Bakalářská práce

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra řídící techniky

Bakalářská práce

Návrh vzorového pracoviště pro výuku

Pavel Večeř

Vedoucí práce: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Studijní program: *Elektrotechnika a informatika strukturovaný bakalářský*

Obor: *Kybernetika a měření*

Praha 2008

Poděkování

Chtěl bych hlavně a především poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Hlinovskému za to že měl tu trpělivost a kdykoliv bylo potřeba i čas.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne

Pavel Večeř

Abstrakt

Bakalářská práce umožňuje náhled do běžně používaných výkonových spínacích prvků, jejich výhody a nevýhody, které jsou v dnešní době dostupné na trhu. Také uvádí praktickou realizaci pro možné měřící ukázkové pracoviště do výuky. V úvodní části se lze seznámit s běžně používanými bipolárními i unipolárními výkonovými spínacími prvky, včetně jejich charakteristik. Je zde také naznačeno jak tyto běžné prvky fungují. V další části se již dostáváme k použitým schematům pro měřící pracoviště, rozbor jejich funkce a požadavky na měření. Dále je zde uveden návrh samotných přípravků na měření i s použitými součástkama. V závěru jsou uvedeny hodnoty naměřené na přípravcích.

Abstract

The bachelor thesis allows look into the common used high-power switching devices, their advanteges and disadvanteges, that are now available on market. It also show practicall realization for measuring workplace for teaching. In the first chapter i show common used bipolar and unipolar high-power switching devices with their characteristics. In this part u can see their function too. In next part of bachelor thesis i show used schematics for measuring workplace, their function and requests to measure. There is also shown layout of preparation with used component. In the end of bachelor thesis are shown measures on preparations.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Pavel Večeř**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Návrh vzorového pracoviště pro výuku**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s řídicími obvody výkonové elektroniky, výkonovými spínači.
2. Analyzujte současnou součástkovou základnu.
3. Po dohodě s vedoucím práce navrhněte a realizujte integrované laboratorní pracoviště "Řídicí obvody výkonové elektroniky, výkonové spínače".
4. Vypracujte návod k dané úloze ve formě webové prezentace.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

n. z. doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 29. 2. 2008

Obsah

Seznam obrázků **vii**

Úvod **1**

1 Cíle práce **2**
1.1 Přípravky 2
1.2 Přípravek pro MOSFET 2
1.3 Přípravek pro triak a optotriak 2

2 Výkonové spínací prvky **3**
2.1 Bipolární spínací prvky 3
2.1.1 Tyristor 3
2.1.2 Triak 4
2.1.3 GTO tyristor 5
2.2 Unipolární spínací prvky 7
2.2.1 MOSFET 7
2.2.2 IGBT a DMOS 7
2.2.3 SSR 8
2.2.3.1 SSR Instant on switch 8
2.2.3.2 SSR Zero switching 9
2.2.3.3 SSR Analog switching 9
2.2.3.4 SSR Peak switch 10
2.2.3.5 SSR DC 10

3 Výběr součástek **11**
3.1 MOSFET 11
3.2 Triak 12
3.3 Optotriak 12

4 Schémata zapojení **14**
4.1 Zapojení MOSFETu 14
4.2 Zapojení triaku 15
4.3 Zapojení optotriaku 16

5 Návrh plošného spoje **17**
5.1 Použitý software 17

5.2 První přípravek 17
5.3 Druhý přípravek 19

6 Měření na přípravcích 21
6.1 První přípravek 21
6.2 Druný přípravek 21

7 Návody k přípravkům 22
7.1 Požadavky na návody 22
7.2 Realizace návodů 22

8 Závěr 24
8.1 Dostupné výstupy 24
8.2 Zhodnocení 24

Literatura 25

Seznam obrázků

1 Schematická značka tyristoru 3
2 VA charakteristika tyristoru 3
3 Struktura a schematická značka triaku 4
4 VA charakteristika triaku 4
5 Schematická značka a struktura GTO tyristoru 5
6 Schematická značka NPN a PNP BJT 5
7 Příklad VA charakteristik BJT v propustném směru 6
8 Darlingtonova dvojice 6
9 Struktura, schematická značka a voltampérová charakteristika MOSFETu 7
10 Schematická značka IGBT tranzistoru, průchod proudů 7
11 Náhradní schéma tranzistoru IGBT 8
12 Průběhy na relé s okamžitým spínáním 8
13 Průběhy na relé se spínáním v nule 9
14 Průběhy na relé se spínáním v závislosti na analogovém signálu 9
15 Průběhy na relé se spínáním ve špičce 10
16 Průběhy na relé se stejnosměrným spínáním 10
17 Katalogové údaje IRF620 11
18 Výstupní a převodní charakteristika IRF620 11
19 Katalogové údaje 2N6075A 12
20 Katalogové údaje MOC3020 12
21 Schéma zapojení pro měření MOSFETu 14
22 Schéma zapojení pro měření triaku 15
23 Schéma zapojení pro měření optotriaku 16
24 Potisk prvního přípravku 18
25 Realizace plošného spoje prvního přípravku 18
26 Potisk druhého přípravku 20
27 Realizace plošného spoje druhého přípravku 20

Úvod

V posledních desetiletích jde vývoj výkonových prvků dopředu mnohem rychlejším tempem než tomu bylo dříve. Stále se zvyšují mezní parametry moderních polovodičových součástek, aplikují se nové a modernější technologie a narůstá profesionalita vývojových pracovišť. Nejvýrazněji se o to zapsal pokrok technologie integrovaných obvodů. Což umožnilo vznik nových spínacích prvků, které se již vyrábějí podobnými postupy jako při výrobě složitějších integrovaných obvodů. Díky tomotu jsou dostupné spínací prvky jako je tyristor, triak nebo bipolární tranzistor vyráběny s mnohem lepšími vlastnostmi než tomu bylo dříve. U těchto prvků se bavíme o hodnotách napětí řádově kV a proudů kA. Mezi nejpoužívanější spínací prvky patří tyristor, triak, BJT (bipolar junction tranzistor), MOSFET (metal oxid semiconductor field efect tranzistor).

Kapitola 1

Cíle práce

Cílem práce je úvést přehled výkonových spínacích prvků, které se v dnešní době dají na trhu běžně sehnat. Nastínit přibližně to jak tyto prvky fungují, uvést charakteristiky prvků tak, jak nám je udává výrobce. Seznámit běžného uživatele s tím jak tyto prvky fungují uvnitř, z čeho jsou tvořeny. Mým cílem není uvést přesné postupy krok za krokem, co se v prvku dějí při přivedení, popřípadě odpojení proudu. Pouze naznačuji jak se daný prvek chová a co od něho můžeme očekávat. V neposlední řadě je mým cílem vytvořit měřící přípravky, na kterých bude možné změřit základní vlastnosti tranzistoru MOSFET, jenž je jedním z hlavních zástupců unipolárních výkonových spínacích prvků a možnost porovnat vlastnosti triaku a optotriaku zapojených jako stmívačů, jenž jsou zástupci bipolárních spínacích prvků.

1.1 Přípravky

Přípravky by měli být dva pro MOSFET jeden a pro optotriak a triak druhý měřící přípravek.

1.2 Přípravek pro MOSFET

Na tomto přípravku by mělo být možno měřit vlastnosti tohoto unipolárního tranzistoru. Vstup pro dva zdroje, jeden pro řízení napětí U_{GS} a druhý umožňující řídit napětí U_{DS}. Možnost výměny prvku - umístění na patici. Výstupy pro ampemetr pro měření I_{DS}, voltmetr pro měření U_{DS} a voltmetr pro měření U_{GS}.

1.3 Přípravek pro triak a optotriak

Přípravek bude obsahovat oba prvky. Triak bude přímo zapojen jako stmívač, čili připojen na střídavou část obvodu, jenž je tvořen transformátorem 230V/12V/0,15A. Optotriak má být zapojen tak aby mohl být regulován z stejnosměrného zdroje napětí i tak, aby se dal vytvořit stmívač, jenž se realizuje pomocí generátoru impulzů, který nahradí stejnosměrný zrdoj napětí. Oba dva prvky mají být regulovatelné pomoci trimrů. Jako vstup je zde zdroj pro optotriak. Výstupy pro ampermetry na diodu optotriaku, gate triaku a proud v žárovce, dále pro voltmetry na diodě optotriaku, napětí na žárovce, na U_{GA2} triak, na U_{A1A2} triaku. Možnost výměny žárovky i triaku a optotriaku, tedy jako u MOSFETu umístění na patici.

Kapitola 2

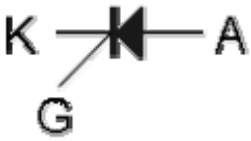
Výkonové spínací prvky

2.1 Bipolární spínací prvky

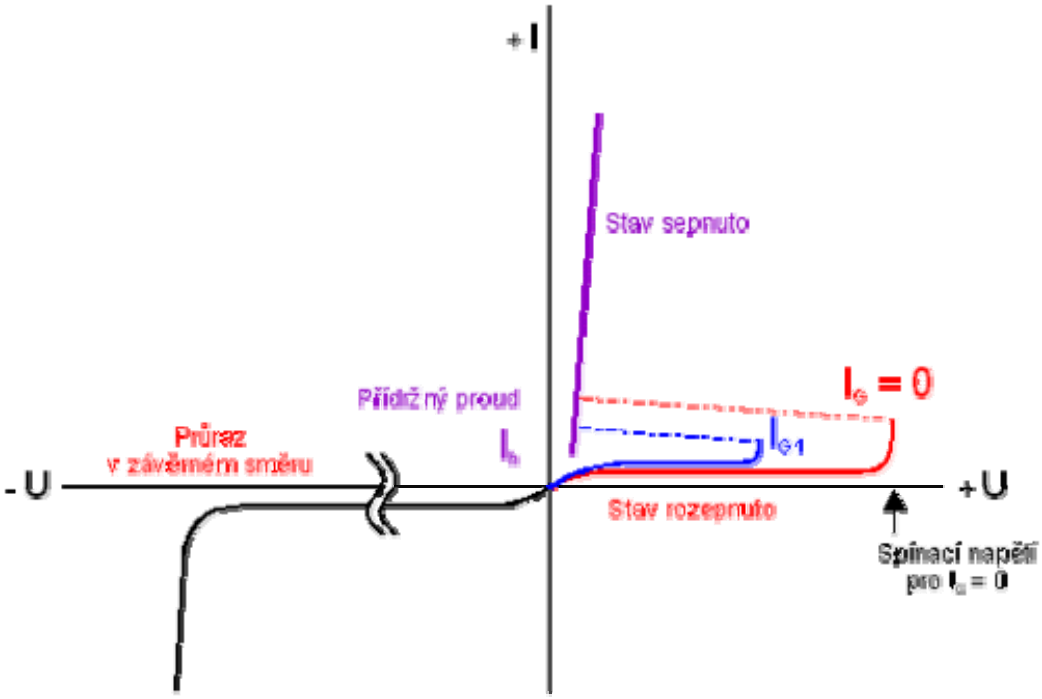
2.1.1 Tyristor

Jedná se o bipolární spínací součástku, která vykazuje bistabilní regenerativní spínací charakteristiky. Toto znamená, že sepnutí tyristoru se provádí proudovým impulsem do řídící elektrody, přičemž po jeho skončení zůstává součástka sepnutá. Toto je velká výhoda oproti bipolárnímu tranzistoru, u kterého pro sepnutý stav je nutné stále udržovat proud do báze. Z čehož také plyne jeho výhoda regulace velkých výkonů relativně jednoduchými řídícími obvody.

Je to čtyřvrstvá spínací součástka P-N-P-N, které tvoří tři přechody P-N a tři elektrody. Tyto elektrody jsou anoda (A), katoda (K) a řídící elektroda (Gate).



Obrázek 1: Schematická značka tyristoru



Obrázek 2: VA charakteristika tyristoru

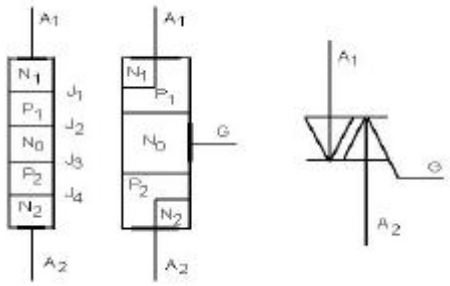
Charakteristika v závěrném směru je v podstatě schodná s charakteristikou klasické diody. V propustném směru s odpojenou řídící elektrodou je schodná s čtyřvrstvou diodou. Při spínacím napětí nastane průraz na přechodu v závěrném směru, napětí na tyristoru prudce klesne a proud rychle narůstá. Při průchodu proudu řídící elektrodou dochází ke snižování spínacího napětí.

Vypínání tyristoru se provádí přivedením záporného napětí na anodu. U obvodů se střídavým napájecím napětím dochazí k tomuto vypínání v každé periodě, díky tomu nastává přirozená komutace (změna polarity) napětí mezi anodou a katodou.

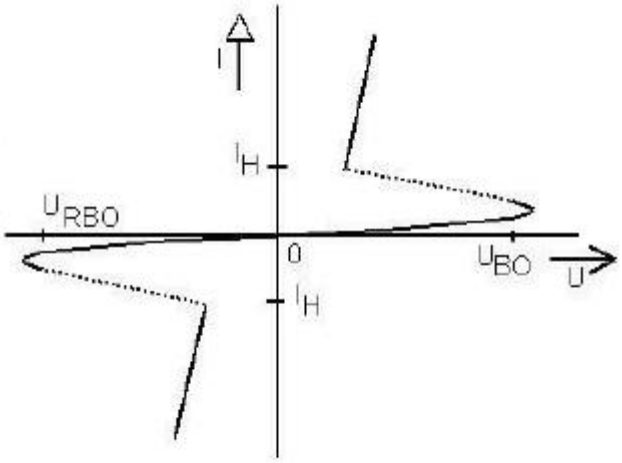
U obvodů se stejnosměrným napájením je možné tyristor vypnout pouze pomocí nucené komutace. Obvykle se to provádí pomocí paralelního připojení nabitého kapacitoru s polaritou napětí zajišťující závěrnou polarizaci tyristoru. Z tohoto důvodu se v dnešní době tolik pro stejnosměrné aplikace nevyužívá.

