مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

به نام خدا

مدار ششم از 10 مدار

موضوع : کار با **FET** و **MOSFET**

نگارنده : مهرداد غفاری لاله

برای دریافت ادامه مدارات به سایت هنرجو به آدرس forum.honarjo.com یا به وبلاگ بنده با آدرس azarrobot.blogfa.com مراجعه فرمایید .

مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

در این مجموعه فرض شده است که خواننده با دو مورد زیر آشنا می باشد :

ساختمان داخلی ترانزیستورهای BJT

آشنایی نسبی با فیزیک الکترونیک

Junction Field-Effect Transistors

این ترانزیستور قطعه نیمه هادی سه پایه ای هست که بعنوان سویئچ های الکتریکی ، تقویت کننده ها و مقاومت متغیر با ولتاژ به کار می رود .

بر خلاف ترانزیستورهای دو قطبی (BJT) فت های پیوندی (JFET) یا به اختصار فت منحصرا با ولتاژ کنترل می شوند (ترانزیستورهای دو قطبی با جریان بیس کنترل می شوند) و به جریان بایاس نیاز ندارند .

دیگر ویژگی منحصر به فرد JFET این هست که زمانی که هیچ اختلاف ولتاژی بین پایه گیت و سورس وجود ندارد ترانزیستور روشن هست . با این وجود اگر اختلاف ولتاژی بین این پایه ها به وجود آید JFET مقاومت بیشتری در برابر عبور جریان از خود نشان خواهد داد (جریان کمتری از پایه های DRAIN و SOURCE جاری خواهد شد .)

پس بر خلاف ترانزیستورهای دو قطبی که از عناصر افزایشی هستند (با افزایش ولتاژ/جریان اعمالی به بیس مقاومت کمتری در برابر عبور جریان از خود نشان می دهند) ترانزیستورهای JFET از عناصر کاهشی هستند !

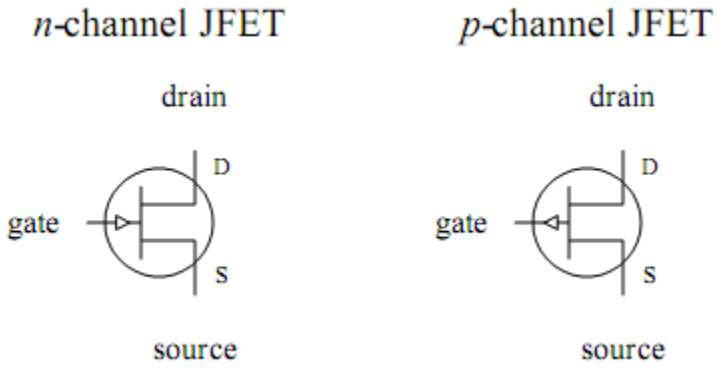
JFET ها در دو نوع P-channel N-channel موجود می باشند .

مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

در یک JFET کانال N با اعمال ولتاژ منفی به گیت (نسبت به سورس) ($V_G < V_S$) جریان عبوری از درین به سورس کاهش می یابد و در یک JFET کانال P با اعمال ولتاژ مثبت به پایه گیت ($V_S < V_G$) جریان عبوری آن کاهش می یابد.

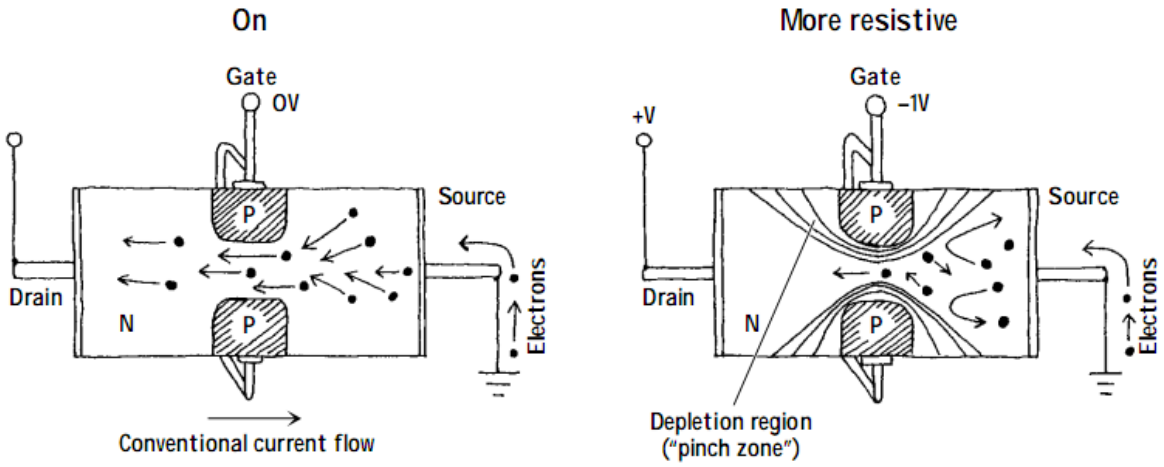
شکلهای زیر نماد الکترونیکی هر دو نوع را نشان می دهد :



اساس عملکرد JFET :

یک JFET N-channel از یک کانال سیلیکونی نوع n که شامل دو تکه سیلیکونی نوع p می باشد تشکیل شده است که در دو طرف کانال قرار گرفته اند . پایه گیت به تکه های نوع p و پایه های درین و سورس به دو طرف کانال نوعN متصل شده است (مانند شکل زیر)

مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com



زمانی که ولتاژِ به گیت اعمال نمی شود جریان به طور آزادانه از طریق کانال n برقرار می شود (هیچ مانعی در برابر حرکت الکترون ها در کانالn وجود ندارد و تعداد زیادی از حاملین بار منفی به انجام این رسانایی کمک می کنند)

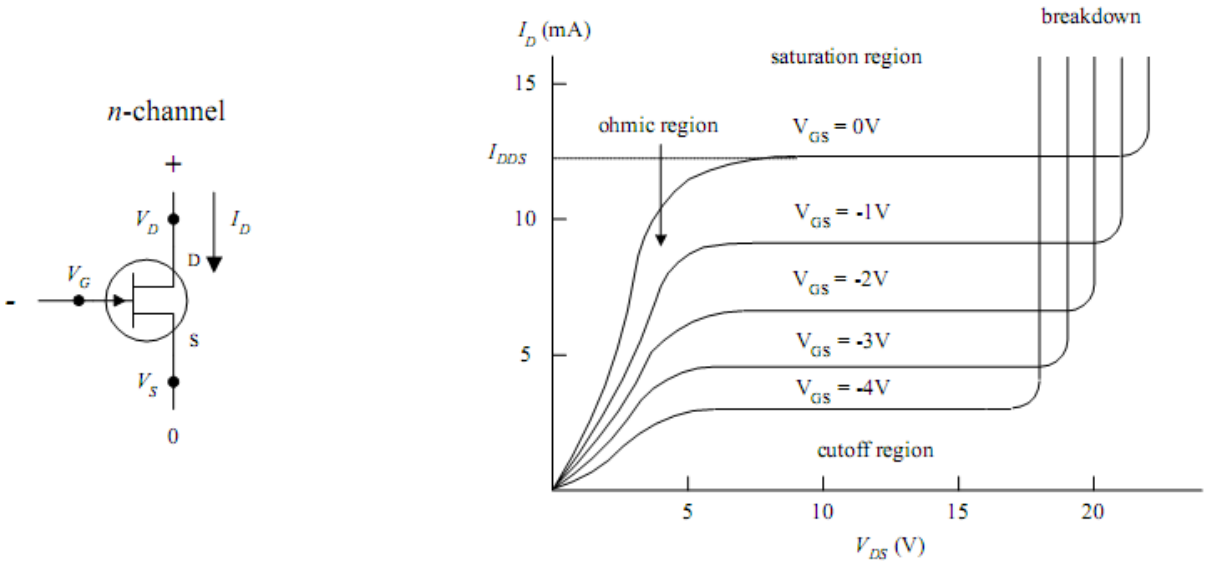
با وجود این اگر به گیت ولتاژ منفی اعمال شود (نسبت به سورس) ناحیه ی بین تکه های مثبت نوع p و مرکز کانالn تشکیل دو اتصال بایاس معکوس می دهد (یکی در تکه بالایی و دیگری در پایینی).

این بایاس معکوس شرایط ایجاد منطقه تهی را فراهم می کند که در داخل کانال توسعه می یابد . با ازدیاد ولتاژ منفی روی گیت ، ناحیه تهی بزرگتر می شود و در نتیجه پاری شدن جریان الکترون ها از طریق کانال سخت تر انجام می پذیرد .

برای JFET کانال نوع P همه چیز معکوس است بدین معنی که ولتاژ منفی به گیت را با ولتاژ مثبت ، کانال نوع Nرا با کانال نوع P ، تکه های نوع p را نوع n و حاملین بار منفی (الکترون ها) را با حاملین بار مثبت (حفره ها) جابه جا کرد .

نمودار زیر نحوه عملکرد یک فت کانال N واقعی را نشان می دهد.

مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com



جریان I_d به مقادیر ولتاژ V_{GS} و V_{DS} وابسته است . نمودار برای فت کانال p هم مشابه این نمودار می باشد با این تفاوت که تغیرات I_D با ولتاژ مثبت V_{GS} همراه است بعبارت دیگر V_{GS} ولتاژ مثبت و V_{DS} ولتاژ منفی می باشد .

نکته مهم در مورد فت ها استفاده از آن ها در حالت اشباع می باشد که در این حالت جریان درین وابسته به واتاژ گیت و سورس بوده و وابستگی کمتری به ولتاژ درین-سورس دارد

(برای توضیحات بیشتر در مورد این نمودار به مرجع یکم مراجعه نموده یا در انجمن مطرح فرماید .)

