

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**M NI PRO FÁZOVÉ ÍZENÍ ST EDNÍ**  
**HODNOTY STEJNOSM RNÉHO NAP TÍ**

**BAKALÁ SKÁ PRÁCE**

**2011**

**Ond ej SADÍLEK**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej SADÍLEK**  
Osobní číslo: **D08213**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**  
Název tématu: **Měnič pro fázové řízení střední hodnoty stejnosměrného napětí**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

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

Rozbor možných přístupů k řešení jednofázového tyristorového usměrňovače.  
Specifikace komponent pro zvolenou koncepci měniče.  
Realizace navrženého systému a ověření vlastností v různých obvodech.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Pavelka, Jiří; Cerovský, Zdeněk; Lettl, Jiří. Výkonová elektronika. Vyd. 3., přeprac. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT , c2007. 227 s. ISBN 978-80-01-03626-6 (brož.)**

**Cerovský, Zdeněk ; Gric, Rudolf; Pavelka, Jiří. Výkonová elektronika I. 1. vydání, Praha: České vysoké učení technické, 1996. 196 s. ISBN 80-01-00723-5.**

Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.**

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **1. března 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Radovan Doležek, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 11. března 2011

## Prohlášení autora

Prohlazuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Vezkeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skuteností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností a do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezentováním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 25. 05. 2011

Ondřej Sadílek

## **Anotace**

Cílem bakalářské práce je seznámení se způsoby změny středního napětí a proudu na stejnosměrné napětí a proud. Práce je zaměřena především na plně řízené usměrňovače, detailní rozbor jejich řízení a chování ve vybraných obvodech. Součástí je i popis realizace čtyř plně řízených usměrňovačů, včetně popisu jednotlivých komponent a principu funkce.

## **Klíčová slova**

Usměrňovač, tyristor, fázové řízení, řídicí obvod

## **Title**

Converter for phase control average value of DC voltage

## **Annotation**

The aim of this bachelor is familiar with ways of changing the AC voltage and current to DC attributes. The work is focused on fully controlled rectifier, detailed analysis of their controlling and management in selected circuits. It also includes a description of the implementation of four fully-controlled rectifiers, within a description of the various components and operating principles.

## **Keywords**

Rectifier, thyristor, phase control, control circuit

# OBSAH

ÚVOD.....	7
1. TYPY USMĚRŮVACÍCH ZÁTĚŽÍ.....	8
1.1 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová zátěž.....	8
1.2 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová induktivní zátěž.....	10
1.3 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová induktivní zátěž, nulová dioda.....	12
1.4 řízený mŕstkový usměrňovač, odporová zátěž.....	13
1.5 řízený mŕstkový usměrňovač, odporová induktivní zátěž.....	15
1.6 Polořízený usměrňovač.....	17
2. MOŽNÉ PŘÍSTUPY K ŘÍZENÍ.....	19
2.1 řízení pomocí analogového obvodu.....	19
2.2 řízení pomocí monostabilního klopného obvodu.....	20
2.3 řízení pomocí obvodů připravených pro tuto aplikaci.....	22
3. REALIZACE VÝROBKU.....	24
3.1 Specifikace komponent.....	24
3.1.1 Tyristor.....	24
3.1.2 Řídící obvod.....	28
3.1.3 Opto izolace.....	31
3.2 Vlastní konstrukce.....	32
4. MĚŘENÍ VE VYBRANÝCH OBVODECH.....	37
4.1 řízený mŕstkový usměrňovač, odporová zátěž.....	37
4.2 řízený mŕstkový usměrňovač, odporová induktivní zátěž.....	39
4.3 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová zátěž.....	40
4.4 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová induktivní zátěž.....	42
4.5 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová induktivní zátěž, nulová dioda.....	43
ZÁVĚR.....	45
Seznam použité literatury.....	46
Seznam obrázků.....	47
Seznam tabulek.....	49
Seznam příloh.....	50

## ÚVOD

Podmínkami mé bakalářské práce jsou zejména, je-li slouží k přeměně stídatavého napětí i proudu na stejnosměrné napětí i proud, takzvané usměrňovače.

Usměrnovače zaznamenaly největší rozvoj v době, kdy se postupně upouštělo od soustav stejnosměrných, a plynule se přecházelo na soustavy stídatavé. Stídatavé soustavy mají nespornou výhodu v jednoduché transformaci napětí na požadovanou hodnotu. V aplikacích byl požadavek stejnosměrného proudu zachován (elektrická trakce, galvanické pokovování, elektrolýzy), tudíž bylo třeba, ze stídatavého proudu stejnosměrný nějakým způsobem vytvořit. Jako jedním z nejstarších usměrňovačů byl například mechanický usměrňovač, který pracoval na principu komutátoru u stejnosměrného motoru, dále pak rtuťový usměrňovač, polovodičový usměrňovač se selenovými deskami a po dnešní, využívající ke své činnosti křemíkových polovodičů. Křemíkové polovodiče a zejména z nich vyrobené patří bezesporu k nejpoužívanějším. Tento fakt je dán především snadnou dostupností, vyhovujícími parametry, velkou účinností, nízkou cenou, dobrou mechanickou odolností. Negativní vlastností řízených usměrňovačů je odběr obdélníkem aproximovatelných nesinusových proudů ze zdrojové sítě. Tyto proudy v mnoha případech nebývají ve fázi s napětím a to má za následek generování vyšších harmonických složek proudu. Při větších odebíraných prouděch tento jev může způsobit deformaci síťového napětí i rušení v podobě elektromagnetického vlnění.

Principem usměrňovače je přechod polovodičové součástky z vodivého do nevodivého stavu, přičemž každý přechod znamená změnu topologie elektrického obvodu a tím i případnou změnu směru proudu. Usměrnovače lze rozdělit dle použitých součástek na neřízené diodové, polořízené diodytyristorové, plně řízené tyristorové i tranzistorové. Dále pak dle způsobu napájení na jednofázové, třífázové a vícefázové. Dle poltu pulzu na periodu na jednopulzní, dvojpulzní, trojpulzní, zestipulzní a vícepulzní. Dle zapojení na mřížkové a uzlové.

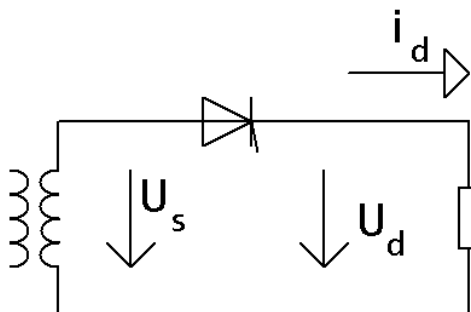
V této bakalářské práci je mým úkolem pojednat o teoretickém základu problematiky tyristorových usměrňovačů. Součástí práce je i návrh, výroba a otestování dvou typů plně řízených usměrňovačů (jednofázového jednopulzního a jednofázového dvojpulzního usměrňovače), jejich akčními členy jsou tyristory a řízení obstarává speciální obvod.

# 1. TYPY USM R OVA Ú A ZÁT PÍ

Usm r ova je m ni , který m ní st ídavé nap tí a proud na stejnosm rné nap tí a proud. Ak ním lenem v usm r ova i je polovodi , v nej ast jzím p ípad dioda i tyristor. Rozdíl mezi diodovým a tyristorovým usm r ova em je v tom, že u diodového nelze m nit st ední hodnotu výstupního stejnosm rného nap tí. U tyristorového m ni e lze pomocí ídícího proudového impulsu do ídící elektrody zvolit okam0ik, ve kterém se tyristor dostane z blokovacího režimu do režimu vodivého. Tyristor pak vede elektrický proud až do konce p lperiody. V závislosti na okam0iku sepnutí lze na výstupu ídit st ední hodnotu stejnosm rného nap tí. Úhel, o který se otev ení tyristoru zpozdí od začátku p lperiody se nazývá ídící úhel, ozna uje se nej ast ji eckým písmenem  $\alpha$ , nabývá u jednofázových usm r ova hodnot od  $0^\circ$ - $180^\circ$ . Vhodnou regulací ídícího úhlu lze m nit st ední hodnotu stejnosm rného nap tí tak ka od nuly po plné nap tí. Tyto vlastnosti tyristorovému usm r ova i p edur ují uplatn ní p edevzím v elektrických pohonech, kde lze regulovat rotorové nap tí stejnosm rných motor , proud jejich buzení i proud buzení synchronních motor a tím tak stroj m bezztrátov m nit jejich mechanické a elektrické vlastnosti. ízené usm r ova e lze vyu0ít té0 pro regulaci tepelného i sv telného výkonu.

## 1.1 ízený jednopulzní usm r ova , odporová zát ě

Jednofázový jednopulzní usm r ova sestává z jednoho tyristoru. Jedná se o základní obvod, na kterém lze problematiku usm r ova p ehledn demonstrovat, v praxi se ho vyu0ívá velice málo.



Obr. 1 - Schema jednopulzní usm r ova , R zát ě

Je-li na anodu tyristoru p ivedeno nap tí kladné p lperiody a na ídící elektrodu ídící impuls, tyristor se uvede do vodivého stavu. Na zát 0i se objeví kladné nap tí,



jeho velikost je dána aktuální hodnotou stídavého zdroje, zanedbáme-li úbytek na tyristoru. Obvodem za ne procházet elektrický proud. V případě odporové zátěže má napětí i proud zátěže stejný tvar jako napětí stídavého zdroje. Po průchodu proudem nulou se tyristor uzavře a je v další periodě připraven na obdobný cyklus. Po průchodu nulou by proud tekla opačným směrem, pro tento směr proud je tyristor v závěrném směru.

Pro vodivý stav lze vyjádřit okamžité napětí a proud stejnosměrného obvodu:

(1)

$$u_{\theta} = u_{\theta} = \sqrt{2} u_{\theta} \sin \omega t$$

Kde:

- $u_{\theta}$  - efektivní hodnota napětí zdroje
- $u_{\theta}$  - efektivní hodnota napětí zátěže
- $u_{\theta}$  - efektivní hodnota napětí tyristoru
- $\omega$  - úhlová frekvence
- $t$  - čas

(2)

$$i_{\theta} = \frac{u_{\theta}}{R} = \frac{\sqrt{2} u_{\theta} \sin \omega t}{R}$$

Kde:

- $i_{\theta}$  - efektivní hodnota proudu
- $R$  - odpor zátěže

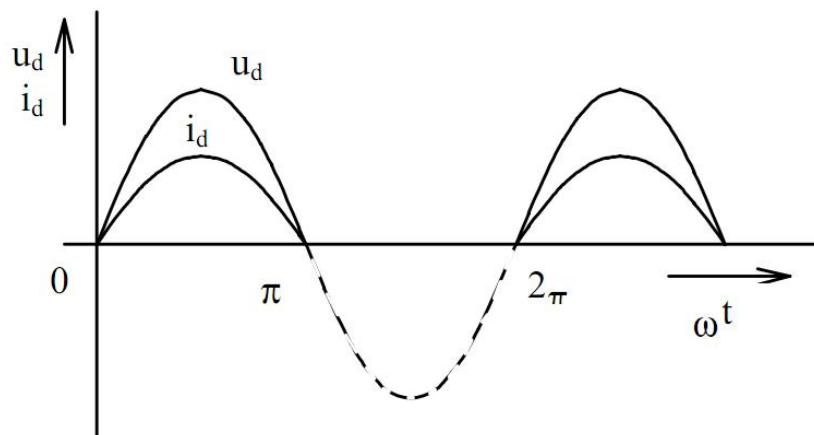
Pro střední hodnotu stejnosměrného napětí platí:

(3)

$$U_{\text{střední}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2} \sin \omega t \, d\omega t$$

Kde:

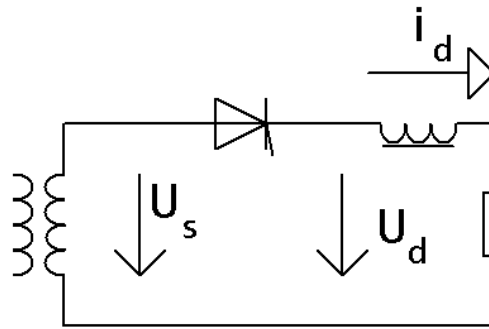
- $U_{\text{střední}}$  - střední hodnota stejnosměrného napětí
- $\omega$  - úhlová frekvence



Obr. 2 - Průběhy jednopulzní usměrňovacího napětí a proudy v R zátěži

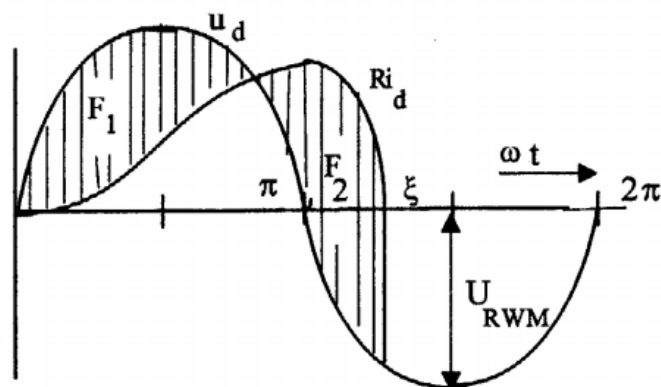
## 1.2 Řízený jednopulzní usměrňovací zdroj s odporovou a indukční zátěží

Jednopulzní usměrňovací zdroj se zátěží, kterou tvoří sériová kombinace rezistoru a cívky představuje též obdobu usměrňovacího zdroje s R zátěží. V tomto případě je část zátěže akumulativní prvek. Cívka slouží jako setrvačický proud.



Obr. 3 - Schéma jednopulzní usměrňovače, RL zátěže

Po provedení řídicího impulsu na řídicí elektrodu tyristoru se tyristor uvede do vodivého stavu. Na zátěži se objeví kladné napájecí napětí, jeho velikost je okamžitou hodnotou vstupního napětí. Rozdílem od ostatních typů usměrňovače je chování proudu. Po sepnutí tyristoru proud začne stoupat tak jako od nulové hodnoty po křivce, která odpovídá součtu sinusového a exponenciálního průběhu. V tomto případě se cívka nabíjí. Její nabíjení trvá až do doby, než výstupní napětí projde nulou. Od tohoto okamžiku se cívka vybíjí, přičemž tyristor je stále otevřen. Po odeznání proudu cívky se tyristor uzavře. Vyznačené plochy  $F_1$  a  $F_2$  znázorňují nabíjení a vybíjení indukčnosti. Ze zákona zachování energie musí být rozdíl ploch roven 0.

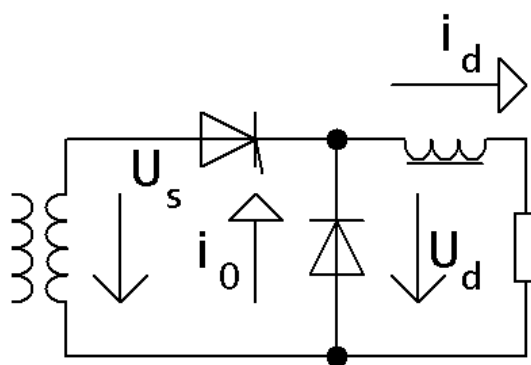


Obr. 4 - Průběhy jednopulzní usměrňovače, RL zátěže

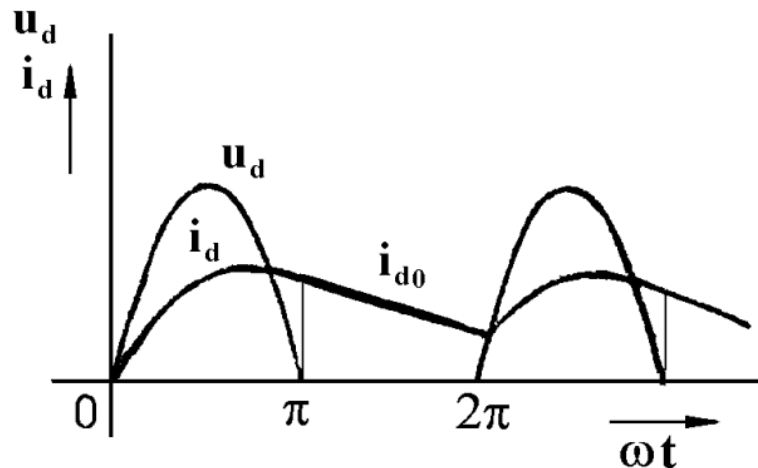
Z průběhu (Obr. 4) je patrné, že se na výstup mimo kladné p lperiody dostane i část periody záporné. Záporná část snižuje střední hodnotu výstupního napětí. Tento negativní jev lze eliminovat paralelním připojením záporně polarizované diody k zátěži.

### 1.3 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová, indukční zátěž, nulová dioda

Pro eliminaci záporné části periody se používá tzv. nulová dioda, která se zapojuje paralelně k zátěži v nepropustném směru. Vede-li tyristor proud, cívka se nabíjí. Nulovou diodou v této fázi neprochází žádný proud. V okamžiku průchodu napětí nulou se začne vybíjet indukčnost právě přes nulovou diodu. Tyristor se uzavře v okamžiku průchodu napětí nulou. Vybíjecí proud cívky se uzavírá přes nulovou diodu a zátěž do dalšího cyklu. Nejenom, že se tímto zapojením zbavíme záporné části p lperiody, ale dochází též k vyhlazení proudu. Jestliže se proud zátěže dostane na nulovou hodnotu ještě dříve, než přijde následující cyklus, hovoříme o tzv. přerušovaném proudu. Toho lze snadno dosáhnout při nastavení velikého řídicího úhlu. Jestliže je proud spojitý a v záporné části periody neklesne k nule, hovoříme o tzv. nepřerušovaném proudu.