2.1.2 Triak

Triak nám na rozdíl od tyristoru umožňuje spínat proud a řídit výkon v celé periodě střídavého signálu. Jde v podstatě o dva antiparalelně zapojené tyristory s jednou společnou řídící elektrodou G. Řídí se proudem libovolné polarity mezi elektrodou a řídící elektrodou.
Je to pětivrstvá spínací součástka se symetrickou soustavou přechodů P-N.



Obrázek 3: Struktura a schematická značka triaku



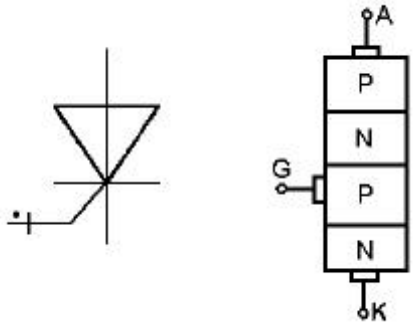
Obrázek 4: VA charakteristika triaku

K sepnutí dochazí při kladném i záporném napětí mezi oběma elektrodami a při tom záleží pouze na velikosti řídícího proudu a nikoliv jeho smyslu.

K vypnutí triaku je nutné snížit hodnotu proudu pod hodnotu vratného proudu.
Jeho nejčastější využití je pro řízení různých střídavých motorů, řízení osvětlení nebo vytápění.

2.1.3 GTO (gate turn off) tyristor

Jde o vícepřechodovou bipolární součástku, strukturou je podobná tyristoru, avšak narozdíl od tyristoru nám přes řídící elktrodu umožňuje též tyristor vypnout.



Obrázek 5: Schematická značka a struktura GTO tyristoru

Volt Ampérová charakteristika GTO tyristoru má podobný tvar jako běžný tyristor.

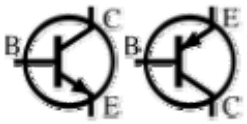
Pro sepnutí GTO tyristoru je na řídící elektrodu nutné přivést kladné napětí proti K, to se obvykle provádí pomocí jednotkového impulzu který je 150-1000 krát nižší nežli spínaný proud. Minimální délka takovéhoto impulzu je definována přimo od výrobce. Při takovém sepnutí probíhá podobně jako u tyristoru regenerativní děj, který končí úplným otevřením prvku. V otevřeném stavu zůstává GTO jestliže je hodnota napětí na řídící elektrodě nulová kladná a záporná avšak menší nežli podprahové napětí.

Vypínanání se provádí pomocí záporného napětí na řídící elektrodě proti K, hodnota tohoto napětí musí být větší nežli napětí podprahové. Toto záporné napětí způsobí odsávání produ nosičů do řídící elektrody a díky tomu dojde k obnovení blokovacích schopností tyristoru. Principelně se to opět provádí impulzem na řídící elektrodě, který je však tentokrát pouze 2-10 krát menší nežli spínaný proud.

Jejich použití je pro spínání velkých výkonů, jako například indukční pece.

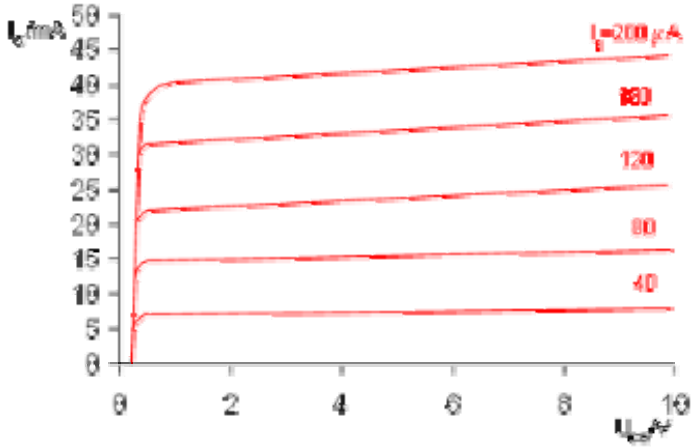
2.1.4 BJT (bipolar junction transistor)

Tento typ tranzistoru se skládá z alespoň tří různě dotovaných oblastí, které tvoří dva přechody P-N v těsném uspořádání. Podle technologie se dělí na NPN a PNP. Obvykle se skládá ze tří elektrod a to báze, kolektor a emitor.



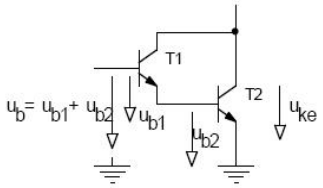
Obrázek 6: Schematická značka NPN a PNP BJT

Jeho princip je, že silně dotovaný emitor N^{++} (P^{++}) emituje elektrony (díry) do úzké báze P^{+} (N^{+}), kterou většina z nich projde a je následně sbírána kolektorem N (P). Velikostí proudu do báze lze potom ovládat počet prošlých částic z emitoru. Proud do kolektoru se dá určit pomocí vztahu $I_C = h_{21E} * I_B$, h_{21E} je běžný údaj uvedený v každém katalogu.



Obrázek 7: Příklad VA charakteristik BJT v propustném směru

Dále je dobré při porovnání s tranzistory typu MOSFET vědět, že pro úplné otevření bipolárního tranzistoru obvykle postačí napětí U_{BE} < 0,6V-1V, narozdíl od MOSFETu, kde je potřeba napětí okolo 12V-20V. Ovšem jejich hlavní nevýhodou je potřeba relativně velkého výkonu pro řídící obvod, tato nevýhoda se dá zmírnit pomocí Darlingtonovy dvojice.



Obrázek 8: Darlingtonova dvojice

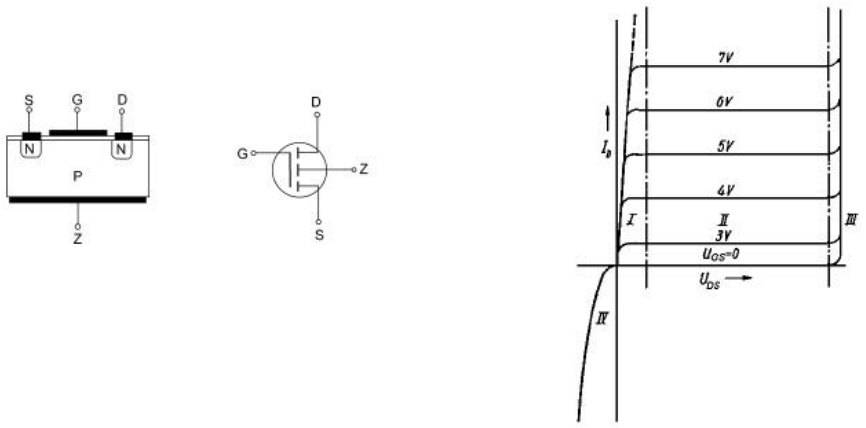
Díky tomuto zapojení dochází sice ke snížení výkonu na řídícím obvodu, avšak nám narustají ztráty v prvku.

U těchto spínacích prvků ovšem není možné paralelní spojení spínačů pro spínání vyšších výkonů a to z důvodů zbytkového napětí. Neboť toto zbytkové napětí je tepolotně závislé, tedy vzniká nám záporný teplotní koeficient zbytkového napětí. To nám při paralelním zapojení způsobuje kladnou zpětnou vazbu a prvkem jenž se zahřívá rychleji teče větší proud a ten se díky tomu zahřívá jeeště o to více rychleji. Tento jev nám odstraňují unipolární spínací prvky.

2.2 Unipolární spínací prvky

2.2.1 MOSFET (metal oxid semiconductor field efect transistor)

Jedná se o polem řízený tranzistor, vodivost kanálu mezi elektrodami source a drain je ovládána elektrickým polem tvořeným ve struktuře kov-oxid-polovodič napětím, které se přiloží mezi hradlo (gate) a source. Při existenci vodivého kanálu i při U_{GS} = 0V, se jedná o MOSFET se zabudovaným kanálem. Vpřípadě potřeby přivedení napětí U_{GS} > 0V (U_{GS} < 0V) pro vytvoření kanálu vodivosti N(P), jde o MOSFET s indukovaným kanálem.

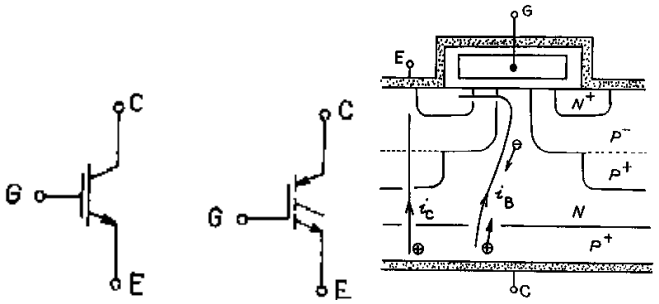


Obrázek 9: Struktura, schematická značka a voltampérová charakteristika MOSFETu

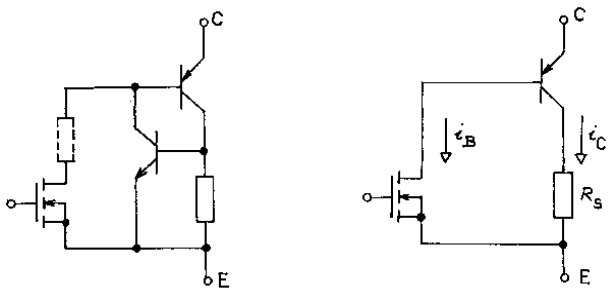
2.2.2 IGBT a DMOS (insulated gate bipolar tranistor a double difused MOS)

Předností DMOS tranzistoru oproti bipolárním tranzistorům je bezproudové spínání velkých výkonů, za předpokladu pomalého spínání. Pro rychlé spínání je už zapotřebí rychlého vybíjení a nabíjení vstupní kapacity, u frekvence nad desítky kHz. I přes toto omezení je DMOS v oblasti spínání proudů do desítek A a při 600V stále nejlepší součástkou.

V oblasti nad 600V mají DMOS trazistory již vysoký odpor R_{DSON}, takto vysoký odpor už nutí k zapojení několika trazistorů paralelním způsobem, v tomto případě však nastává cenová neefektivnost takovéhoto spojení. Tento vysoký odpor a vysoké napětí U_{BRDSS} je halvně zapříčiněn odporem epitaxní vrstvy N. Ke snížení R_{DSON} dochází při zvýšení vodivosti této vrstvy v sepnutém stavu pomocí injekce děr z oblasti která je tvoří P-N přechod J1, tento přechod je zde navíc a tím se dostáváme k trazistoru IGBT. U tohoto typu trazistoru máme jak unipolární tak bupolární princip vodivosti, tím nám vzniká kombinovaná součástka Bipolar-MOS.



Obrázek 10: Schematická značka IGBT tranzistoru, průchod proudů



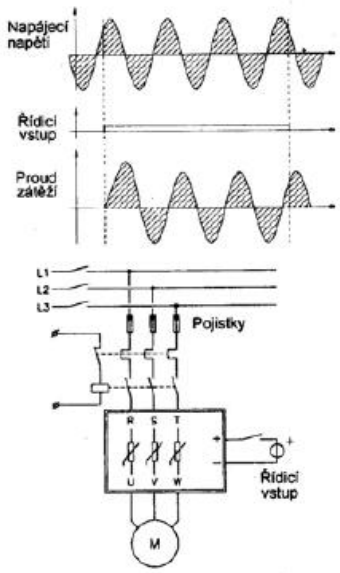
Obrázek 11: Náhradní schéma tranzistoru IGBT

2.2.3 SSR (Solid State Relay)

Jedná se o polovodičové spínače s optoelektrickým oddělením jenž lze použít jak pro střídavé, tak i pro stejnosměrné aplikace pro spínání výkonů. U těchto součástek je životnost a kvalita mnohem vyšší než u elektromagnetických stykačů. Skládají se obvykle z několika tyristorů, triaků nebo IGBT tranzistorů dále ještě doplněny o řídící obvody, které jsou galvanicky odděleny od spínaného obvodu. Pro pomalé střídavé zátěže je základem klasický triak, pro rychlejší spínání je použit triak sestavený ze dvou antiparalelních tyristorů, které jsou od sebe lépe odděleny (snuberless triak), pro induktivní zátěže je použit čip se dvěma antiparalelními tyristory (alternistor). V plastových pouzdrech jsou obvykle umístěny relé do 5A, pro vyšší proudy je již použito pouzdro kombinace kovu a plastu.
Tyto SSR můžeme dělit podle druhu spínání na několik typů.

2.2.3.1 SSR Instant on switch IO (s okamžitým spínáním)

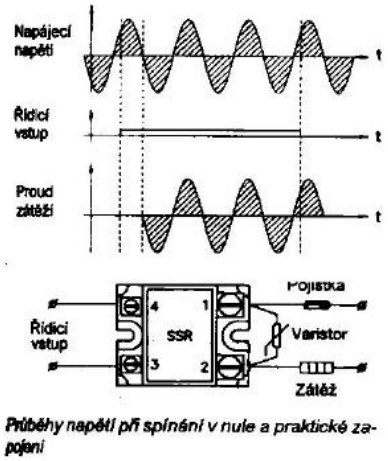
Za předpokladu střídavého napájení lze toto relé zapnout v jakékoliv části periody. Nelze ho fázově řídit.



Obrázek 12: Průběhy na relé s okamžitým spínáním

2.2.3.2 SSR Zero switching – ZC (se spínáním v nule)

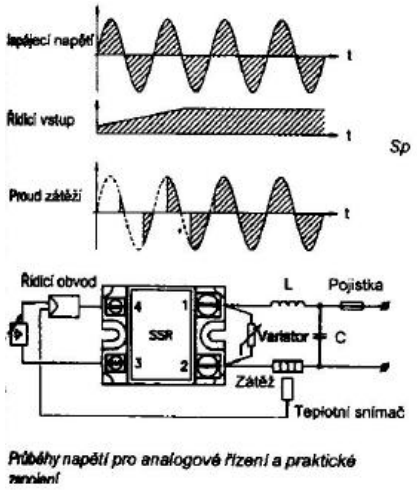
Díky tomu, že relé spíná v nule není potřeba odrušovacích obvodů, jedná se o nejběžněji používané relé.