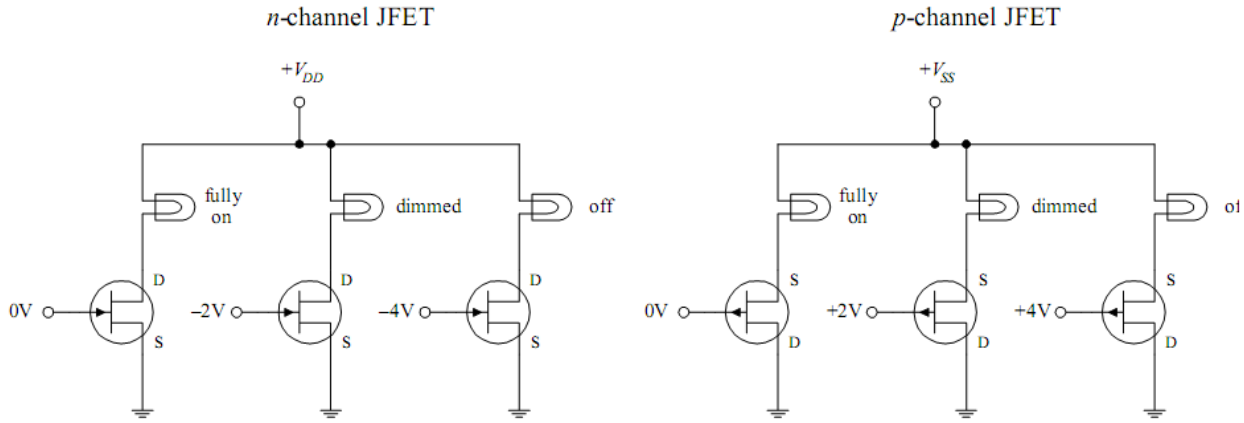
مثال برای کاربردهای FET :

شکل زیر دیمر نوری با استفاده از فت را نشان میدهد :

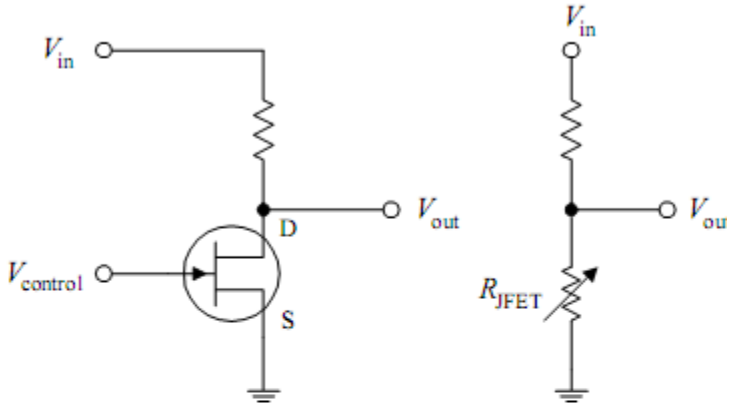
مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

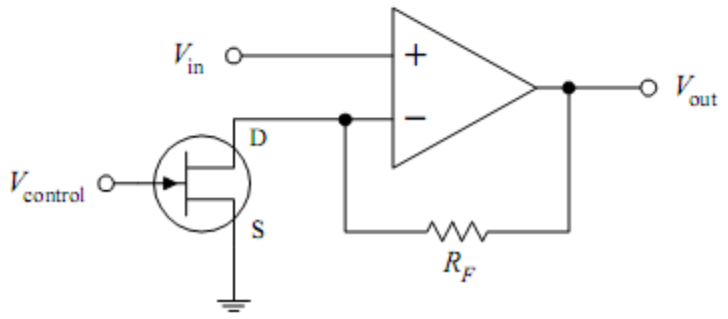
LIGHT DIMMER



VOLTAGE-CONTROLLED RESISTOR



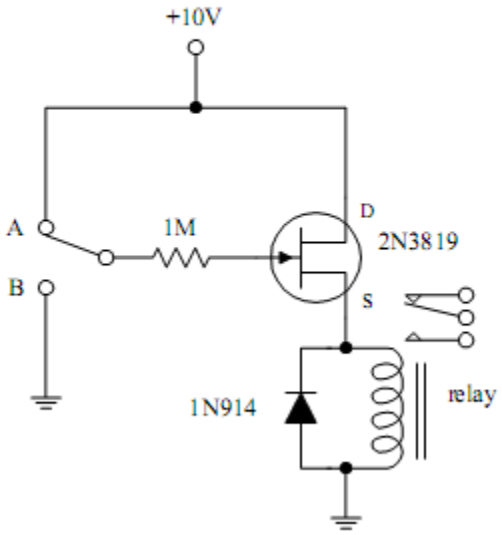
Electronic gain control



مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

RELAY DRIVER



(برای توضیحات بیشتر در مورد نحوه عملکرد مدارات به مرجع یکم مراجعه نموده یا در انجمن مطرح فرماید .)

نکات عملی در مورد فت ها :

در یک دسته بندی فت ها را میتوان به سه گروه زیر تقسیم بندی کرد :

فت های سیگنال کوچک و سوئیچینگ

فت های فرکانس بالا

و فت های دو تایی

فت های سیگنال کوچک و سوئیچینگ افلب بعنوان منبع امپدانس با یک تقویت کننده یا وسایلی مانند اسیلوسکوپ متصل می شوند . این قطعات بعنوان سوئیچ های کنترل شونده با ولتاژ نیز به کار می روند .

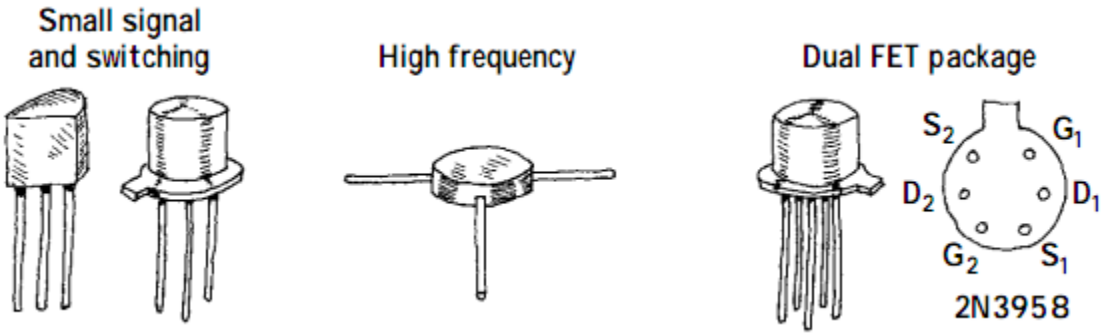
فت های فرکانس بالا معمولا برای تقویت سیگنال های فرکانس بالا (در رنج فرکانسهای رادیویی) یا سوئیچ های فرکانس بالا استفاده می شوند .

مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

فت های دوتایی نیز شامل دو فت یکسان در یک پکیج می باشند .

شکل زیر را ببینید :



همانند ترانزیستورهای دو قطبی فت ها می توانند با جریان و ولتاژ زیاد خراب شوند . در هنگام استفاده مطمئن شوید که از مقدار مجاز جریان و ولتاژ شکست فراتر نروید .

جدول زیر اطلاعاتی را از چند فت نمونه بیا می کند :

			I_{DSS} (mA)		$V_{GS,OFF}$ (V)				
TYPE	POLARITY	BV_{GS} (V)	MIN (mA)	MAX (mA)	MIN (V)	MAX (V)	G_M TYPICAL (µmhos)	C_{ISS} (pF)	C_{RSS} (pF)
2N5457	n-ch	25	1	5	–0.5	–6	3000	7	3
2N5460	p-ch	40	1	5	1	6	3000	7	2
2N5045	Matched-pair n-ch	50	0.5	8	–0.5	–4.5	3500	6	2

ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors) :

مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

این نوع ترانزیستور که به اختصار ماسفت (موسفت **MOSFET**) گفته می شود دارای کاربردهای وسیعی می باشد و عموما به جای فت از آن ها استفاده می شود .

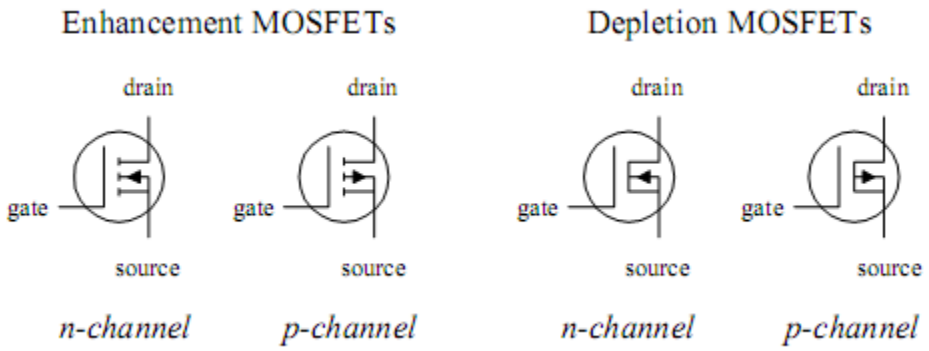
برای مثال وقتی یک ولتاژ کوچک به پایه گیت اعمال شود جریان کانال درین – سورس به وجود می آید . با این وجود بر خلاف **JFET** ها ، **MOSFET** ها دارای امپدانس ورودی بزرگتری در پایه گیت هستند که تقریبا در آن ها هیچ جریانی در مدار گیت کشیده نمی شود . این افزایش امپدانس ورودی با قرار دادن یک عایق اکسید فلزی بین گیت و کانال درین/سورس ممکن می شود .

البته در این روش برای افزایش امپدانس ورودی مقدار خیلی کمی طرفیت خازنی بین گیت و کانال ایجاد می شود (در حدود **pF**).

اگر الکتریسیته ساکن بیش از حد روش گیت برخی از ماسفت ها بیافتد بار متراکم ممکن است از گیت نفوذ و ماسفت را خراب کند .

(بعضی از ماسفت ها برای حفاظت از این شکست طراحی شده اند اما نه همه آنها !)

دو نوع اصلی از ماسفت ها شامل ماسفت ارتقایی (**Enhancement MOSFET**)و ماسفت تهی(**Depletion MOSFET**) می باشد .



یک ماسفت تهی معمولا روشن است وقتی که هیچ اختلاف ولتاژی بین پایه های گیت و سورس وجود نداشته باشد. با این وجود اگر ولتاژی به پایه گیت اعمال شود مقاومت کانال درین-سورس مثل **JFET** افزایش پیدا می کند .

مدل ماسفت ارتقایی معمولا خاموش است وقتی که اختلاف ولتاژ بین گیت و سورس صفر اسیت . با این وجود اگر ولتاژ به پایه گیت اعمال شود مقاومت کانال درین-سورس کمتر می شود .

هر دو نوعماسفت های ارتقایی و تهی نیز در دو نوع کانال**n** و کانال **p** وجود دارند.

مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

برای یک ماسفت کانال n تهی ، یک ولتاژ منفی بین گیت و سورس ($V_G < V_S$) باعث افزایش مقاومت کانال درین-سورس میشود در حالیکه برای یک ماسفت کانال p کاهش اعمال ولتاژ مثبت به پایه گیت (نسبت به سورس) ($V_G > V_S$) سبب افزایش مقاومت کانال می شود .