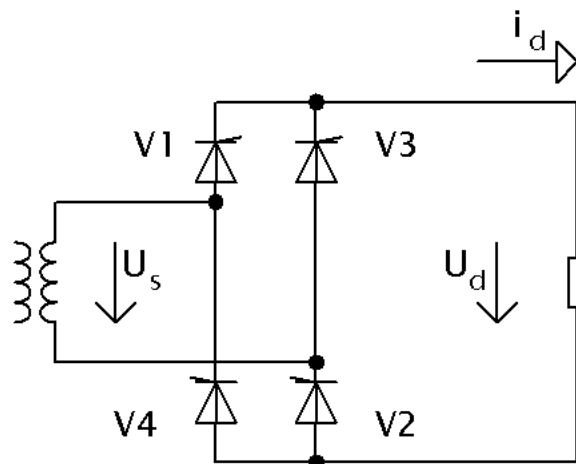
Obr. 5 - Schéma jednopulzní usměrňovač, RL zátěž a nulová dioda



Obr. 6 - Průběhy jednopulzní usměrňovače, RL zátěže a nulová dioda

#### 1.4 řízený mstkový usměrňovač, odporová zátěž

Jednofázový mstkový usměrňovač, též nazývaný jako Grecký most, sestává ze střídavého zdroje, čtyřech tyristorů a zátěže.



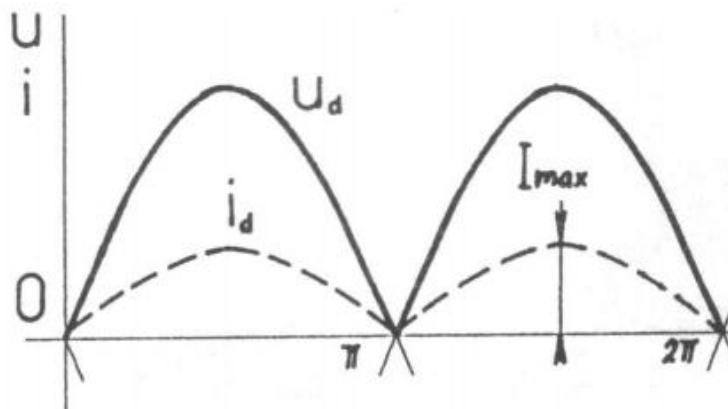
Obr. 7- Schéma mstkový usměrňovač, R zátěž

Na rozdíl od ostatních typů usměrňovačů se na vedení proudu musí podílet vždy dva tyristory, jeden z vrchní strany, druhý vždy ze spodní. Polarizace tyristorů v jednotlivých odvětvích je taková, že v horní odvětví vede ten tyristor, který má nejvyšší kladné anodové napětí. V dolní odvětví vede ten tyristor, který má nejvyšší záporné katodové napětí. Tedy, v jedné polaritě vstupního napětí vedou tyristory V1 a V2, v opačné polaritě vstupního napětí vedou tyristory V3 a V4. V žádném okamžiku nemohou vést tyristory v jedné odvětví společně.

Tyristory z jedné řady vedou společně jen v jeden specifický okamžik, který označujeme jako komutace. V tomto krátkém okamžiku je zdroj ve zkratu a jednotlivé tyristory si přebírají vedení proudu.

Pro plně řízený usměrňovač jsou kladeny vysoké nároky na řídicí obvod. Ten musí zabezpečit, aby se řídicí impuls dostal na řídicí elektrodu správných tyristorů a ve stejný okamžik. Dále je nutno zajistit galvanické oddělení jednotlivých zdrojů řídicích impulsů, nebo je každý tyristor, jako tomu bylo u uzlového usměrňovače, na jiném potenciálu.

V případě čistě odporové zátěže nemá výstupní napětí a proud žádný fázový posuv a deformaci. V okamžiku sepnutí tyristoru se na zátěži objeví okamžitá hodnota napětí a proudu.



Obr. 8 - Průběhy mstkového usměrňovače, R zátěže

Ze zapojení mstkového usměrňovače též vyplývá, že hodnota závěrného a blokovacího napětí je stejná.

Pro střední hodnotu výstupního napětí platí:

(4)

$$U_{\text{střední}} = \frac{1}{\pi} U_{\text{max}} \sqrt{2} \sin \alpha$$

Kde:

- $U_{\text{střední}}$  - střední výstupní napětí
- $U_{\text{max}}$  - řídicí úroveň
- $U_{\text{max}}$  - maximální výstupní napětí
- $\alpha$  - úhlová frekvence
- $\pi$  - čísla

Pro maximální závěsné pracovní napětí platí:

(5)

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} U_{\text{eff}}$$

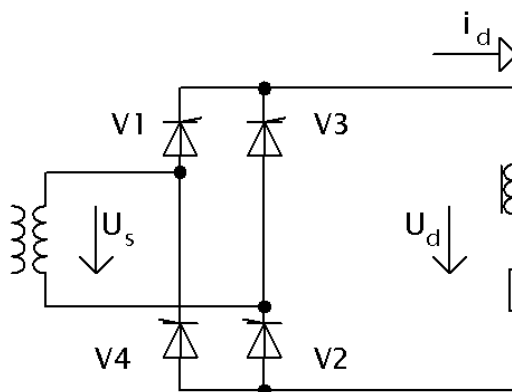
Kde:

- $U_{\text{max}}$  - maximální řídicí úroveň
- $U_{\text{eff}}$  - efektivní výstupní napětí

Motkový usměrňovač má výhodu v jednoduchosti střídavého zdroje bez vyvedeného středu a ve větším vyhlazení výstupního napětí. Motkový plně řízený usměrňovač lze provozovat v invertorovém režimu a tím tak vrátit energii napáklad z rekuperačního brzdění zpět do sítě.

### 1.5 Řízený motkový usměrňovač, odporová indukční zátěž

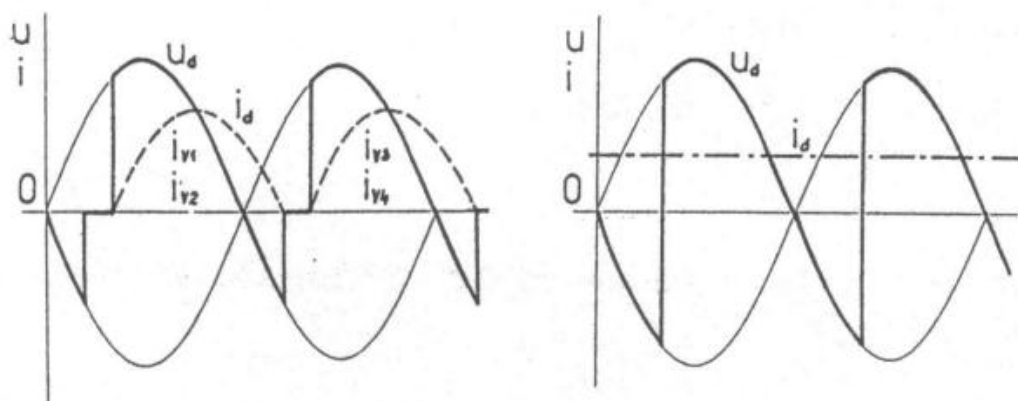
Motkový usměrňovač, jehož zátěž tvoří sériová kombinace rezistoru a cívky představuje obdobu motkového usměrňovače s odporovou zátěží. Jako tomu bylo u usměrňovače jednopulzního, cívka a její indukčnost bude mít opět vliv na průběh výstupního proudu.



Obr. 9 - Schéma m stkový usm r ova , RL zát ě

Jestli0e se tyristory V1 a V2 (pop . V2 a V3) nacházejí v blokovacím stavu, lze je ídícím impulzem sepnout. Na zát ůi se objeví kladné nap tí okam0ité hodnoty vstupního nap tí. Jeliko0 je do obvodu za azen setrva ník proudu, proud za ne stoupat od nulové hodnoty a0 do maximální hodnoty, cívka se nabíjí. Po pr chodu nap tí nulou je cívka vybíjena. Po vy erpání vezkeré energie cívky se tyristor uzav e. Pokud se energie cívky vy erpá jezt p ed p íchodem ídících impulz na druhý pár tyristor , hovo íme op t o p eruzovaném proudu. Jestli0e do obvodu zapojíme cívku o veliké induk nosti, lze dosáhnout proudu nep eruzovaného. Výstupní proud je poté vyhlazen.

Nevýhodou tohoto zapojení jsou záporné zpi ky, které sni0ují st ední hodnotu výstupního nap tí.

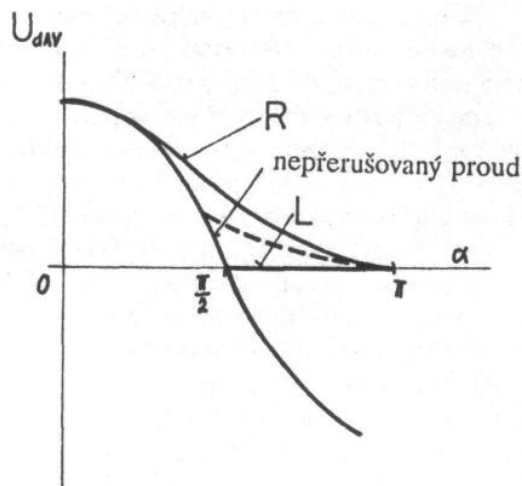


Obr. 10 - Pr b hy m stkový usm r ova , RL zát ě



Závislost střední hodnoty stejnosměrného proudu na řídicím úhlu se nazývá řídicí charakteristika. Jedná se o dleřitou charakteristiku popisující napřevé schopnosti mni e.

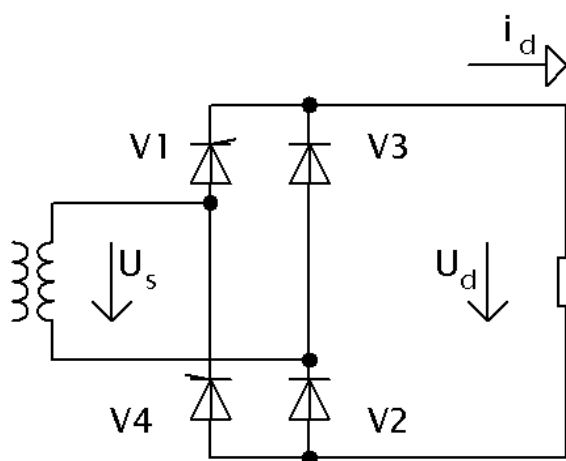
řidcí charakteristika:



Obr. 11 - řidcí charakteristika mřtkový usmřova , RL zátř

### 1.6 Polo řzený usmřova

Pod pojmem polo řzený usmřova si lze pedstavit usmřova , ve kterém je pár polovodiřne řzených a pár řzených.



Obr. 12 - Schéma polo řzený usmřova , R zátř

V případě, kdy je na V1 blokovácí napětí a na katodě V2 záporné napětí, proud obvodem neprochází. Při jíde-li na řídicí elektrodu řídicí impulz, tyristor se otevře. Na anodě diody V2 se objeví kladné napětí a dioda též otevře.

Polovičkový usměrňovač je levnější variantou usměrňovače plně řízeného. Řídicí obvody nejsou tak složité. Na rozdíl od plně řízeného ho nelze provozovat v invertorovém režimu.

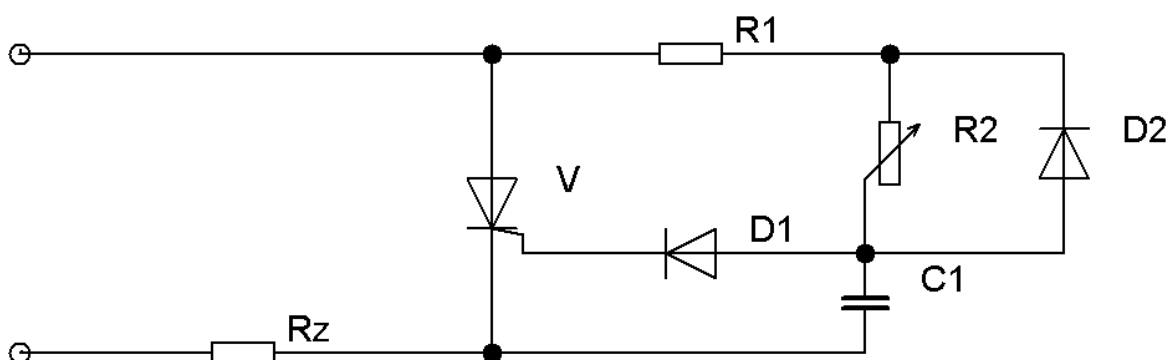
## 2. MOBNÉ P ÍSTUPY K EÜENÍ ÍZENÍ

Stoební ástí ízených usm r ova jsou ídící obvody. Jsou to obvody, které mají za úkol generovat dostatečně dlouhý a dostatečně velký proudový impuls do ídící elektrody tyristoru. Obvody musí detekovat průchod napětí nulou a od tohoto okamžiku definovanou dobu vykat až do vygenerování proudového impulsu. Na přesnosti a spolehlivosti těchto obvodů závisí bezchybný chod výkonové části usm r ova e.

Další vlastností těchto obvodů je galvanické oddělení jak samotných výstupů připojených k jednotlivým tyristorům mezi sebou, tak oddělení výkonové části od části ídící. Vlastních případech se tyristory používají pro napětí až několik desítek kV a jejich ídící obvody jsou složitá zařízení pracující v součinnosti s dalšími systémy. Je tudíž nepřípustné, aby porucha na výkonové části znehodnotila i drahý ídící systém.

### 2.1 ízení pomocí analogového obvodu

ízení pomocí analogového obvodu patří mezi nejjednodušší formy ízení tyristoru. Popisovaný ídící obvod se skládá z rezistoru, potenciometru, dvou diod a kondenzátoru.



Obr. 13 - Schéma analogový ídící obvod

V době, kdy tyristor nevede elektrický proud je na jeho anodě záporné napětí. Proud protéká do ídícího obvodu přes rezistor R1 a přes diodu D2, která je pro tuto polaritu napětí otevřená. Nabíjí se kondenzátor C1. Otočíte-li se polarita zdroje tak, že se tyristor nachází v blokovacím stavu, začne se kondenzátor C1 přebíjet přes

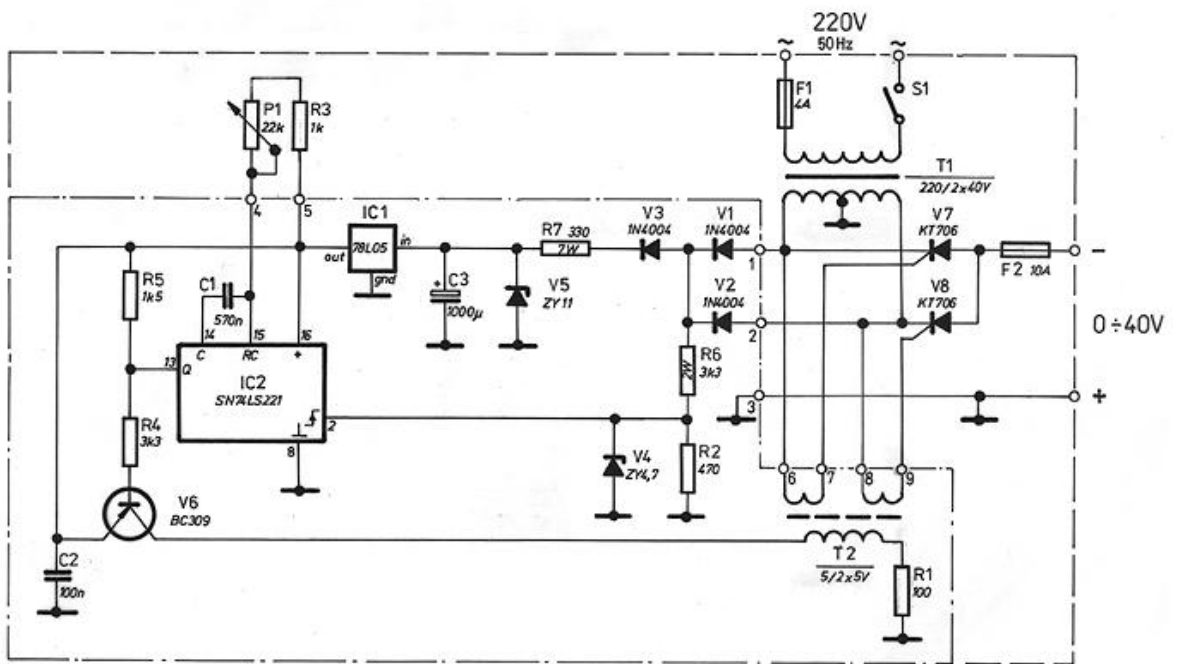
potenciometr R2 na opa nou polaritu. Dioda D2 je v této fázi v uzav eném stavu. P esáhne-li nap tí kondenzátoru hodnotu prahového nap tí diody D1, je vygenerován impuls do ídicí elektrody tyristoru. Tyristor otev e, na zát 0i se objeví kladné nap tí a za ne jí procházet proud. Po pr chodu proudu nulou se tyristor uzav e a za ne se nabíjet kondenzátor C1. Cyklus tak probíhá dále dle popsaného postupu.

Obvod lze za adit do skupiny nejjednoduzzích analogových ídicích obvod . Jeho nespornou výhodou je jeho jednoduchost a hlavn cena. Nevýhodou je nep esné nastavování ídicího úhlu, které m 0e být ovlivn no stavem elektrolytu v kondenzátoru. Po n kolikaletém provozu v prostorech s vysokou pr m rnou teplotou se vlastnosti od nového výrobku m 0ou zna n lizit. Tudí0 je tento obvod p edur en pro nejjednoduzzí aplikace, kde na p esnosti v takové mí e nezále0í. Je to nap íklad regulace tepelného i sv telného výkonu.