Obrázek 13: Průběhy na relé se spínáním v nule

2.2.3.3 SSR Analog switching – AS (se spínání v závislosti na analogovém signálu)

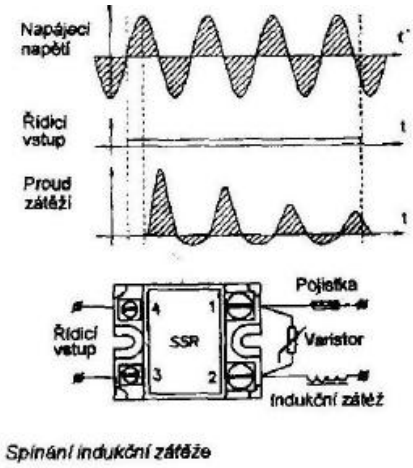
Tento druh relé umožňuje fázové řízení výkonu a to jak napěťové, tak proudové. Pro fázové řízení je nutné použití odrušovacích obvodů.



Obrázek 14: Průběhy na relé se spínáním v závislosti na analogovém signálu

1.2.3.4 SSR Peak switch (se spínáním ve špičce)

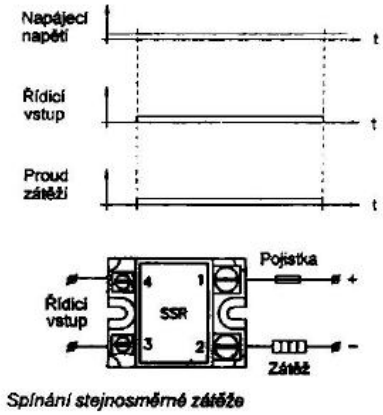
Toto relé spíná při připojení řídícího signálu v nejbližší plné amplitudě napájecího napětí. Je vhodné pro velké indukční zátěže.



Obrázek 15: Průběhy na relé se spínáním ve špičce

1.2.3.5 SSR DC – S (se stejnosměrným spínáním)

Relé umožňuje spínat zátěž při stejnosměrném napájení. Má rychlou dobu sepnutí.



Obrázek 16: Průběhy na relé se stejnosměrným spínáním

Tato relé nám umožňují vcelku široké použití i tam, kde by byla realizace pomocí diskrétních prvků náročná.

Toto je stručný náhled do výkonových spínacích prvků, jejich přesnou funkci a konstrukci lze nalézt ve většině knih o elektronice, proto ji zde neuvádím, pouze naznačení funkce a přibližné využití.

Kapitola 3

Výběr součástek

3.1 MOSFET

Po průchodu katalogem jsem vybral MOSFET IRF620, jedná se o součástku od firmy SGS-Thomson Microelektronics.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

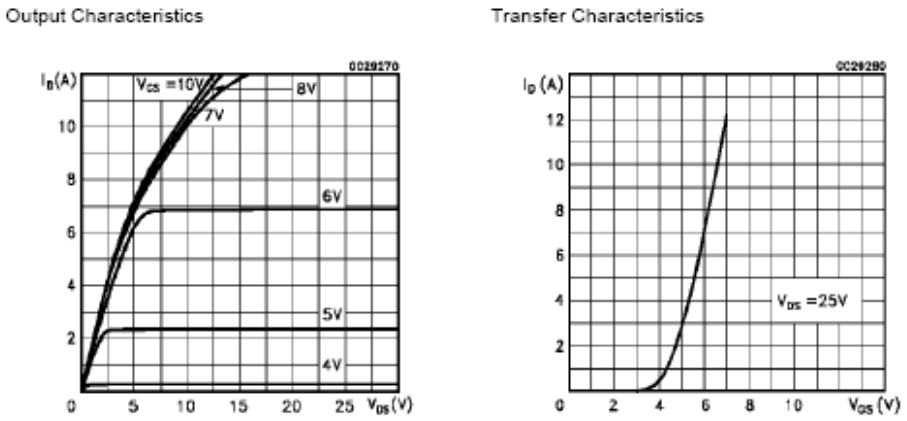
Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRF620	IRF620FI	
V_{DS}	Drain-source Voltage (V_{GS} = 0)	200		V
V_{DGR}	Drain- gate Voltage (R_{GS} = 20 kΩ)	200		V
V_{GS}	Gate-source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current (cont.) at T_c = 25 °C	6	4	A
I_D	Drain Current (cont.) at T_c = 100 °C	4	2	A
I_{DM}(•)	Drain Current (pulsed)	24	24	A
P_{tot}	Total Dissipation at T_c = 25 °C	70	30	W
	Derating Factor	0.56	0.24	W/°C
V_{ISO}	Insulation Withstand Voltage (DC)	—	2000	V
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		°C
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		°C

(•) Pulse width limited by safe operating area

Obrázek 17: Katalogové údaje IRF620

Zde ještě uvádím nejdůležitější katalogové údaje:

V_{DSS} 200V
I_D 6A
R_{FON} < 0,8Ω
V_{GS} 20V



Obrázek 18: Výstupní a převodní charakteristika IRF620

Další katalogové údaje jsou uvedeny v datasheetu v příloze A.

3.2 Triak

Jako triak jsem zvolil 2N6075A od firmy ON Semiconductor.

MAXIMUM RATINGS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
*Peak Repetitive Off-State Voltage (Note 1) (T_J = −40 to 110°C, Sine Wave, 50 to 60 Hz, Gate Open)	V_{DRM}, V_{RRM}		V
2N6071A, B		200	
2N6073A, B		400	
2N6075A, B		600	
*On-State RMS Current (T_C = 85°C) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz	$I_{T(RMS)}$	4.0	A
*Peak Non-repetitive Surge Current (One Full cycle, 60 Hz, T_J = +110°C)	I_{TSM}	30	A
Circuit Fusing Considerations (t = 8.3 ms)	I^2t	3.7	A^2s
*Peak Gate Power (Pulse Width ≤ 1.0 µs, T_C = 85°C)	P_{GM}	10	W
*Average Gate Power (t = 8.3 ms, T_C = 85°C)	$P_{G(AV)}$	0.5	W
*Peak Gate Voltage (Pulse Width ≤1.0 µs, T_C = 85°C)	V_{GM}	5.0	V
*Operating Junction Temperature Range	T_J	−40 to +110	°C
*Storage Temperature Range	T_{stg}	−40 to +150	°C
Mounting Torque (6-32 Screw) (Note 2)	–	8.0	in. lb.

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.
2. Torque rating applies with use of a compression washer. Mounting torque in excess of 6 in. lb. does not appreciably lower case-to-sink thermal resistance. Main terminal 2 and heatsink contact pad are common.

Obrázek 19: Katalogové údaje 2N6075A

Zde jsou ještě uvedeny nejdůležitější katalogové údaje:

V_{DRM} 600V
I_T 4A
I_{TSM} 30A

Další potřebné katalogové údaje včetně charakteristik jsou opět uvedeny v datasheetu, příloha B.

3.3 Optotriak

Optotriak jsem zvolil MOC3020, jedná se o výrobek od firmy texas instruments.

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_R	Static reverse current		V_R = 3 V		0.05	100	µA
V_F	Static forward voltage		I_F = 10 mA		1.2	1.5	V
$I_{(DRM)}$	Repetitive off-state current, either direction		$V_{(DRM)}$ = 400 V, See Note 5		10	100	nA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage		See Figure 1		100		V/µs
dv/dt(c)	Critical rate of rise of commutating voltage		I_O = 15 mA, See Figure 1		0.15		V/µs
I_{FT}	Input trigger current, either direction	MOC3020	Output supply voltage = 3 V		15	30	mA
		MOC3021			8	15	
		MOC3022			5	10	
		MOC3023			3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction		I_{TM} = 100 mA		1.4	3	V
I_H	Holding current, either direction				100		µA

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than 12 V/µs.

Obrázek 20: Katalogové údaje MOC3020

Zde jsou opět uvedeny nejdůležitější katalogové údaje:

I_{IN} 50mA
U_{IN} 3V
I_{ROUT} 100mA
U_{ROUT} 400V

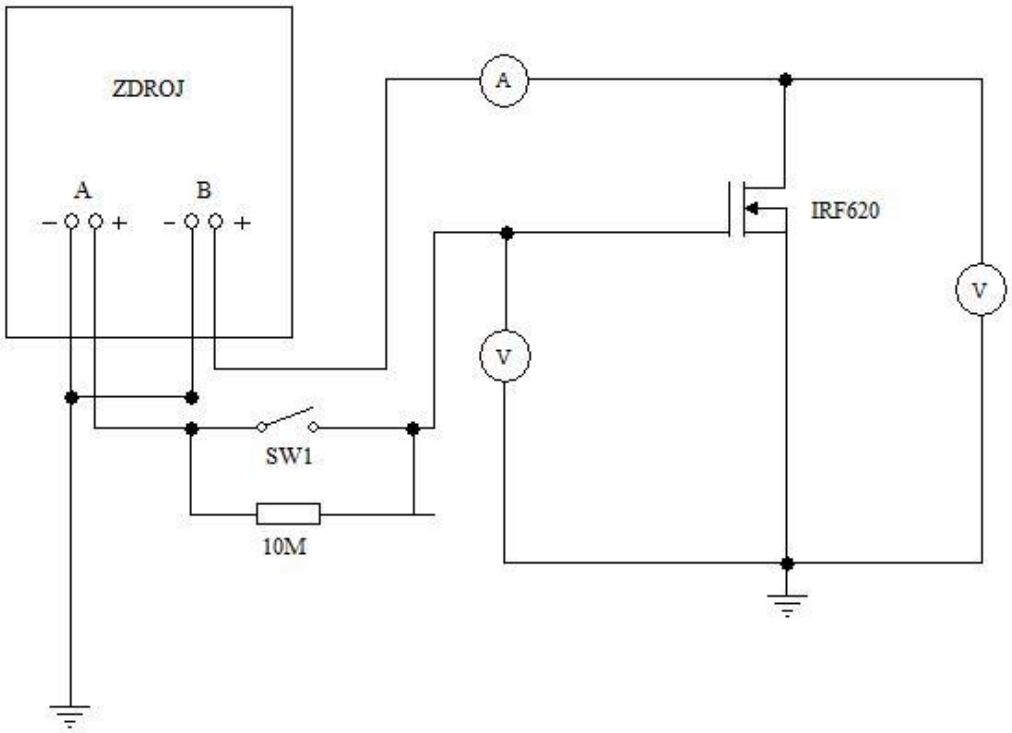
Proud a napětí na výstupu optotriaku je uvedeno pro harmonický průběh, tedy zapojení které bude řídit žárovku na střídavé napětí 12V/100mA, další údaje opět uvedeny v datasheetu, příloha C.

Kapitola 4

Schémata zapojení

4.1 Zapojení MOSFETu

Pro MOSFET je použito jednoduché schéma zapojení umožňující měření dynamických vlastností součástky.



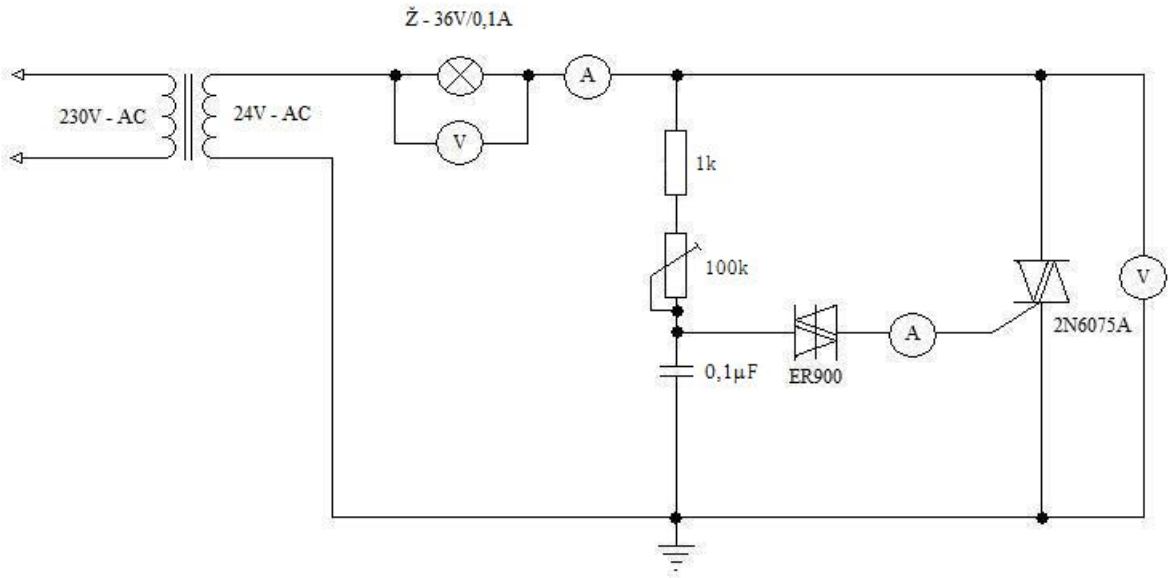
Obrázek 21: Schéma zapojení pro měření MOSFETu

V tomto zapojení je možné měřit proud I_{DS} i napětí U_{DS}, jenž je řízeno jednou polovinou zdroje a U_{GS} jenž nám řídí otevření tranzistoru a které je řízeno druhou polovinou zdroje. Při sepnutém spínači SW1 se jedná o ideální zdroj napětí. Na tomto přípravku se budou měřit výstupní charakteristiky pro U_{GS} = 0, 5, 10 a 15V a pro I_{DS} = 0, 100, 250, 500mA, pro tyto hodnoty se změří závislost $I_{DS} = f(U_{DS})$. Z těchto naměřených charakteristik se potom vypočítá R_{DSON}. V další fázi se bude na trazistoru měřit při $U_{DS} < 0V$, v této fázi bude ochranná dioda ve vodivém směru a díky tomu naměříme $U_{DS} \geq -0{,}6V$. Poslední co se bude na tranzistoru měřit budou náběžné a sestupné hrany obdélníkového signálu. V tomto případě se zdroj A nahradí impulsním generátorem s pravoúhlým

signálem se střídou 1:1 a frekvencí 1kHz, na zdroji B se nastaví hodnota 100mA, toto měření se provede pro zapnutý i vypnutý spínač SW1. Díky tomuto měření se dá určit časová konstanta obvodu a vypočítat vnitřní kapacita pomocí rovnice $\tau_{GS} = R_i.C_{GS}$.

4.2 Zapojení triaku

Jedná se o zapojení stmívače s triakem.



