

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Polovodičová relé SSR
Solid State Reley**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Konstantin RYBA**
Osobní číslo: **E09B0237P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Polovodičová relé SSR**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši moderních polovodičových relé - SSR (princip, spolehlivost, použití, výrobci, parametry, dostupnost, ...).
2. Popište detailně princip činnosti SSR ve vybraných typických aplikacích (popř. doložte simulacemi).
3. Dle možností laboratoře (po dohodě s vedoucím práce) připravte alespoň jednu laboratorní úlohu s využitím SSR (včetně vzorového referátu).
4. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

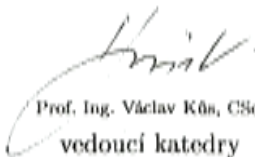
1. dle doporučení vedoucího práce, elektronické zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Fořt, Ph.D.**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na obecný popis Solid State Reley (SSR), jeho vlastností a možností použití v praxi. Práce je věnována porovnání elektromechanického relé s SSR. Závěrečná část se zabývá měřením charakteristických vlastností a dynamických projevů a analyzuje výsledky.

Klíčová slova

Solid State Reley, polovodičová relé, elektronická relé, optron, použití v praxi

Anotation

The presented bachelor thesis is focused at a general description of Solid State Relays (SSR), its characteristics and utilization in practice. The thesis is devoted to comparing the electromechanical relays and SSR. The final section deals with the measurement of characteristics and the dynamic signs and analyzes the results.

Key words

Solid State Reley, semiconductor relays, electronic relays, optocouplers, use in practice

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského stupně studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 31.5.2012

.....
Konstantin Ryba

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především Ing. Jiřímu Fořtovi Ph.D., za poskytnutí cenných rad, připomínek během konzultací. Dále bych rád poděkoval Ing. Martinu Pittermannovi, Ph.D., za odborný dohled při měření laboratorní úlohy.

Obsah

OBSAH.....	1
ÚVOD.....	2
SEZNAM SYMBOLŮ	3
SSR – TECHNICKÁ SPECIFIKACE	4
1.1 VÝVOJ SSR.....	4
1.2 OBECNÉ VLASTNOSTÍ SSR.....	5
1.3 ROZDĚLENÍ SSR.....	6
1.3.1 Rozdělení podle typu vstupního obvodu.....	6
1.3.2 Rozdělení podle typu galvanického oddělení.....	11
1.3.3 Rozdělení podle typu výstupního obvodu	12
1.4 CHLAZENÍ SSR	16
1.5 POUŽITÍ SSR.....	18
2 POROVNÁNÍ ELEKTROMECHANICKÝCH RELÉ A SSR.....	21
3 DATA ZÍSKANA MĚŘENÍM.....	22
4 ZÁVĚR	28
POUŽITÁ LITERATURA	29

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na popis moderních polovodičových relé SSR, konkrétněji na jejich princip a spolehlivost. Dále se práce věnuje využití polovodičových relé ve vybraných aplikacích.

Bakalářská práce je rozdělena na tři části. První část se zabývá teoretickým popisem polovodičových relé a jejich typickými aplikacemi v praxi. Druhá část porovnává polovodičová a elektromechanická relé. Laboratorní úloze je věnována závěrečná část práce.

Při sestavování a měření v laboratorní úloze byla použita polovodičová relé firmy MOTOROLA a COSMO. Byla porovnána dvě relé a to MOC 3062, které má spínání v nule a MOC 3010, které spínání v nule nemá. Cílem práce bylo porovnání a přeměření charakteristických vlastností a dynamického chování.

Seznam symbolů

AC	Alternate current (střídavý proud)
D	Dioda
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
I_b	Proud báze
I_c	Proud kolektorem
I_f	Proud v propustném směru
I_{out}	Proud zátěží
I_r	Proud v závěrném směru
I_{rc}	Proud odporem R_c
I_{trig}	Přidržený proud
LED	Light Emitting Diode (Svítivá dioda)
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor FET
P_{tot}	Výkon ztrátový
R_{be}	Přídavný odpor mezi bázi a emitorem
R_c	Předřadný odpor kolektoru
R_d	Předřadný odpor diody
R_{th}	tepelný odpor
R_z	Opор zátěže
SSR	Solid State Reley
T	Teplota
U_{be}	Napětí mezi bázi a emitorem
U_{ce}	Napětí mezi kolektorem a emitorem
U_f	Napětí v propustném směru
U_{in}	Vstupní napětí
U_{out}	Napětí na výstupu
U_r	Napětí v závěrném směru
U_{rc}	Úbytek napětí na R_c
V_t	Úbytek v sepnutém stavu
ΔT	Teplotní spád

SSR – technická specifikace

Než se začneme zabývat polovodičovými relé SSR (zkratka pochází z anglického Solid State Reley) musíme zmínit, že byly vytvořeny za účelem nahrazení elektromechanických relé.

Relé jako elektrický spínač existuje již řadu let. Vzhledem k tomu, že funguje na elektromagnetickém principu, musí obsahovat mechanický kontakt. Nevýhodou je, že tento kontakt se ale používáním opotřebovává, čímž se snižuje životnost a spolehlivost celého elektromechanického relé.

Při vývoji elektronického relé se nejprve místo mechanického kontaktu objevovala dvojice antiparalelně zapojených tyristorů nebo jiných spínacích prvků. Následně bylo vyvinuto galvanické oddělení ovládacího a silového obvodu. Tím ale vývoj elektronického relé, jak uvidíme dále, nekončí.

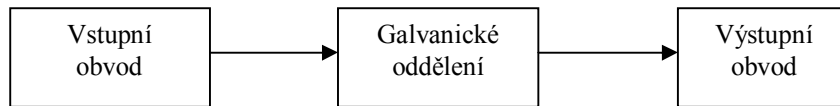
1.1 Vývoj SSR

Tím, že se dosáhlo galvanického oddělení řídicího a silového obvodu došlo vlastně k nahrazení elektromechanického relé. Jenže vývoj SSR šel stále dopředu a začaly vznikat různé pomocné obvody, díky kterým polovodičová relé umožňovala spínání v blízkosti napěťové nuly a tím k omezení proudového rázu. Dále umožňovala fázově a cyklicky řídit spínaný výkon spotřebiče, doběh asynchronního motoru a jeho reverzací.

Polovodičové relé jako kompaktní zapouzdřená součástka vznikla až po dosažení předchozích vlastností a jejich zdokonalení. Jelikož došlo k tomu, že nebyl zapotřebí velký výkon, umožnilo se tak zmenšit velikost, hmotnost a tím i cenu SSR.

1.2 Obecné vlastností SSR

Všechny SSR lze popsat jednoduchým blokovým schéma jak je vidět na obrázku 1.



Obrázek 1- Blokové schéma SSR

Mezi obecné vlastnosti polovodičových relé patří:

- Nedochází k mechanickému opotřebování kvůli absenci pohyblivých částí
- Absence indukčností na vstupu
- Při vypínání nedochází k jiskření
- Vysoká spínací a vypínací rychlost
- Dlouhá životnost
- Odolnost vůči mechanickým a chemickým vlivům
- Neprodukují žádný akustický šum

Vzhledem k těmto vlastnostem můžeme říci, že SSR předstihují elektromechanické relé, ale jsou zde i některé vlastnosti, které nám jejich použití komplikují:

- Snadná možnost poškození vstupu přepětím
- Snadné poškození výstupu překročením jmenovitého proudu nebo výkonu
- Výstup není nikdy ideálně rozepnut (obsahuje svodový proud)
- Obsahuje pouze jedno spínací místo (absence přídržných kontaktů)
- Vysoká provozní teplota (nutnost použití chladiče)

(Zdroj: [1], s. 11,13)

1.3 Rozdělení SSR

1.3.1 Rozdělení podle typu vstupního obvodu

Vstupní obvod polovodičového relé se dá rozdělit do dvou kategorií, a to podle vstupního napětí.

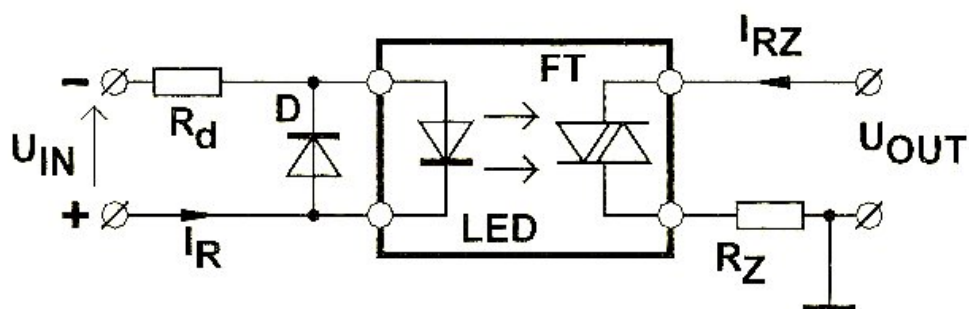
Jednou z kategorií je SSR s DC vstupem. Jedná se o SSR se stejnosměrným napětím na vstupu a řešení vstupního obvodu je realizováno většinou LED diodou. Tou druhou kategorií je SSR s AC vstupem, kde se vstupní obvod řeší především usměrňovačem a LED diodou.

1.3.1.1 SSR s DC vstupem

Pro SSR, která mají na vstupu pouze LED diodu se musí přidat externí odpor. Jeho hodnotu lze určit ze vztahu 1, kde R_d je hodnota externího odporu, U_{in} je hodnota napětí kterým chceme SSR řídit, U_f je katalogová hodnota napětí LED diody v propustném stavu a I_f je taktéž katalogová hodnota proudu diodou v propustném stavu. Odpor se umísťuje do obvodu, aby při vyšších hodnotách vstupního napětí došlo k omezení proudu a tím nedošlo k průrazu PN přechodu LED diody.

$$R_d = (U_{in} - U_f) / I_f \quad 1$$

Vzhledem k tomu že LED dioda se dá relativně snadno zničit, připojíme-li ji k opačné polaritě napětí, měli bychom ji chránit přídatnou ochranou diodou D.