## **2.2 ízení pomocí monostabilního klopného obvodu**

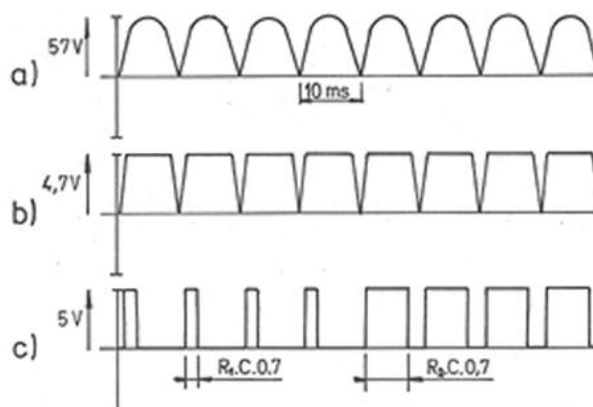
Monostabilní klopný obvod je obvod, který má na výstupních svorkách jeden stálý stav. Z tohoto stavu jej lze p epnout spouzt cím signálem. Obvod se po jistém ase op t vrátí do svého stabilního stavu. Tyto vlastnosti p edur ují monostabilní klopný obvod pro zpo0 ovací obvody, kterým v podstat ídicí obvod tyristoru je.

Typickým p edstavitelem ezení ídicího obvodu pomocí monostabilního klopného obvodu je uvedeno na ní0e uvedeném schématu.

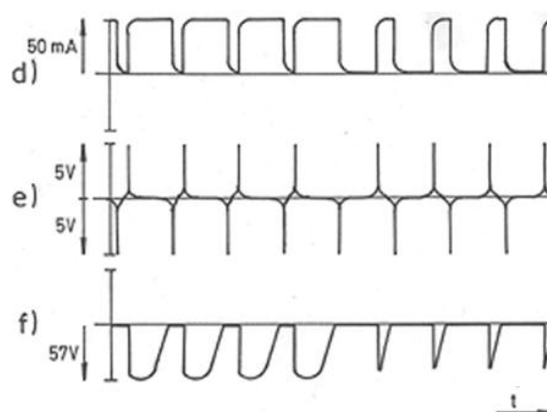


Obr. 14 - Schéma řízení pomocí monostabilního klopného obvodu

Celý modul slouží pro řízení uzlového usm r ova e. Sí ový transformátor T1 s vyvedeným st edem transformuje sí ové nap tí na požadovanou hodnotu nap tí (Obr. 15-a). Diody V1 a V2 slouží jako usm r ova a jeho výstupním nap tím je napájen ídicí obvod. Zenerova dioda V4 a rezistor R6 tvaruje spouzt cí impulsy (Obr. 15-b), které jsou vedeny na vstup klopného obvodu uvnitř IC2. Vzestupná hrana spouzt cího impulsu obvod uvede z logické 0 na logickou 1 (Obr. 15-c). Délku trvání logické 1 nastavujeme potenciometrem P1. Jestli0e je výstup v logické 1, je tranzistor V6 sepnut a primárním vinutím transformátoru T2 prochází proud (Obr. 16-d). V okam0iku p epnutí obvodu z logické 1 do logické 0 se tranzistor V6 uzav e. Tato asová zm na proudu naindukuje dle Faradayova zákona v sekundárním vinutí transformátoru T2 ídicí impuls (Obr. 16-e). Ten je veden do ídicí elektrody tyristor V7 a V8, p i em0 sepne tyristor, nacházející se v blokovacím stavu. Výstupní nap tí je znázorn ěno na Obr. 16-f.



Obr. 15 - Pr b hy signál monostabil- 1. ást



Obr. 16 - Pr b hy signál monostabil- 2. ást

### 2.3 řízení pomocí obvodů přímo určených pro tuto aplikaci

V aplikacích, kde je potřeba přesná a spolehlivá minutí řídicí úhel, je využíváno speciálních řídicích obvodů. Tyto obvody jsou prvotně určeny právě pro tyto aplikace. Ve většině případů se jedná o univerzální obvody, na které lze s příslušnými úpravami připojit jak tyristor, tranzistor i triak. Vhodným řízením obvodu lze ovládat několik spínacích součástí najednou.

Pro svůj výrobek jsem vybral řídicí obvod TCA785 z produkce firmy Siemens i Infineon. Podrobný popis tohoto obvodu bude k dispozici v následující kapitole.

Obvod TCA785 není jediný řídicí obvod na trhu, v tabulce je uvedeno dalších několik obvodů se stručně popsánymi vlastnostmi.

označení	pouzdro	max.puls.výstup.proud I <sub>g</sub> [mA]	pozn.
U209B	DIP14	155	tacho monitor, softstart ,
U211B	DIP18	155	proud.kontrola, softstart , tacho monitor, limitace rychlosti
U2008B	DIP8	125	minimum externích součástek, proud.kontrola
U2010B	DIP16	125	proud.kontrola, softstart
U209B-xFP	SO16	155	tacho monitor, softstart ,
U211B-xFP	SO16	155	proud.kontrola, integr. softstart, tacho monitor, limitace rychlosti
U2008B-xFP	SO8	125	minimum externích součástek, proud.kontrola
U2010B-xFP	SO16	125	proud.kontrola, softstart

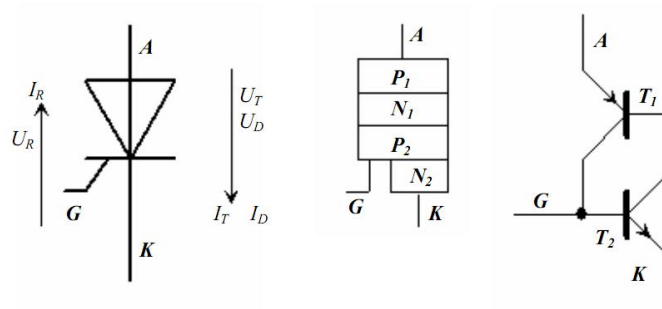
**Tab. 1 - P ehled obvod vhodných pro řízení**

### 3. REALIZACE VÝROBKU

#### 3.1 Specifikace komponent

##### 3.1.1 Tyristor

Tyristor patří k součástkám s řízeným zapínáním. Lze jej řídicím impulzem zapnout, ale nelze je řídicím impulsem vypnout. Tyristor ve svém pouzdře ukrývá čtyři vrstvy polovodičů P1, N1, P2, N2 a tři PN přechody J1, J2 a J3.



Obr. 17 - Tyristor - vnitřní a náhradní schéma, popis elektrod

Je-li na anodu tyristoru přivedeno kladné napětí a na katodu záporné, tyristor se nachází v blokovacím stavu: Tento stav je charakterizován tím, že tyristor stále nevede proud. Přivedeme-li do řídicí elektrody, tzv. gate, kladný proudový impulz, tyristor se otevře a vede proud tak dlouho, dokud proud teče. Uvedený mechanismus lze vysvětlit na náhradním schématu tyristoru pomocí dvou tranzistorů. Předpokládáme blokovací stav. Na gate, tj. bázi T2 přivedeme proudový impulz, ten sepně T2 a tím se dostane proud na bázi T1, který tím pádem také sepně. Sepnutým T1 protече proud na bázi T2 a tím ho drží stále sepnut.

Další důležitou částí v popisu součástky je výstupní V-A charakteristika. Ta se skládá ze dvou částí. První částí je závěrná část, která charakterizuje chování tyristoru v závěrném stavu. Jak je z charakteristiky patrné, v závěrném směru prochází součástkou pouze malý proud, to je dáno velkým závěrným odporem, jehož hodnota dosahuje až  $10^6 \Omega$ . Důležitým mezníkem na závěrné charakteristice je napětí  $U_{BR}$ , které udává, při jakém napětí začne proud převyžovat stanovenou hodnotu.  $U_{RWM}$  udává nejvyšší povolenou opakovatelnou hodnotu napětí v konkrétní aplikaci.  $U_{RRM}$  udává nejvyšší možnou opakovatelnou hodnotu jakéhokoli napětí. V blokovací části charakteristiky je na tyristoru opačné napětí než ve stavu



záporném. Odpor tyristoru v blokovacím režimu je též známý, dosahuje hodnot až  $10^6 \Omega$ .  $U_{DWM}$  udává nejvyšší možnou hodnotu opakovatelného blokovacího napětí v konkrétní aplikaci.  $U_{DRM}$  udává nejvyšší možnou hodnotu blokovacího napětí garantovanou výrobcem.  $U_{BO}$  je napětí, při kterém tyristor sepne bez připojeného řídicího impulsu. Propustná vteň je lineární závislostí napětí tyristoru na jeho proudu. Udává nám, jak veliký úbytek lze na součástce očekávat při průchodu konkrétního proudu. Úbytek na součástce je dleřitým parametrem pro výpočet ztrátového výkonu a s tím spojeného chlazení. V praxi se úbytek na tyristorech pohybuje od 1 V do 3 V.

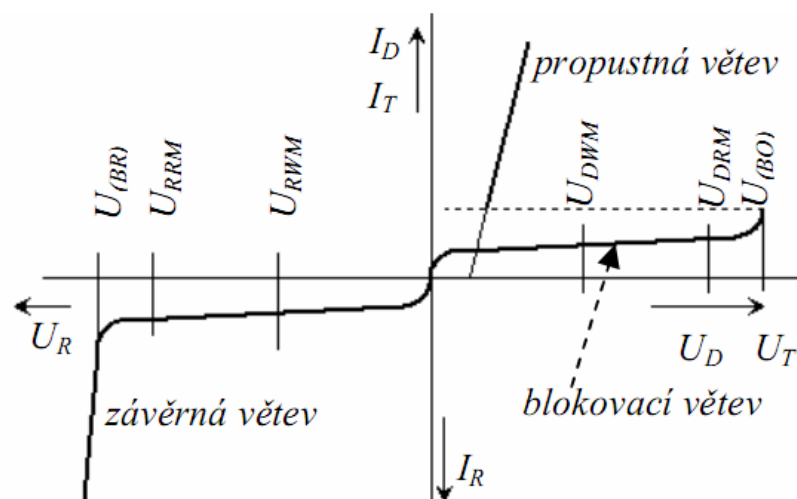
Pro ztrátový výkon platí:

(6)

$$P_{(T)} = U \cdot I \cdot t_p \cdot f \cdot \eta$$

Kde:

- $P_{(T)}$  - ztrátový výkon součástky
- $U$  - úbytek napětí na součástce
- $I$  - proud součástky
- $t_p$  - dořitá dořitá dořitá
- $f$  - frekvence průřití
- $\eta$  - účinnost chlazení



Obr. 18 - VA charakteristika tyristoru

Pro zapnutí tyristoru musí být splněny tyto podmínky:

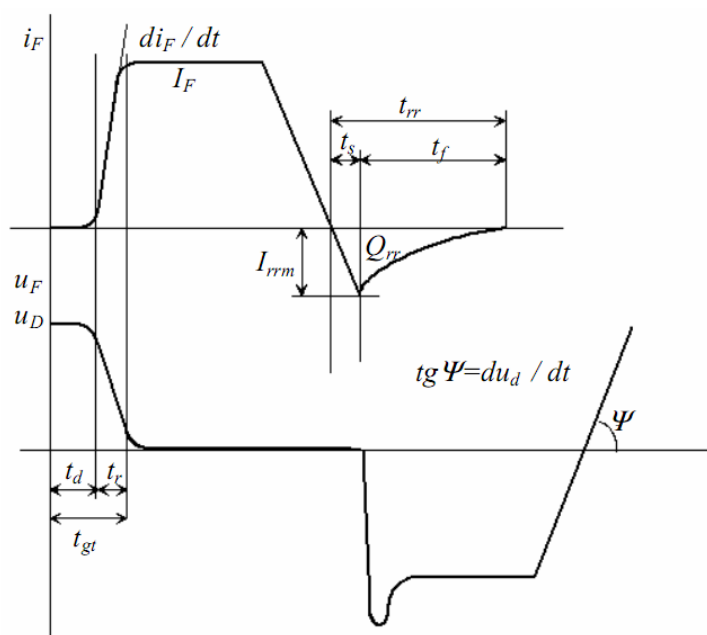
- Tyristor se musí nacházet v blokovacím režimu
- Na řídicí elektrodu je přiveden dostatečně velký impulz
- Na řídicí elektrodu je přiveden dostatečně dlouhý impulz

Strmost nárůstu proudu tyristorem nesmí být větší než jistá mez, vlivem velkého proudu procházejícího skrz postupně otevírající součástku by došlo k lokálnímu přehřevu a součástka by se mohla zničit

Pro vypnutí tyristoru musí být splněny tyto podmínky:

- Tyristorem neprochází žádný proud
- Na tyristoru je záporné napětí alespoň po definované dlouhou dobu
- Strmost blokovacího napětí nesmí přesáhnout kritickou hodnotu udanou výrobcem

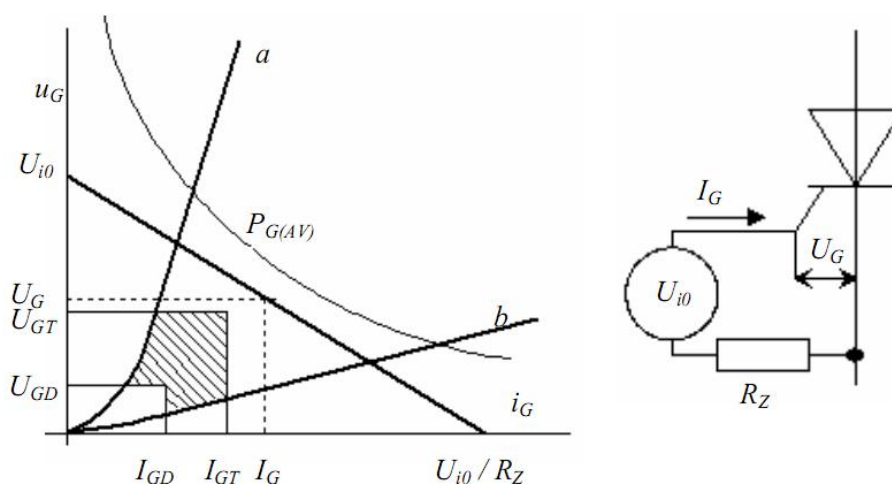
Mechanismus zapnutí a vypnutí je uveden na následujícím grafu.



Obr. 19 - Zapínání a vypínání tyristoru

Po příchodu řídicího impulsu se doba  $t_d$  nic neděje. Po uplynutí tohoto zpoždění začne klesat blokovací napětí, s tím je spojen i vzrůst proudu tyristorem až do ustáleného stavu. Jestliže chceme tyristor vypnout, musí klesnout proud k nule. Po dobu  $t_s$  teče tyristorem veliký závěrný proud, který odvádí komutační náboj  $Q_{rr}$ . Po uplynutí doby  $t_s$  se začne závěrný proud zmenšovat, až dosáhne hodnoty přibližně 0 A. časový úsek označený jako  $t_{rr}$  nazýváme dobou zotavení závěrného proudu.

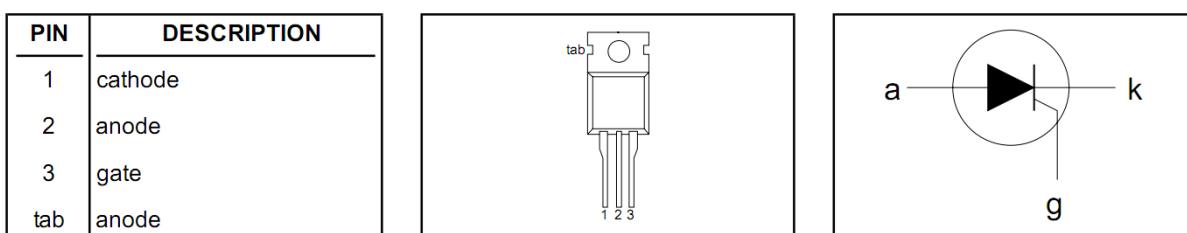
Další charakteristikou popisující tyristor je vstupní V-A charakteristika. Jedná se ve své podstatě o V-A charakteristiku přechodu katoda-gate. Ze vstupní charakteristiky lze získat hodnoty napětí a proudu, které když provedeme na gate tyristoru, tak jistě sepne. Oblast těchto napětí a proudu se nachází ve vyznačené části grafu.



Obr. 20 - Výstupní V-A charakteristika

Pro svůj výrobek jsem zvolil tyristory s označením BT152/800R od firmy Philips Semiconductors. Jedná se o tyristory v pouzdře TO220. Výběr na tento tyristor jsem zůžil po vyhodnocení všech rozhodujících faktorů. Mezi nejdůležitější patří dostatečné proudové a napěťové dimenzování pro mou aplikaci. Předpokládá se napájení síťovým napětím 230 V<sub>ef</sub> s odběrem maximálně 5 A. Tyristor by měl dle katalogového listu spolehlivě pracovat až do hodnoty proudu 20 A<sub>ef</sub> a jeho napětí U<sub>DRM</sub> a U<sub>RRM</sub> je dle datasheetu 800 V, což je pro mou aplikaci více než dostatečné. Rozhodujícím faktorem při výběru byla i dostupnost na trhu v požadovaném množství a přijatelná cena. Příjemným parametrem je i hodnota neopakovatelného

proudového impulsu  $I_{TSM}$ , který je schopen tyristor bez poškození snést. Hodnota tohoto proudového impulsu dosahuje pro  $t_{SM}$  10 ms hodnoty až 200 A. Tento parametr vidím jako velice důležitý při používání modulů ve výuce, kde se může přihodit závada na vnějším obvodu, což nemusí nutně znamenat výměnu výkonových součástek. Předpokládá se ovšem v zásadě vybavení rychlých tavných pojistek. Proud zapalovacího impulsu  $I_{GT}$  by se měl pohybovat v rozmezí 3 až 32 mA. Návrh součástky a popis jednotlivých pinů je uveden na obrázku (Obr. 21).