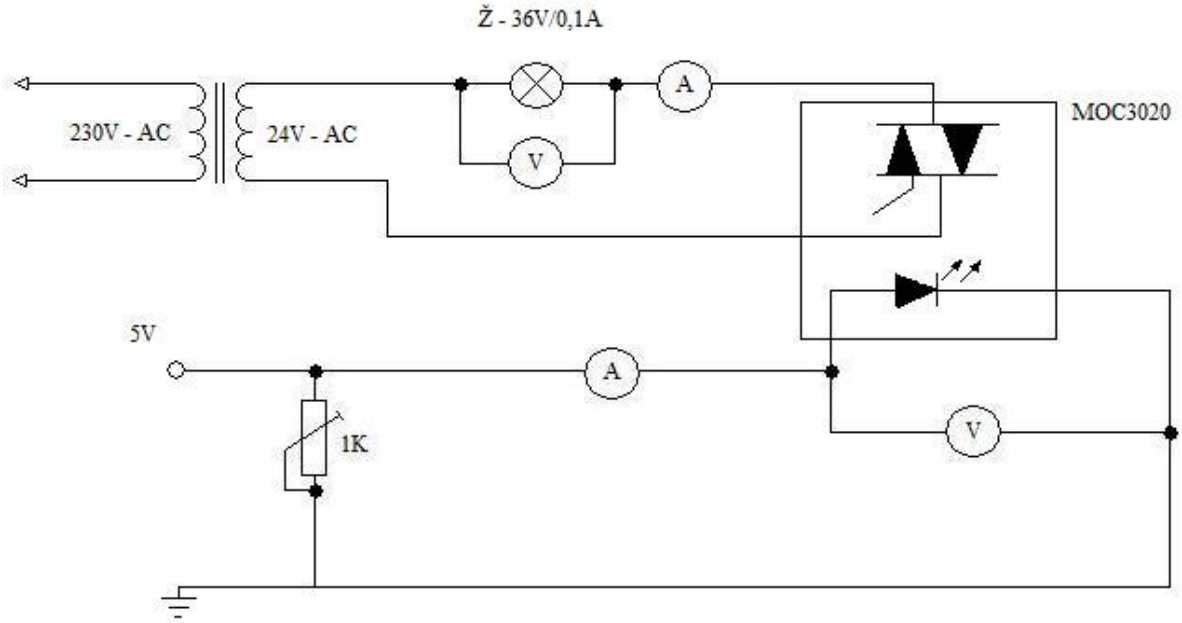
Obrázek 22: Schéma zapojení pro měření triaku

Toto zapojení funguje principielně tak, že při každém průchodu nulou střídavé napětí uzavře triak. Na začátku každé půlvlny se na RC objevuje sinusové napájecí napětí, jenž nabíjí kondenzátor, ve chvíli kdy napětí na kondenzátoru dosáhne spínacího napětí diaku, tak diak sepne a kondenzátor se přes diak a řídící elektrodu triaku vybíjí. Triak zůstává sepnutý do konce aktuální půlvlny.

V tomto zapojení je stmívač řízen pomocí trimru přes diak, hodnota trimru je 1K. V zapojení je možné změřit jak proud procházející žárovkou, tak i proud který vede na řídící elektrodu triaku. Dále je možně změřit pomocí osciloskopu průběhy napětí na triaku i na zátěži, na triaku i napětí mezi řídící elektrodou a elektrodou vedoucí k zemi. Na tomto přípravku je vhodné zaznamenat průběhy napětí pro úhel otevření 100%, 50% a 25% a k těmto průběhům uvést hodnoty napětí i proudu do řídící elektrody.

4.3 Zapojení optotriaku

Na optotriaku bude možné měřit jak s stejnosměrným zdrojem, tak i s generátorem impulzů, což nám umožní vytvořit stmívač.



Obrázek 23: Schéma zapojení pro měření optotriaku

Toto zapojení funguje tak, že po pivedení napětí na diodu optotriaku tato dioda otevírá triak a tím umožní průchodu proudu v druhé části, zajištuje i galvanické oddělení řídící části od části výkonové.

U tohoto zapojení se v první části připojí na diodu optotriaku stejnosměrné napětí +5V, toto napětí se nareguluje na takovou hodnotu aby se rozsvítila žárovka, tato hodnota napětí a proudu se zaznamená. Potom se na optotriak připojí impulsní generátor a ten se synchronizuje na 50Hz, sekundární část trafa. Na tomto generátoru se nastaví určitá hodnota impulsu, tímto se nám vytvoří stmívač s optotriakem a změří se průběhy napětí na triaku i na zátěži.

Kapitola 5

Návrh plošného spoje

5.1 Použitý software

K návrhu plošných spojů jsem použil software EAGLE 5.0.0. Přišel mi mnohem přívětivější a pochopitelnější nežli OrCad, s tímto softwarem jsem bohužel neměl nikdy tu čest pracovat. Nepodařilo se mi najít k Eaglu knihovny se všemi součástkami, proto bylo nutné před zahájením návrhu vytvořit knihovnu s použitými součástkami. Díky tomu, že jsem kdysi pracoval v podobném českém programu zvaném Formica podařilo se mi docela rychle přijít na postup tvorby součástek a mohu tedy k návrhu dodat knihovnu použitých součástek v programu Eagle.

Měl jsem ovšem drobný problém při návrhu se součástkami, které byly v knihovnách obsažených v eaglu, přišlo mi, že mají poměrně malé pady, proto je možné že v konečném návrhu a i na samotné desce budou mít některé součástky moc malé pady. Bohužel se mi tento neduh nepodařilo odstranit.

5.2 První přípravek

První přípravek je realizován pouze pro samotný tranzistor MOSFET. Přípravek je navrhnut do krabičky 100x100x22mm. Na krabičce budou vyvedeny zdířky pro připojení zdroje a měřících přístrojů. Přepínač je je tvořen pomocí drátové propojky, návrh tedy neobsahuje přepínač.

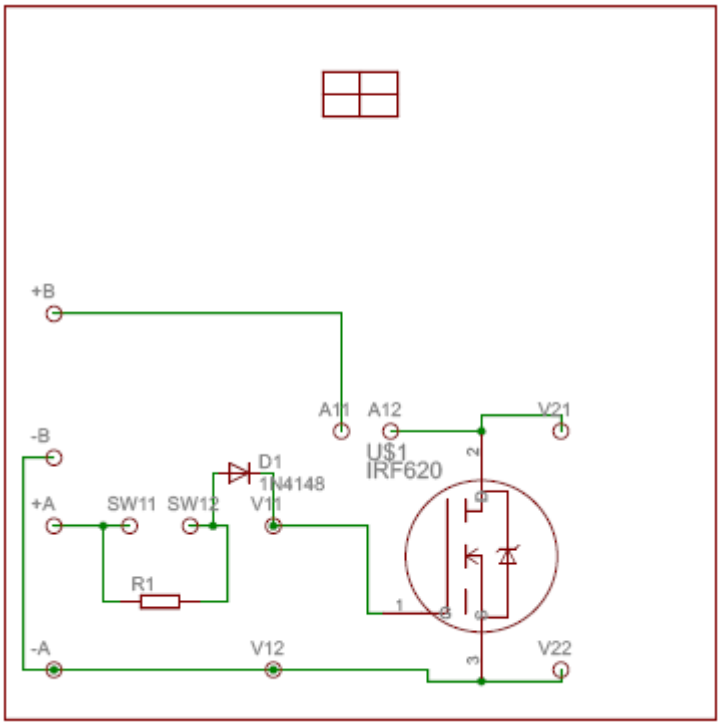
Použité součástky na přílravku:

R1 – 10MΩ/0,6W
D1 – 1N4148
IRF620

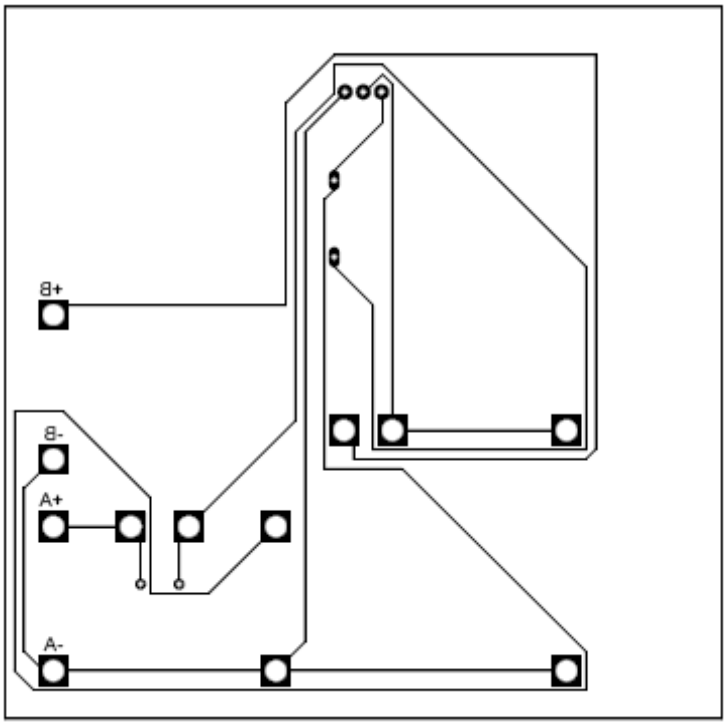
Dioda slouží jako ochrana proti přivedení opačné polarity napětí na tranzistor. Jednotlivé zdroje napětí se připojí na zdířky, pro první zdroj A+ a A- a pro druhý zdroj B+ a B-. Voltmetr pro meření napětí U_{GS} se připojuje na V11 a V12, voltmetr pro měření napětí U_{DS} na V21 a V22. Ampérmetr se připojuje na A11 a A12. Na tomto přípravku je tedy možné měřit vlastnosti tranzistoru MOSFET.

Obrázek 24 reprezentuje přední potisk krabičky, tak aby bylo přesně i na krabičce vidět co je v ní obsaženo, samotný potisk bude ještě ve finální fázi upraven a realizován bez označení pro zdroj a měřící přístroje. Otvor na přípravku umožňuje připojení součástky do patice a její snadnou výměnu.

Obrázek 25 už ukazuje přímo ralizaci na plošný spoj.



Obrázek 24: Potisk prvního přípravku



Obrázek 25: Realizace plošného spoje prvního přípravku

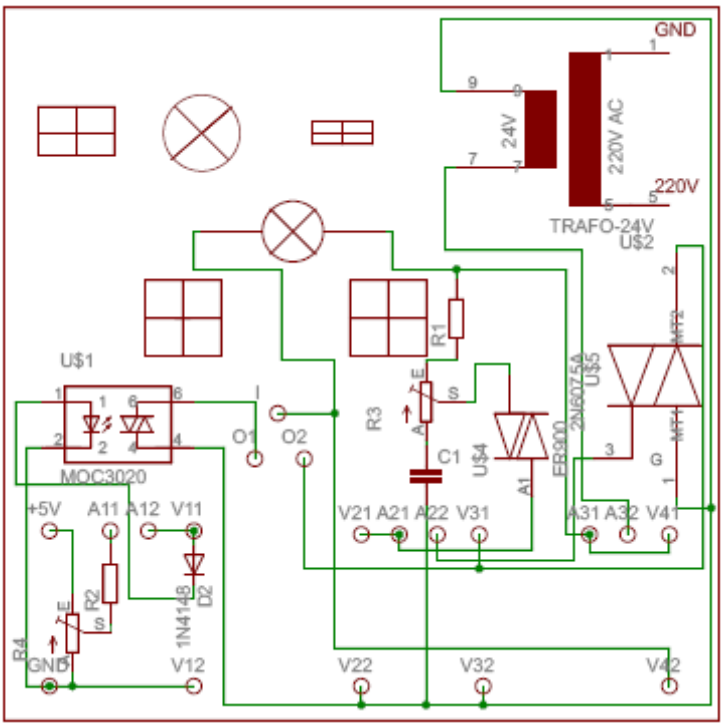
5.3 Druhý přípravek

Druhý přípravek je navrhnut do rozměrove podobné krabičky jako první, tedy 100x100, ovšem hloubka je z důvodu použití trafa o něco vetší. Jsou zde opět zdířky pro zapojení zdroje pro optotriak a pro připojení měřících přístrojů jak na triak, optotriak tak i na žárovku, aby bylo možné sledovat průběhy jak na použitém spínači, tak na zátěži. Přepínáč pro přepojení mezi měřením na optotriaku a triaku je opět ralizován pomocí draátové propojky jako u prního přípravku.

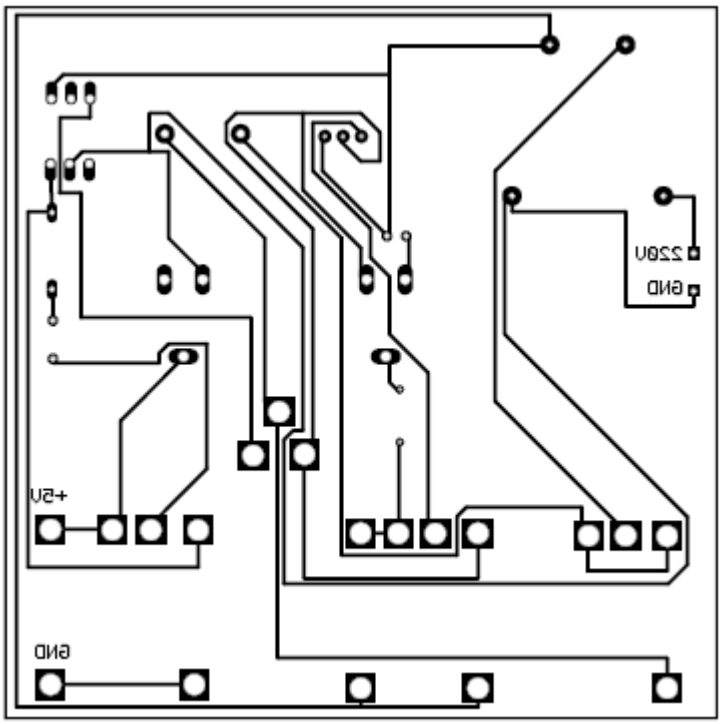
Použité součástky na přípravku:

R1 – 1k/2W
R2 - 100Ω/0,6W
R3,R4 – trimr ležatý 1kΩ
C1 – 22nF/63V
D2 – 1N4148
Diak – ER900
Triak – 2N6075A
Optotriak – MOC3020
Žárovka – 36V/0,1A
Trafo – 230V/24V/0,125A

Vstup zdroje pro optotriak je označen svorkami +5V a GND. Ampérmetr pro měření proudu vstupujícího do diody optotriaku je označen zdířkami A11 a A12, V11 a V12 označují zdířky pro voltmetr pro měření napětí na diodě optotriaku. Pro měření napětí a proudu vstupujícího do triaku slouží zdířky V21 V22 a A21 A22. Napětí na žárovce se měří pomocí zdířek V41 a V42 a proud pomcí zdířek A31 a A32. Napětí mezi anodami triaku je možné změřit pomocí zdířek V31 a V32. Potisk bude opět realizován bez popisu zdířek a zdrojů. Transformátor je připojen přes svorkovnici rovnou na 230V pomocí šňůry. V návrhu je sice 12V trafo, ale použil jsem 24V, rozměrove je podobné.