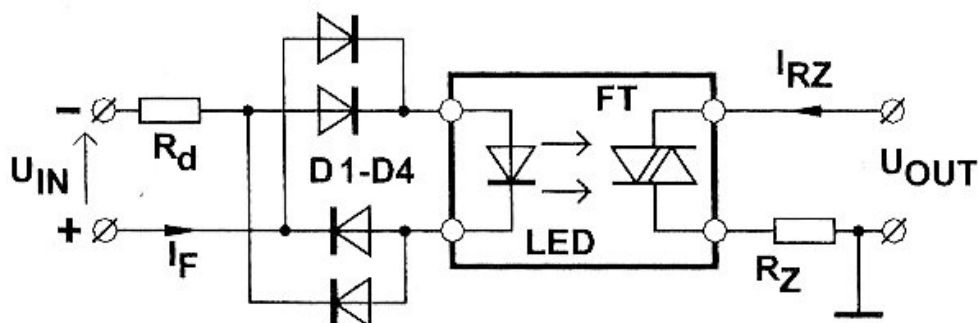


Obrázek 2 - Vstupní obvod s ochranou diodou

Zdroj: [1] s. 39

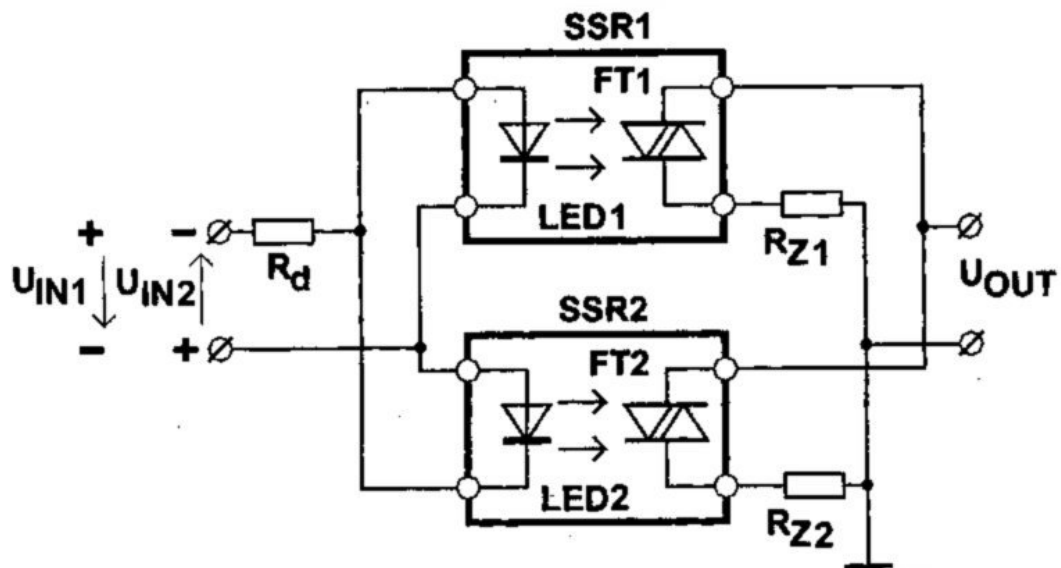
Z obrázku 2 je patrné, že odpor R_d při správné polaritě napětí nastavuje vstupní proud I_f , ale zároveň omezuje velikost proudu I_r .

V některých aplikacích se dá napětí obou polarit využít. Buď pro spínání SSR oběma polaritami, nebo se to využívá jako přepínač. Schopnost spínat při obou polaritách napětí se získává zapojením můstkového usměrňovače do vstupního obvodu obrázek 3. Funkce přepínače se realizuje pomocí dvou SSR obrázek 4. Kde při kladné polaritě vstupního napětí spíná LED dioda relé SSR1. Při sepnutí SSR1 protéká zátěží R_{z1} proud ze zdroje U_{out} . Protože jsou SSR1 a SSR2 zapojená paralelně lze předpokládat, že na LED diodě relé SSR2 je závěrné napětí U_r , které je právě tak velké jako propustné napětí U_f LED diody SSR1 tj. kolem 2V. Takto velké napětí v závěrném směru nemůže LED diodu SSR2 ohrozit. Při opačné polaritě vstupního napětí spíná LED dioda SSR2 a proud ze zdroje protéká zátěží R_{z2} . V tomto případě je na LED diodě SSR1 závěrné napětí U_r a na LED diodě SSR2 je napětí v propustném směru U_f .



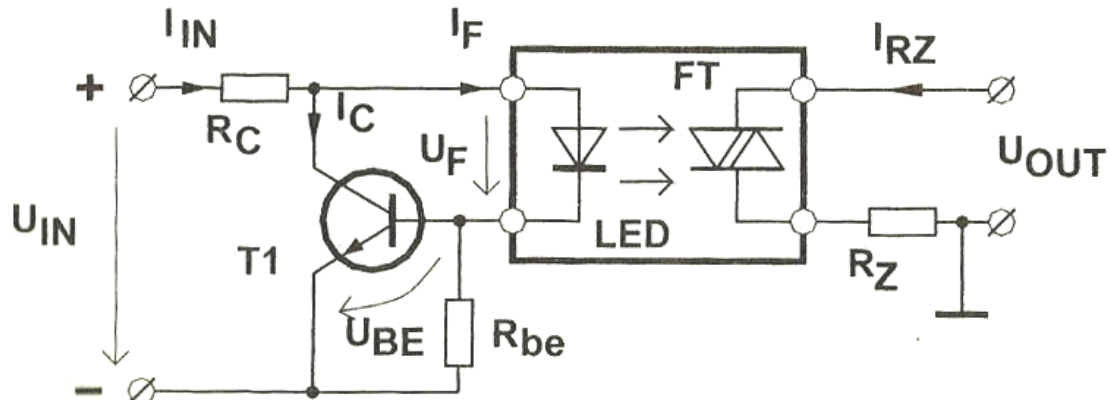
Obrázek 3 - Vstupní obvod s diodovým usměrňovačem

Zdroj: [1] s. 39



Obrázek 4 - Dvě SSR v zapojení pro přepínání obou polarit
Zdroj: [1] s. 40

Další z možností napájení je, že máme sice stálou polaritu napětí U_{in} , ale proměnlivou hodnotu. V tomto případě se musí na vstup SSR přidat zdroj proudu. Nejjednodušší a zároveň názorné zapojení je na obrázku 5.



Obrázek 5 - Napájení vstupu zdrojem proudu
Zdroj: [1] s. 40

Předpokládejme, že vstupní hodnota proudu I_f , který je zapotřebí k sepnutí SSR, je $I_f = 5\text{mA}$. Dále z katalogu víme, že pro křemíkový tranzistor T_1 je hodnota napětí báze-emitor je $U_{be} = 0,7\text{V}$, $h_{21e} = 200$ a hodnotu I_c volíme 1mA . Z těchto hodnot lze určit proud do báze $I_b = I_c / h_{21e} = 1 \cdot 10^{-3} / 200 = 5\ \mu\text{A}$. Vidíme, že proud I_b je zanedbatelný oproti I_f a tudíž odporem R_{be} , jehož hodnotu určíme ze vztahu 2, bude protékat prakticky celá hodnota I_f .

$$R_{be} = \frac{U_{be}}{I_f} = \frac{0,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 140\Omega \quad 2$$

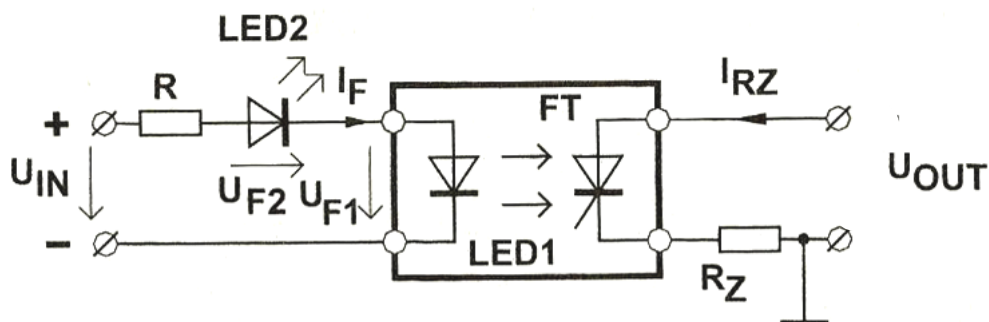
Volíme nejbližší nižší hodnotu tj. 120Ω . Opět budeme předpokládat, že vstupní napětí U_{in} se bude měnit od 5V do 15V . Pro výpočet odporu R_c nejprve volíme $U_{in} = 5\text{V}$. Proud odporem bereme jako součet proudu kolektorem a LED diodou tj. 6mA . Úbytek napětí na LED diodě a přechodu báze-emitor je stejný úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem tj. $2,2\text{V}$. Ohmickou hodnotu odporu R_c určíme ze vztahu 3 a volíme nejbližší výši z normovaných hodnot.

$$R_c = \frac{U_{in} - U_{ce}}{I_{in}} = \frac{5 - 2,2}{6 \cdot 10^{-3}} = 467\Omega \rightarrow 470\Omega \quad 3$$

Nyní budeme uvažovat nárůst U_{in} na hodnotu 15V . Úbytek napětí na odporu R_c je $U_{rc} = U_{in} - U_{ce} = 15 - 2,2 = 12,8\text{V}$. Proud, který protéká odporem pak je $I_{rc} = U_{rc}/R_c$, tedy $I_{rc} = 12,8/470 = 27,2\text{mA}$. Chceme zachovat proud LED diodou $I_f = 5\text{mA}$, proto dojde k nárůstu proudu I_c a to z hodnoty 1mA na hodnotu $22,2\text{mA}$. Zároveň musí dojít k nárůstu proudu $I_b = 22,2/200 = 0,11\text{mA}$.