Obr. 21 - Popis elektrod tyristoru

### 3.1.2 řídicí obvod

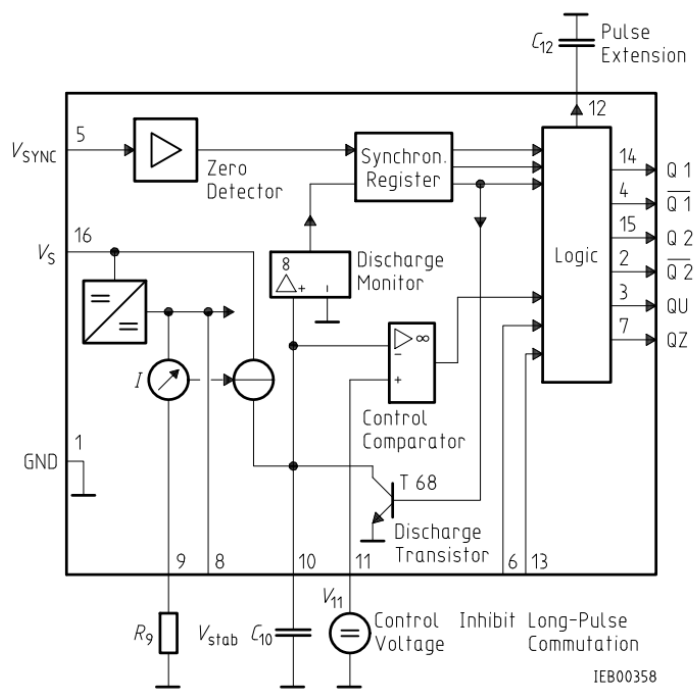
řízení uvedených tyristorů obstarává řídicí obvod TCA785 v pouzdře DIP-16. Obvod se vyznačuje širokou univerzálností použití. Vhodným pro tento obvod lze řídit i vícefázové soustavy. Další výhodou je schopnost obvodu pracovat v širokém spektru teplot okolního prostředí, -25 až 85 °C. Tím je obvod předurčen pro využití i v těch nejtěžších podmínkách. Obvod pro řízení jsem vybral hlavně díky univerzálnosti jeho použití a dostupnosti na trhu. Obvod vyrábí dvě firmy, Siemens a Infineon Technologies, které patří mezi přední výrobce polovodičové a přímé elektroniky.

řídicí obvod představuje jádro řídicí části usměrňovače, jeho napájecí napětí se pohybuje od 8 V do 18 V DC. Potřebné napětí se získává ze vstupního napětí tak, že se vstupní napětí zmenší o úbytek na výkonovém odporu, dále je jednoduše usměrněno diodou a následně stabilizováno Zenerovou diodou. Případné zvlnění je vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem. Pracovní frekvence obvodu je od 10 do 500 Hz.

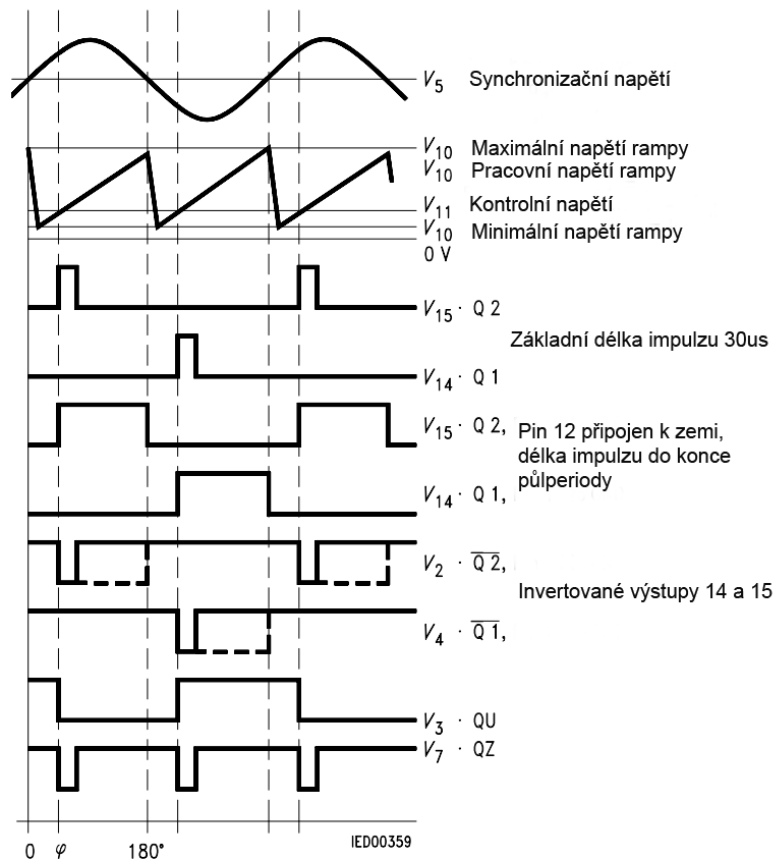
Obvod obsahuje dva výstupy (piny 14 a 15), na kterých jsou generovány proudové impulsy pro řízení spínacích součástek. V kladné poloze vstupního napětí je generován řídicí impuls na pinu 15, v záporné na pinu 14. Vyřazení

problému galvanického oddělení od výkonové části a zároveň spínání pomocí dvou signálů tyristorů vyžily násobný opto izolátor a proudový zdroj řídicích impulsů. Každý z výstupů obvodu je veden na sériovou kombinaci dvou opto izolátorů. Po příchodu řídicího impulsu jsou sepnuty dva tranzistory, které spojují obvod proudového zdroje s katodou opto izolátoru. Proudový zdroj tvoří dva transformátory s dvojitým sekundárním vinutím, usměrňovací misky, vyhlazovací kondenzátory a proud omezující rezistory o hodnotě 1 kΩ. Sekundární napětí transformátor je 9 V<sub>ef</sub>, po usměrnění a vyhlazení 11 V. Dle těchto hodnot lze vypočítat, že proudový impuls proudového zdroje dosahuje hodnoty kolem 10 mA, což je hodnota pro sepnutí tyristoru dostatečná. Více sekundárních vinutí je třeba z důvodů rozdílných potenciálů jednotlivých tyristorů.

Synchronizační napětí se získá z napájecího napětí přes rezistor s velkým odporem. Toto napětí je vedeno na pin 5. Příchod napětí nulou je vyhodnocováno v detektoru nulového napětí. Dále je signál přiveden do synchronizačního registru. Synchronizační registr řídí generátor rampy, přičemž kondenzátor C10 je nabíjen konstantním proudem. Velikost nabíjecího proudu je řízena rezistorem R9. Jestliže napětí na kondenzátoru C10 (napětí na rampě) přesáhne řízené napětí na pinu 11, obvod vygeneruje kladný proudový impuls na pin 14 a 15. Impulzy jsou generovány s fázovým posuvem 0° a 180° a defaultní délkou 30 us. Jestliže spojíme pin 12 se zemí, impulzy jsou prodlouženy na dobu zbývajících 1 periody.



Obr. 22 - Vnitní schéma řídicího obvodu

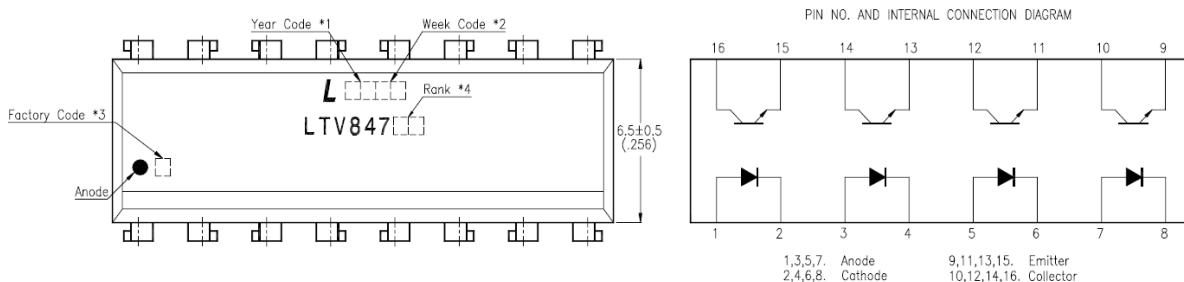


Obr. 23 - Průběhy vybraných signálů v řídicím obvodu

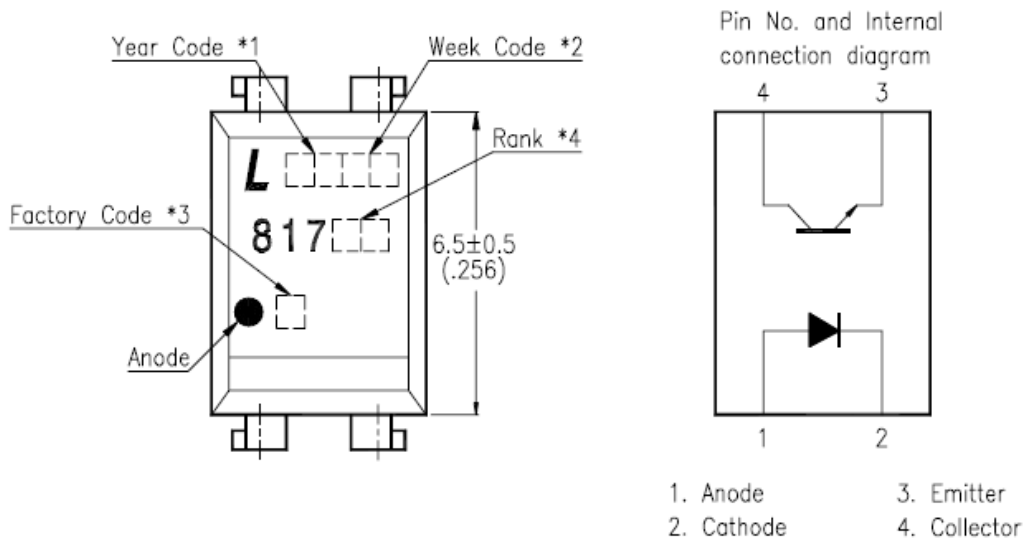
### 3.1.3 Opto len

Pro galvanické oddělení signální části od části výkonové jsem využil opto len a to konkrétně čtyřnásobného LTV-847 a jednoduchého LTV-817. Opto len je součástka tvořená LED diodou a fototranzistorem. Diodou procházející proud způsobí rozsvícení diody, vzniklé světlo začne otevírat tranzistor, který následně vést proud. Výhodou této součástky je vysoká napěťová odolnost, která pro m je vybraný obvod činí až 5 000 V. Vstupní proud diody je 50 mA, závěrné napětí 6 V a výkonová ztráta 70 mW. Pro tranzistor je kolektorový proud též 50 mA, napětí kolektor-emitor 35 V, napětí emitor-kolektor 6 V a výkonová ztráta 150 mW. Celková výkonová ztráta je dle datasheetu 200 mW. Pracovní napětí je od -30 do 100 °C.

Na obrázku (Obr. 24 a 25) je vyobrazeno vnitřní zapojení.



Obr. 24 - Vnitřní schéma a popis pinů čtyřnásobného opto lenu



Obr. 25 - Vnitřní schéma a popis jednotlivých pinů jednoduchého opto lenu

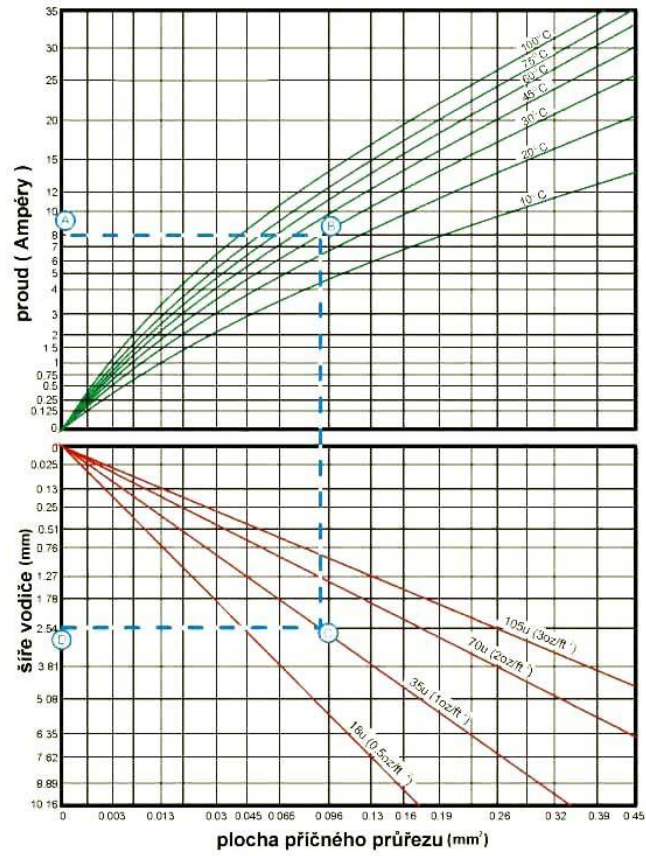
### 3.2 Vlastní konstrukce

Jádrum konstrukce je řídicí obvod TCA 785 spolu se čtyřmi tyristory v případě dvoupulzního usměrňovače, v případě jednopulzního s jedním tyristorem. Zapojení modul vychází z doporučeného zapojení, které je uvedeno v datasheetu řídicího obvodu. Využil jsem tedy pro napájení obvodu již ověřené zapojení, které získává potřebné napětí z napětí vstupního. Tímto je modul omezen poměrně úzkým rozsahem vstupního napětí. Při nízkém vstupním napětí by nebylo splněno minimální napájecí napětí řídicího obvodu. Rozsah vstupního napětí je od cca  $160 V_{EF}$  do  $230 V_{EF}$ . Pokud bychom chtěli modul provozovat na jiná napětí, bylo by nutno přidat do modulu zvláštní zdroj, který by napájel řídicí obvod, případně použít a přiosadit napájecí část, skládající se z výkonového rezistoru, usměrňovací diody, Zenerovy diody a filtračního kondenzátoru.

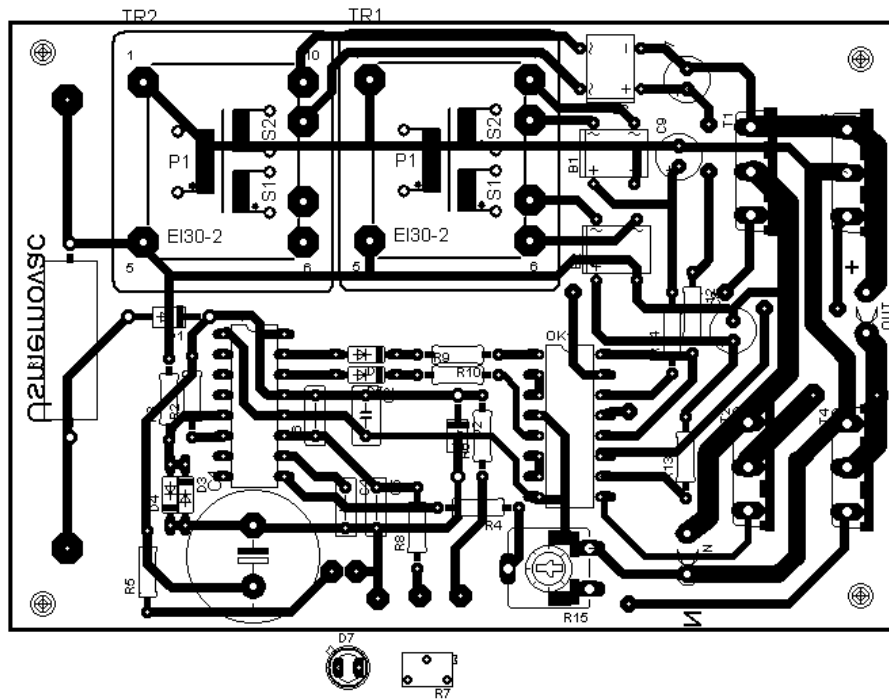
Jelikož je řídicí obvod prvotně určen pro řízení triaku i dvou tyristorů, v doporučeném zapojení musely být pro řízení čtyř tyristorů inženýrské změny, které tento problém vyřeší. Řešení problému pomocí předávaného zdroje pro řídicí impulzy je popsáno v kapitole týkající se popisu řídicího obvodu.

Návrh schématu a desky plošného spoje byl proveden v programu Eagle. Celý projekt jsem se snažil koncipovat jako jednodeskové za řízení s co nejmenší plochou a pohodlným zapojováním jak u vývodních kabelů, tak tyristorů. Celé zapojení se mi podařilo uspořádat na desku o rozměrech  $80 \times 115$  mm, přičemž byly zachovány bezpečné vzdálenosti jednotlivých součástí. Mým úkolem bylo vytvoření dvou modulů s dvoupulzním magnetickým usměrňovatelem a dvou modulů s jednopulzním usměrňovatelem. Tudíž byly vyleptány 4 identické desky, přičemž u jednopulzních usměrňovatelem se osadila jen ta část součástí, která byla potřeba. Ze znalosti topologie obvodu modulu musel být kladen důraz na dostatečné proudové dimenzování výkonových cest. Pro výrobu byl použit plošný spoj s miednou vrstvou, její tloušťka je  $35 \mu\text{m}$  a šířka výkonových cest  $2,54$  mm. Dle diagramu je proudové zatížení cesty při jejím maximálním oteplení  $30^\circ\text{C}$  až  $8$  A. Pro nazečely více než dostatečné.



