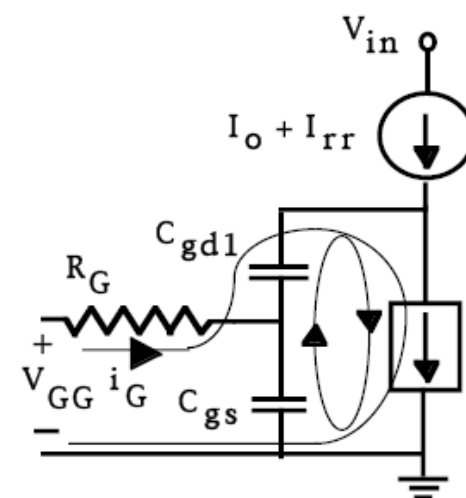
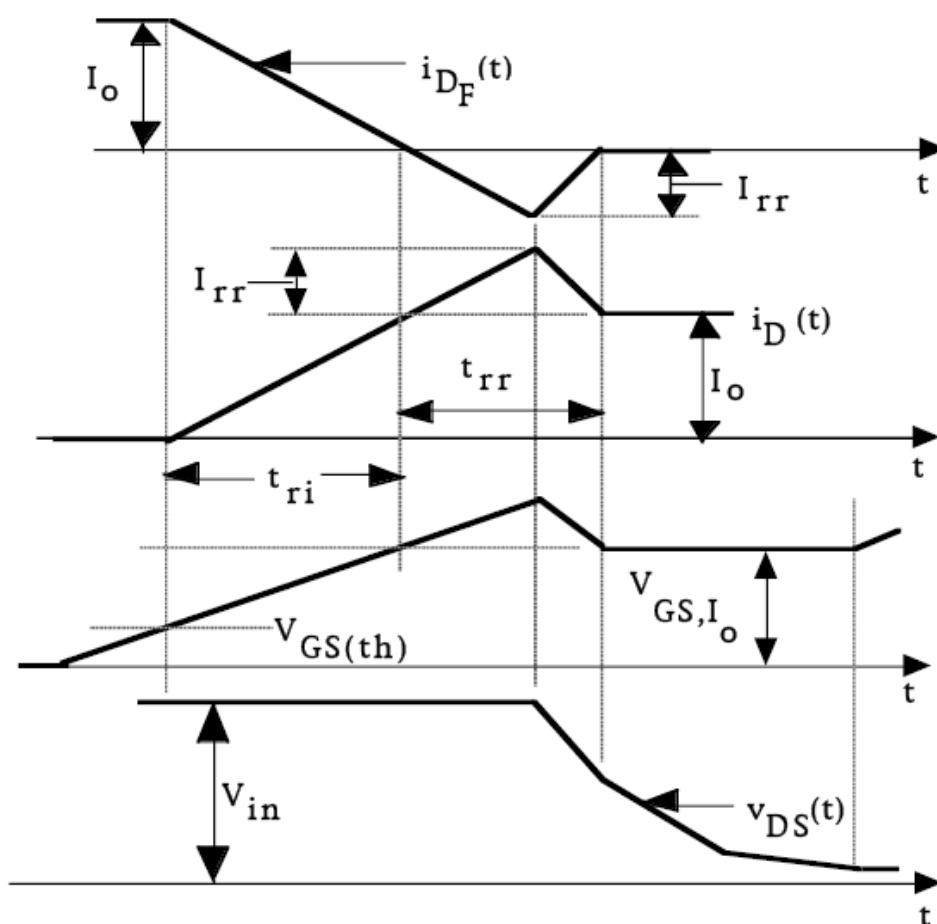
## مدار معادل وصل شدن با بار سلفی با فرمان منبع ولتاژ

### Turn-on Equivalent Circuits for MOSFET Buck Converter



## وصل شدن با بار سلفی، دیود واقعی با فرمان منبع ولتاژ

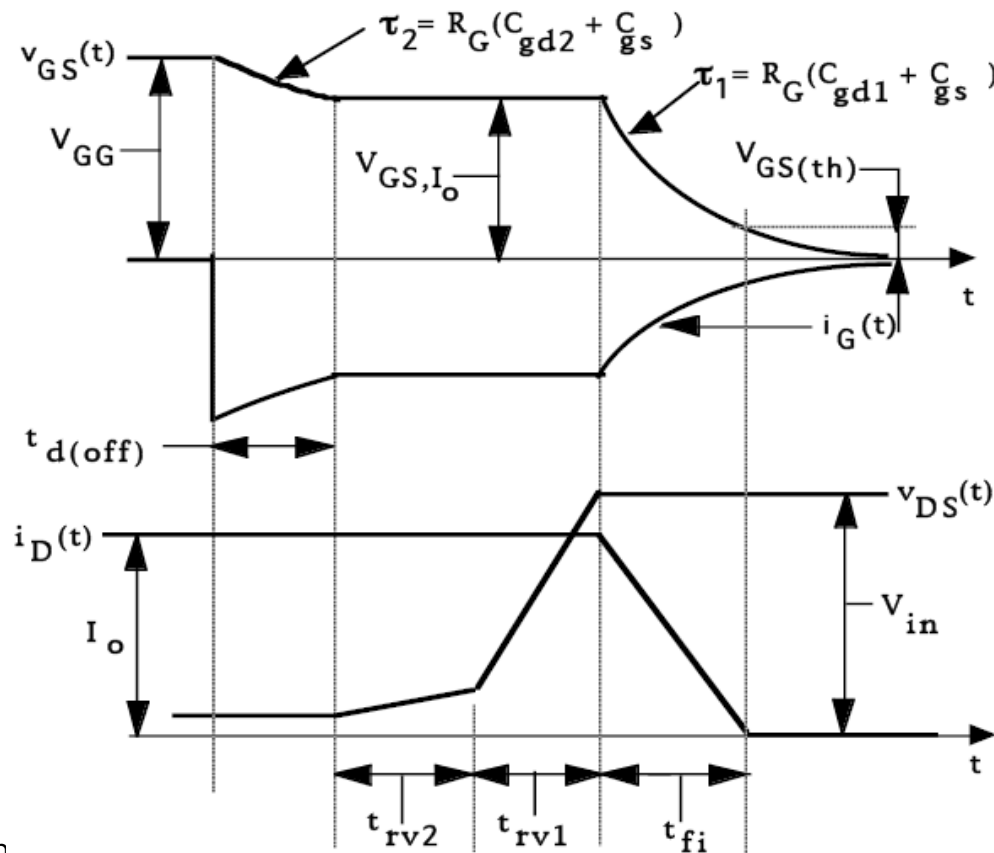
### Turn-on Waveforms with Non-ideal Free-wheeling Diode