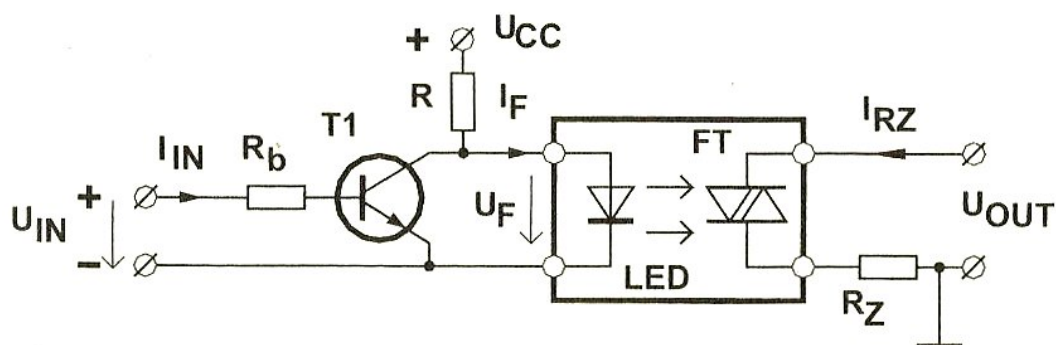
Z těchto výpočtů je vidět, že tento jednoduchý obvod nám zaručí, že při změně vstupního napětí z minimální hodnoty 5V na maximální hodnotu 15V , nám vzroste proud LED diodou o $0,11\text{mA}$, což je přijatelná hodnota viz [1].

Mezi další nejčastější úpravy vstupního obvodu SSR lze zařadit, přidání externí LED diody, která slouží pouze, jako signalizace sepnutého stavu viz obrázek 6. Dále pak se může úpravou vstupního obvodu dosáhnout rozpínání SSR vstupním napětím obrázek 7.



Obrázek 6 - Indikace sepnutí

Zdroj: [1] s. 45



Obrázek 7 - Schéma pro rozpínání vstupním napětím

Zdroj: [1] s. 45

1.3.1.2 SSR s AC vstupem

Do kategorie SSR s AC vstupem patří všechna polovodičová relé, která jsou řízena střídavým napětím na vstupu. Výskyt takových relé je velmi malý, protože jak už bylo výše popsáno (obrázek 3), lze použít levnější SSR se stejnosměrným vstupem a vhodnou úpravou vstupního obvodu je lze přizpůsobit střídavému napětí.

Hlavní výhodou SSR s AC vstupem oproti SSR s DC vstupem je, že mají na vstupu usměrňovač, který je zabudovaný do pouzdra SSR a tím se snáze montují např. na lištu. Takový usměrňovač musí být opatřený vyhlazovacím kondenzátorem, aby při větším zvlnění proudu nedocházelo k poklesu I_f pod minimální spínací hodnotu, kterou můžeme nalézt v katalogovém listě.

1.3.2 Rozdělení podle typu galvanického oddělení

Galvanické oddělení vstupu a výstupu je bez pochyby jedna z hlavních výhod SSR. Za předpokladu, že mezi galvanické oddělení budeme počítat i oddělení velkým izolačním odporem, můžeme SSR podle galvanického oddělení rozdělit takto:

- Optické oddělení
 - Integrovaným optronem (nejčastější)
 - Diskrétním optronem
- Elektromagnetické oddělení impulzním transformátorem
- Kapacitní oddělení
 - Kondenzátorem
 - Tranzistorem MOSFET
- Piezoelektrické

Zdroj: [1] s.48

Jako nejčastější oddělení se používá optické oddělení integrovaným optronem a to hlavně díky jeho vlastností, kterou překonává všechny ostatní typy oddělení, tou je jednosměrný přenos signálu ze vstupu na výstup. Mezi jeho nevýhody díky jeho malé velikosti patří malé izolační napětí a kapacita mezi vstupem a výstupem, i když je mala. Tyto nevýhody se dají odstranit použitím diskrétního optronu se světlovodem. Díky tomu, že jeho délka může být značná, izolační odpor a izolační napětí mohou být prakticky neomezena. Tento způsob oddělení se používá především pro silnoproudé aplikace.

Mezi další typy galvanického oddělení patří elektromagnetické oddělení impulzním transformátorem, které se ale využívá velmi zřídka. Jelikož má tu vlastnost, že jestli dojde ke zkratu, tak se může dostat signál ze silnoproudé výstupní části na vstupní ovládací a tím zničit i ovládací zařízení.

Stejně jako oddělení impulzním transformátorem tak i oddělení kondenzátorem se využívá velmi zřídka. V dnešní době se spíše než kondenzátorem využívá oddělení unipolárním tranzistorem MOSFET, kde oddělení izolační vrstvou oxidu postačí. Bohužel jako v předchozím oddělení tak i zde je možný obousměrný přenos signálu. Piezokrystalické oddělení je spíše bráno jako teoretická možnost oddělení, zatím se nevyužívá.

1.3.3 Rozdělení podle typu výstupního obvodu

Výstupní obvod SSR lze realizovat velkou škálou obvykle výkonových spínacích prvku. Tyto prvky lze rozdělit do dvou hlavních skupin lišící se přenosem.

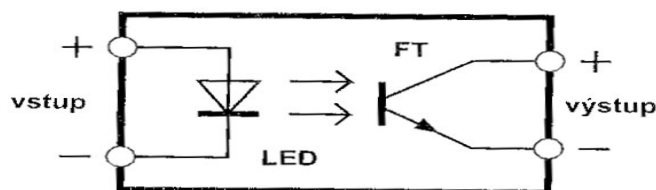
- a) Analogový prvek
 - Fotoodpor
 - Fotodioda
 - Fototranzistor
 - Bipolární tranzistor
 - Unipolární tranzistor
- b) Spínací prvek
 - Tyristor
 - Triak

Zdroj: [1] s. 15

SSR patřící do první skupiny se obvykle nazývají optrony. Jelikož výrobci posilují výstupní prvek, proto je můžeme řadit, vzhledem k jejich parametrům, do kategorie SSR. SSR z druhé skupiny lze brát jako plnohodnotná elektronická relé. Ale je třeba brát na vědomí, že mají velký odpor v sepnutém stavu a naopak malý v rozepnutém. Naopak elektromechanická relé, což jsou velice kvalitní prvky, mají odpor v sepnutém stavu jednotky milionů a v rozepnutém 10^9 ohmu.

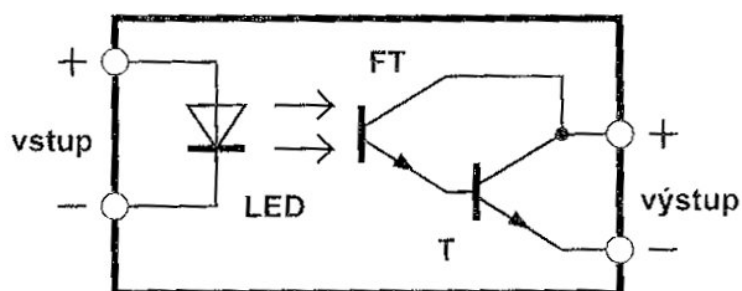
1.3.3.1 SSR s analogovým přenosem

Jak už bylo řečeno, jako výstupní prvek lze použít řadu součástek, které jsou vypsány výše. Jenže v dnešní době už se málokdy setkáme s kombinací LED-fotoodpor a LED-fotodioda. Mezi nejjednodušší zapojení bezpochyby patří kombinace LED na vstupu a fototranzistor na výstupu, které je na obrázku 8.



Obrázek 8- Zapojení s bipolárním fototranzistorem
Zdroj:[1] s. 16

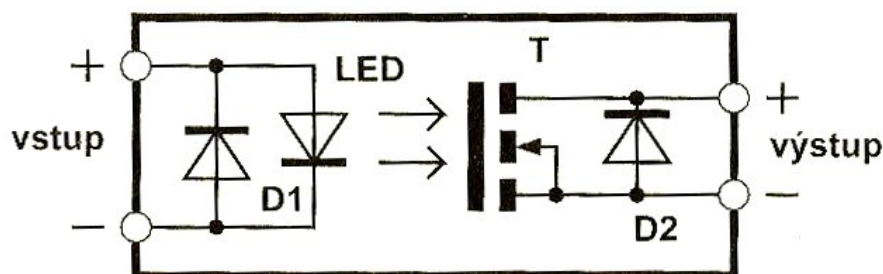
Nevýhodou tohoto zapojení je, že fototranzistor má poměrně malé zesílení a tudíž je zapotřebí velký vstupní proud LED diodou k vybuzení spínacího tranzistoru. Tuto nevýhodu lze odstranit použitím Darlingova zapojení fototranzistoru a bipolárního tranzistoru obrázek 9.



Obrázek 9-Posílení tranzistoru Darlingtonovým zapojením

Zdroj:[1] s. 17

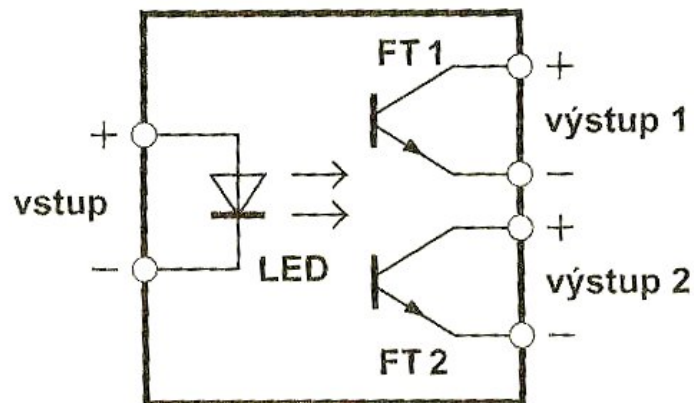
Použití bipolárního tranzistoru jako výstupní prvek je sice nejjednodušší, ale nejrozšířenější je použití unipolárního tranzistoru MOSFET obrázek 10. Jelikož při vypínání zátěže indukčního charakteru vzniká přepětí, je nutné výstup SSR chránit antiparalelní diodou.