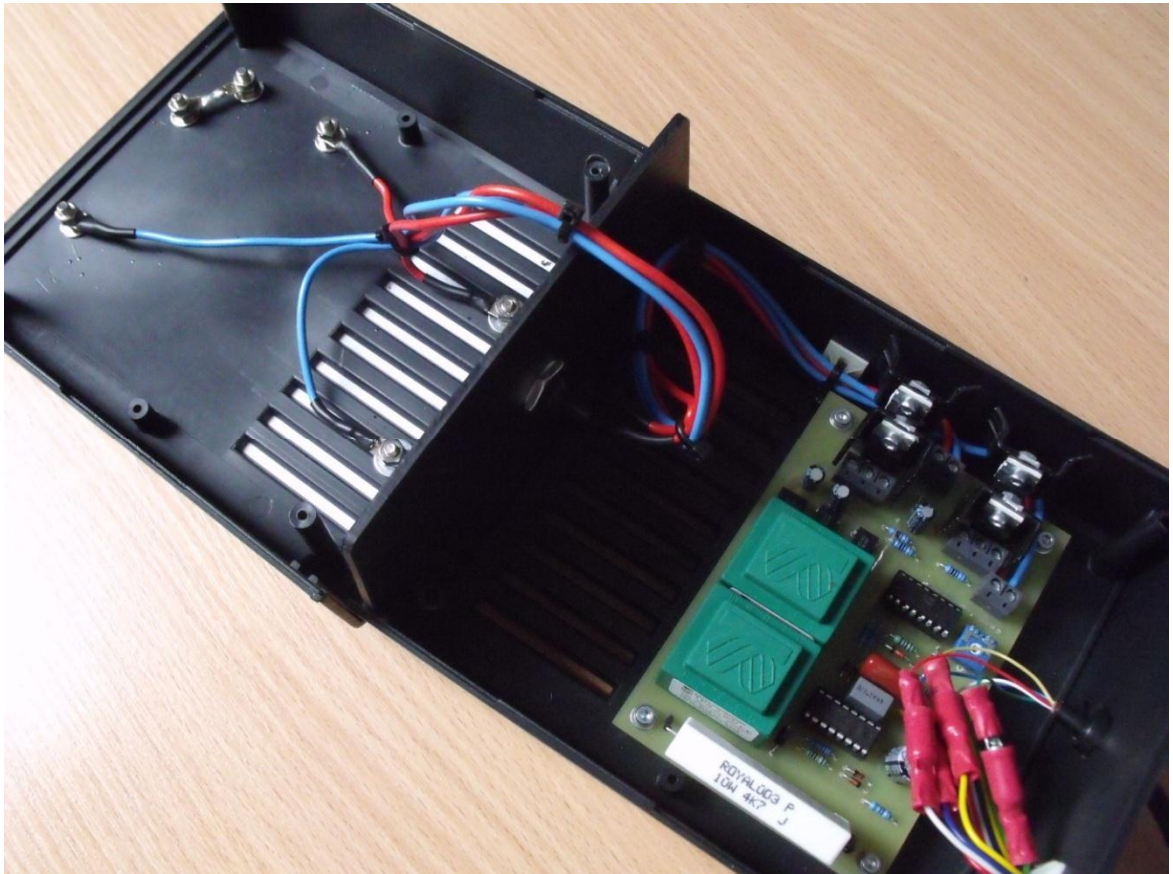


Obr. 26 - Graf dimenzování cest v pločném spoji



Obr. 27 - Pločný spoj

Na obrázku (Obr. 27) je naznačeno rozvržení desky plozného spoje. Při návrhu bylo záměrem dodržet základní konstrukční pravidla. Výkonové cesty jsem se snažil umístit co nejdále od cest signálových. K řízení jednotlivých cest co nejvíce eliminovat. Přesto se mi nepodařilo vyrobit plozný spoj bez jediného drátového propoje přes vrchní vrstvu. Tyto propoje jsou umístěny v oblasti výkonových cest, kde slouží pro přenos řídicích impulzů k příslušným elektrodám tyristoru. V tomto místě bylo dosti problematické najít mezi uspořádáním výkonových součástek a cest vhodný kompromis. Všechny cesty jsou vytvořené s co největšími poloměry zaoblení z důvodu zmírnění rušení do okolí. V horní části plozného spoje jsou umístěny síťové transformátory, které slouží jako zdroj pro řídicí impulzy. Usměrňovací měničky jsou umístěny na jejich pravé straně, co nejbližší k opto-lenu a tyristorům. Ve střední části plozného spoje se nachází řídicí obvod spolu se součástkami zajišťujícími jeho funkčnost. Zdroj stejnosměrného napájecího napětí obvodu tvoří výkonový rezistor v levé části spoje, Zenerova dioda a elektrolytický kondenzátor. Z napětí na kondenzátoru je přes omezovací rezistor napájena signální LED dioda, která je umístěna na dálkovém ovladači. Umístění v těchto elektrolytických kondenzátorů je voleno co možná nejdále od možných zdrojů tepelné energie. V důsledku vysoké teploty kondenzátorů vysychá elektrolyt a tím se mění jeho parametry. Udává se, že životnost elektrolytického kondenzátoru se zmenší na polovinu při zvýšení jeho okolní teploty o 7 °C. Pod opto-lenem můžeme najít trimr, který slouží pro nastavování pracovního rozsahu řídicího úhlu usměrňovače. Jeho otáčením se mění nabíjecí proud kondenzátoru na pinu 10. Správným nastavením lze dosáhnout rozsahu řídicího úhlu v rozmezí 0-165°, nelze tedy ani při správném sestavení a nastavení obvodu dosáhnout zcela plného řízení. Součástky umístěné pod plozným spojem jsou též zapojeny. Jedná se o signální LED diodu, která signalizuje připojení obvodu k napájecímu napětí, a o potenciometr, jehož otáčením nastavujeme řídicí úhel. Obě tyto součástky jsou umístěny, z důvodu bezpečnosti při práci se síťovým napětím, na dálkovém ovladači. Na níže uvedeném obrázku (Obr. 28) je vyobrazeno reálné rozložení součástek v etn vnitřního propojení s vnějšími svorkami a dálkovým ovladačem.



Obr. 28 - Pohled na otevřený modul

Vezkeré vnitřní drátové propoje jsou uskutečnily pomocí lankového měděného kabelu o průřezu  $1,5 \text{ mm}^2$ . Pro případnou snadnější orientaci v propojích jsem zvolil dva barevné druhy vodičů. Ze vstupních svorek je fáze do plozného spoje vedena přes pojistkové pouzdro červeným vodičem, pracovní nula svtle modrým vodičem. Výstup z plozného spoje je veden kabely stejné barvy, plus červeným a minus svtle modrým. V případě jednopulzního modulu je ze spodní části vrchního panelu umístěna nulová dioda. Napojení dálkového ovladače obstarává svazek pěti napevno přiletovaných vodičů, které mají zhruba v polovině své délky mezi plozným spojem a výstupem z krabíčky zasunovací rychlospojky. Stejným vodičem ve svazku je olutý kabel, který je přiveden na jezdec potenciometru. Modrý a bílý představuje zem, červený napájení diody a zelený zbývající vodič k potenciometru.



Obr. 29 - Pohled na všechny moduly

Na výše uvedeném obrázku (Obr. 29) je vyobrazena fotografie všech sestavených modulů. Moduly jsou primárně určeny pro připojení externích kabelů s banánkovými koncovkami. Vstupní svorky, jejich proudová zatížitelnost dosahuje hodnoty 25 A, této umožňuje připojení kabelů pouze oholených. Vrchní část modulu je pokryta lesklou etiketou zobrazující vnitřní blokové schéma a označení jednotlivých svorek. Na modulech jsou též vyznačeny doporučené a mezní provozní parametry.

Všechny tyto moduly jsou určeny pro účely výuky výkonové elektrotechniky v laboratořích DFJP katedry KEEZ. Svou konstrukcí by měly splňovat všechny požadavky týkající se minimální bezpečné pracovní vzdálenosti od živých částí, dále požadavky již ní v případě poruchy ve vnějším obvodu, jednoznačnosti označení jednotlivých svorek a optické signalizace přítomnosti síťového napětí na vstupu modulu. Moduly jsou v pohotovostním režimu pevně sezroubovány, tudíž jsou zábráněny neoprávněné zásahy do vnitřního zapojení i nastavení.

## 4. MĚNĚNÍ VE VYBRANÝCH OBVODECH

Po návrhu, sestavení a očištění modul bylo potřeba ověřit jejich funkčnost ve vybraných obvodech. Obvod byl sestaven z měřeného modulu, jeho napájení obstarával programovatelný zdroj, jeho napětí bylo nastaveno na 200 V<sub>ef</sub>. Zátěž představoval reostat o odporu 250 Ω s případnou tlumivkou. Měřeními veličinami byl výstupní proud a střední hodnota napětí, které se odečítaly z ručkových měřících přístrojů. Pro zaznamenání autentických průběhů jsem použil digitální osciloskop RIGOL DS1102E, který umožnil uložení oscilogramů přímo přes USB na paměť Flash. Napávací sonda byla použita s výzvěm napávacím rozsahem, proudové kleště HAMEG HZ56-2 20A RMS s přesností 100 mV/A.

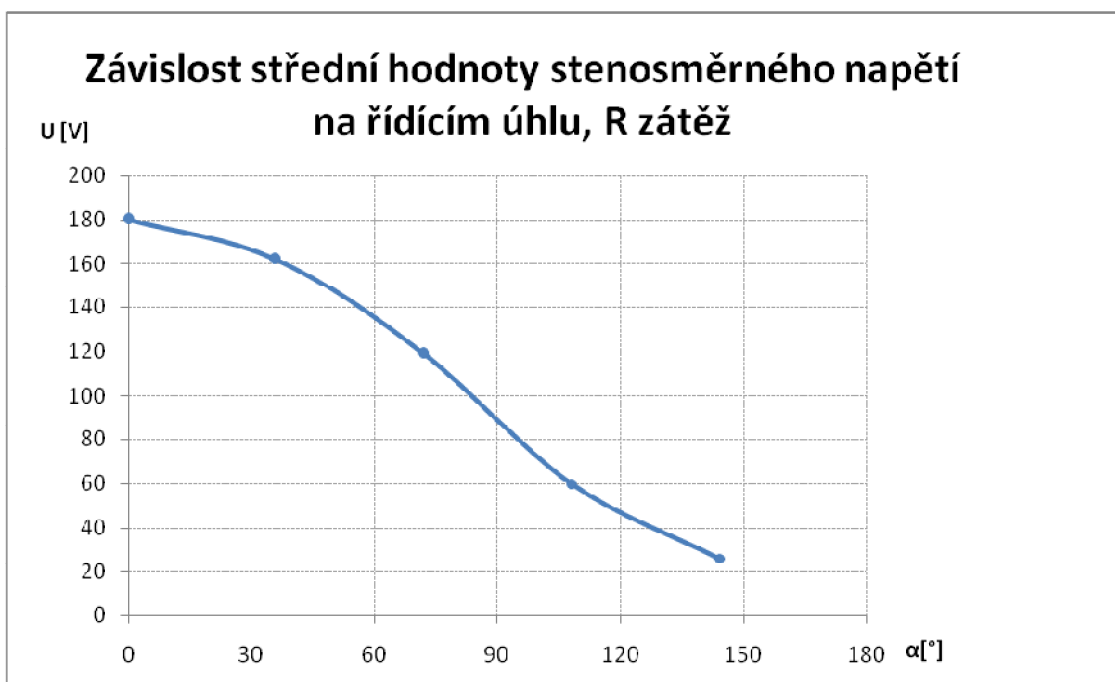
### 4.1 Měření měřicího úhlu, odporová zátěž

Měření probíhalo v obvodu popsaném v teoretické části práce. Jako zátěž byl zapojen 250 Ω reostat s jezdcem nastaveným na plný odpor. Naměřené hodnoty pro různé měřicí úhly jsou popsány v tabulce. Nastavování měřicího úhlu po 36° jsem zvolil z důvodů přesnosti odečtu na stínítku osciloskopu.

měřicí úhel [°]	0	36	72	108	144
Napětí [V]	180	162	119	60	26
Proud [A]	0,74	0,68	0,5	0,24	0,12

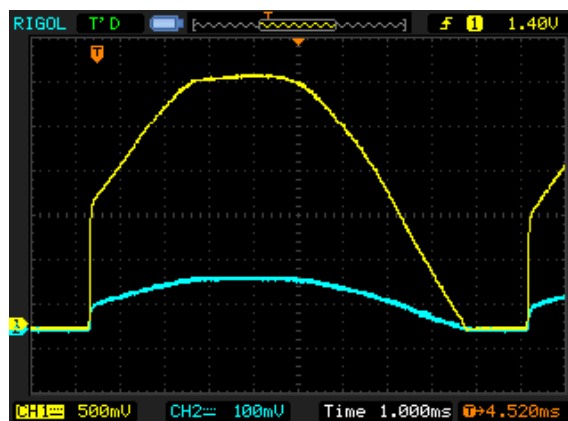
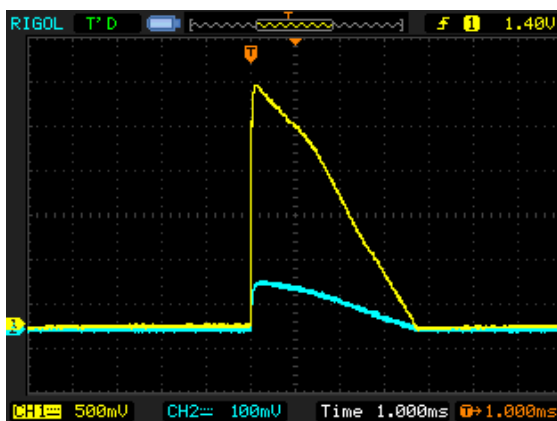
Tab. 2 - Naměřené hodnoty měřicího úhlu, R zátěž

řídící charakteristika:



Obr. 30 - řídící charakteristika m  $\alpha$  - stkový usm  $r$  ova , R zát ě

Pr  $b$  h y sejmuté z osciloskopu:



Obr. 31 ĚM  $\alpha$  - stkový usm  $r$  ova , R zát ě,  $\alpha=120^\circ$ ,  $T/2$  Obr. 32 - M  $\alpha$  - stkový usm  $r$  ova , R zát ě,  $\alpha=30^\circ$ ,  $T/2$

Na levém oscilogramu je vyobrazen pr  $b$  h nap  $t$  í (CH1) a proudu (CH2) p  $i$  řídícím úhlu  $120^\circ$ , na pravém p  $i$  úhlu  $30^\circ$ . Nap  $t$  í má m  $\dot{m}$  ítko 500 mV/dílek, p  $i$  em0 p epolet je 500 mV/50V. Proudové m  $\dot{m}$  ítko je 100 mV/dílek, p epolet 100m V/A. asová základna 1 ms/dílek.



#### 4.2 řízený m -stkový usm -r ova , odporov -induktivní zát ě

P i tomto m -ení z stala topologie obvodu zachována z p edchozího m -ení, pouze do zát ě byla dopln ěna tlumivka.

Nam ěné veli iny:

řídící úhel [°]	0	36	72	108	144
Nap ětí [V]	180	142	88	32	18
Proud [A]	0,74	0,6	0,36	0,14	0,08

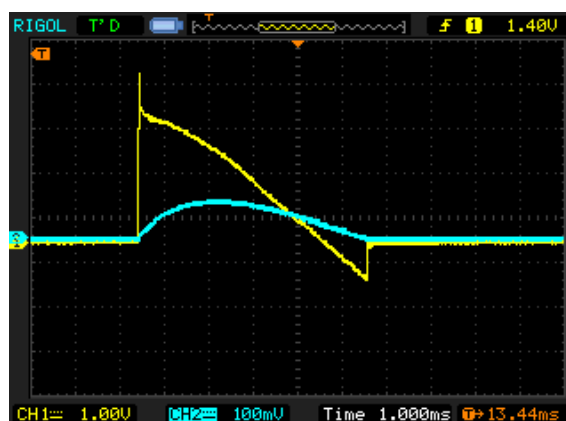
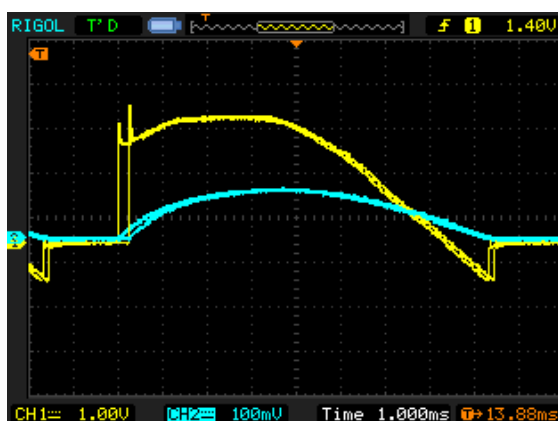
Tab. 3 - Nam ěné hodnoty m -stkový usm -r ova , RL zát ě

řídící charakteristika:



Obr. 33 - řídící charakteristika m -stkový usm -r ova , RL zát ě

Průběhy sejmuté z osciloskopu:



Obr. 34 - Měistkový usm r ova ,RL zát ě,  $\alpha=30^\circ, T/2$  Obr. 35 ĚM stkový usm r ova ,RL zát ě,  $\alpha=120^\circ, T/2$

Na levém oscilogramu je vyobrazen průběh napětí (CH1) a proudu (CH2) při řídicím úhlu  $30^\circ$ , na pravém při úhlu  $120^\circ$ . Napětí má měřítko 1 V/dílek, proudové měřítko je 1 V/100V. Proudové měřítko je 100 mV/dílek, měřící zesílení je 100 mV/A. časová základna 1 ms/dílek.