- Equivalent circuit for estimating effect of free-wheeling diode reverse recovery.

# قطع شدن با بار سلفی و فرمان منبع ولتاژ

## MOSFET-based Buck Converter Turn-off Waveforms

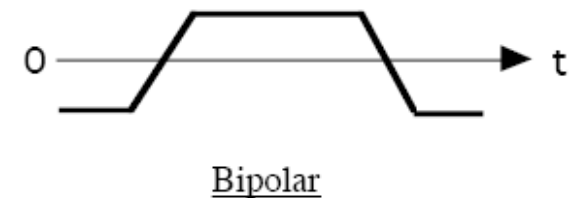


- Assume ideal free-wheeling diode.
- Essentially the inverse of the turn-on process.
- Model quantitatively using the same equivalent circuits as for turn-on. Simply use correct driving voltages and initial conditions



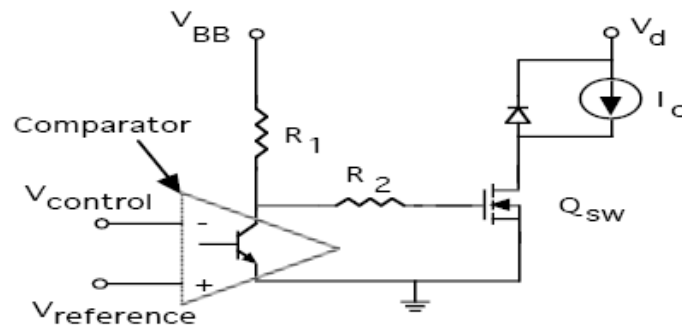
## Drive Circuit Design Considerations

- Drive circuit topologies
  - Output signal polarity - unipolar or bipolar
  - AC or DC coupled
  - Connected in shunt or series with power switch
- Output current magnitude
  - Large  $I_{on}$  shortens turn-on time but lengthens turn-off delay time
  - Large  $I_{off}$  shortens turn-off time but lengthens turn-on delay time
- Provisions for power switch protection
  - Overcurrents
  - Blanking times for bridge circuit drives
- Waveshaping to improve switch performance
  - Controlled  $di_B/dt$  for BJT turn-off
  - Anti-saturation diodes for BJT drives
  - Speedup capacitors
  - Front-porch/backporch currents
- Component layout to minimize stray inductance and shielding from switching noise

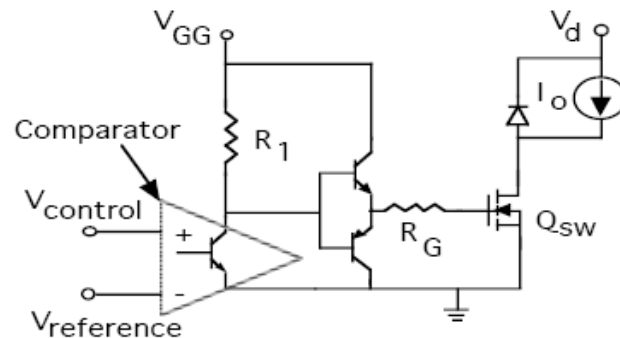


# مدارهای راه انداز با کوپلاژ مسقیم و تک قطبی

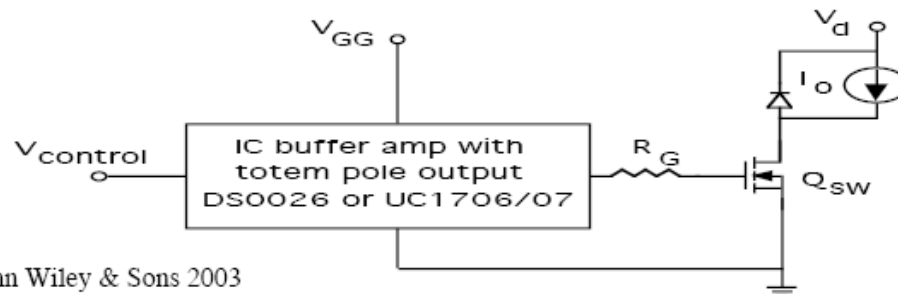
## Unipolar DC-coupled Drive Circuits- MOSFET examples