برای یک کاسفت کانال N ارتقایی ، اعمال ولتاژ مثبت به گیت (نسبت به سورس) ($V_G > V_S$) مقاومت کانال را کاهش می دهد در حالیکه برای نوع کانال P افزایش اعمال ولتاژ منفی گیت مقاومت کانال را کاهش می دهد ($V_G < V_S$) .

امروزه ماسفت ها بیشترین کاربرد را دارند ، آنها در ورودی جریان بسیار کمی می کشند و ساختن آنها آسان هست (عناصر ترکیبی کمی نیاز دارند) و می توان آنها را در اندازه های خیلی کوچک نیز ساخت و توان مصرفی پایینی دارند .

در کاربردهای عملی ، ماسفت ها در ورودی مدارات تقویت کننده که دارای امپدانس بالا ، مدارات کنترل ولتاژ با تعیر مقاومت ، مدارات سوئیچینگ و در مدارات مجتمع (IC) در مقیاس های کوچک به کار می روند .

اساس عملکرد MOSFET :

هر دو نوع ارتقایی و تهی ماسفت از میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ گیت برای تغیر جریان حاملین بار کانال نیمه رسانا استفاده می کنند .

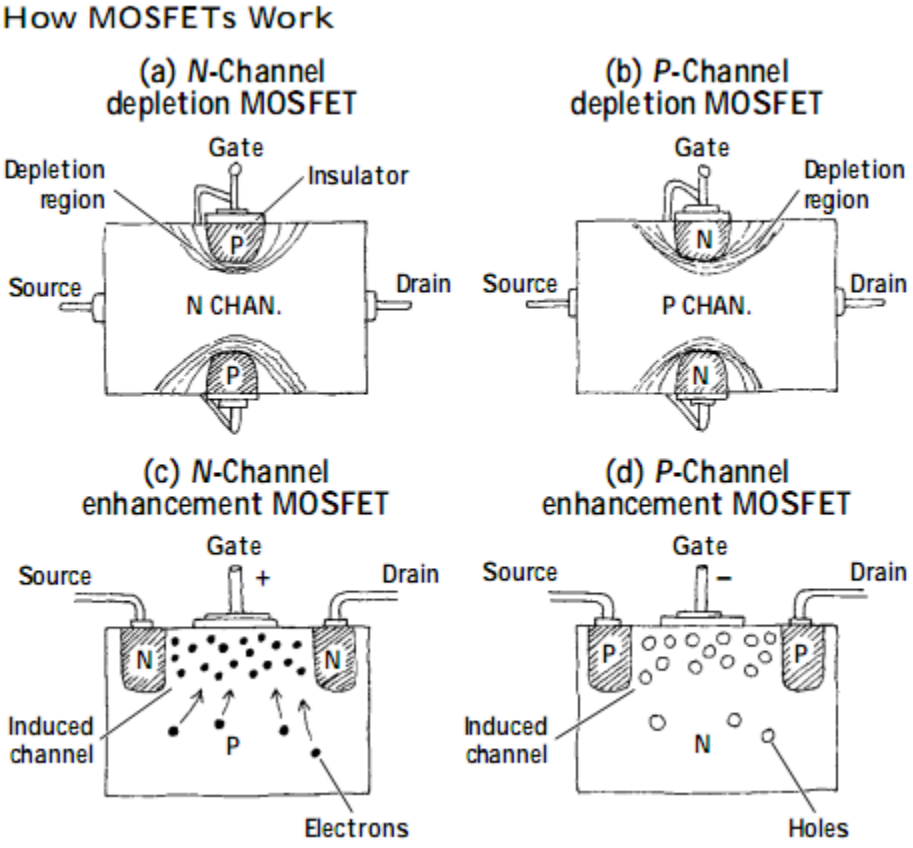
در ماسفت تهی کانال درین-سورس به طور ماندگار رسانا است ، حاملین بار مانند الکترون ها (کانال N) یا حفره ها (کانال P) در داخل از قبل وجود دارند . اگر یک ولتاژ منفی بین گیت و سورس یک ماسفت کاهش کانال n اعمال شود باعث خواهد شد تا میدان الکتریکی از جریان الکترون ها داخل کانال جلوگیری کند .

در یک ماسفت تهی کانال P با اعمال ولتاژ مثبت به گیت می توان جریان داخل کانال را قطع کرد . (قطع جریان در نتیجه شکل گیری ناحیه تهی در تکه های بالایی و پایینی می باشد .)

ماسفت ها نوع ارتقایی بر خلاف ماسفت تهی دارای یک کانال مقاومتی می باشند که تعداد کمی از حاملین بار در داخل آن وجود دارد و اگر یک ولتاژ مثبت بین گیت و سورس اعمال شود الکترون ها در داخل نیمه هادی نوعp به سمت کانال می روند و در نتیجه رسانایی کانال افزایش می یابد .

مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

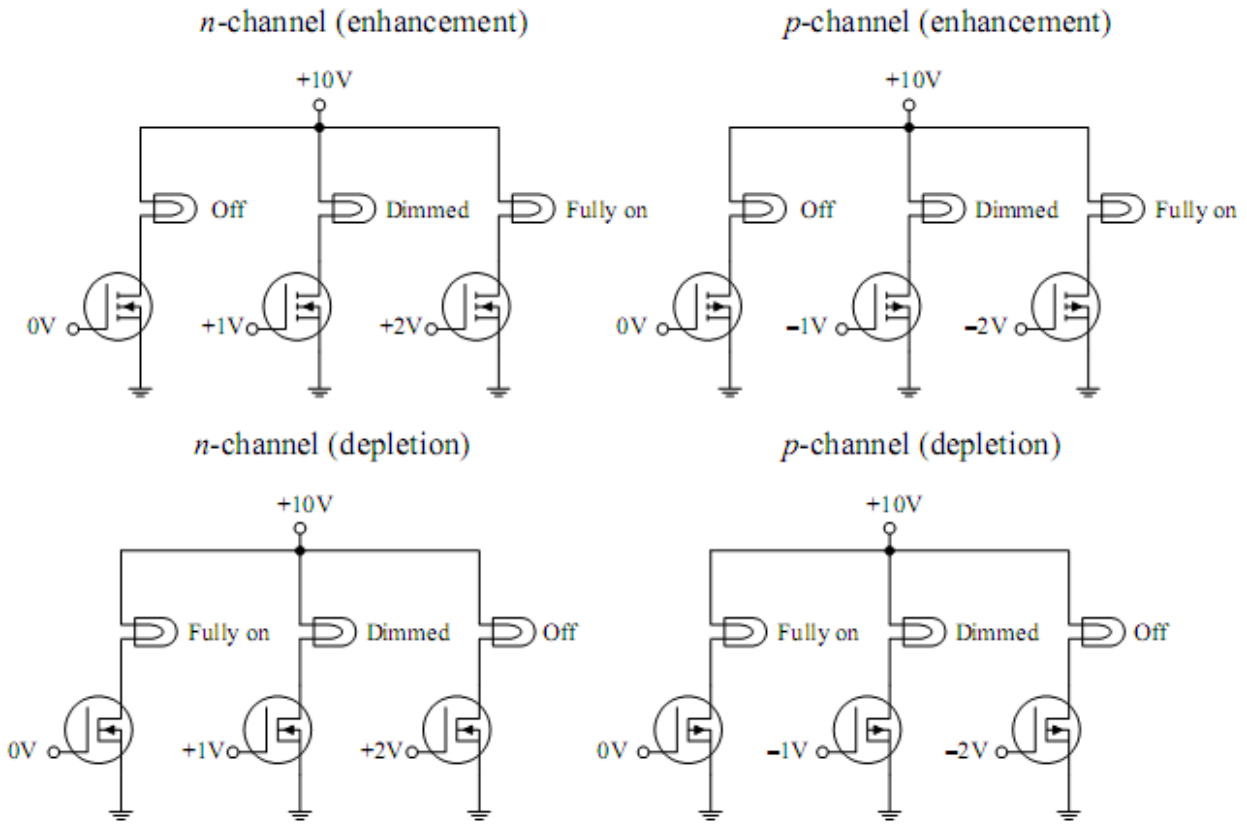
برای ماسفت ارتقایی کانال p هم ولتاژ منفی بر روی گیت ، حفره ها را داخل کانال می کشاند و رسانایی کانال افزایش می یابد .



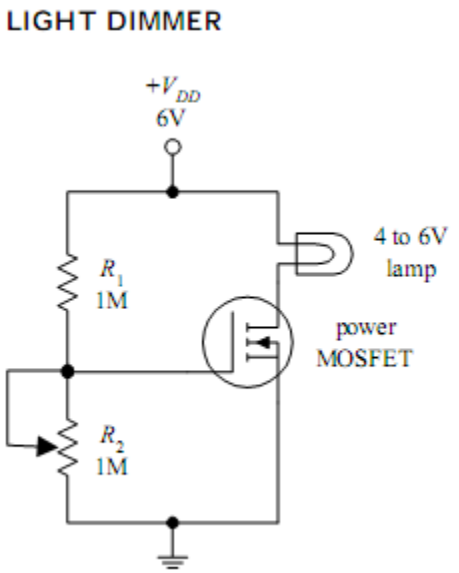
مداراتی که کاربرد ماسفت را بیشتر توضیح می دهد :

مدار زیر نشان می دهد که چگونه می توان با یک ماسفت جریان را کنترل کرد :

مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com



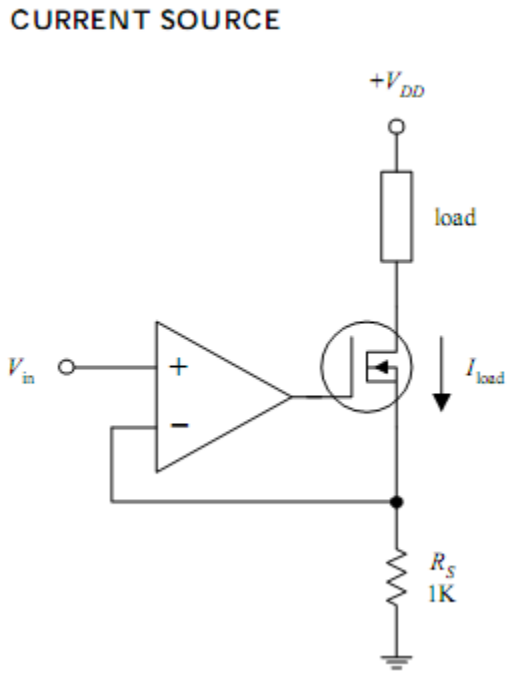
دیمر نوری با ماسفت :