#### 4.3 Řízený jednopulzní usm r ova , odporová zát ě

Měření probíhalo podobně jako s měistkovým usm r ova em, pouze byly vyměněny moduly.

Naměřené hodnoty:

řídicí úhel [°]	0	36	72	108	144	160
Napětí [V]	90	80	60	32	8	2
Proud [A]	0,38	0,34	0,26	0,14	0,04	0,02

Tab. 4 - Naměřené hodnoty jednopulzní usm r ova ,R zát ě

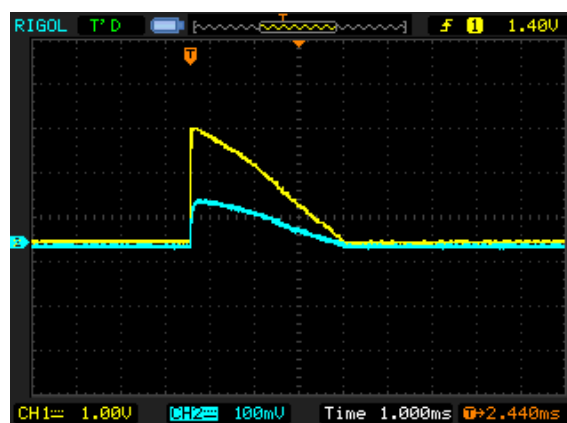
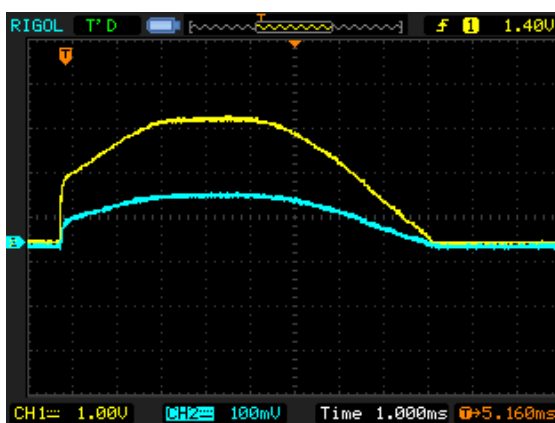


řídící charakteristika:



Obr. 36 - řídící charakteristika jednopulzní usměrňovače, R zátěž

Průběhy sejmuté z osciloskopu:



Obr. 37 Ě Jednopulzní usměrňovač, R zátěž,  $\alpha = 30^\circ$ , Obr. 38 Ě Jednopulzní usměrňovač, R zátěž,  $\alpha = 120^\circ$ ,  
T/2

Na levém oscilogramu je vyobrazen průběh napětí (CH1) a proudu (CH2) při řídícím úhlu  $30^\circ$ , na pravém při úhlu  $120^\circ$ . Napětí má měřítko 1 V/dílek, proudové měřítko je 1 V/100V. Proudové měřítko je 100 mV/dílek, měřítko časové základny je 1 ms/dílek.

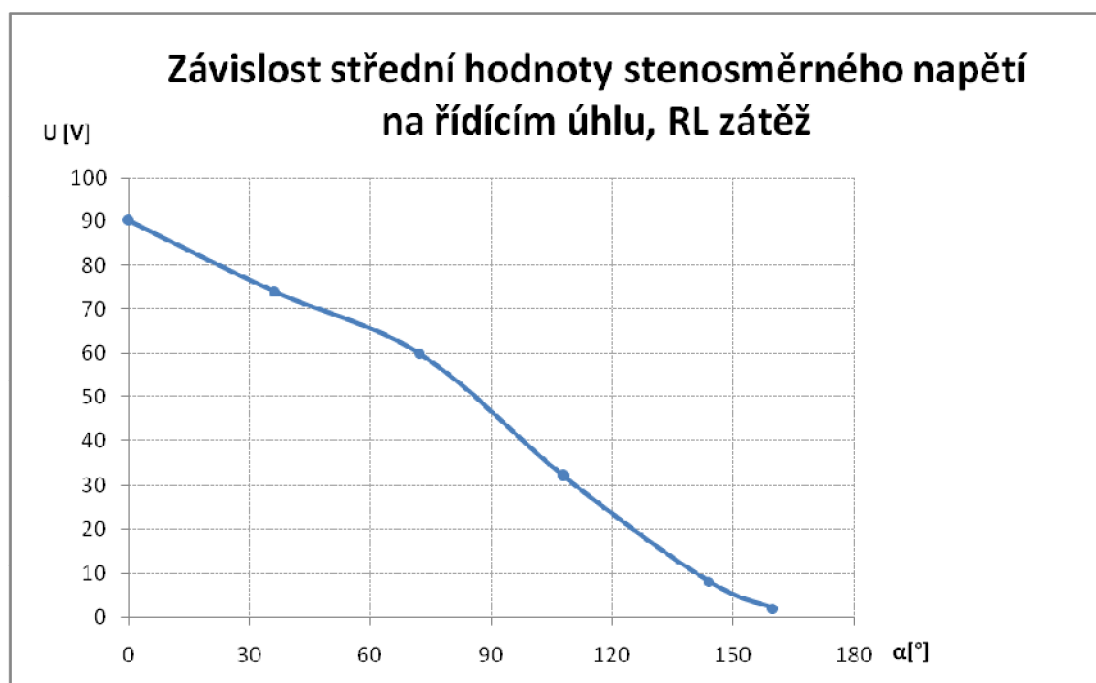
#### 4.4 řízený jednopulzní usměrňovač, odporová, induktivní zátěž

Naměřené hodnoty:

řídící úhel [°]	0	36	72	108	144	160
Napětí [V]	90	74	60	32	8	2
Proud [A]	0,36	0,3	0,24	0,14	0,04	0,02

Tab. 5 Naměřené hodnoty jednopulzní usměrňovač, RL zátěž

řídící charakteristika:

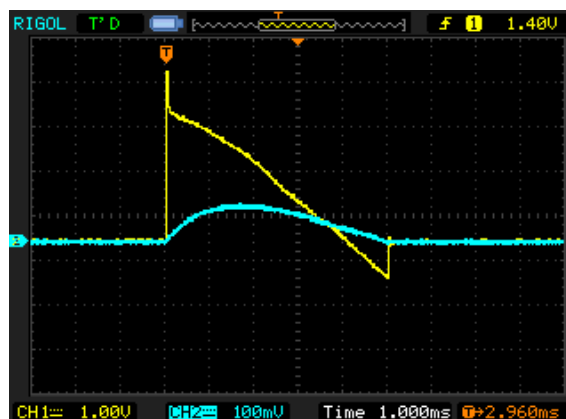


Obr. 39 Řídící charakteristika jednopulzní usměrňovač, RL zátěž

Pr b hy sejmuté z osciloskopu:



Obr. 40 Ě Pr b hy jednopulzní usm r ova , RL zát ě,  $\alpha=30^\circ$ , T/2



Obr. 41 Ě Pr b hy jednopulzní usm r ova , RL zát ě,  $\alpha=120^\circ$ , T/2

Na levém oscilogramu je vyobrazen pr b h nap tí (CH1) a proudu (CH2) p i ídicím úhlu  $30^\circ$ , na pravém p i úhlu  $120^\circ$ . Nap tí má m ítko 1 V/dílek, p i em0 p epo et je 1 V/100V. Proudové m ítko je 100 mV/dílek, p epo et 100 mV/A. asová základna 1 ms/dílek.

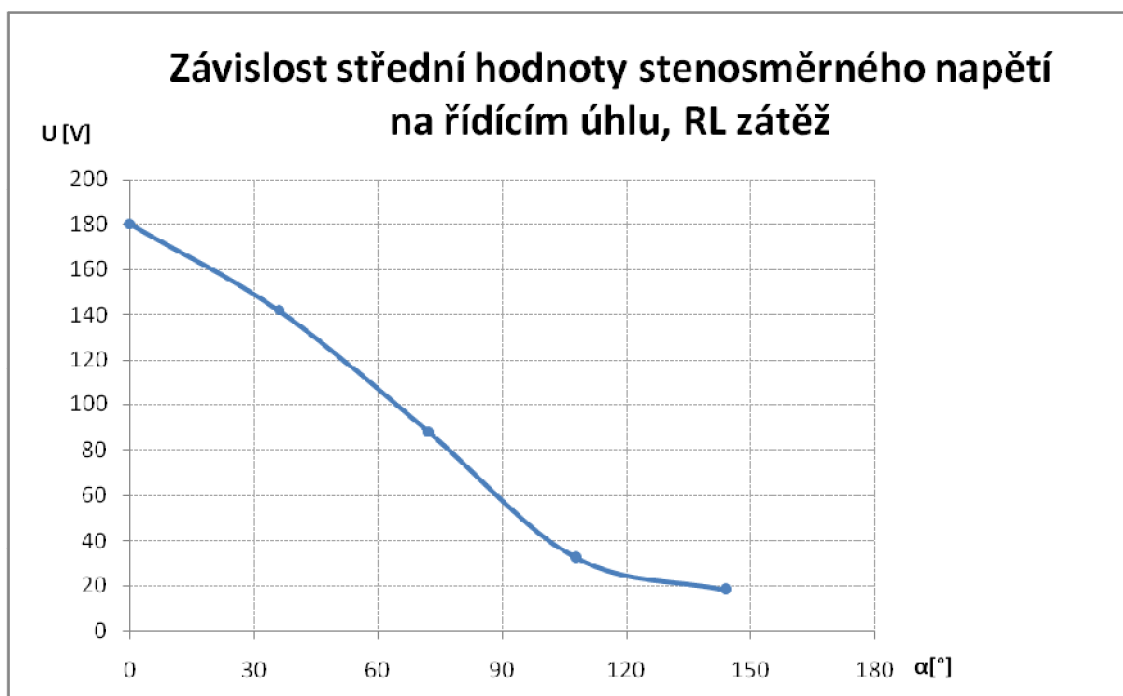
#### 4.5 ízený jednopulzní usm r ova , odporov induktivní zát ě, nulová dioda

Nam ěné hodnoty:

ídicí úhel [°]	0	36	72	108	144	160
Nap tí [V]	90	81	60	32	8	2
Proud [A]	0,36	0,32	0,24	0,12	0,03	0,02

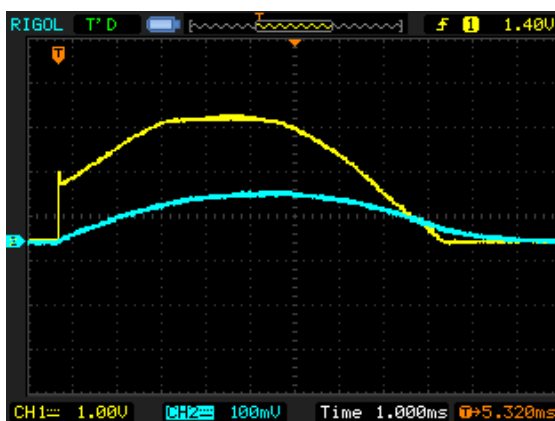
Tab. 6 - Nam ěné hodnoty jednopulzní usm r ova , RL zát ě, nulová dioda

řídící charakteristika:

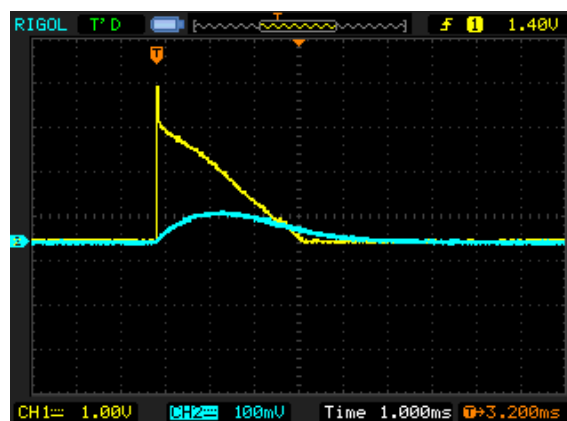


Obr. 42 Ě řídící charakteristika jednopulzní usm r ova , RL zát ě, nulová dioda

Sejmuté pr b hy z osciloskopu:



Obr. 43 Ě Pr b hy jednopulzní usm r ova , RL zát ě, nulová dioda, =30°, T/2



Obr. 44 Ě Pr b hy jednopulzní usm r ova , RL zát ě, nulová dioda, =120°, T/2

Na levém oscilogramu je vyobrazen pr b h nap tí (CH1) a proudu (CH2) p i řídícím úhlu 30°, na pravém p i úhlu 120°. Nap tí má m ítko 1 V/dílek, p i em0 p epo et je 1 V/100V. Proudové m ítko je 100 mV/dílek, p epo et 100 mV/A. asová základna 1 ms/dílek.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl ucelený pohled skupiny jednofázových usměrňovačů. Práci jako celek lze rozdělit do dvou základních částí, realizace navržených plně řízených usměrňovacích modulů a vytvoření textové dokumentace. Textová dokumentace se ve své stati zabývá obecnou problematikou řízených usměrňovačů, jejich typy a vlastnostmi ve vybraných obvodech. Hlavní částí dokumentace je popis realizace výrobků, která zahrnuje jednak popis stavebních komponent a obvodů, ale i vlastní konstrukci. Na závěr práce je uvedena sumarizace výsledků z laboratorního měření, které bylo na vyrobených modulech provedeno.

Můj pracovní postup se od zadání tématu postupně směřoval na výrobu navržených usměrňovačů, jelikož jsem předpokládal, že výroba bude představovat časově nejnákladnější část práce. Základ tvořily všechny potřebné součástky v požadovaném množství a plozný spoj, který byl též vyroben na předřazeném DFJP. Po osazení a vyzkouzení všech typů plozných spojů se můj pracovní postup uchýlil k mechanickému uspořádání krabičky samotné a usazení jednotlivých komponent. Po takto úplném sestavení modulů jsem se dostal k soupisu teoretické části problematiky a popisu konstrukce.

Výsledkem mé bakalářské práce jsou tedy funkční a v reálných obvodech otestované moduly, primárně určené k výuce výkonové elektroniky v laboratorních DFJP. Jejich konstrukce zabezpečuje jednoduché zapojování jak vnějších obvodů, tak měřících přístrojů. Důraz je kladen i na bezpečnou vzdálenost nastavovacích prvků od napájecího napětí. V případě poruchy či revize lze moduly jednoduše otevřít překlopením vrchního krytu směrem ke vstupním svorkám. V této poloze je zabezpečena ideální přístup ke vnitřním spojům a komponentám.

Na závěr bych rád poděkoval mému vedoucímu práce, Doc., Ing. Jaroslavu Novákovi Csc, za jeho ochotu a čas strávený s problematikou mé práce.

## Seznam použité literatury

- [1] PAVELKA, Jiří; EJOVSKÝ, Zdeněk; LETTL, Jiří. *Výkonová elektronika*. Praha : Nakladatelství VUT, 2007. 227 s. ISBN 978-80-01-03626-6.
- [2] NOVÁK, Jaroslav. *Elektromechanické systémy v dopravě a ve strojírenství*. Praha : Nakladatelství VUT, 2002. 86 s. ISBN 80-01-02457-1.
- [3] DOBROUCKÝ, Branislav, et al. *Výkonové polovodičové ztruktúry*. Žilina : Nakladatelství Vysoké školy dopravy a spojů v Žilině, 1995. 100 s. ISBN 80-7100-284-4.
- [4] *Www.semic.cz: Údělci a regulační obvody* [online]. c2007 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <[http://www.semic.cz/aktiva/A11\\_01.pdf](http://www.semic.cz/aktiva/A11_01.pdf)>.
- [5] *Motor.feld.cvut.cz: Fázové řízení* [online]. [cit. 2011-05-17]. Dostupné z WWW: <[http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A1M14SP2/N\\_vod-Obvod\\_TCA785\\_pro\\_fazove\\_rizeni\\_triaku.pdf](http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A1M14SP2/N_vod-Obvod_TCA785_pro_fazove_rizeni_triaku.pdf)>.
- [6] *Www.pragoboard.cz: Proudová zatížitelnost vodiče* [online]. [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <[http://www.pragoboard.cz/images/graf\\_spoj.jpg](http://www.pragoboard.cz/images/graf_spoj.jpg)>.
- [7] *Www.ges.cz: Datasheet TCA785* [online]. [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.ges.cz/sheets/t/tca785.pdf>>.
- [8] *Www.ges.cz: Datasheet BT152/800R* [online]. [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.ges.cz/sheets/b/bt152.pdf>>.
- [9] *Www.tme.cz: Datasheet LTV817*. [online]. [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <[http://www.tme.eu/dok/06\\_optoelektronika/LTV817\\_27\\_47.pdf](http://www.tme.eu/dok/06_optoelektronika/LTV817_27_47.pdf)>.
- [10] ZUROVAC, Djordje. *Www.adriaportal.com: Fázová regulace tyristor monostabilem* [online]. [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <[http://www.adriaportal.com/zurovac/cz/cz\\_RegulaceNapeti.htm](http://www.adriaportal.com/zurovac/cz/cz_RegulaceNapeti.htm)>.