Obrázek 10- SSR s MOSFET tranzistorem

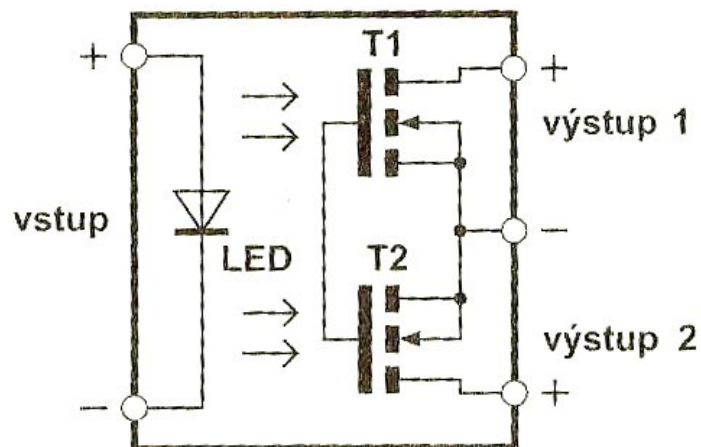
Zdroj: [1] s. 18

Předchozí varianty jsou brány jako základní a postačující k pochopení této problematiky. Výrobci SSR však nabízí celou škálu sofistikovanějších zapojení, například na obrázku 11 můžeme vidět dvojité SSR se společným buzením nebo na obrázku 12 SSR s výstupem se spojenými emitory tranzistorů.



Obrázek 11- Dvojité SSR se společným buzením

Zdroj: [1] s. 20

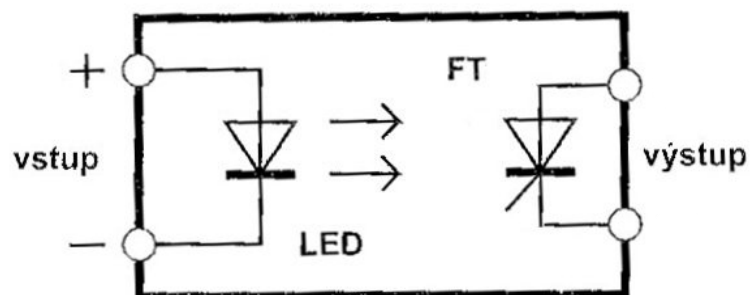


Obrázek 12- SSR s dvojčinným výstupem

Zdroj: [1] s. 20

1.3.3.2 SSR spínacího typu

Tento typ SSR pro svou funkci využívá tyristor nebo triak. Záleží na tom, jakou zátěž spíná. Změna stavu z rozepnutého na sepnutý probíhá skokově.

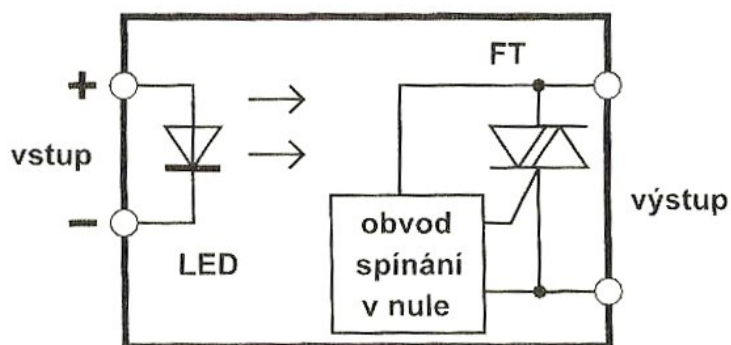


Obrázek 13- SSR s fototyristorem

Zdroj:[1] s. 33

Na obrázku 13 můžeme vidět jedno z nejjednodušších vnitřních zapojení SSR spínacího typu. Zde dochází k nasvícení přechodu j_3 fototyristoru pomocí LED diody. Jak vstup, tak i výstup nejsou nijak chráněny, proto musí být ochranné obvody přidané externě. Jelikož na výstupu je fototyristor, musí mít vstup i výstup jednoznačně určenou polaritu. Opět se zde můžeme setkat s Darlingtonovým zapojením fototyristoru a tyristoru kvůli posílení spínacího výkonu.

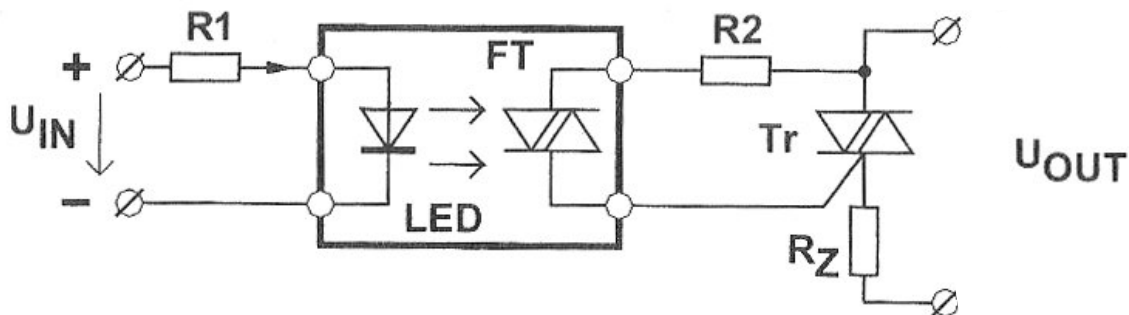
Pro spínání střídavé zátěže se používají SSR, které obsahují na výstupu triak. Tato relé se pak dále dělí na SSR, co obsahují obvod spínání v nule a ty které ho nemají. Obvody spínání v nule jsou poměrně složité, a proto výrobci je udávají pouze jako blok ve schématu, především se ale tím chrání proti plagiátorství obrázek 14. Tyto obvody umožňují spínat v nejbližší nule napětí a tím nedochází k velkým proudovým rázům.



Obrázek 14- SSR s obvodem pro spínání v nule

Zdroj: [1] s. 35

K posílení spínacího výkonu u těchto relé, se používá zapojení na obrázku 15, kde pomocí SSR spínáme externí výkonnější triak.



Obrázek 15- Zapojení s externím triakem

Zdroj: [1] s. 37

1.4 Chlazení SSR

Jak již bylo výše uvedeno, SSR mají poměrně velký odpor při sepnutém stavu. Při průchodu proudem tímto odporem vzniká teplo a tím se tento odpor ještě zvětšuje, což má za následek snížení výkonového zatížení. Pokud se těmto stavům nevyhneme, hrozí zničení SSR. Zhruba 90% problémů SSR je způsobeno jejich přehříváním. Pro návrh chladiče musíme znát okolní teplotu, ve které SSR pracuje a ztrátový výkon.

Při procházejícím proudem do 5A je na výstupním spínacím prvku úbytek napětí asi 2V. To znamená, že ztrátový výkon, který je zapotřebí rozptýlit je 10W. Takhle malý výkon se rozptýlí přirozeným prouděním okolního vzduchu, a tudíž není zapotřebí montovat SSR na chladič. Vyšší proudy ale už montáž chladiče vyžadují.

Chladiče se vyrábí převážně z hliníku, ale setkáme se i s chladiči, které jsou vyrobené ze železa, ale jejich tepelná vodivost je podstatně nižší. Při umístění chladiče je zapotřebí brát na vědomí, že by měly být upevněny tak, aby docházelo k proudění vzduchu komínovým efektem, tudíž žebra chladiče by měla být ve svislé poloze. Zároveň nesmí dojít k poškození dalších konstrukčních prvků teplem např. plastových krytů. Pro lepší tepelný kontakt musí být mezi SSR a chladičem umístěna silikonová vazelína.

Pro výpočet chladiče volíme SSR firmy CARLO GAVAZZI RS1A23D25. Z katalogu víme, že maximální teplota SSR je 100 °C a maximální úbytek napětí v sepnutém stavu je 1,6V. Předpokládané výstupní napětí je $U_{out}=230V$ a proud $I_{out}=20A$. Z těchto hodnot určíme podle vztahu 4 ztrátový výkon SSR.

$$P_{tot} = I_{out} * V_t = 20 * 1,6 = 32W \quad 4$$

Následně si spočítáme rozdíl teplot mezi PN přechody a pouzdrem. Opět z katalogu známe hodnotu tepelného odporu $R_{th}=1,1K/W$.

$$\Delta T = P_{tot} * R_{th} = 32 * 1,1 = 35,2K \quad 5$$

Teplota na povrchu SSR je daná rozdílem maximální provozní teploty a rozdílem teplot mezi PN přechody a pouzdrem.

$$T_{ssr} = T_{max} - \Delta T = 100 - 35,2 = 64,8^{\circ}C \quad 6$$

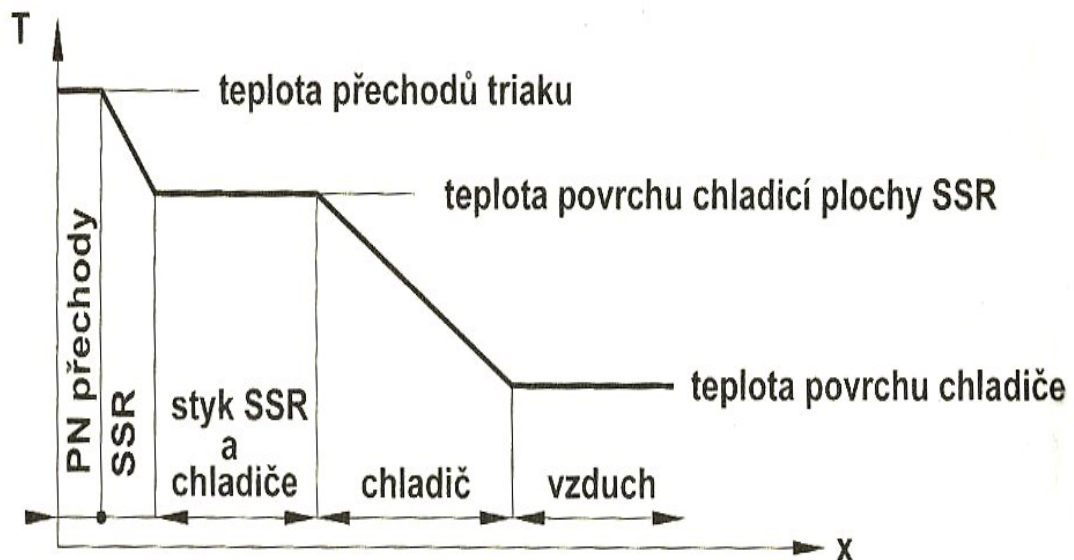
Nyní určíme teplotní spád chladiče. Abychom to mohli udělat, musíme znát maximální teplotu okolního vzduchu. Volíme si např. $T_{\text{okolí}}=40^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_{\text{ch}} = T_{\text{ssr}} - T_{\text{okolí}} = 64,8 - 40 = 24,8\text{K} \quad 7$$