Obrázek 26: Potisk druhého přípravku



Obrázek 27: Realizace plošného spoje druhého přípravku

Kapitola 6

Měření na přípravcích

6.1 První přípravek

Měření na přípravcích se před odevzdáním bakalářské práce bohužel nepodařilo uskutečnit, odůvodnění je v závěru bakalářské práce.

6.2 Druhý přípravek

Kapitola 7

Návody k přípravkům

7.1 Požadavky na návody

Návod měl být vytvořen v podobě webové stránky, měl obsahovat postup měření pro přípravek s triakem a optotriakem a pro přípravek s MOSFETem. Tedy mělo jít o vytvoření dvou webových stránek, pro každý přípravek zvlášť. Návod by měl obsahovat schéma zapojení pro měření a fotky přípravků, aby bylo i z návodu možné se s přípravkem zběžně seznámit a ne až po příchodu do laboratoře.

7.2 Realizace návodů

Samotné návody jsem realizoval čistě pomocí html, s jednoduše vloženými obrázky. Zde je vložen příklad stránky pro MOSFET.

```
<html>
 <head>
   <META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=windows-1250">
   <title>Měření na tranzistoru MOSFET</title>
 </head>
<body bgcolor="#ffffff">

 <center><H3>ČVUT FEL, katedra řídící techniky</H3></center>

 <center><H4>Elektrické systémy</H4></center>

 <hr>

<center><H2>Měření tranzistoru MOSFET</H2></center>
 <ol>
   <li><p align=justify>
    Na webu se seznamte s katalogovými údaji tranzistoru MOSFET IRF620.

   <li><p align=justify>
    Zapojte měřící pracoviště podle obrázku

   <br><p align=center><img src="mosfet_schema.jpg" alt=""></p>

   <li><p align=justify>
    Zdroj A budeme používat pro řízení U<sub>GS</sub> v rozsahu: 0 &le U<sub>GS</sub> &le 20V.
    Spínač SW1 bude trvale sepnut a zdroj řídícího napětí bude mít charakter ideálního zdroje
    napětí. Na zdroji B nastavte trvale napětí 20V a proudové omezení postupně nastavujte tak,
    aby bylo možné změřit výstupní charakteristiky tranzistoru pro napětí U<sub>GS</sub> =
    0, 5, 10, 15V. Proudový zdroj postupně nastavujte v rozsahu I<sub>DS</sub> = 0, 100, 250, 500mA
    Pro tyto hodnoty změřte závislost I<sub>DS</sub> = f(U<sub>DS</sub>), vždy pro
    U<sub>GS</sub> = konst.

   <li><p align=justify>
```

```
Nakreslete změřené závislosti a vypočítejte odpor R<sub>DSON</sub>

<li><p align=justify>
Změřte vlastnosti tranzistoru pro oblast U<sub>DS</sub> &le 0V. Při tomto měření bude ochranná
dioda, která je součástí tranzistoru ve vodivém stavu a proto na tranzistoru naměříme napětí
U<sub>DS</sub> &ge -0,6V. Pro různá napětí U<sub>GS</sub> proměřte tuto oblast a výsledky
zpracujte graficky.

<li><p align=justify>
Místo zdroje A zapojte impulzní generátor, nastavte frekvenci 1kHz pravoúhlého signálu se střídou
1:1 a s amplitudou 15V. Na zdroji B nastavte proud 100mA. Zapojte jeden kanál osciloskopu na
napětí U<sub>GS</sub> a druhý kanál na napětí U<sub>DS</sub>. Změřte náběžné i sestupné hrany
na obou kanálech. Nyní vypněte spínač SW1 a měření opakujte. Zdroj A bude mít nyní vnitřní
odpor 10M&#937. Zakreslete průběhy na obou kanálech a pokuste se porovnáním určit časovou
konstantu řídícího obvodu. Vypočítejte vstupní kapacitu tranzistoru a porovnejte ji s
katalogovými údaji.
</ol>

<br><p align=center><img src="" alt="Fotka přípravku"></p>

<hr>

<a href=""></a> | Autor stránky: <a href=""></a>

<br><script type="text/javascript" language="JavaScript">
    <!--
        document.write("Last Modified: " + document.lastModified)
     // -->
    </script>
```

Jedná se jednoduchou strukturu stránky, dole na stránce je možnost odkazu na cvičícího, popřípadě možnost mailové adresy odkazy jsou zatím prázdné neboť stránky ještě nebyly umístěny na web, dole je možnost odkazu na cvičícího, popřípadě možnost mailové adresy. Stránka je jednoduchá a lehce upravitelná v libovolném textovém editoru. Druhý přípravek má návod vytvořen v podobném duchu jako je ten první. Webovou stránku druhého přípravku zde nebudu uvádět, neboť je stejná až na obsažený text jako pro první přípravek.

Kapitola 8

Závěr

8.1 Dostupné výstupy

Dostupné jsou návrhy desek v eaglu, tedy soubory jak se schématy, tak i návrhy plošných spojů. Dále jsou dostupné návody v HTML se schématy k měření opto_tri.html a mosfet.html, schémata optotriak.jpg, mosfet.jpg a triak.jpg. K dispozici budou i přípravky, na kterých se budou provádět měření dle návodů, které zřejmě ještě doznají menších změn.

8.2 Závěr

Bohužel se mi nepodařilo před odevzdáním bakálářské práce, tedy textové části, oměřit vlastnosti obou přípravků. Důvodem tohoto byla zlomenina kotníku a tedy relativně obtížný přesun na Karlovo náměstí kde mohu přípravky oměřit, doma nemám dostupné regulovatelné zdroje, které bych mohl použít na odzkoušení přípravků. Tedy v době odevzdání bakalářské práce jsou dostupné layuoty pro první verzi návrhu a vyleptané a osazené desky. Dále je dostupný návod v podobě html. Přípravky budou otestovány co nejdříve to bude možné.

Popsané výkonové spínače v úvodu zastupují nejčastěji využívané v dnešní době. Jedná se o průřez tím nejdůlžitějším s čím se dnes dá setkat. Tento průřez umožňuje náhled, avšak nepopisuje všechny možné použitelné prvky, které jsou k dispozici.

Vybrané prvky pro měřící přípravky jsou cenově na nižší úrvni kvůli tomu, že se jedná o měřící pracoviště a předpokládám že životnost prvků nebude zrovna moc dlouhá. Z tohoto důvodu jsem také nepoužil spínače, ale drátové propojování.

Navrhnuté přípravky používají hlavní zástupce z oblasti výkonových spínacích prvků a umožní tedy studentům seznámit se s těmito prvky a provést na nich ukázková měření, změřit nejdůležitější vlastnosti použitých součástek.

V přílohách uvádím datasheety k použitým součástkám, původně jsem je nechtěl uvést a nechat pouze vyseknuté katalogové údaje, co jsou u každého prvku v kapitole 5, ale nakonec jsem se rozhodl pro jejich plné uvedení. Je v nich vše o součástkách včetně teplotních závislostí.

Z důvodů neuplného dokončení přípravků v době odevzdávání tohoto textu nejsou tedy v návodu obsaženy fotky přípravků, tyto fotky budou doplněny po dokončení přípravků.

Návody jsou realizovány jednoduše, aby bylo možno tisku přímo z prohlížeče a nebylo nutné je upravovat třeba ještě pro pdf tisknutelný dokument.

Během návrhu jsem několikrát omylem přehlédl chybu a proto se mi navrhování desky pro přípravek s triakem a optotriakem docela protáhlo, toto je také jeden z důvodů proč ještě nejsou přípravky plně odzkoušeny.

Většinu informací jsem čerpal z knihy [3], je obsáhlá a moc hezky zpracována. Další velké množství informací jsem načerpal z úryvku ze skript [1].

Liteartura

[1] Kapitola 5, *Elektronické systémy*, skriptum FEL ČVUT ve formátu pdf

[2] VOBECKÝ, Jan, ZÁHLAVA, Vít. *Elektronika*. 3. vyd. Praha : Grada, 2005. 220 s.

[3] FROHN, M., et al. *Elektronika : Polovodičové součástky a základní zapojení*. Překlad Jiří Nobilis, Vlatislav Kazda. 1. české vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 475 s. ISBN 80-7300-123-3.

[4] *katalog firmy GM Elektronic*, 2003

[5] JANOVSKÝ, Dušan. *Jak psát web* [online]. 2008 [cit. 2008-08-08]. Dostupný z WWW: <http://www.jakpsatweb.cz/>.

[6] *Stmívač pro zářivku* [online]. 2000 [cit. 2008-08-08]. Dostupný z WWW: <http://www.pandatron.cz/?479&stmivac_pro_zarivku>.

[7] CHLEBIŠ, Petr, et al. *Trendy v oblasti výkonové elektroniky* [online]. neznámé [cit. 2008-08-08]. Dostupný z WWW: <http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/07/Simonik.pdf>.

[8] *Tyristory, triaky* [online]. neznámé [cit. 2008-08-08]. Dostupný z WWW: <http://www.sweb.cz/jjohnyk/elektronika/04.htm>.

[9] *EAGLE Manual Version 4.1*, CadSoft, 2004

Příloha A

Datasheet k IRF620

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

IRF620
IRF620FI

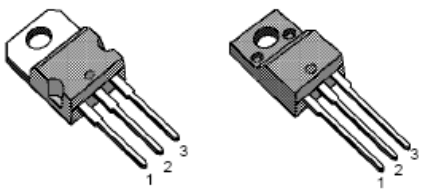
N - CHANNEL ENHANCEMENT MODE POWER MOS TRANSISTORS

TYPE	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D
IRF620	200 V	< 0.8 Ω	6 A
IRF620FI	200 V	< 0.8 Ω	4 A

- TYPICAL $R_{DS(on)}$ = 0.55 Ω
- AVALANCHE RUGGED TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- REPETITIVE AVALANCHE DATA AT 100°C

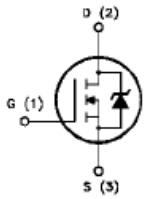
APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- INDUSTRIAL ACTUATORS
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL AND CONSUMER ENVIRONMENT



TO-220 ISOWATT220

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRF620	IRF620FI	
V_{DS}	Drain-source Voltage (V_{GS} = 0)	200		V
V_{DGR}	Drain- gate Voltage (R_{GS} = 20 kΩ)	200		V
V_{GS}	Gate-source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current (cont.) at T_c = 25 °C	6	4	A
I_D	Drain Current (cont.) at T_c = 100 °C	4	2	A
I_{DM}(•)	Drain Current (pulsed)	24	24	A
P_{tot}	Total Dissipation at T_c = 25 °C	70	30	W
	Derating Factor	0.56	0.24	W/°C
V_{ISO}	Insulation Withstand Voltage (DC)	—	2000	V
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		°C
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		°C

(•) Pulse width limited by safe operating area

November 1996 1/9

IRF620/FI

THERMAL DATA

			TO-220	ISOWATT220	
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.79	4.17	°C/W
$R_{thj-amb}$ R_{thc-s} T_l	Thermal Resistance Junction-ambient Thermal Resistance Case-sink Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose	Max Typ	62.5 0.5 300		°C/W °C/W °C

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I_{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T_j max, $\delta < 1\%$)	6	A
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting $T_j = 25\ °C$, $I_D = I_{AR}$, $V_{DD} = 25\ V$)	20	mJ
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (pulse width limited by T_j max, $\delta < 1\%$)	5	mJ
I_{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive ($T_c = 100\ °C$, pulse width limited by T_j max, $\delta < 1\%$)	4	A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25\ °C$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250\ \mu A$ $V_{GS} = 0$	200			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	V_{DS} = Max Rating V_{DS} = Max Rating x 0.8 $T_c = 125\ °C$			10 100	µA µA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20\ V$			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250\ \mu A$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10V$ $I_D = 3\ A$		0.55	0.8	Ω
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10\ V$	6			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g_{fs} (*)	Forward Transconductance	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 3\ A$	1.5	3.5		S
C_{iss} C_{oss} C_{rss}	Input Capacitance Output Capacitance Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 25\ V$ f = 1 MHz $V_{GS} = 0$		460 90 20	600 120 30	pF pF pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)
SWITCHING RESISTIVE LOAD

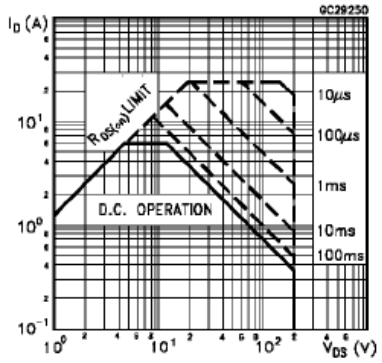
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$ t_r $t_{d(off)}$ t_f	Turn-on Time Rise Time Turn-off Delay Time Fall Time	V_{DD} = 100 V I_D = 3 A R_G = 50 Ω V_{GS} = 10 V (see test circuit)		30 70 135 45	45 100 190 65	ns ns ns ns
Q_g Q_{gs} Q_{gd}	Total Gate Charge Gate-Source Charge Gate-Drain Charge	I_D = 6 A V_{GS} = 10 V V_{DD} = Max Rating x 0.8 (see test circuit)		20 6 8	30	nC nC nC