- $V_{control} > V_{reference}$   
comparator output high and  $Q_{sw}$  on
- $V_{control} < V_{reference}$   
comparator output low and  $Q_{sw}$  off



- $V_{control} > V_{reference}$   
comparator output high putting  $Q_{npn}$  on and thus  $Q_{sw}$  on
- $V_{control} < V_{reference}$   
comparator output low putting  $Q_{pnp}$  on and thus  $Q_{sw}$  off



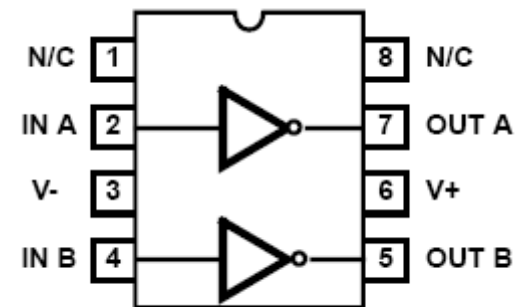
# ICL7667 راه انداز ماسفت قدرت

## Dual Power MOSFET Driver

### Features

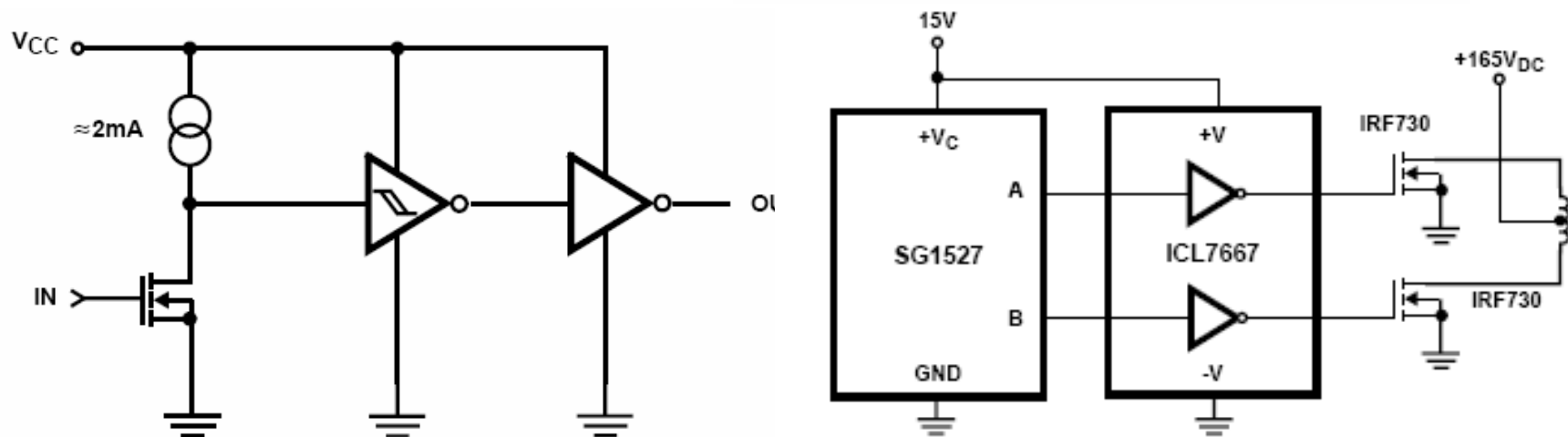
- ◆ Fast Rise and Fall Times – Typically 20ns with 1000pF Load
- ◆ Wide Supply Range:  $V_{DD} = 4.5V$  to 17V
- ◆ Low Power Consumption:  
6mW with Inputs Low  
120mW with Inputs High
- ◆ TTL/CMOS Input Compatible
- ◆ Low  $R_{OUT}$  – Typically  $4\Omega$
- ◆ Pin Equivalent to DS0026/DS0056, TSC426, SG1626/SG2626/SG3626

ICL7667



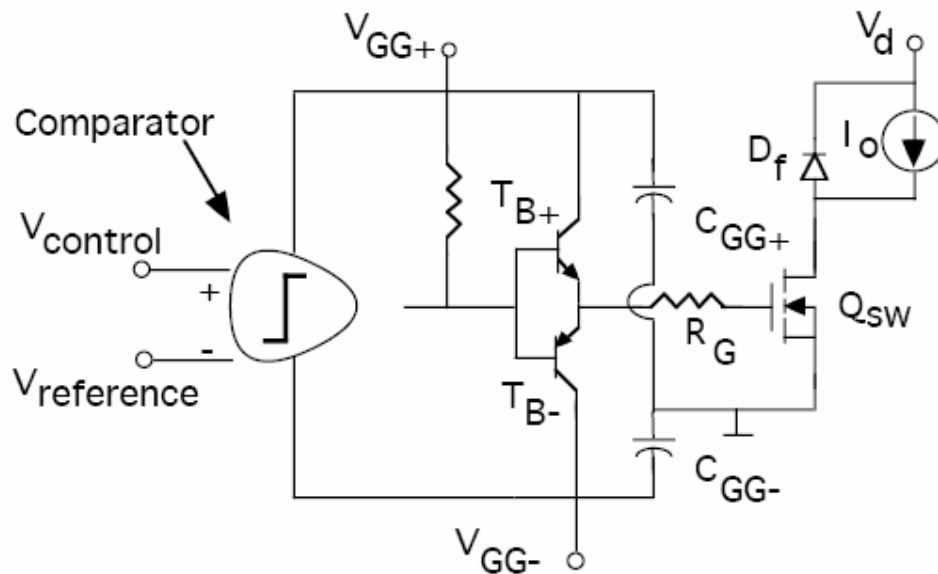
# ICL7667 زمانهای کلیدزنی و مدار نمونه

SWITCHING SPECIFICATIONS							
Delay Time	$T_{D2}$	35	50	-	-	60	ns
Rise Time	$T_R$	20	30	-	-	40	ns
Fall Time	$T_F$	20	30	-	-	40	ns
Delay Time	$T_{D1}$	20	30	-	-	40	ns