Zbývá nám už poslední krok a tím je určení tepelného odporu chladiče. Protože víme, že tímto chladičem bude protékat stejný tepelný proud jako SSR, pak je tepelný odpor chladiče dán vztahem 8.

$$R_{\text{th(chladiče)}} = \frac{\Delta T_{\text{ch}}}{P_{\text{tot}}} = \frac{24,8}{32} = 0,775 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad 8$$

Chladič pro SSR tedy volíme tak, aby jeho hodnota tepelného odporu byla menší než $0,775\text{K/W}$. [1]

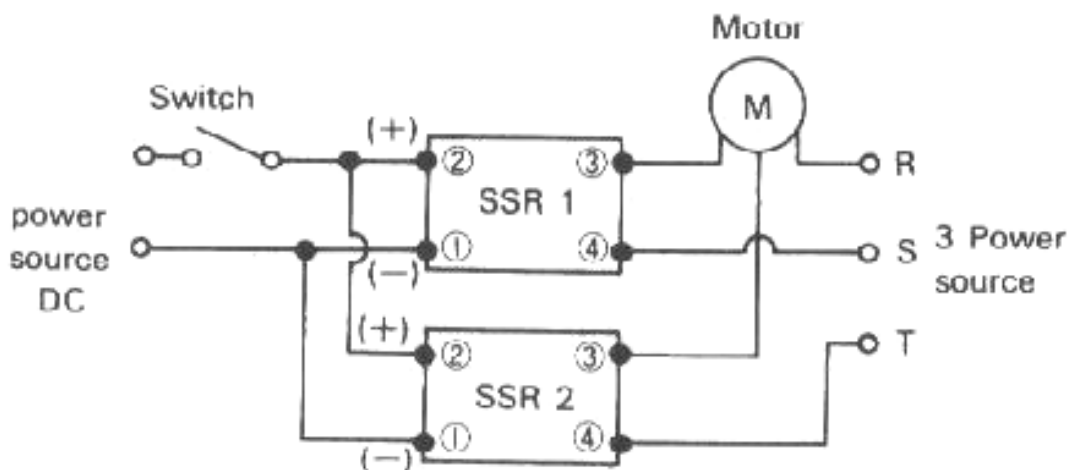


Obrázek 16- Znáornění teplotního spadu systému SSR-chladič
Zdroj: [1] s. 84

1.5 Použití SSR

Vzhledem k vlastnostem SSR, je spektrum použití opravdu široké. V dnešní době je můžeme najít např. v ledničkách, klimatizacích, tiskárnách, pračkách. Ve velké míře se používají v topných systémech, jako příklad můžeme uvést: elektrické pece, pájecí systémy balicí technologie, gumárenské a potravinářské technologie. Cestu si našly i do optických systémů např. do fotokopírky, světelné techniky a dopravního osvětlení. Řízení elektrických motorů, konkrétně řízení polohy, soft starty, brzdění, reverzace - to vše rovněž lze realizovat pomocí SSR. Jako další oblast použití můžeme zmínit transformátorové napáječe, a to svářečské zařízení a světelné systémy s transformátorovým napájením. Hojně se využívají ve zvukové technice.

Nyní se podíváme blíže na ovládání 3f motoru, které je na obrázku 17.



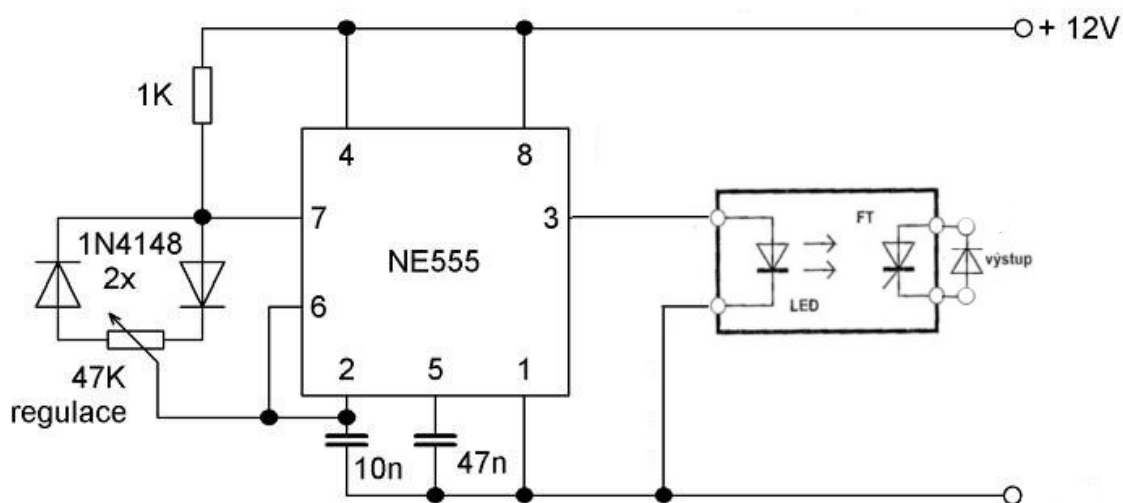
Obrázek 17- Ovládání 3f motoru

Zdroj: <http://www.elproz.cz/Ssr.htm>

Jak můžeme vidět, k ovládání 3f motoru nám bohatě postačí použití dvou SSR která, jsou zapojena paralelně. Výhoda tohoto zapojení spočívá v tom, že nemusíme spínat každé relé zvlášť, na druhou stranu to ale vyžaduje větší vstupní proud.

Ovládání 3f motoru pomocí dvou SSR je sice levnější, za to je nebezpečné vzhledem k tomu že fáze R je trvale připojena k motoru. V tomto případě se musí obvod doplnit o další vypínací prvek, aby se odpojil motor od sítě a tím nedošlo k úrazu elektrickým proudem.

Pomocí SSR a časovače 555 lze jednoduchým způsobem realizovat pulzně šířkovou modulaci obrázek 18.

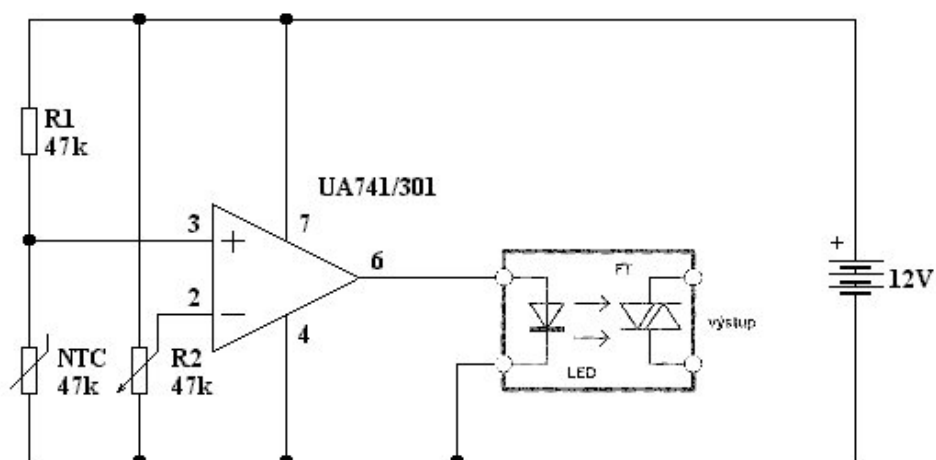


Obrázek 18- PWM s SSR

Zdroj:<http://www.elektronikacz.borec.cz/Data/PWM-regulator.htm>

Tento PWM regulátor mění šířku pulzu v rozsahu 2-98%. Na výstup SSR lze připojit SS motor. Jelikož proud I je konstantní, když zanedbáme zvlnění, můžeme říci, že i moment bude konstantní v celém rozsahu otáček. Protože SS motor je indukční zátěž, musíme výstupní obvod SSR chránit antiparalelní diodou, jak je to vidět ve schématu.

Na obrázku 19 je schéma obvodu, který je univerzální. Jeho funkce závisí na použitém snímacím prvku. Například, použijeme-li fotoodpor, můžeme tímto obvodem regulovat jas, nebo jako to je v našem případě, použijeme-li termistor a tím můžeme regulovat teplotu.



Obrázek19- Regulace teploty pomocí OZ

Zdroj:<http://www.elektronikacz.borec.cz/Data/Teplotni%20spinač.htm>

Tento obvod ke své funkci využívá operačního zesilovače v zapojení jako komparátor. Na neinvertující vstup se zapojí napěťový dělič, který se skládá z odporu a termistoru. Termistor je teplotně citlivá součástka. Odpor termistoru klesá se stoupající teplotou. Na invertující vstup se připojí potenciometr, kterým se nastavuje požadovaná teplota.

Pokud teplota okolí je menší než požadovaná, je na termistoru větší úbytek napětí než na potenciometru a na výstupu operačního zesilovače se objeví kladné napětí, tím sepne i SSR, které může mít na výstupu topné těleso. Při dosažení požadované teploty je na výstupu operačního zesilovače záporné napětí a dojde k rozepnutí SSR.

2 Porovnání elektromechanických relé a SSR

V tabulce 1 je uvedeno pár vlastností srovnatelných relé. Z těchto vlastností lze usoudit, že i přesto, že SSR jsou novější, ale stále se jim nedaří překonat v některých vlastnostech elektromechanická relé, a tím je vytlačit z trhu.