## Seznam obrázk

Obr. 1 - Schema jednopulzní usměrňovače, R zát 0 .....	8
Obr. 2 - Průběhy jednopulzní usměrňovače, R zát 0 .....	10
Obr. 3 - Schéma jednopulzní usměrňovače, RL zát 0 .....	11
Obr. 4 - Průběhy jednopulzní usměrňovače, RL zát 0 .....	11
Obr. 5 - Schéma jednopulzní usměrňovače, RL zát 0 a nulová dioda .....	12
Obr. 6 - Průběhy jednopulzní usměrňovače, RL zát 0 a nulová dioda .....	13
Obr. 7 - Schéma mŕstkovŕ usměrňovače, R zát 0 .....	13
Obr. 8 - Průběhy mŕstkovŕ usměrňovače, R zát 0 .....	14
Obr. 9 - Schéma mŕstkovŕ usměrňovače, RL zát 0 .....	16
Obr. 10 - Průběhy mŕstkovŕ usměrňovače, RL zát 0 .....	16
Obr. 11 - ŕídící charakteristika mŕstkovŕ usměrňovače, RL zát 0 .....	17
Obr. 12 - Schéma poloŕzenŕ usměrňovače, R zát 0 .....	17
Obr. 13 - Schéma analogovŕ ŕídící obvodu .....	19
Obr. 14 - Schéma ŕízení pomocí monostabilního klopnŕho obvodu .....	21
Obr. 15 - Průběhy signálŕ monostabil- 1. ŕst. ....	22
Obr. 16 - Průběhy signálŕ monostabil- 2. ŕst. ....	22
Obr. 17 - Tyristor - vnitřní a náhradní schéma, popis elektrod .....	24
Obr. 18 - VA charakteristika tyristoru .....	25
Obr. 19 - Zapínání a vypínání tyristoru .....	26
Obr. 20 - Výstupní V-A charakteristika .....	27
Obr. 21 - Popis elektrod tyristoru .....	28
Obr. 22 - Vnitřní schéma ŕídícího obvodu .....	30
Obr. 23 - Průběhy vybranŕch signálŕ v ŕídícím obvodu .....	30
Obr. 24 - Vnitřní schéma a popis pinŕ ty násobného opto lenu .....	31
Obr. 25 - Vnitřní schéma a popis jednotlivŕch pinŕ jednoduchého opto lenu .....	31
Obr. 26 - Graf dimenzování cest v ploznŕm spoji .....	33
Obr. 27 - Ploznŕ spoj .....	33
Obr. 28 - Pohled na otevřenŕ modul .....	35
Obr. 29 - Pohled na všechny moduly .....	36
Obr. 30 - ŕídící charakteristika mŕstkovŕ usměrňovače, R zát 0 .....	38
Obr. 31 . Mŕstkovŕ usměrňovače, R zát 0, $\alpha=120^\circ$ , $T/2$ .....	38
Obr. 32 - Mŕstkovŕ usměrňovače, R zát 0, $\alpha=30^\circ$ , $T/2$ .....	38
Obr. 33 - ŕídící charakteristika mŕstkovŕ usměrňovače, RL zát 0 .....	39

Obr. 34 - M	stkový usm	r ova , RL zát 0, $\alpha=30^\circ, T/2$	.....	40			
Obr. 35 .	M	stkový usm	r ova , RL zát 0, $\alpha=120^\circ, T/2$	.....	40		
Obr. 36 -	ídicí	charakteristika	jednopulzní usm	r ova , R zát 0	.....	41	
Obr. 37 .	Jednopulzní	usm	r ova , R zát 0, $\alpha=30^\circ, T/2$	.....	41		
Obr. 38 .	Jednopulzní	usm	r ova , R zát 0, $\alpha=120^\circ, T/2$	.....	41		
Obr. 39 .	ídicí	charakteristika	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0	.....	42	
Obr. 40 .	Pr	b	hy	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0, $\alpha=30^\circ, T/2$	.....	43
Obr. 41 .	Pr	b	hy	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0, $\alpha=120^\circ, T/2$	.....	43
Obr. 42 .	ídicí	charakteristika	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0, nulová dioda	...	44	
Obr. 43 .	Pr	b	hy	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0, nulová dioda, $\alpha=30^\circ, T/2$	....	44
Obr. 44 .	Pr	b	hy	jednopulzní usm	r ova , RL zát 0, nulová dioda, $\alpha=120^\circ, T/2$	..	44



## Seznam tabulek

Tab. 1 - Přehled obvodů vhodných pro řízení.....	23
Tab. 2 - Naměřené hodnoty měřkový usměrňovač, R zát. 0.....	37
Tab. 3 - Naměřené hodnoty měřkový usměrňovač, RL zát. 0.....	39
Tab. 4 - Naměřené hodnoty jednopulzní usměrňovač, R zát. 0.....	40
Tab. 5 . Naměřené hodnoty jednopulzní usměrňovač, RL zát. 0.....	42
Tab. 6 - Naměřené hodnoty jednopulzní usměrňovač, RL zát. 0, nulová dioda.....	43

## Seznam příloh

Příloha .1 . Seznam použitých součástí

Příloha .2 . Schéma zapojení mřížkového usměrňovače a propojení mezi  
plozným spojem a krabicí

Příloha .3 . Schéma zapojení jednopulzního usměrňovače a propojení mezi  
plozným spojem a krabicí

Příloha .4 . Datasheet obvodu TCA785

Příloha .5 . Datasheet tyristoru BT152/800R

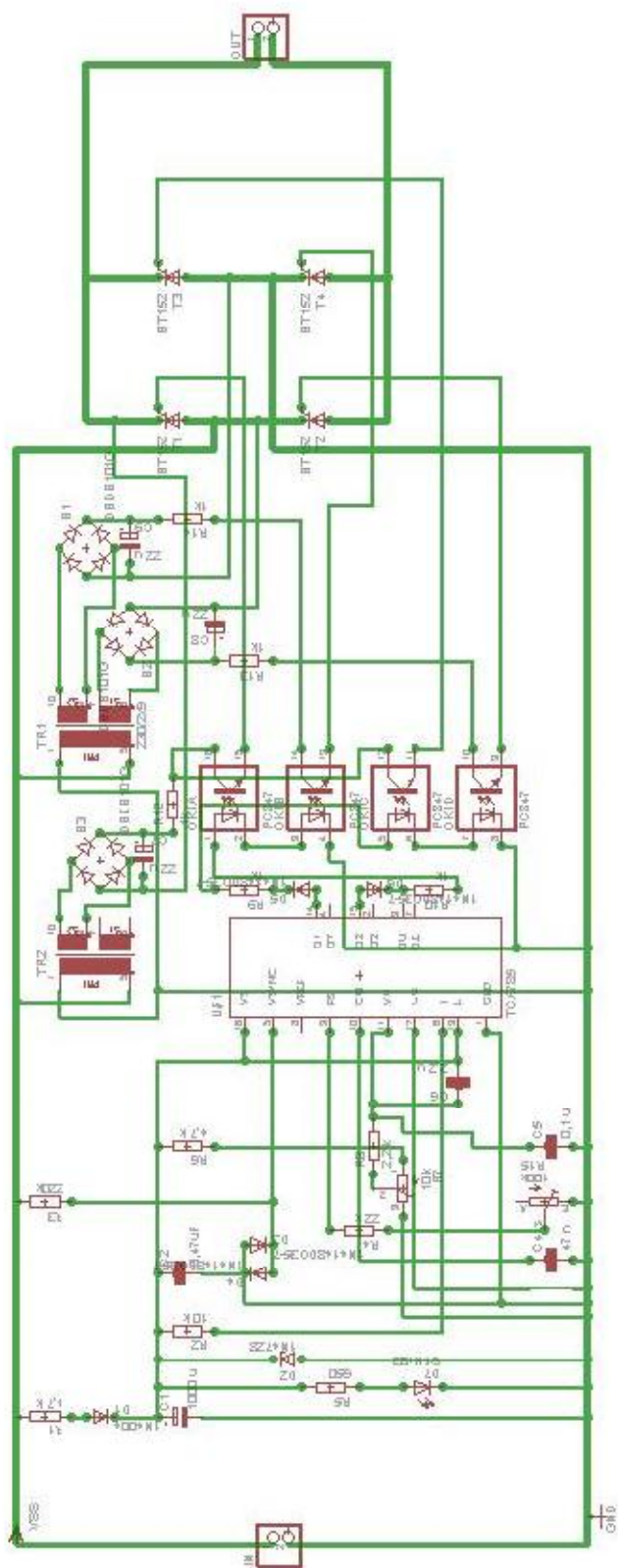
Příloha .6 . Datasheet obvodu LTV847

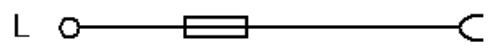
Příloha .1 . Seznam použitých součástek

Součástka	Hodnota / označení
Rezistory	
R1	4,7k
R2	10k
R3	220k
R4	22k
R6	4,7k
R7 - potenciometr	10k
R8	2,2k
R9	1k
R10	1k
R11	1k
R12	1k
R13	1k
R14 - trimr	100k
Kondenzátory	
C1	1000u
C2	0,47n
C4	47n
C5	0,1u
C6	2,2u
C7	22u
C8	22u
C9	22u
Diody	
D1	1N4004

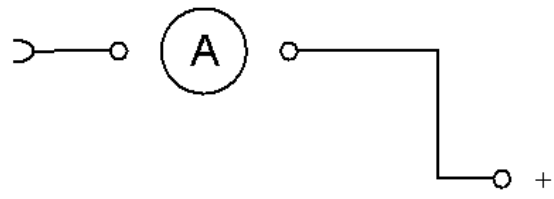
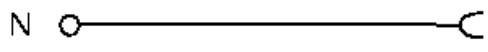
D2	1N4728
D3	1N4148
D4	1N4148
D5	1N4148
D6	1N4148
Tyristory	
T1	BT152
T2	BT152
T3	BT152
T4	BT152
Usm r ovací m stky	
B1	DB101
B2	DB101
B3	DB101
Transformátory	
TR1	EI30-2 230/2*9V
TR2	EI30-2 230/2*9V
řídící obvod	
U1	TCA785
Opto leny	
OK1	LTV847 / LTV817

Příloha . 2 . Schéma zapojení m - stkové usm - r ova e a propoj - mezi plozným spojem a krabi - kou

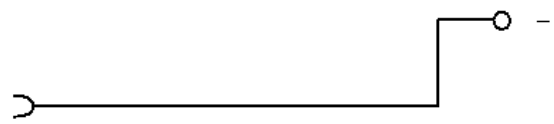




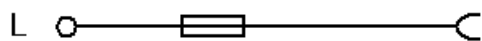
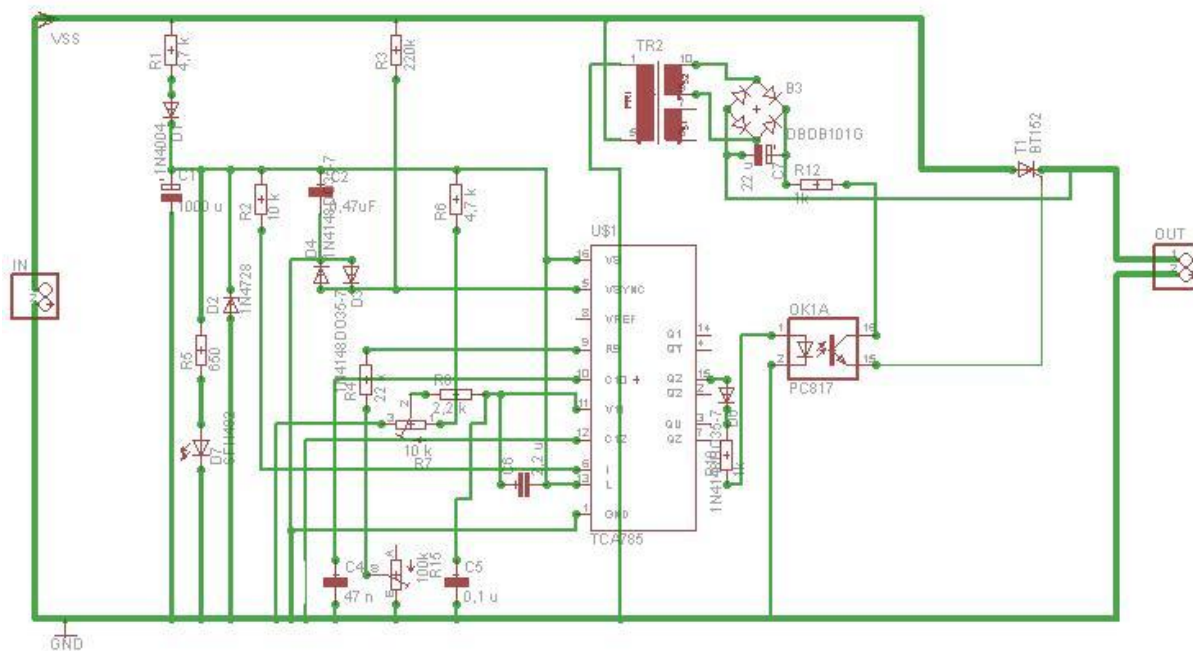
DO DPS



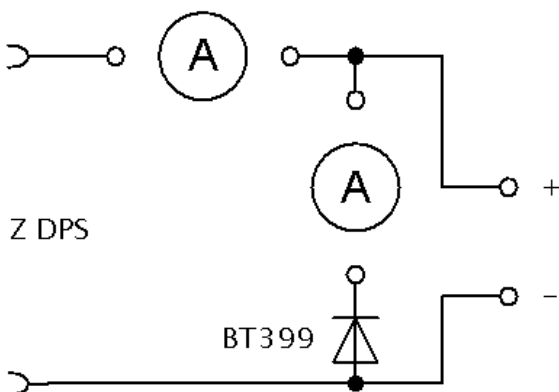
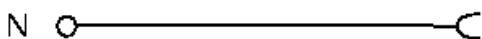
Z DPS



Příloha . 3 . Schéma zapojení jednopulzního usměrňovače a propojení mezi plozným spojem a krabičkou



DO DPS



# SIEMENS

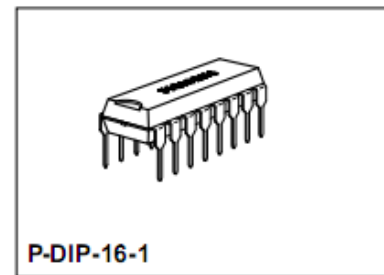
## Phase Control IC

**TCA 785**

**Bipolar IC**

### Features

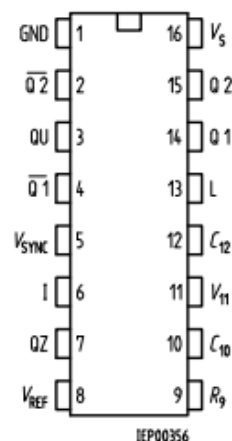
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.



### Pin Configuration (top view)

### Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	QU	Output U
4	$\overline{Q1}$	Output 1 inverted
5	$V_{SYNC}$	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	QZ	Output Z
8	$V_{REF}$	Stabilized voltage
9	$R_9$	Ramp resistance
10	$C_{10}$	Ramp capacitance
11	$V_{11}$	Control voltage
12	$C_{12}$	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	$V_s$	Supply voltage



**Functional Description**

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage  $V_s$ ). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor  $C_{10}$  of which is charged by a constant current (determined by  $R_9$ ). If the ramp voltage  $V_{10}$  exceeds the control voltage  $V_{11}$  (triggering angle  $\varphi$ ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage  $V_{11}$ , the triggering angle  $\varphi$  can be shifted within a phase angle of  $0^\circ$  to  $180^\circ$ .

For every half wave, a positive pulse of approx.  $30 \mu s$  duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to  $180^\circ$  via a capacitor  $C_{12}$ . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between  $\varphi$  and  $180^\circ$  will result.