مهرداد غفاری لاله

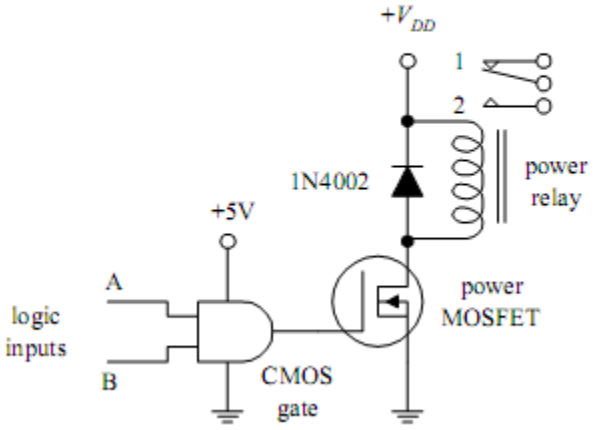
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

منبع جریان با ماسفت :



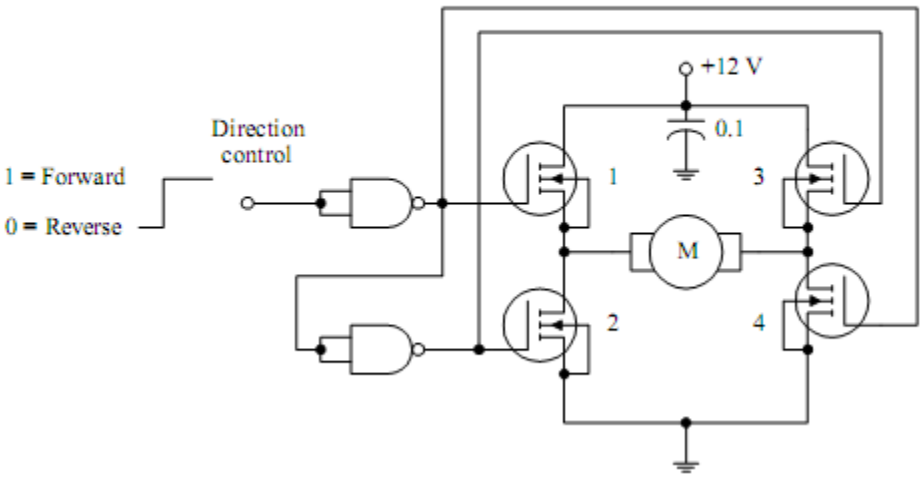
راه انداز رله با ماسفت (با مبدل آنالوگ به دیجیتال) :

RELAY DRIVER (DIGITAL-TO-ANALOG CONVERSION)



پل H با چهار ماسفت برای کنترل جهت موتور DC :

DIRECTION CONTROL OF A DC MOTOR



چیزهای مهمی که درباره ماسفت ها باید بدانیم :

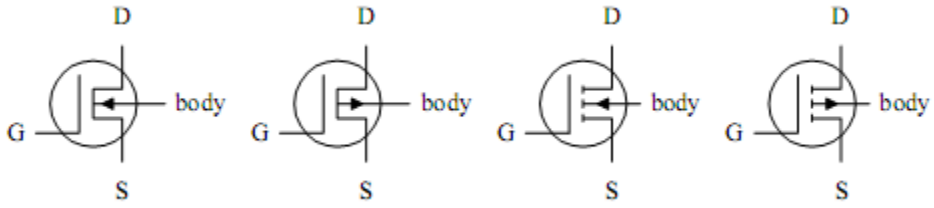
مهرداد غفاری لاله
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

برخی از ماسفت ها ممکن است دارای پایه چهارمی به نام **BODY** باشند. این پایه از دیود متصل به کانال درین-سورس تشکیل شده است . این پایه باید در ولتاژ نا رسانایی نگه داشته شود [به سورس یا نقطه ای در مدار که خیلی منفی تر از سورس است (کانال **n**) یا خیلی مثبت تر از سورس است (کانال **p**)] .

اگر مبنا را از سورس تغیر دهیم (برای ماسفت ارتقایی) و در اختلاف ولتاژی از سورس قرار دهیم این تغیر ولتاژ آستانه $V_{GS,th}$ را به مقدار $V_{BS}^{1/2}$ ½ می رساند که گرایش کاهش جریان درین در ولتاژ اعمالی V_{GS} می باشد .

مواردی که موقع شیفت ولتاژ آستانه باید در نظر گرفته شوند عبارتند از : اثرات نشتی ، اثرات خازنی و پلاریته سیگنال که باید متعادل باشند .

پایه **BODY** یک ماسفت اغلب جهت تعین نقطه کاری ماسفت با اعمال ولتاژ سیگنال افزایشی **AC** به گیت به کار می رود .



آسیب دیدن ماسفت ها :

ماسفت ها شدیدا شکننده اند ! عایق اکسید نازک روی گیت آنها تحت بمباران الکترونی ناشی از اشیا باردار الکترواستاتیکی می باشند .

برای مثال این امکان وجود دارد که شما حفره ای را به سادگی با راه رفتن روی فرش و سپس لمس کردن گیت ماسفت به این عایق ها برسانید . باری که شما در طول راه رفتن می گیرید ممکن است به اندازه ای بزرگ باشد که خودتان را در پتانسیل چندین صد ولت قرار دهد !

اگر چه مقادیر جریان تخلیه ای در طول برهم کنش واقعا زیاد نیست ، اهمیت چندانی ندارد ، عایق های اکسید چنان نازک هستند که جریان کوچکی می تواند برای ماسفت خطرناک باشد . (ظرفیت خازنی مانال گیست در خدود پیکو فاراد است) .