Vlastnost	Elektromechanické relé	SSR
Citlivost na nesprávné použití	malá	značná
Citlivost na chemické poškození	značná	téměř žádná
Citlivost na mechanické poškození	značná	žádná
Citlivost na radiaci	žádná	značná
Cena	přijatelná	vysoká
Kompatibilita s TTL a CMOS obvody	žádná	dobrá
Spínací a rozpínací doba	dlouhá	krátká
Izolační napětí	4kV	> 4kV
Velikost	větší	menší
Hmotnost	větší	menší
Vícenásobný výstup	snadný	horší
Životnost	špatná	dobrá
Možnost rychlého spínání	špatná	dobrá
Spínání AC i DC	vždy	některé typy
Provoz ve vlhku	omezený	snadný
Provoz ve výbušném prostředí	omezený	bez omezení
Synchronní spínání	ne	ano
Spínání v nule	ne	ano
Vypínání v nule	ne	ano
Fázové řízení výkonu	ne	ano
Celovné řízení výkonu	ne	ano
Úbytek napětí na sepnutých svorkách	malý	velký
Ztrátový výkon	malý	velký
Nutnost chladiče	ne	obvykle ano
Vznik oblouku při rozpínání	ano	ne
Zákmit kontaktů	ano	ne
Výstupní odpor v rozepnutém stavu	> 1M Ω	> 20k Ω
Výstupní odpor v sepnutém stavu	< 0,05 Ω	< 0,1 Ω
Soft start	ne	ano
Citlivost na zvýšení okolní teploty	malá	velká
Citlivost na di/dt a du/dt	žádná	větší

Tabulka 1- porovnání elektromechanických relé a SSR

Zdroj: [1] s. 87

3 Data získaná měřením

Ačkoli výrobci SSR dodávají vždy i technické parametry jejich výrobku, je v některých aplikacích výhodné si tyto parametry změřit, protože výrobci v katalogích udávají nejhodnější možné hodnoty.

Měření bylo prováděno na optronech firmy COSMO a MOTOROLA. Jak už bylo zmíněno, optrony se dají řadit mezi SSR vzhledem k jejich parametrům, ale jejich cena ve srovnání s SSR je o řád nižší, to byl také hlavní důvod použití optronu pro měření některých parametru.

Měření proběhlo na těchto SSR:



Obrázek 20- MOC3010 firmy motorola

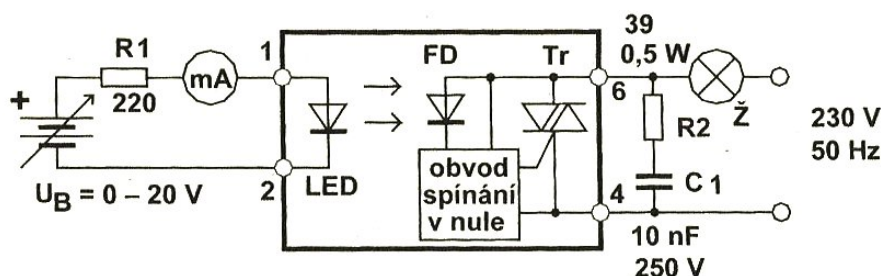
Zdroj: <http://www.gme.cz/optorele-do-dps/moc3062-p523-034/>

MOC3062		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Provedení	Vývodové	[-]
Spínací prvek	Triak	[-]
I_{max} (vstup)	50	[mA]
I_{trig} (vstup)	10	[mA]
U_f (vstup)	1,2	[V]
U_r (vstup)	6	[V]
Izolační pevnost	5000	[V]
I_f (výstup)	1	[A]
U_r (výstup)	600	[V]
U_f (výstup)	1,8	[V]
P_{tot}	0,33	[W]
Provozní teplota	-40..+80	[°C]
Pouzdro	DIP6	[-]
Spínání v nule	ANO	[-]

Tabulka 2-Tabulka parametru

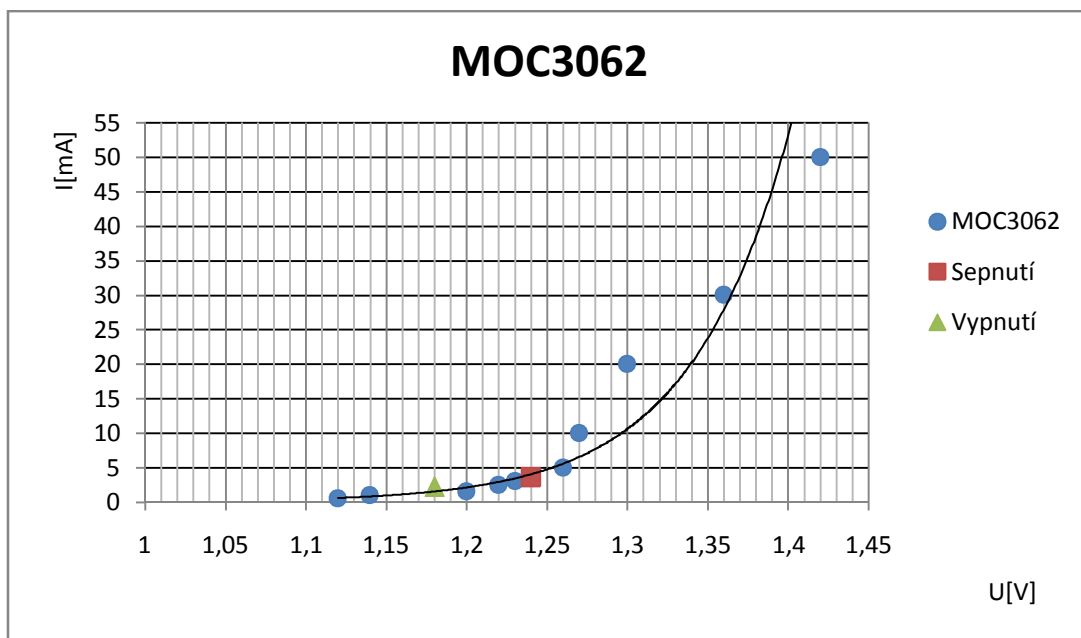
MOC3010		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Provedení	Vývodové	[-]
Spínací prvek	Triak	[-]
I_{max} (vstup)	60	[mA]
I_{trig} (vstup)	8	[mA]
U_f (vstup)	1,15	[V]
U_r (vstup)	3	[V]
Izolační pevnost	7500	[V]
I_f (výstup)	1	[A]
U_r (výstup)	250	[V]
U_f (výstup)	1,8	[V]
P_{tot}	0,33	[W]
Provozní teplota	-40..+85	[°C]
Pouzdro	DIP6	[-]
Spínání v nule	NE	[-]

První vlastnost SSR, která byla měřena v obvodě podle obrázku 21, je V-A charakteristika vstupní LED diody. Měření proběhlo v celém rozsahu vstupního proudu tj. od 0 do 50mA. A bylo zjištěno, že udávané hodnoty jsou značně navýšené. Hodnoty proudu a napětí, při kterém došlo k sepnutí relé MOC3062 se pohybují okolo 1,25V a 3,5mA. Relé MOC3010 seplo již při napětí 1,19V a proudu 1,7mA. Zajímavým faktem je to, že relé MOC3062 vypíná při poklesu proudu cca o 40% tj. na hodnotu 2,2 mA při napětí 1,18V a relé MOC3010 vypíná už při poklesu o 20%. V-A charakteristiky jsou na obrázcích 22 a 23, v nichž jsou rovněž vyznačeny i hodnoty proudu a napětí, při kterých došlo k sepnutí a vypnutí relé.

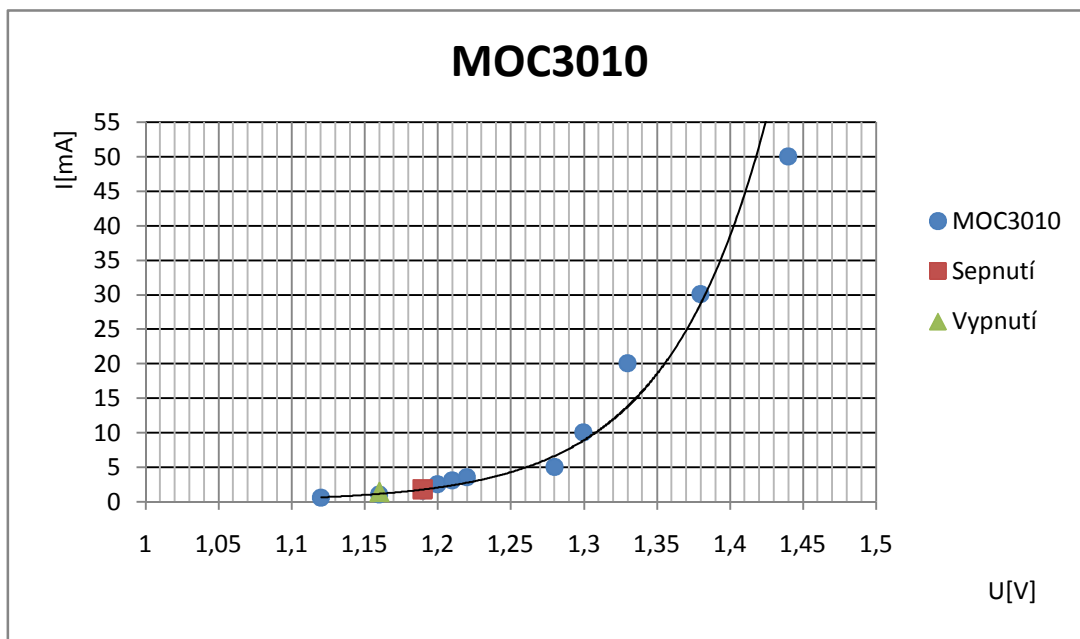


Obrázek 21- Schéma měřicího obvodu

Zdroj: [1] s. 101



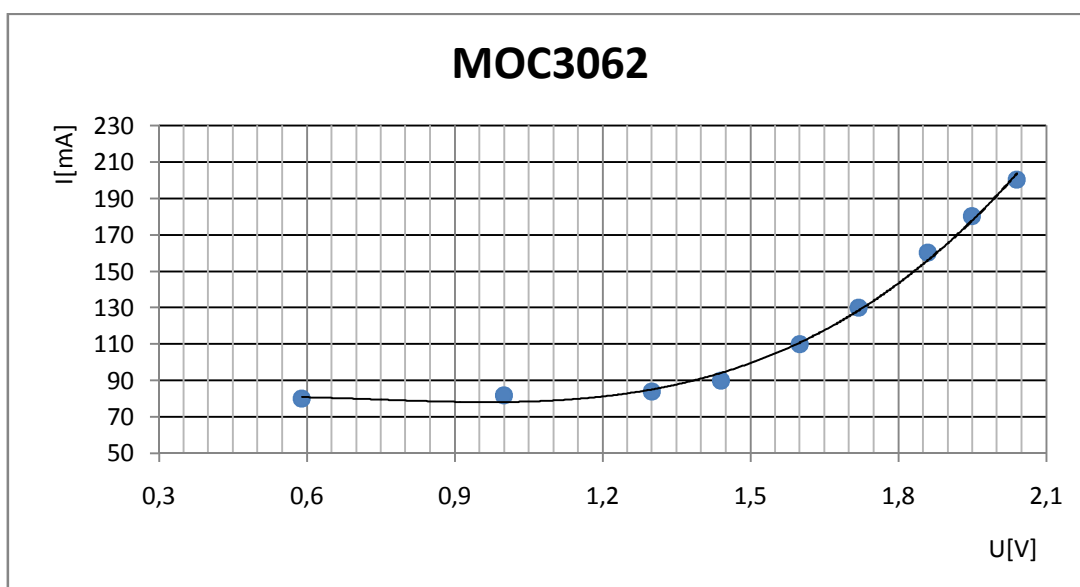
Obrázek 22- V-A charakteristika relé MOC3062 fy Cosmo