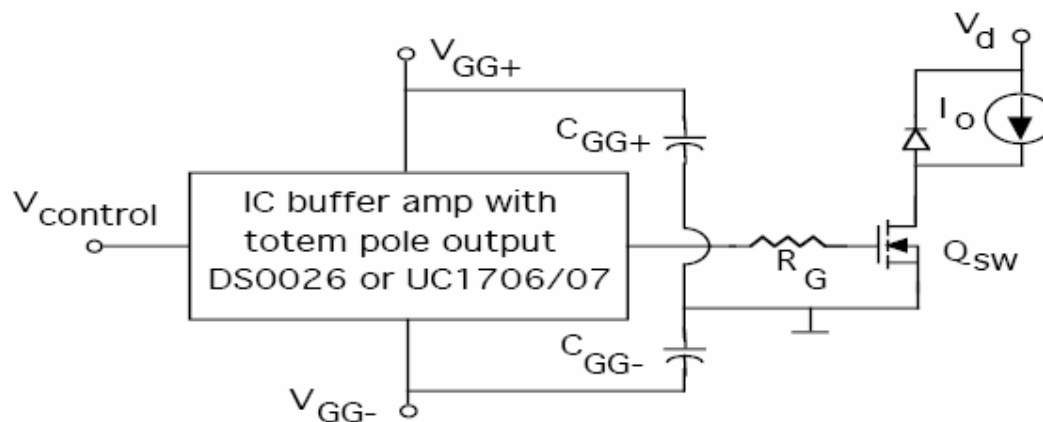


# مدارهای راه انداز با کوپلاژ مسقیم و دو قطبی

## Bipolar DC-coupled Drive Circuit- MOSFET Example



- Bipolar drive with substantial output current capability

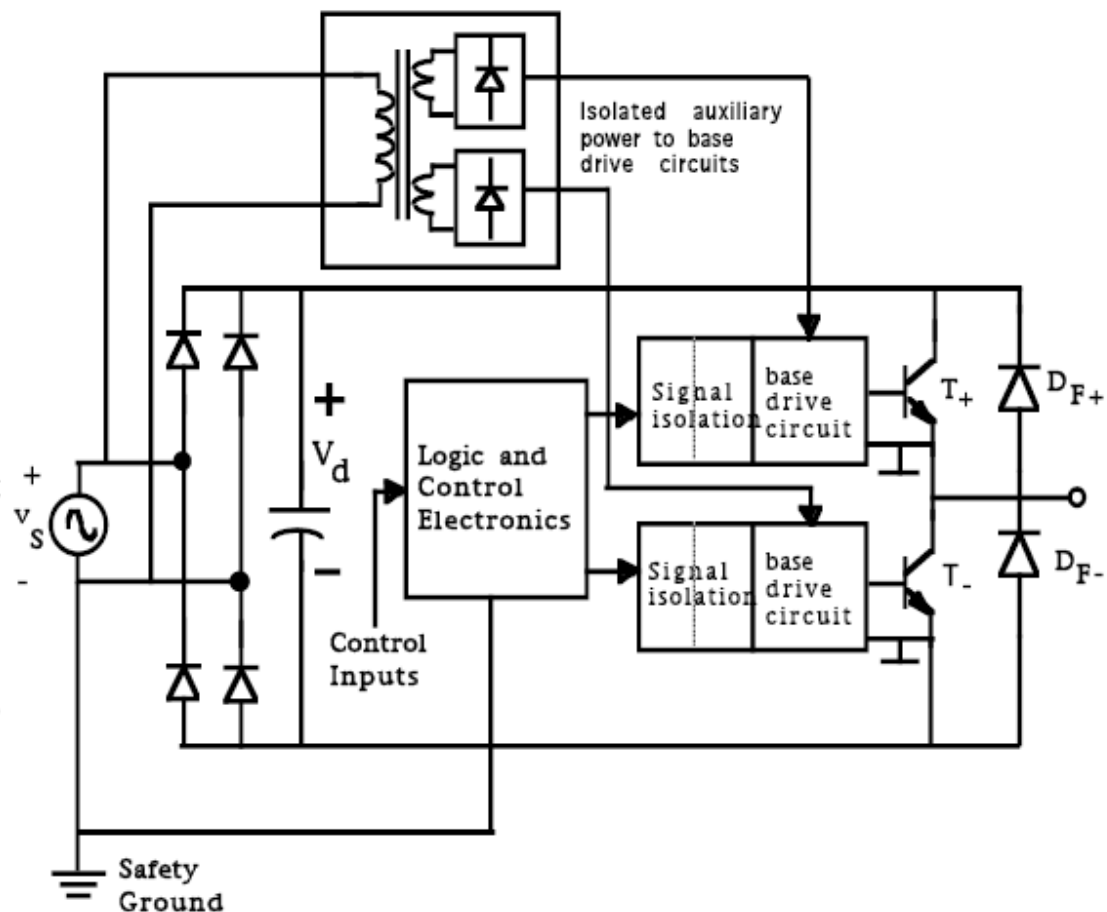


- Simple bipolar drive circuit with moderate (1 amp) output current capability

# نیاز به مدارهای راه انداز با مجزاسازی

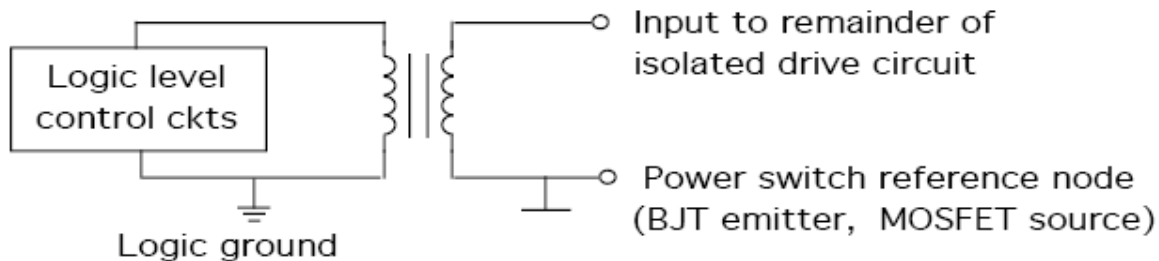
## Need for Electrical Isolation of Drive Circuits

- Negative half cycle of  $v_s(t)$  - positive dc rail near safety ground potential.  $T_-$  emitter potential large and negative with respect to safety and logic ground
- Positive half cycle of  $v_s(t)$  - negative dc rail near safety ground potential.  $T_+$  emitter substantially positive with respect to safety ground if  $T_-$  is off
- Variation in emitter potentials with respect to safety and logic ground means that electrical isolation of emitters from logic ground is needed.