وقتی ماسفت ها را نصب می کنید لازم است که همه الکتریسیته ساکن محوطه کار را بزدایید .

مهرداد غفاری لاله

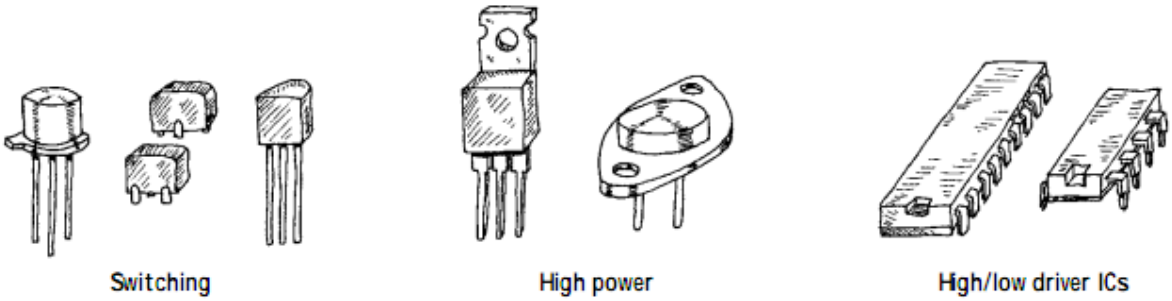
Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

همانطور که در شکل زیر می بینیم این ماسفت دارای یک دیود زنر بین پایه های درین و سورس می باشد که در حالت عادی کار ترانزیستور ، دیود مدارباز بوده و هیچ اثری در مدار ندارد اما در ورتی که یک ولتاژ بیش از حد در گیت ایجاد شود (ناشی از تجمع بار بر روی گیت بعلت اثر خازنی به وجود آمده) از شکست ماسفت جلوگیری نموده و دیود زیر ولتاژ را در حدود ولتاژ V_Z محدود می سازد .

انواع پکیج های ماسفت ها :

شبیه دیگر ترانزیستورها ، ماسفت ها هم یا در بسته های فلزی یا در پکیج های پلاستیکی هستند که در ماسفت های اوان بالا طوری طراحی شدند که بتوان از هیت سینک (خنک کننده) نیز استفاده کرد (به بدنه فلزی متصل می شود) .

آیسی های درایور با ماسفت های توان بالا / پایین نیز موجود می باشند . این درایورها معمولا به فرم DIP و با تعداد مستقلی از ماسفت ساخته می شوند و با سیگنال های منطقی سازگارند .



چیزهایی که موقع خرید یک ماسفت باید بدان توجه کرد ولتاژ شکست و جریان بیشینه درین و مقاومت دینامیکی درین سورس ، توان اتلافی ، سرعت سوئیچینگ و محافظ تخلیه الکترواستاتیکی می باشد .

در بازار عمده خانواده هایی که برای ماسفت عرضه شدند عبارتند از

2SKxxxx مانند SK11202 یا SK14052

BUKxxx مانند BUK443-100A

مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

BUZx مانند BUZ305 یا BUZ10

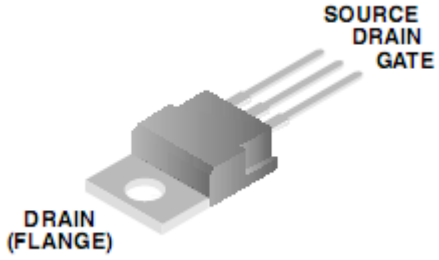
IRFxxx مانند IRF1010 یا IRF620

MTPxxx مانند MTP3055E یا MTP10N10E

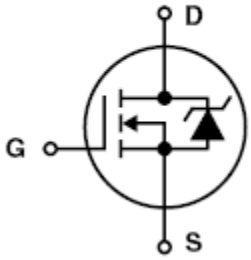
و ...

در زیر اطلاعاتی را از برگه دیتاشیت ماسفت IRF840 ذکر می کنیم :

A, 500V, 0.850 Ohm, N-Channel Power MOSFET



Symbol



مهرداد غفاری لاله

Msc.mehrdadghaffari@gmail.com

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

		IRF840	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	500	V
Drain to Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ) (Note 1)	V_{DGR}	500	V
Continuous Drain Current	I_D	8.0	A
$T_C = 100^oC$	I_D	5.1	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	32	A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	±20	V
Maximum Power Dissipation	P_D	125	W
Linear Derating Factor		1.0	W/^{o}C
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	510	mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150	^{o}C
Maximum Temperature for Soldering			
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300	^{o}C
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260	^{o}C

چکیده :

یکی از عناصر الکترونیکی به نام ترانزیستور اثر میدان (FET) می باشد . در این ترانزیستور مبنای کار بر اساس کنترل جریان الکتریکی توسط یک میدان الکتریکی است .

اصولا در FET تهنا یک توع حامل بار الکتریکی (الکترون یا حفره) در ایجاد جریان دخالت دارد (در حالیکه در ترانزیستورهای دو قطبی علاوه بر حامل های اکثریت ، حامل های اقلیت نیز در جریان نقش دارند) از این رو FET را ترانزیستور تک قطبی نیز می نامند .

بطورکلی ترانزیستورهای اثر میدانی دو نوع هستند : نوع اولFET پیوندی یا JFET و نوع دوم MOSFET که به اختصار MOS هم گفته می شود .