SOURCE DRAIN DIODE

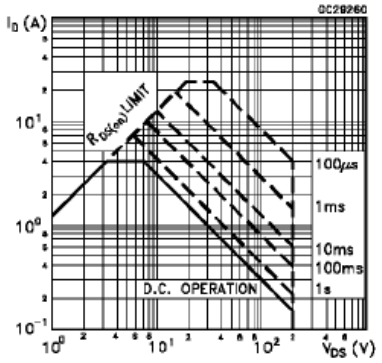
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD} I_{SDM}(•)	Source-drain Current Source-drain Current (pulsed)				6 24	A A
V_{SD} (*)	Forward On Voltage	I_{SD} = 6 A V_{GS} = 0			1.5	V
t_{rr} Q_{rr}	Reverse Recovery Time Reverse Recovery Charge	I_{SD} = 6 A di/dt = 100 A/µs V_{DD} = 100 V T_j = 150 °C		170 1		ns µC

(*) Pulsed: Pulse duration = 300 µs, duty cycle 1.5 %
(•) Pulse width limited by safe operating area

Safe Operating Area for TO-220

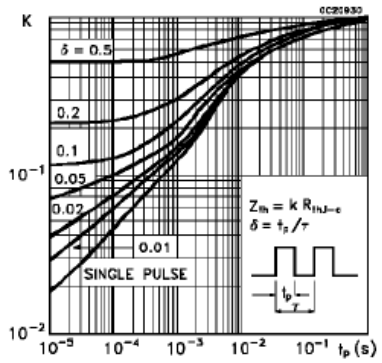


Safe Operating Area for ISOWATT220

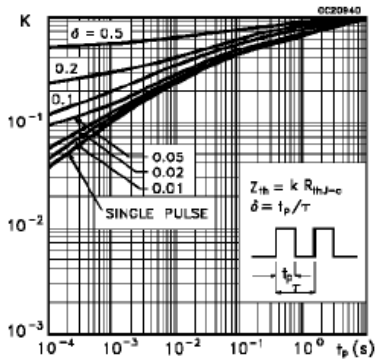


IRF620/FI

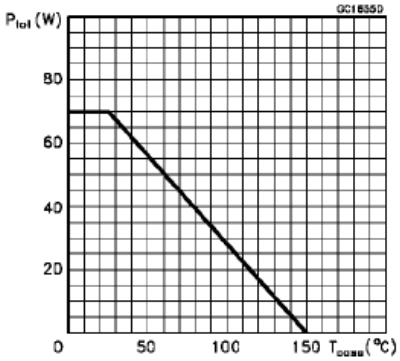
Thermal Impedance for TO-220



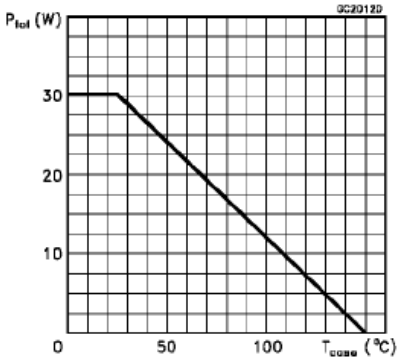
Thermal Impedance for ISOWATT220



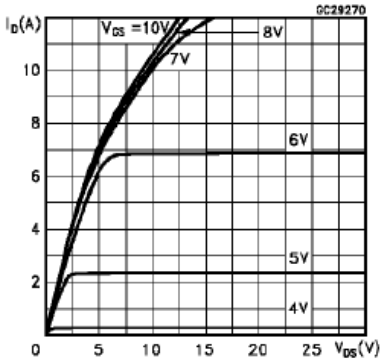
Derating Curve for TO-220



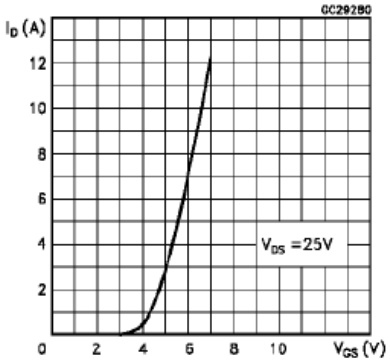
Derating Curve for ISOWATT220



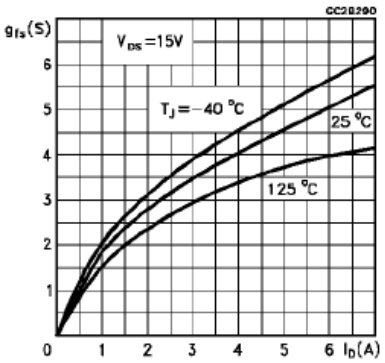
Output Characteristics



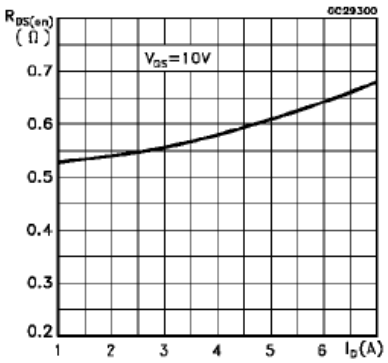
Transfer Characteristics



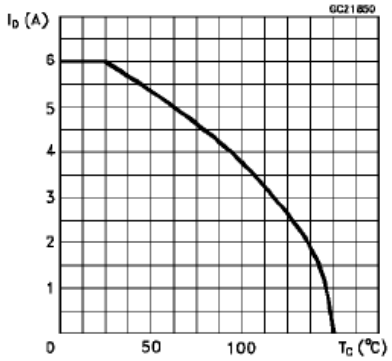
Transconductance



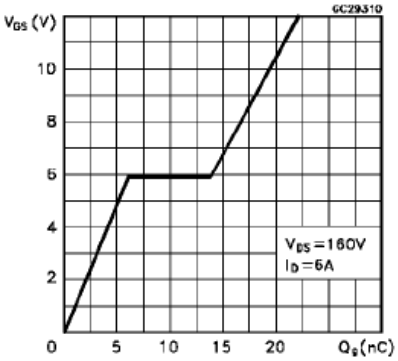
Static Drain-source On Resistance



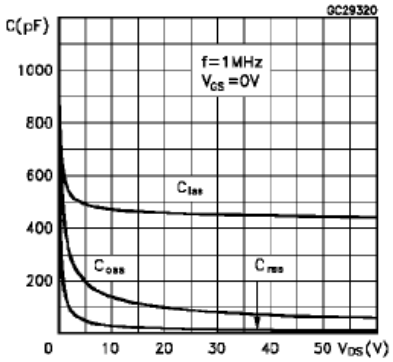
Maximum Drain Current vs Temperature



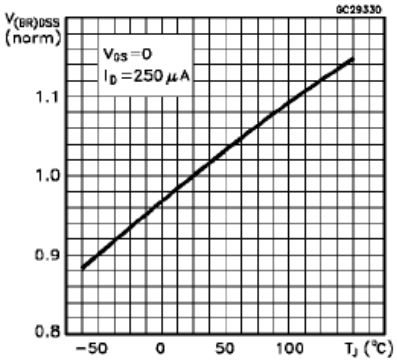
Gate Charge vs Gate-source Voltage



Capacitance Variations

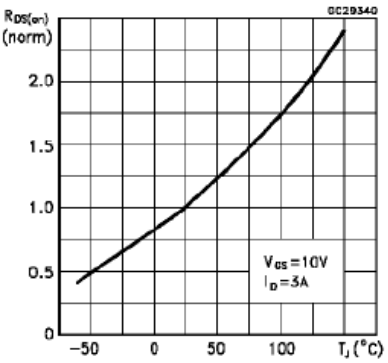


Normalized Breakdown Voltage vs Temperature

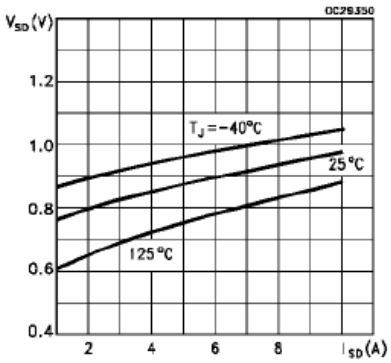


IRF620/FI

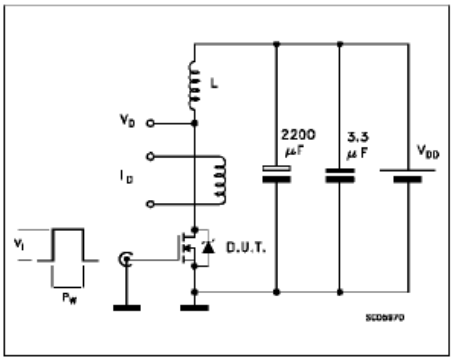
Normalized On Resistance vs Temperature



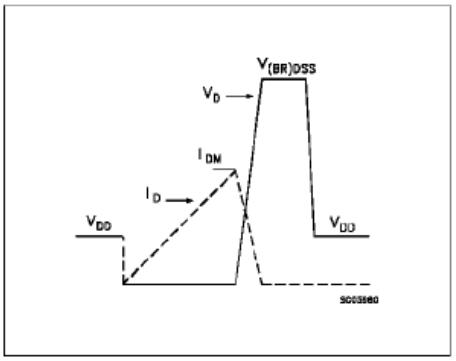
Source-drain Diode Forward Characteristics



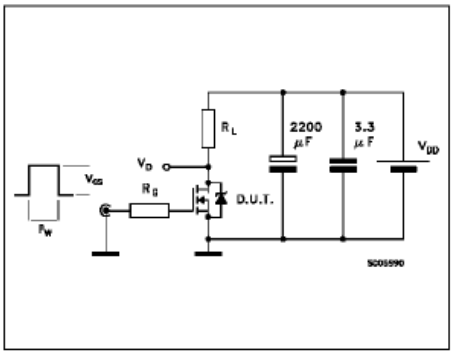
Unclamped Inductive Load Test Circuit



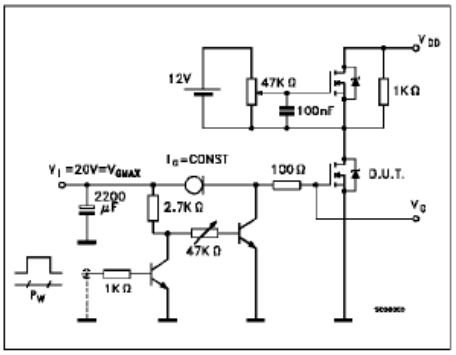
Unclamped Inductive Waveforms



Switching Time Test Circuit

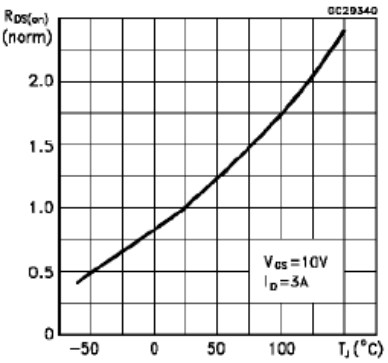


Gate Charge Test Circuit

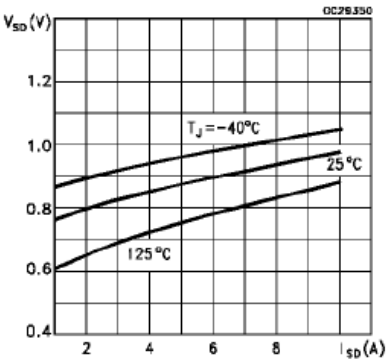


IRF620/FI

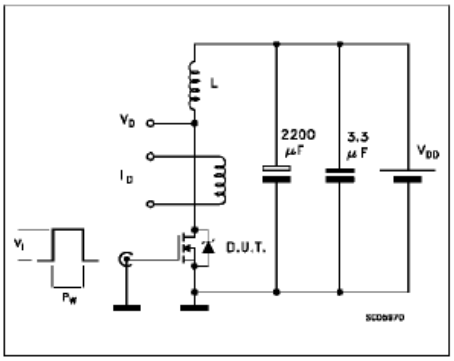
Normalized On Resistance vs Temperature



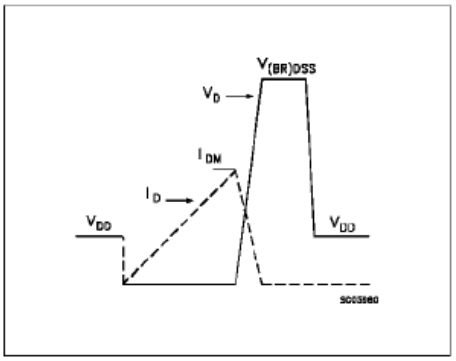
Source-drain Diode Forward Characteristics



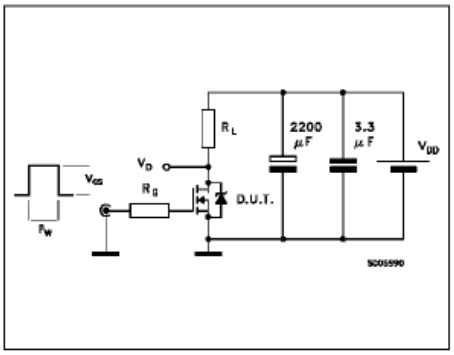
Unclamped Inductive Load Test Circuit



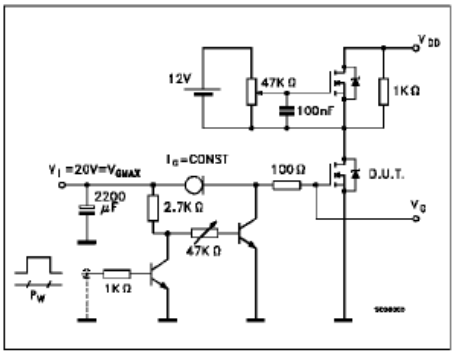
Unclamped Inductive Waveforms



Switching Time Test Circuit



Gate Charge Test Circuit



Příloha B

Datasheet k 2N6075A

2N6071A/B Series

Preferred Device

Sensitive Gate Triacs

Silicon Bidirectional Thyristors

Designed primarily for full-wave AC control applications, such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. Triac type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied anode voltage with positive or negative gate triggering.