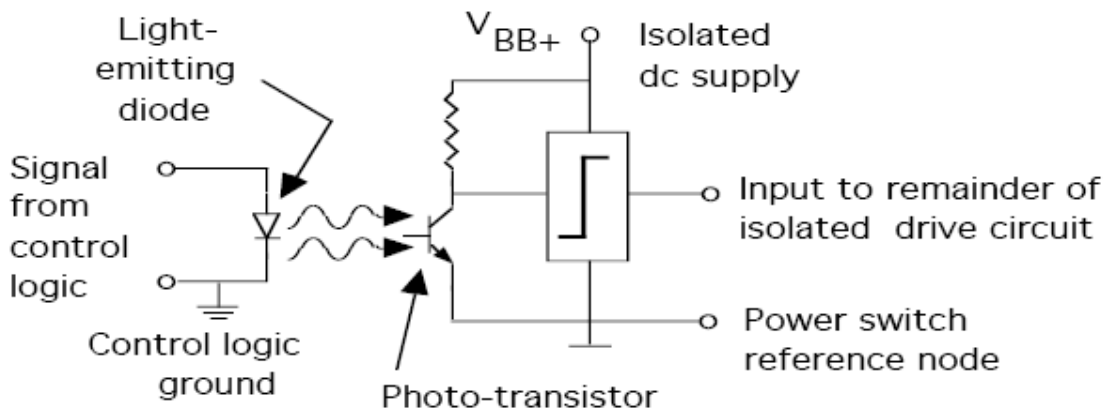


# روشهای مجزاسازی سیگنال راه اندازی گیت

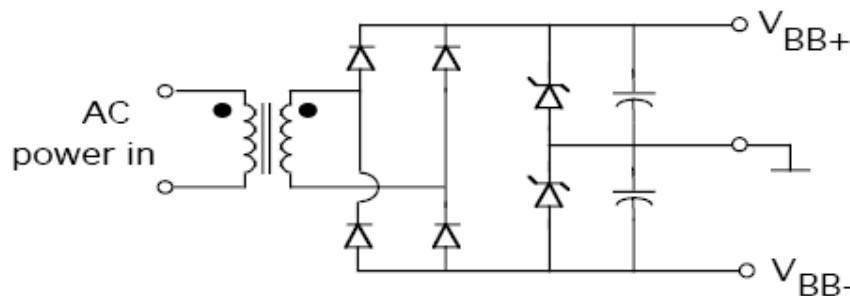
## Methods of Control Signal Isolation



- Transformer isolation



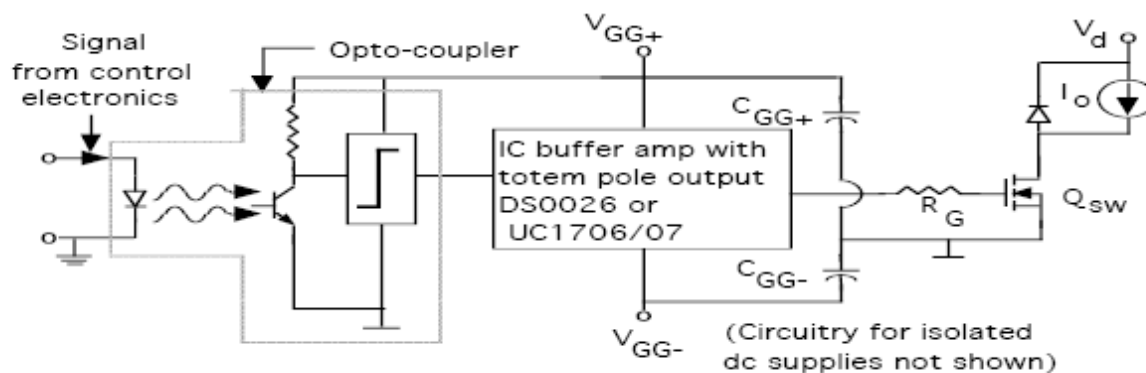
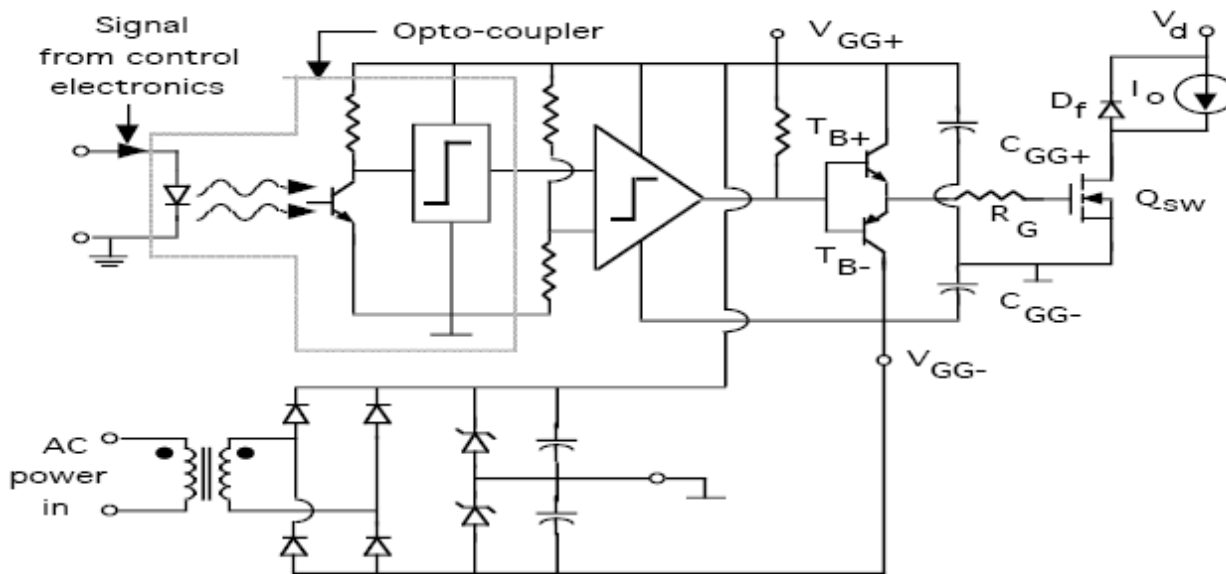
- Opto-coupler isolation