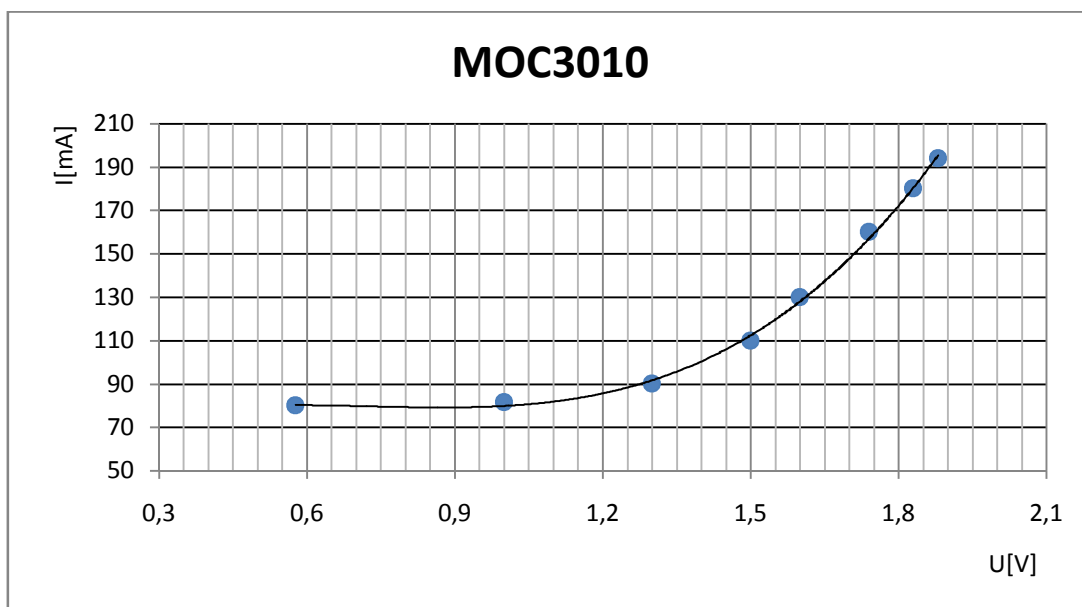
Obrázek 23- V-A charakteristika relé MOC3010 fy MOTOROLA

Jako další zajímavá vlastnost SSR je závislost úbytku napětí na sepnutém spínacím prvku na protékajícím proudu.

Toto měření může být přínosné například pro návrh chladiče. Přesným měřením můžeme docílit toho, že vypočítaný tepelný odpor chladiče může být větší a o to levnější bude chladič.

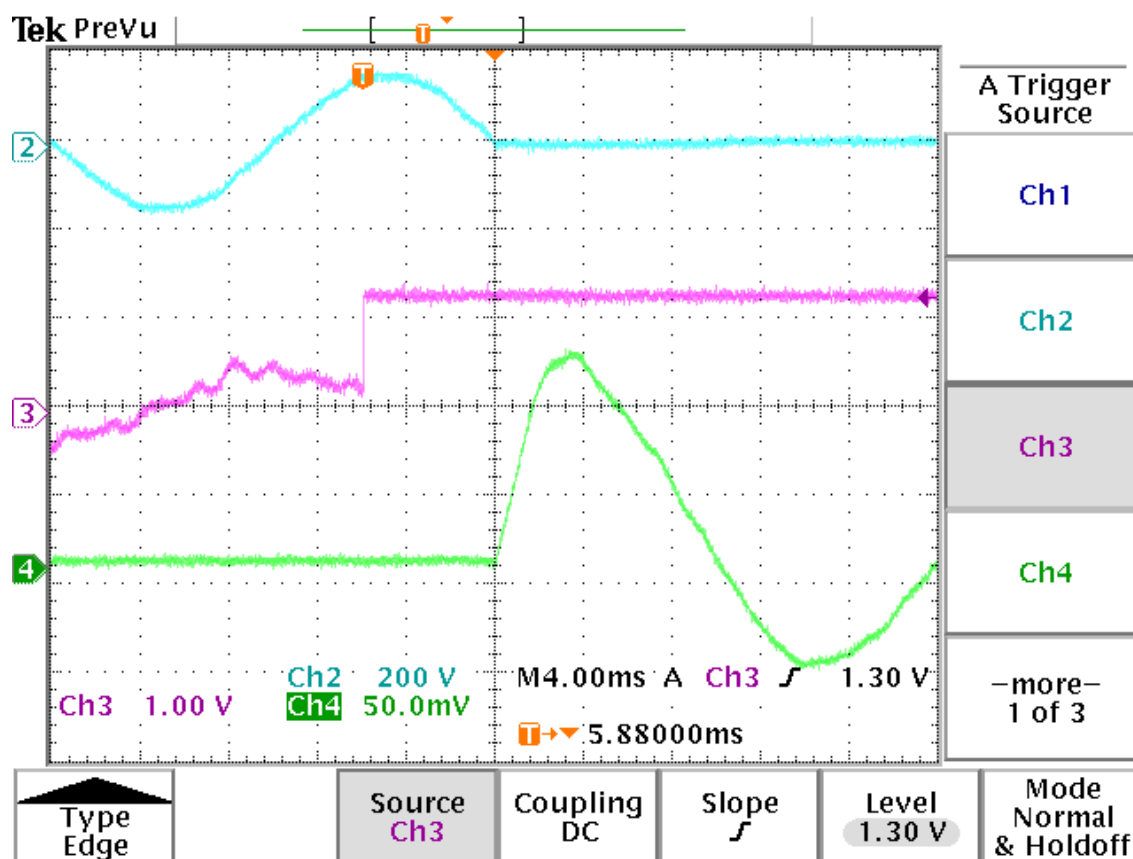


Obrázek 24- Závislost úbytku napětí na sepnutém výstupu na protékajícím proudu relé MOC3062

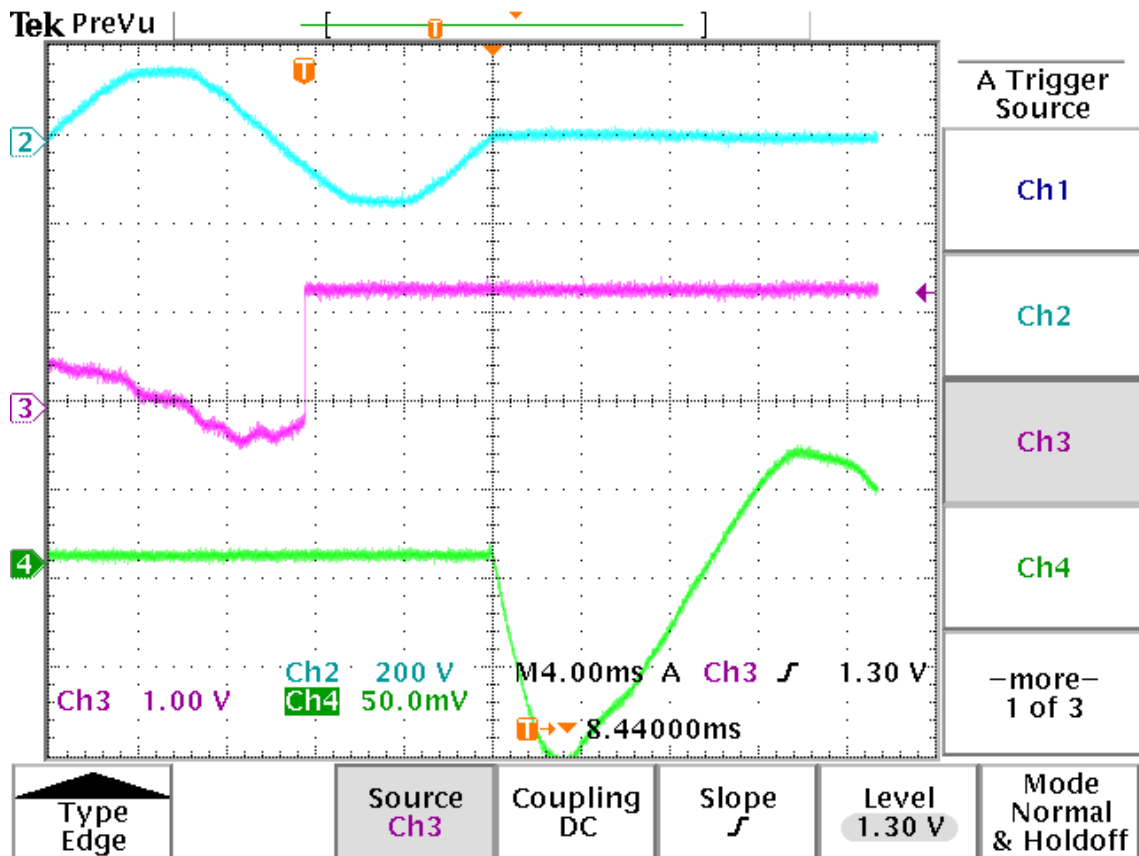


Obrázek 25-Závislost úbytku napětí na sepnutém výstupu na protékajícím proudu relé MOC3010