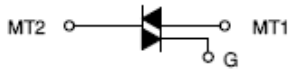
Features

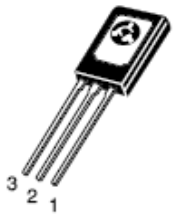
- Sensitive Gate Triggering Uniquely Compatible for Direct Coupling to TTL, HTL, CMOS and Operational Amplifier Integrated Circuit Logic Functions
- Gate Triggering: 4 Mode – 2N6071A, B; 2N6073A, B; 2N6075A, B
- Blocking Voltages to 600 V
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermopad Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Device Marking: Device Type, e.g., 2N6071A, Date Code

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

TRIACS
4.0 A RMS, 200 – 600 V

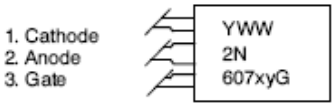




REAR VIEW
SHOW TAB

TO–225
CASE 077
STYLE 5

MARKING DIAGRAM



x	= 1, 3, 5
y	= A, B
Y	= Year
WW	= Work Week
G	= Pb–Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 7 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb–Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2008

2N6071A/B Series

MAXIMUM RATINGS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
*Peak Repetitive Off-State Voltage (Note 1) (T_J = −40 to 110°C, Sine Wave, 50 to 60 Hz, Gate Open) 2N6071A,B 2N6073A,B 2N6075A,B	V_{DRM}, V_{RRM}	 200 400 600	V
*On-State RMS Current (T_C = 85°C) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz	$I_{T(RMS)}$	4.0	A
*Peak Non-repetitive Surge Current (One Full cycle, 60 Hz, T_J = +110°C)	I_{TSM}	30	A
Circuit Fusing Considerations (t = 8.3 ms)	I^2t	3.7	A^2s
*Peak Gate Power (Pulse Width ≤ 1.0 μs, T_C = 85°C)	P_{GM}	10	W
*Average Gate Power (t = 8.3 ms, T_C = 85°C)	$P_{G(AV)}$	0.5	W
*Peak Gate Voltage (Pulse Width ≤ 1.0 μs, T_C = 85°C)	V_{GM}	5.0	V
*Operating Junction Temperature Range	T_J	−40 to +110	°C
*Storage Temperature Range	T_{stg}	−40 to +150	°C
Mounting Torque (6-32 Screw) (Note 2)	–	8.0	in. lb.

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.
2. Torque rating applies with use of a compression washer. Mounting torque in excess of 6 in. lb. does not appreciably lower case-to-sink thermal resistance. Main terminal 2 and heatsink contact pad are common.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
*Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	3.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	75	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes 1/8″ from Case for 10 Seconds	T_L	260	°C

*Indicates JEDEC Registered Data.

2N6071A/B Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted; Electricals apply in both directions)

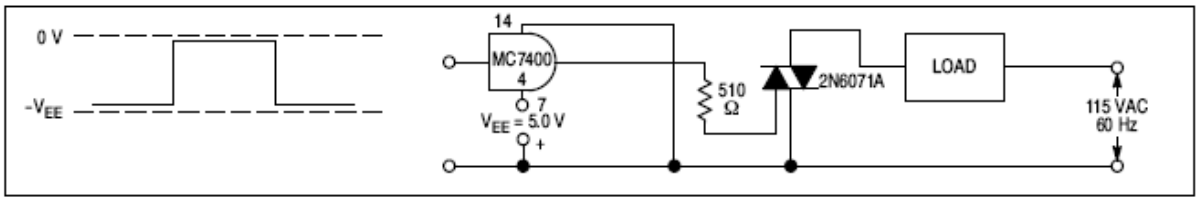
Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
*Peak Repetitive Blocking Current ($V_D = V_{DRM} = V_{RRM}$; Gate Open)	T_J = 25°C	I_{DRM}, I_{RRM}	–	–	10	μA
	T_J = 110°C		–	–	2	mA
ON CHARACTERISTICS						
*Peak On-State Voltage (Note 3) (I_{TM} = ±6.0 A Peak)		V_{TM}	–	–	2	V
*Gate Trigger Voltage (Continuous DC), All Quadrants (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, R_L = 100 Ω, T_J = −40°C)		V_{GT}	–	1.4	2.5	V
Gate Non-Trigger Voltage, All Quadrants (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, R_L = 100 Ω, T_J = 110°C)		V_{GD}	0.2	–	–	V
*Holding Current (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, Gate Open, Initiating Current = ±1 Adc)	T_J = −40°C	I_H	–	–	30	mA
	T_J = 25°C		–	–	15	
Turn-On Time (I_{TM} = 14 Adc, I_{GT} = 100 mAdc)		t_{gt}	–	1.5	–	μs

	Type	I_{GT} @ T_J	I mA	II mA	III mA	IV mA
			QUADRANT (Maximum Value)			
Gate Trigger Current (Continuous DC) (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, R_L = 100 Ω)	2N6071A, 2N6073A, 2N6075A	+25°C	5	5	5	10
		−40°C	20	20	20	30
	2N6071B, 2N6073B, 2N6075B	+25°C	3	3	3	5
		−40°C	15	15	15	20

DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Critical Rate of Rise of Commutation Voltage @ V_{DRM}, T_J = 85°C, Gate Open, I_{TM} = 5.7 A, Exponential Waveform, Commutating di/dt = 2.0 A/ms	dv/dt(c)	–	5	–	V/μs

3. Pulse Test: Pulse Width ≤ 2.0 ms, Duty Cycle ≤ 2%.
*Indicates JEDEC Registered Data.

SAMPLE APPLICATION:
TTL-SENSITIVE GATE 4 AMPERE TRIAC
TRIGGERS IN MODES II AND III

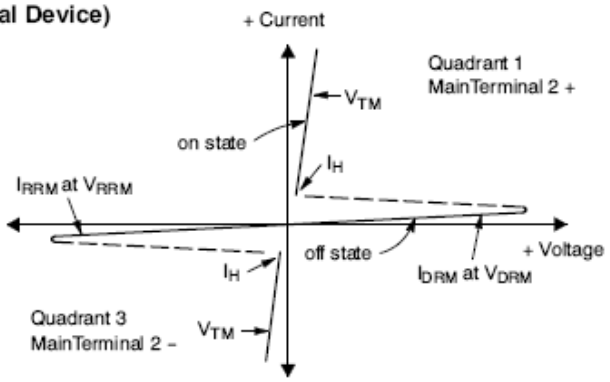


Trigger devices are recommended for gating on Triacs. They provide:
1. Consistent predictable turn-on points.
2. Simplified circuitry.
3. Fast turn-on time for cooler, more efficient and reliable operation.

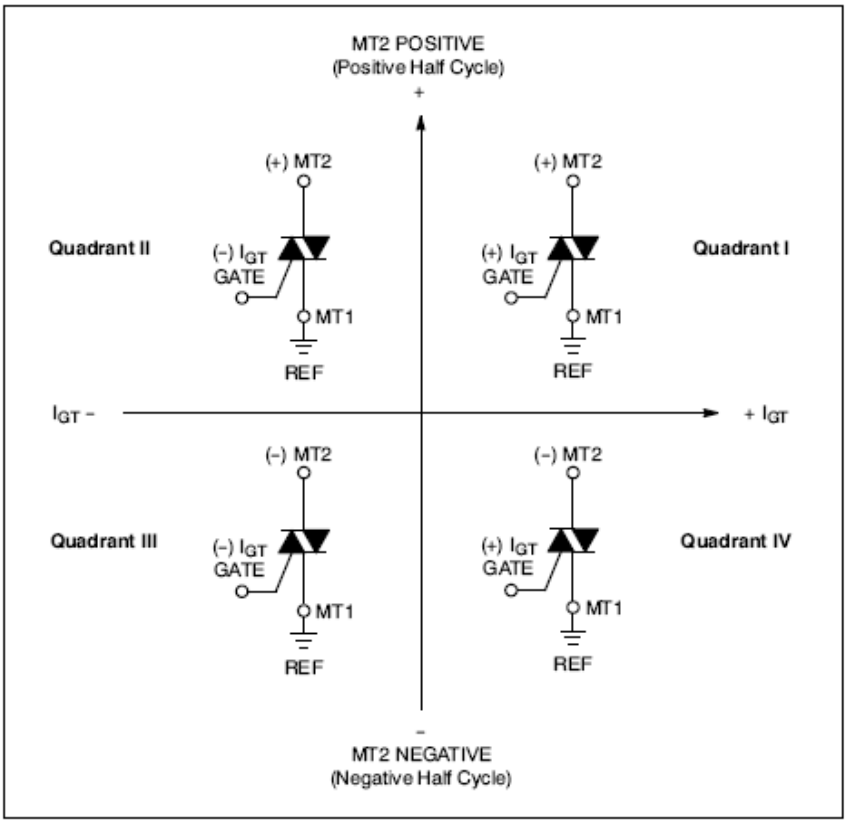
2N6071A/B Series

Voltage Current Characteristic of Triacs (Bidirectional Device)

Symbol	Parameter
V_{DRM}	Peak Repetitive Forward Off State Voltage
I_{DRM}	Peak Forward Blocking Current
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Off State Voltage
I_{RRM}	Peak Reverse Blocking Current
V_{TM}	Maximum On State Voltage
I_H	Holding Current



Quadrant Definitions for a Triac



All polarities are referenced to MT1.
With in-phase signals (using standard AC lines) quadrants I and III are used.

SENSITIVE GATE LOGIC REFERENCE

IC Logic Functions	Firing Quadrant			
	I	II	III	IV
TTL		2N6071A Series	2N6071A Series	
HTL		2N6071A Series	2N6071A Series	
CMOS (NAND)	2N6071B Series			2N6071B Series
CMOS (Buffer)		2N6071B Series	2N6071B Series	
Operational Amplifier	2N6071A Series			2N6071A Series
Zero Voltage Switch		2N6071A Series	2N6071A Series	