- Isolated dc power supplies for drive circuits

# مجازسازی سیگنال فرمان گیت با اپتوکوپلر

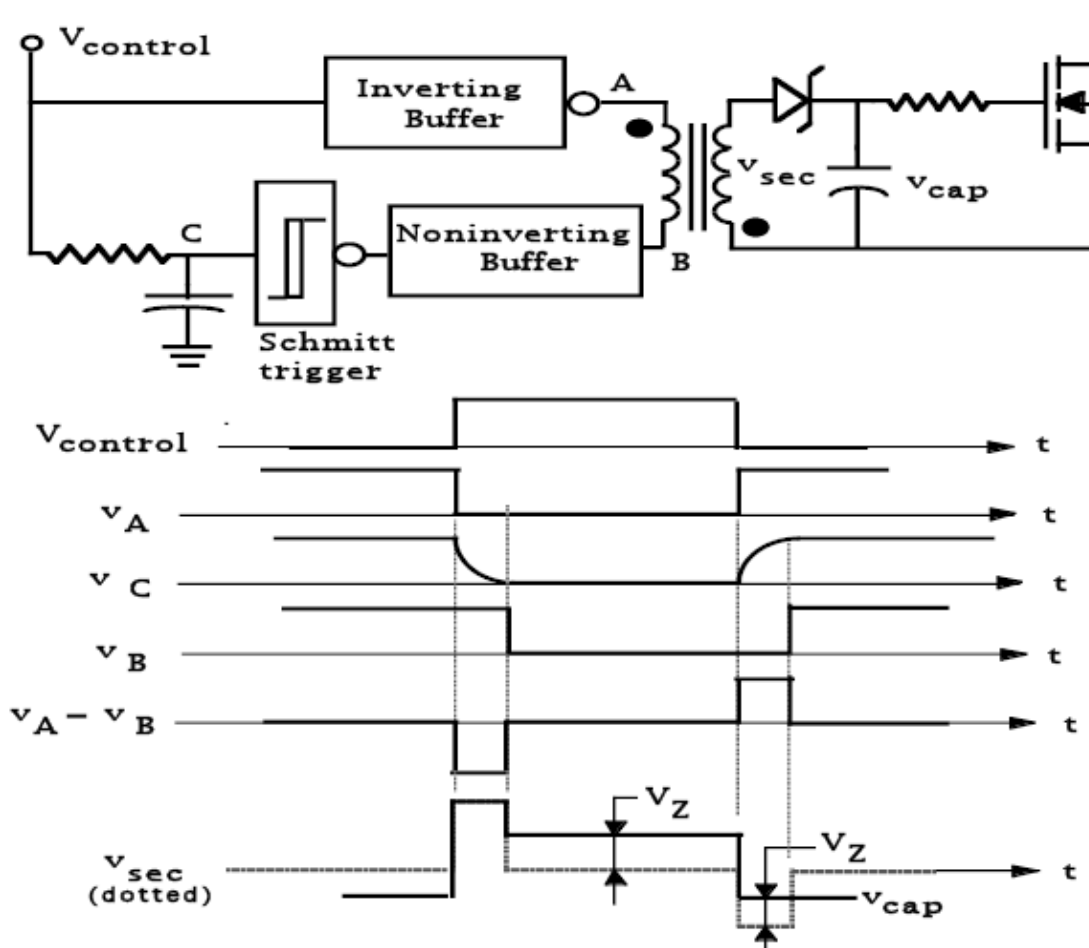
## Opto-Coupler Isolated MOSFET Drives





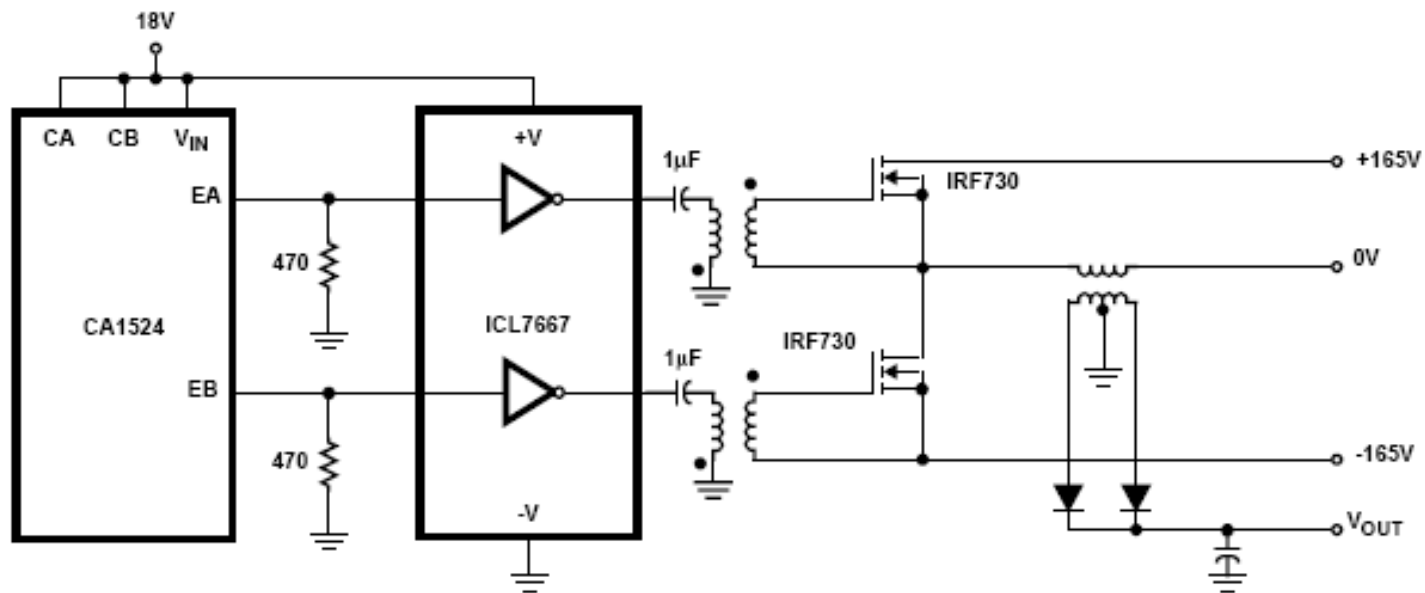
# مجاز سازی سیگنال فرمان با ترانسفورماتور پالس

## Isolated Drive Without Auxiliary DC Supplies - MOSFET Example



Zener diode voltage  $V_Z$  must be less than negative pulse out of transformer secondary or pulse will not reach MOSFET gate to turn it off.

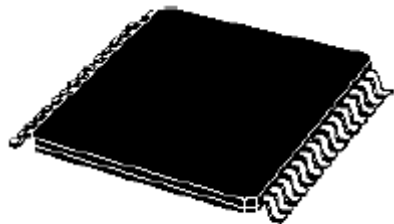
# مجازسازی سیگنال فرمان با ترانسفورماتور پالس