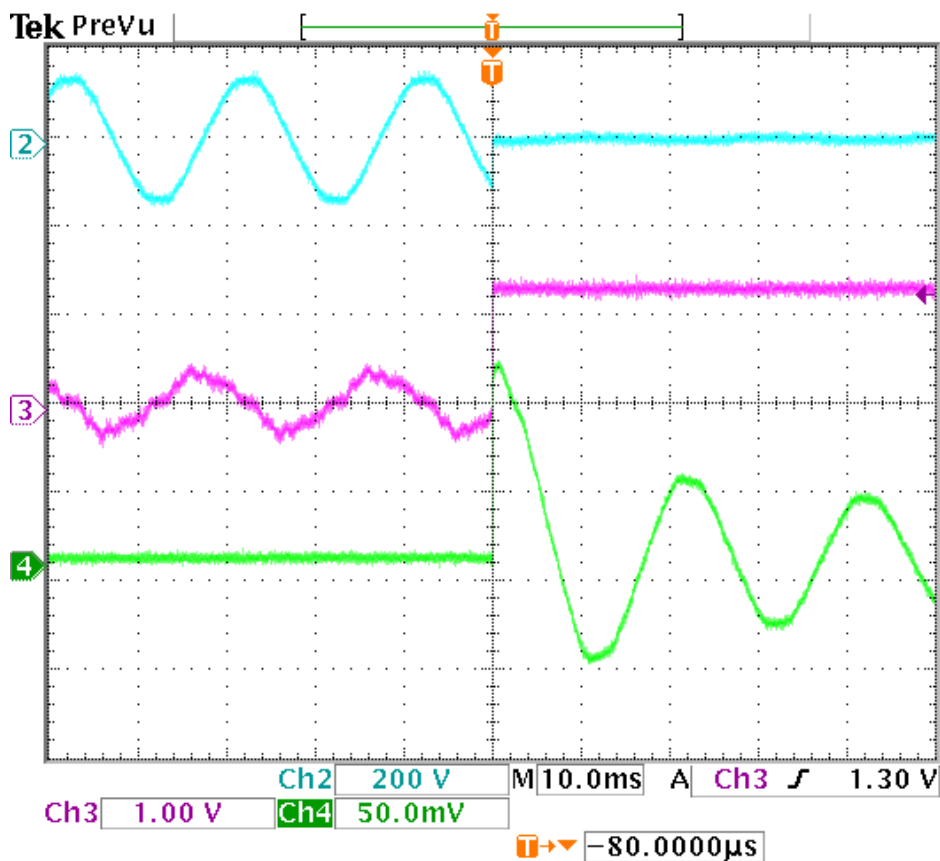
Výsledné průběhy se poněkud liší od teoretického očekávání. Je to způsobeno offsetem proudové sondy osciloskopu, který se byl použit k tomuto měření.



Obrázek 26-Spínání relé MOC3062

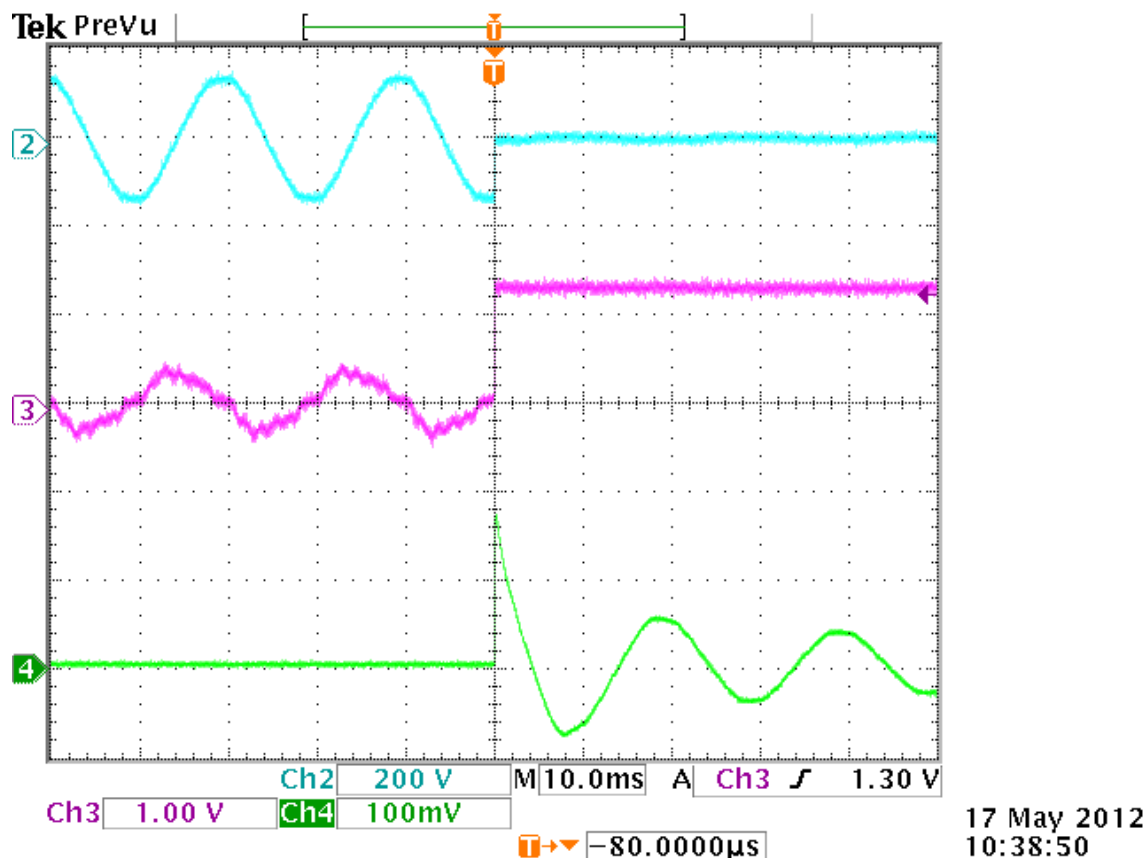


Obrázek 27-Spínání relé MOC3062



Obrázek 28-Spínání relé MOC3010

17 May 2012
10:38:11



Obrázek 29- Spínání relé MOC3010

Na obrázcích 26 až 29 můžeme vidět průběhy napětí a proudu v okamžiku sepnutí obou relé. Bledě modrý průběh je napětí na triaku, růžový je napětí na LED diodě a zelený je průběh proudu zátěží. Můžeme si všimnout zvlněného průběhu vstupního napětí na LED diodě, to je způsobeno naidukováním výstupního napětí na vstup SSR. Tato vlastnost může být v některých aplikacích na škodu. Pro zmenšení tohoto napětí můžeme zatížit vstup paralelním odporem.

Měřicí přístroje:

- Osciloskop TEKTRONIX 21178
- Ampérmetr DU10
- Zdroj SS napětí TESLA BS554 1007919
- Žárovka 230V 60W

4 Závěr

Tato bakalářská práce se po úvodních kapitolách, kde je obecně popsáno SSR, věnuje především měření charakteristik a dynamického chování SSR.

Při analyzování SSR relé a jejich porovnávání s elektromechanickým relé musíme uznat, že s dobou došlo k pokroku a SSR relé má řadu využitelných charakteristických vlastností jako jsou např. spínání a vypínání v nule, možnost postupného zvyšování zátěže, celovlnné řízení výkonu atd. Avšak především díky vysokým pořizovacím nákladům jsou často upřednostňována elektromechanická relé, která jsou lacinější. Druhou levnější variantou je pak, sestavení si SSR pomocí různých komponentů např. optron + výkonový triak, uživatel tímto docílí stejných funkcí.

Na druhou stranu i přes vysoké pořizovací náklady je SSR relé využíváno, jednak pro své vlastnosti, ale také pro kompaktní malé řešení. Přínosné je použití SSR ve výbušných prostorách, jelikož při rozpínání nedochází k hoření oblouku a díky epoxidovému pouzdru jej lze snadno použít i v prostorách se zvýšenou vlhkostí. SSR relé tak můžeme nalézt jako součást nejrůznějších produktů a to od klimatizací, přes bílé elektro, světelnou signalizaci na silnicích či zvukovou techniku.

Použitá literatura

- [1] **Krejčířík, Alexandr. 2002.** *Solid State Reley*. Praha : Nakladatelství BEN, 2002. ISBN 80-7300-081-4.
- [2] **Vondrášek, František. 2001.** *Výkonová elektronika. Sv. II, Měniče s vnější komutací. 2. vyd.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-695-9..
- [3] **Vondrášek, František. 2001.** *Výkonová elektronika Sv. I, přehled výkonových polovodičových součástek. 1. vyd.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-136-1.
- [4] **corporation, Cosmo electronics. 2011.** cosmo-ic. [Online] 2011. [Citace: 25. 05 2012.] <http://www.cosmo-ic.com/index.asp>.
- [5] **elektronikacz.** Elektronika. [Online] [Citace: 25. 05 2012.] <http://www.elektronikacz.ic.cz/>.
- [6] **Enika.** Enika. [Online] [Citace: 25. 5 2012.] http://www.enika.cz/download/pdf_katalogy_uvod/SSR_2008.pdf?PHPSESSID=2d86ea7098e2f8bbc7172f58d0d1f.
- [7] **Gavazzi, Carlo. 2010.** [Online] 2010. [Citace: 25. 05 2012.] https://www.gavazzionline.com/solid_state_relays.htm.
- [8] **GM electronic, spol. s r. o. 1990-2012.** GM electronic. [Online] 1990-2012. [Citace: 25. 05 2012.] <http://www.gme.cz/>.
- [9] **thermoprozess.** [Online] [Citace: 25. 05 2012.] <http://www.thermoprozess.cz/data/ssr.php>.
- [10] **Vacka, Ing. Zdeněk.** elproz. [Online] [Citace: 25. 5 2012.] <http://www.elproz.cz/>.