2N6071A/B Series

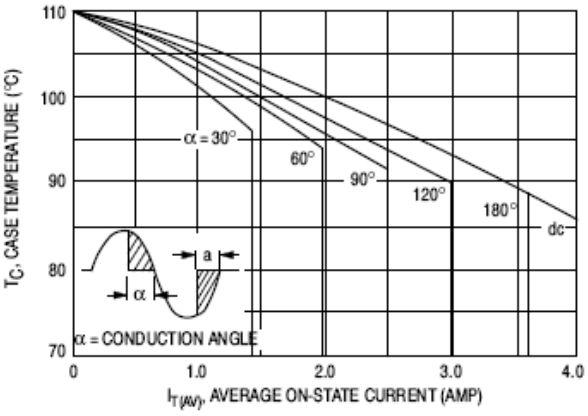


Figure 1. Average Current Derating

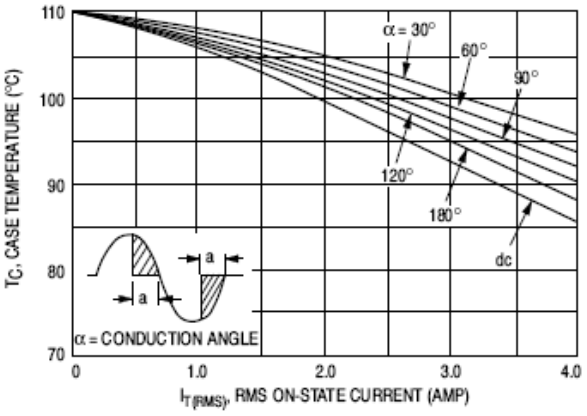


Figure 2. RMS Current Derating

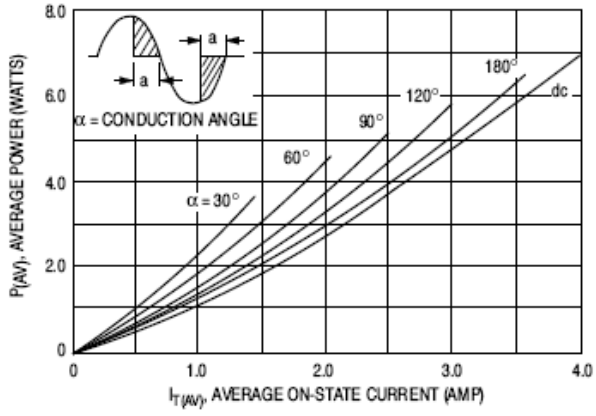


Figure 3. Power Dissipation

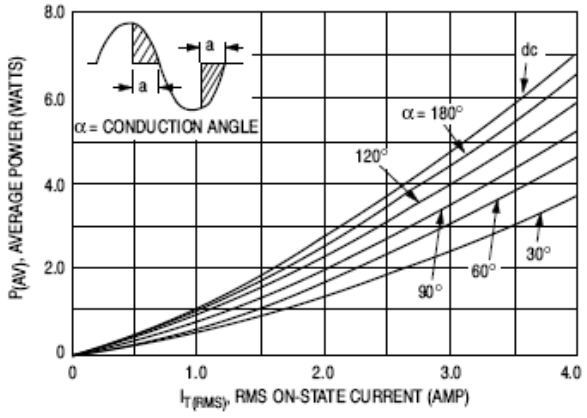


Figure 4. Power Dissipation

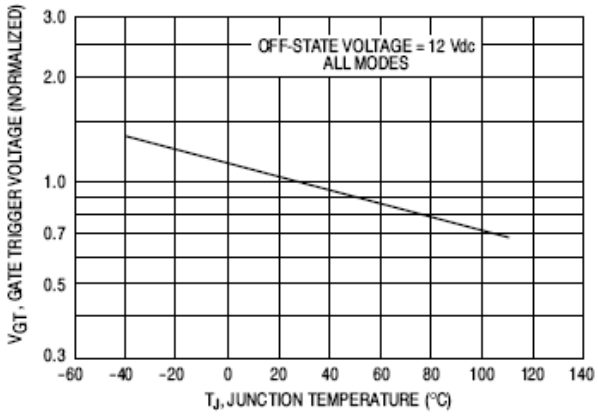


Figure 5. Typical Gate–Trigger Voltage

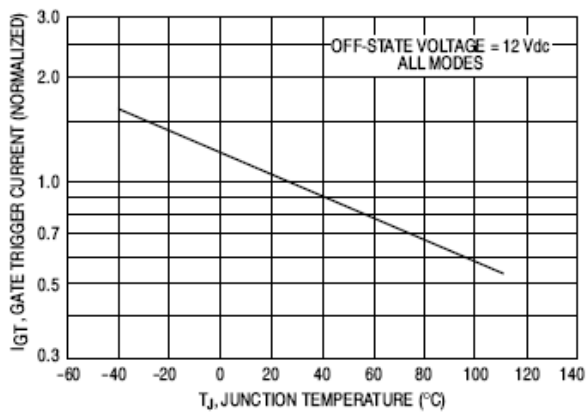


Figure 6. Typical Gate–Trigger Current

2N6071A/B Series

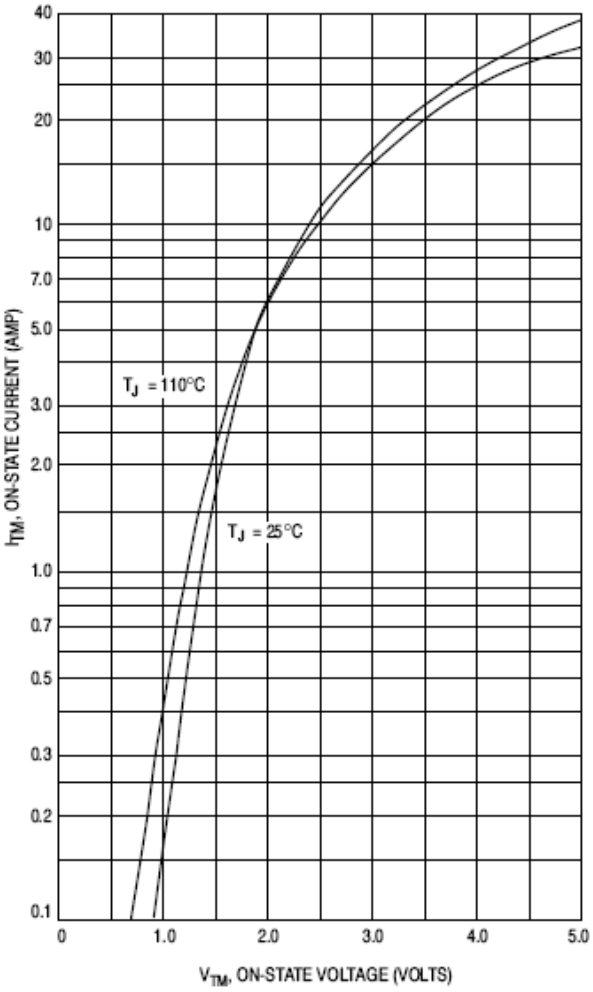


Figure 7. Maximum On−State Characteristics

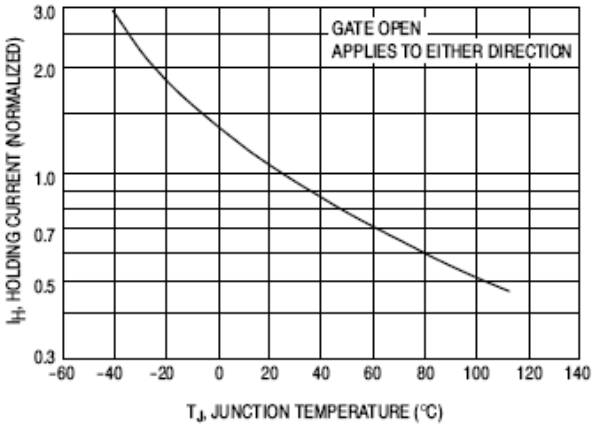


Figure 8. Typical Holding Current

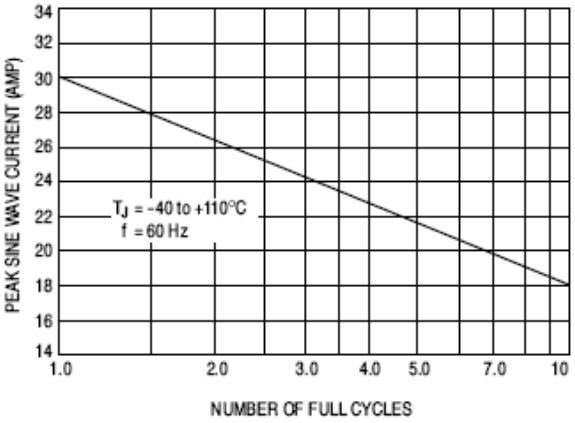


Figure 9. Maximum Allowable Surge Current

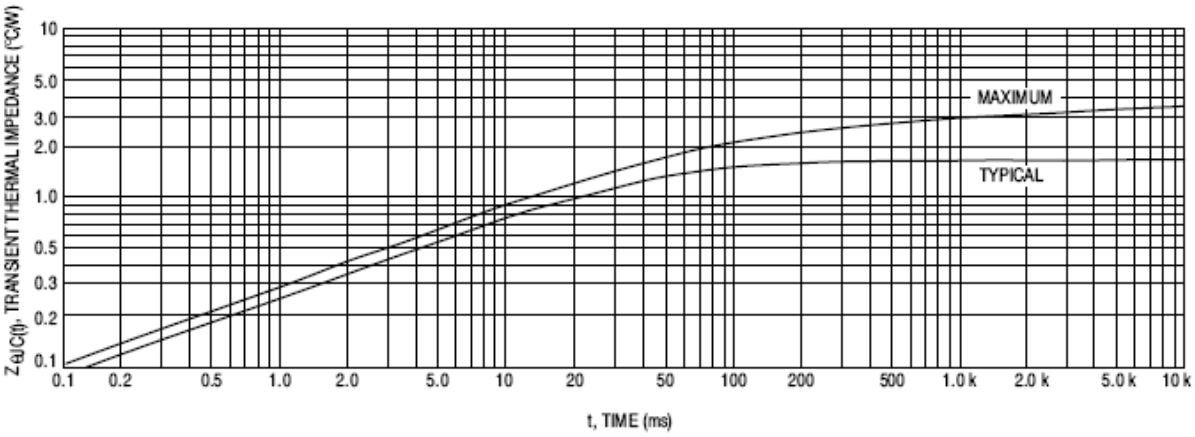
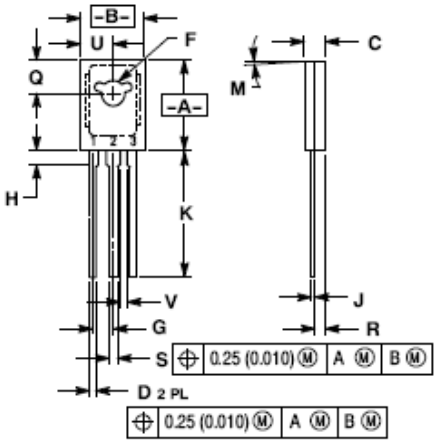


Figure 10. Thermal Response

2N6071A/B Series

PACKAGE DIMENSIONS

TO–225
CASE 77–09
ISSUE Z



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 077-01 THRU -08 OBSOLETE, NEW STANDARD 077-09.

DIM	INCHES MIN	INCHES MAX	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX
A	0.425	0.435	10.80	11.04
B	0.295	0.305	7.50	7.74
C	0.095	0.105	2.42	2.66
D	0.020	0.026	0.51	0.66
F	0.115	0.130	2.93	3.30
G	0.094 BSC		2.39 BSC	
H	0.050	0.095	1.27	2.41
J	0.015	0.025	0.39	0.63
K	0.575	0.655	14.61	16.63
M	5° TYP		5° TYP	
Q	0.148	0.158	3.76	4.01
R	0.045	0.065	1.15	1.65
S	0.025	0.035	0.64	0.88
U	0.145	0.155	3.69	3.93
V	0.040	---	1.02	---

STYLE 5:
PIN 1. MT 1
2. MT 2
3. GATE

ON Semiconductor and ON are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303–675–2175 or 800–344–3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303–675–2176 or 800–344–3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800–282–9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81–3–5773–3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: http://www.onsemi.com/orderlit

For additional information, please contact your local Sales Representative

2N6071/D

Příloha C

Datasheet k MOC3020

MOC3020 THRU MOC3023
OPTOCOUPLERS/OPTOISOLATORS

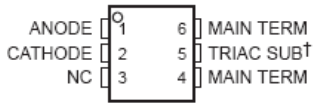
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

- 400 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically-Coupled Silicon Traic Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized . . . File Number E65085
- High Isolation . . . 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 220 Vac
- Standard 6-Terminal Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3020, MOC3021, MOC3022, and MOC3023

typical 115/240 Vac(rms) applications

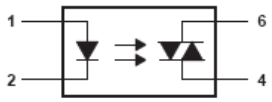
- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115/240 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Incandescent Lamp Dimmers

MOC3020 – MOC3023 . . . PACKAGE
(TOP VIEW)



† Do not connect this terminal
NC – No internal connection

logic diagram



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 60 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	50 mA
Output repetitive peak off-state voltage	400 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave): T_A = 25°C	100 mA
T_A = 70°C	50 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current (t_w = 10 ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T_J	−40°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}	−40°C to 150°C
Lead temperature 1,6 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES:
1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.
2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/°C.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MOC3020 THRU MOC3023
OPTOCOUPLERS/OPTOISOLATORS

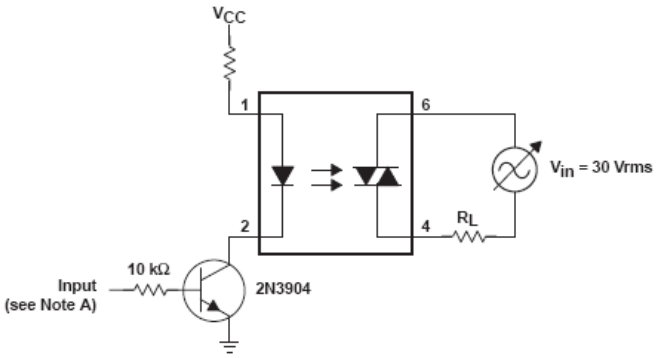
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_R	Static reverse current		V_R = 3 V		0.05	100	µA
V_F	Static forward voltage		I_F = 10 mA		1.2	1.5	V
$I_{(DRM)}$	Repetitive off-state current, either direction		$V_{(DRM)}$ = 400 V, See Note 5		10	100	nA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage		See Figure 1		100		V/µs
dv/dt(c)	Critical rate of rise of commutating voltage		I_O = 15 mA, See Figure 1		0.15		V/µs
I_{FT}	Input trigger current, either direction	MOC3020	Output supply voltage = 3 V		15	30	mA
		MOC3021			8	15	
		MOC3022			5	10	
		MOC3023			3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction		I_{TM} = 100 mA		1.4	3	V
I_H	Holding current, either direction				100		µA

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than 12 V/µs.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A. The critical rate of rise of off-state voltage, dv/dt, is measured with the input at 0 V. The frequency of V_{in} is increased until the phototriac turns on. This frequency is then used to calculate the dv/dt according to the formula:

$$dv/dt = 2\sqrt{2}\,\pi f V_{in}$$

The critical rate of rise of commutating voltage, dv/dt(c), is measured by applying occasional 5-V pulses to the input and increasing the frequency of V_{in} until the phototriac stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of V_{in} is then gradually decreased until the phototriac turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the dv/dt(c) according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATIONS INFORMATION

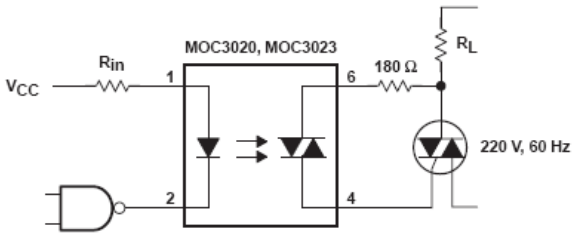


Figure 5. Resistive Load

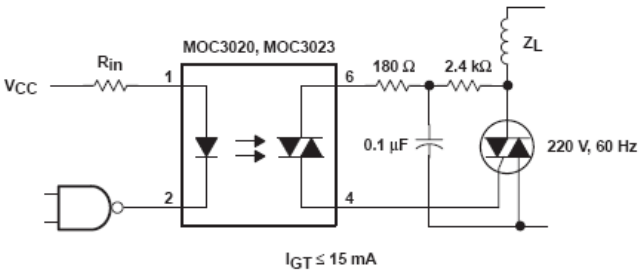


Figure 6. Inductive Load With Sensitive-Gate Triac

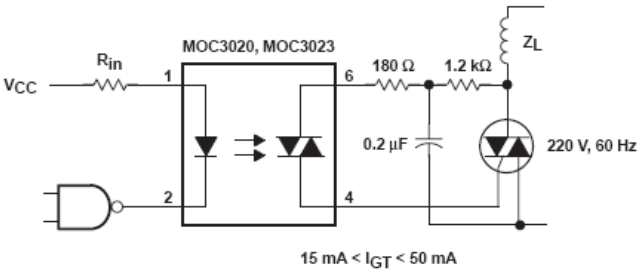
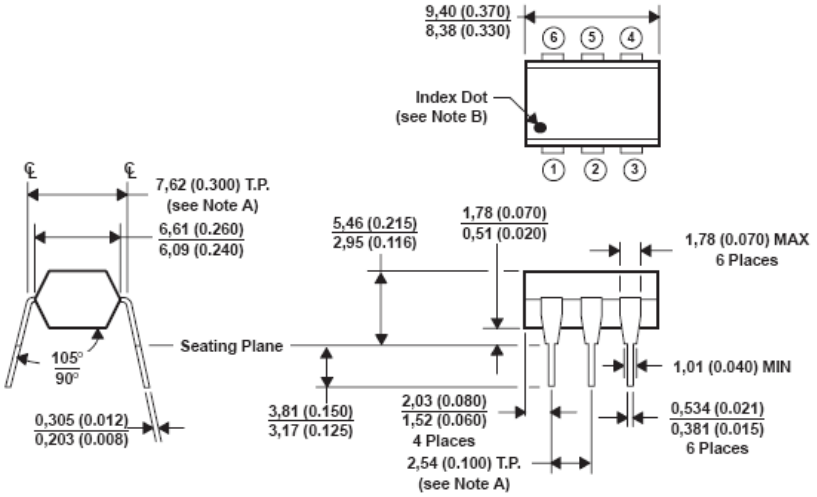


Figure 7. Inductive Load With Nonsensitive-Gate Triac

MECHANICAL INFORMATION

Each device consists of a gallium-arsenide infrared-emitting diode optically coupled to a silicon phototriac mounted on a 6-terminal lead frame encapsulated within an electrically nonconductive plastic compound. The case can withstand soldering temperature with no deformation and device performance characteristics remain stable when operated in high-humidity conditions.



NOTES: A. Leads are within 0,13 (0.005) radius of true position (T.P.) with maximum material condition and unit installed.
B. Pin 1 identified by index dot.
C. The dimensions given fall within JEDEC MO-001 AM dimensions.
D. All linear dimensions are given in millimeters and parenthetically given in inches.

Figure 8. Packaging Specifications