# مجتمع سازی ماسفت قدرت و مدار راه انداز

Type	$R_{DS(on)}$	$I_{out}$	$V_{CCmax}$
VNH3SP30-E	45mΩ max (per leg)	30A	40V

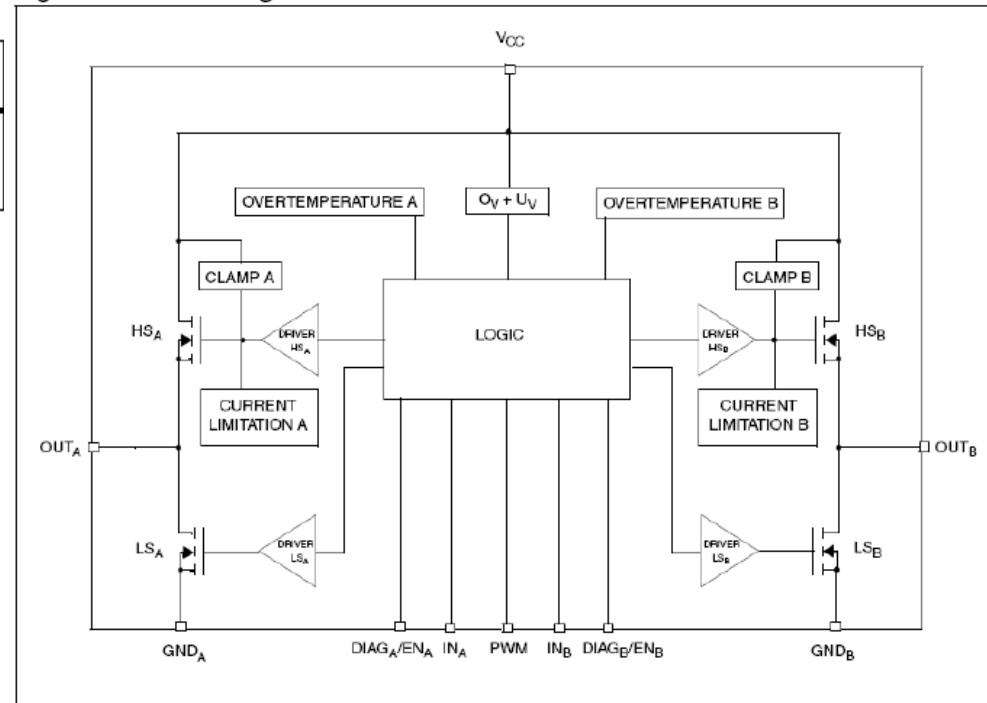
مشخصات مهم الکتریکی



MultiPowerSO-30™

بسته بندی

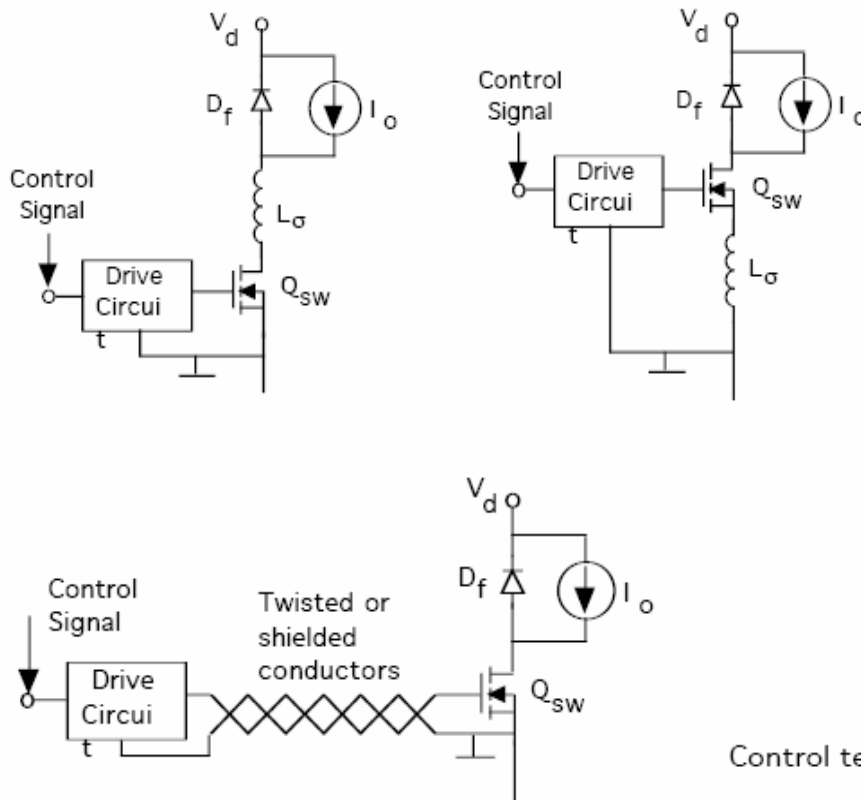
Figure 1. Block diagram



مدار شماتیک و نمودار بلوکی

# ملاحظات مدار راه انداز

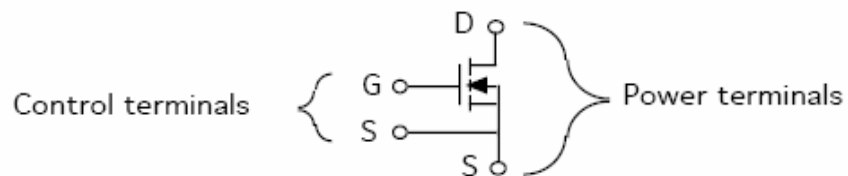
## Circuit/Component Layout Considerations



Prime consideration is minimizing stray inductance

- Stray inductance in series with high-voltage side of power device  $Q_{sw}$  causes overvoltage at turn-off.
- Stray inductance in series with low-voltage side power device  $Q_{sw}$  can cause oscillations at turn-on and turn-off.
- One cm of unshielded lead has about 5 nH of series inductance.
- Keep unshielded lead lengths to an absolute minimum.

Use shielded conductors to connect drive circuit to power switch if there must be any appreciable separation (few cm or more) between them



Some power devices provided with four leads, two input leads and two power leads, to minimize stray inductance in input circuit.