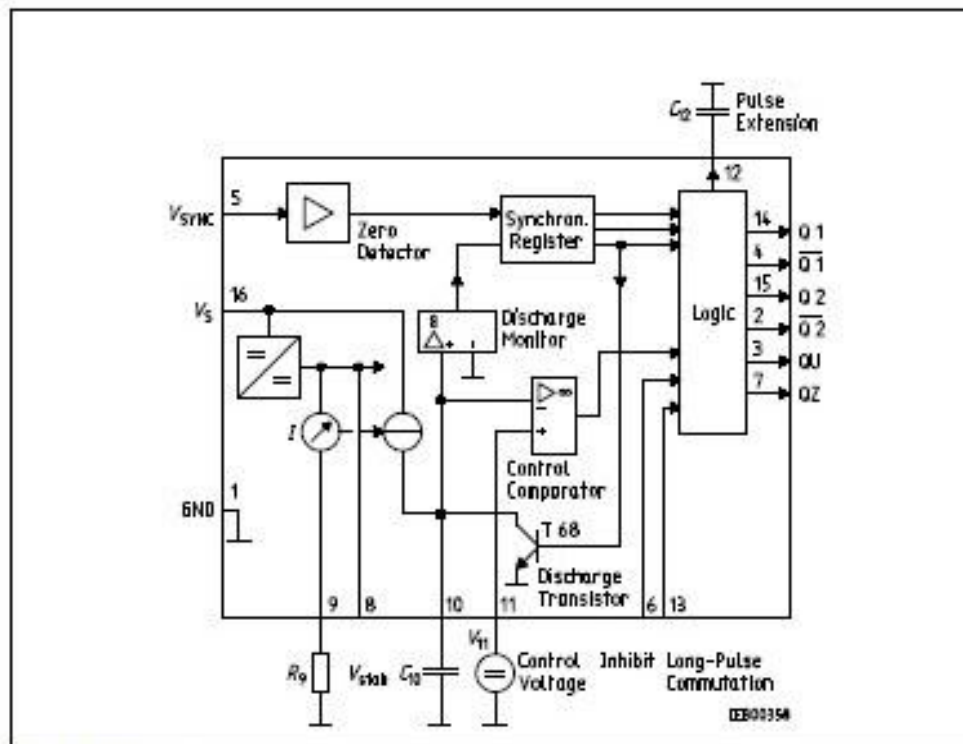
Outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of  $\varphi + 180^\circ$  which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

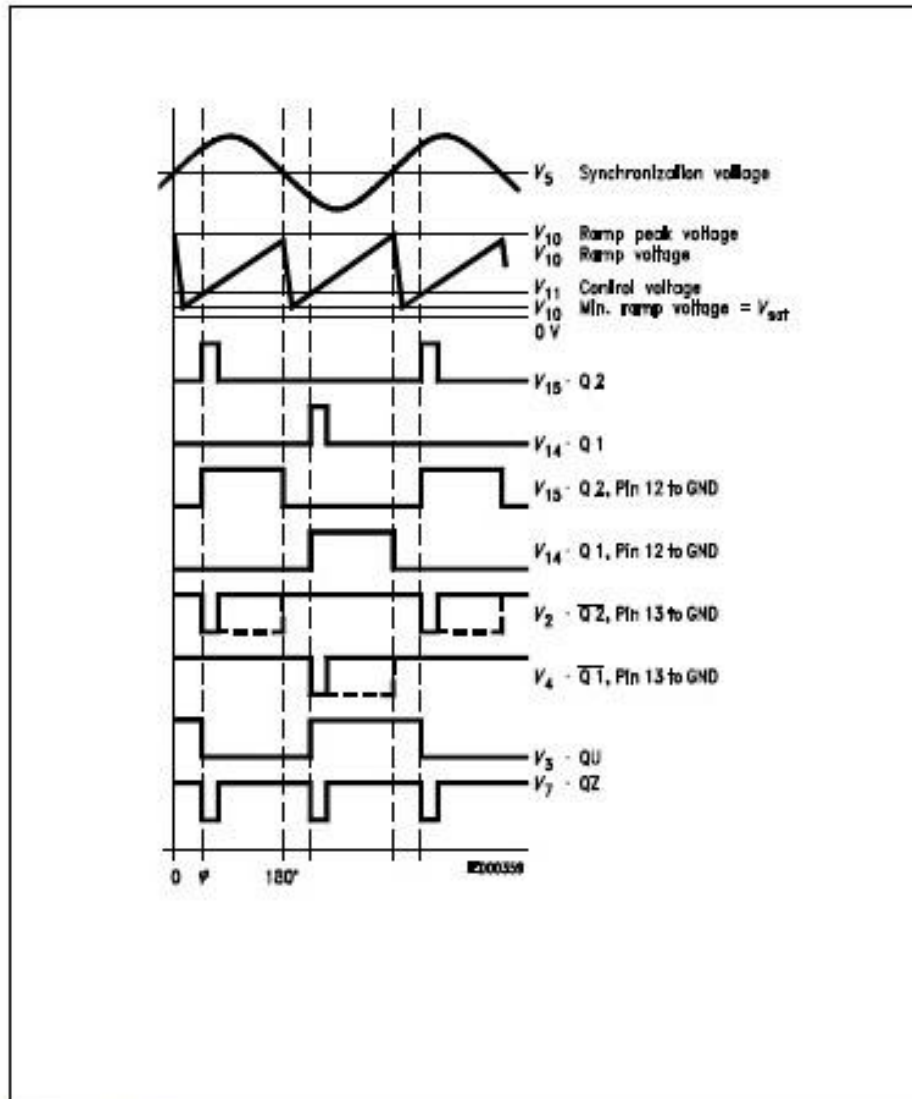
A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and  $\overline{Q1}$ ,  $\overline{Q2}$ .

Pin 13 can be used to extend the outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  to full pulse length ( $180^\circ - \varphi$ ).



Block Diagram



Pulse Diagram

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	$V_s$	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	$I_o$	- 10	400	mA
Inhibit voltage	$V_i$	- 0.5	$V_s$	V
Control voltage	$V_{11}$	- 0.5	$V_s$	V
Voltage short-pulse circuit	$V_{12}$	- 0.5	$V_s$	V
Synchronization input current	$I_5$	- 200	$\pm 200$	$\mu A$
Output voltage at pin 14, 15	$V_o$		$V_s$	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	$I_o$		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	$V_o$		$V_s$	V
Junction temperature	$T_j$		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	$T_{eq}$	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

## Operating Range

Supply voltage	$V_s$	8	18	V
Operating frequency	$f$	10	500	Hz
Ambient temperature	$T_A$	- 25	85	$^{\circ}C$

## Characteristics

$8 \leq V_s \leq 18 V$ ;  $- 25 \text{ }^{\circ}C \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}C$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 V$ $C_{10} = 47 \text{ nF}$ ; $R_s = 100 \text{ k}\Omega$	$I_s$	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current	$I_{5 max}$	30		200	$\mu A$	1
$R_s$ varied Offset voltage	$\Delta V_5$		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	$V_{11}$	0.2		$V_{10 peak}$	V	1
Input resistance	$R_{11}$		15		$k\Omega$	5

## Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$ 

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	$I_{10}$	10		1000	$\mu\text{A}$	
Max. ramp voltage	$V_{10}$			$V_S - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	$V_{10}$	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	$R_S$	3		300	k $\Omega$	1
Sawtooth return time	$t_r$		80		$\mu\text{s}$	1
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7						
Outputs disabled	$V_{6L}$		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	$V_{6H}$	4	3.3		V	1
Signal transition time	$t_r$	1		5	$\mu\text{s}$	1
Input current	$I_{6H}$		500	800	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-5		5	%	1
$R_S = \text{const.}$						
$V_S = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-20		20	%	1
$R_S = \text{const.}$						
$V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_S = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		$\pm 1$		%	
Long pulse switch-over pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	$V_{13H}$	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	$V_{13L}$		2.5	2	V	1
Input current	$I_{13H}$			10	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	$I_{CBO}$			10	$\mu\text{A}$	2.6
$V_O = V_S$						
Saturation voltage	$V_{sat}$	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_O = 2 \text{ mA}$						

## Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$ 

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage - $I_O = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15H}$	$V_S - 3$	$V_S - 2.5$	$V_S - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_O = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S $\bar{Q}$ open	$t_p$	20	30	40	$\mu\text{s}$	1
Pulse width (short pulse) with $C_{12}$	$t_p$	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage	$V_{REF}$	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible TC of reference voltage	$\alpha_{REF}$		$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	1/K	1

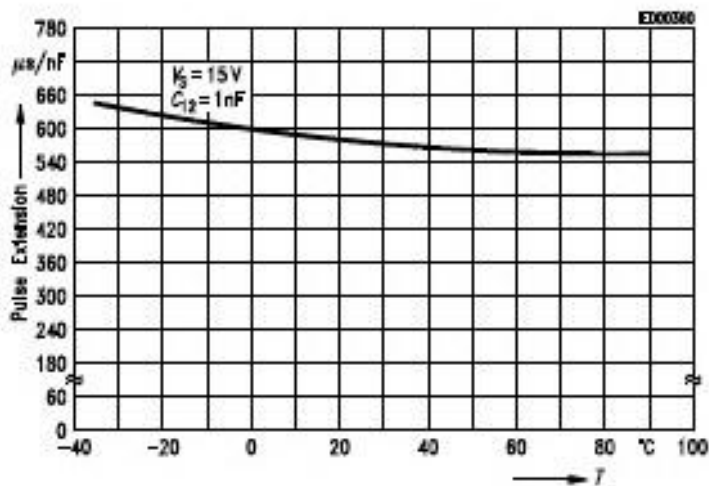
Application Hints for External Components

Ramp capacitance  $C_{10}$       min 500 pF      max  $1 \mu\text{F}^{1)}$       The minimum and maximum values of  $I_{10}$  are to be observed

Triggering point  $t_{tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K} \quad 2)$

Charge current  $I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9} \quad 2)$       Ramp voltage  $V_{10 \text{ max}} = V_0 - 2 \text{ V}$        $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}} \quad 2)$

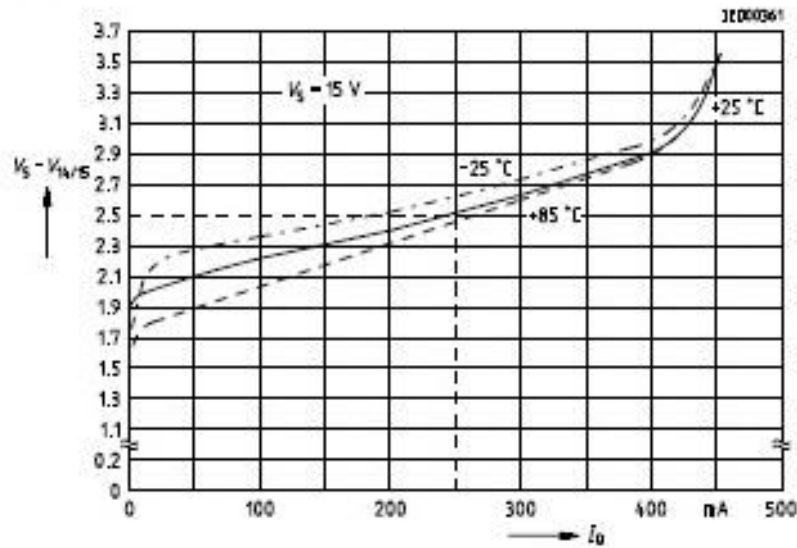
Pulse Extension versus Temperature



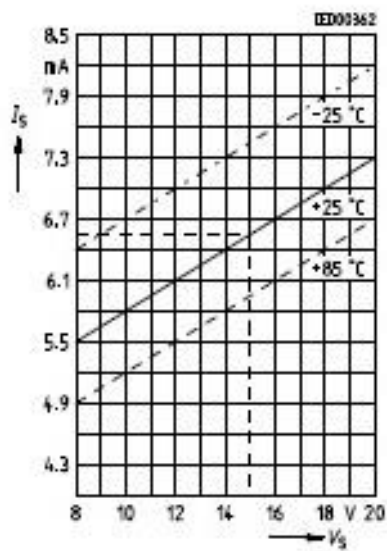
<sup>1)</sup> Attention to flyback times  
<sup>2)</sup>  $K = 1.10 \pm 20 \%$

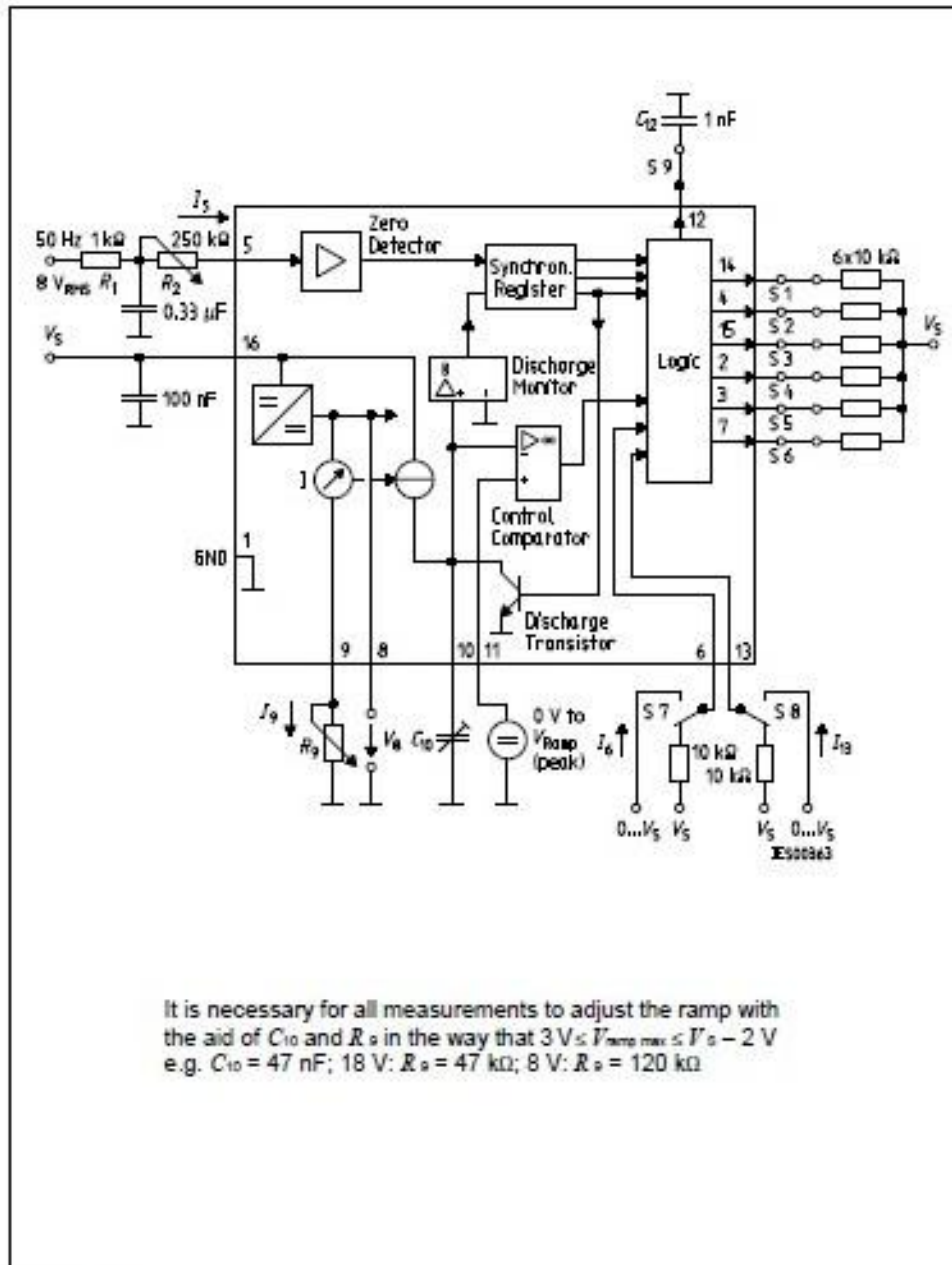


Output Voltage measured to +  $V_S$



Supply Current versus Supply Voltage

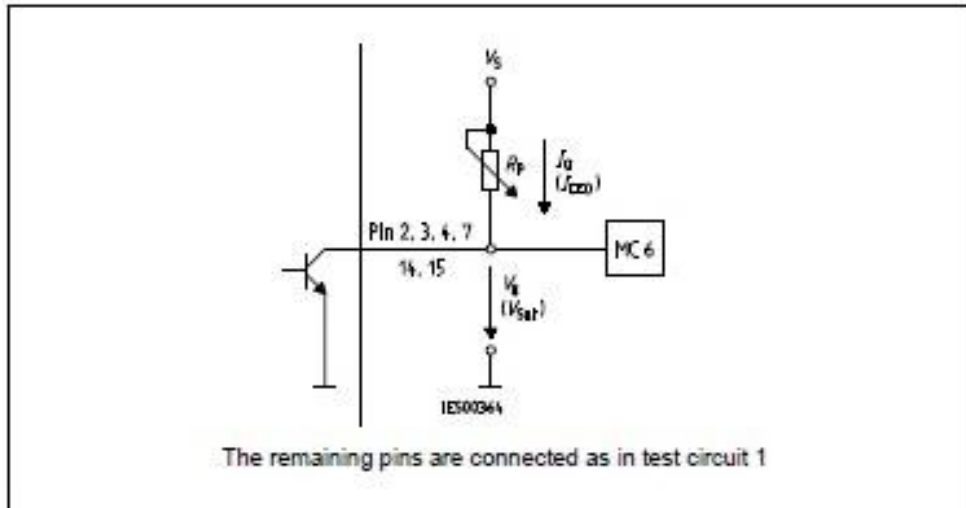




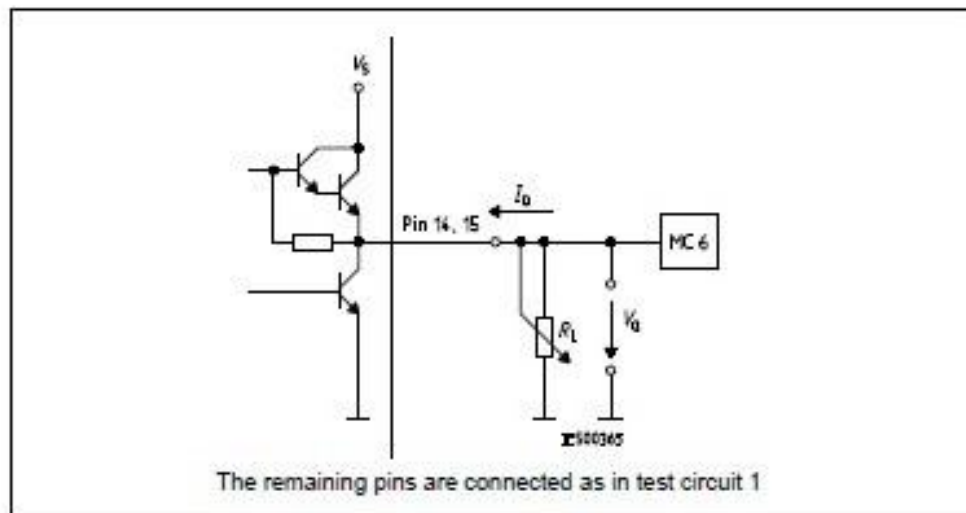
It is necessary for all measurements to adjust the ramp with the aid of  $C_{10}$  and  $R_9$  in the way that  $3 V_s \leq V_{ramp\ max} \leq V_s - 2 V$  e.g.  $C_{10} = 47\ nF$ ;  $18\ V$ :  $R_9 = 47\ k\Omega$ ;  $8\ V$ :  $R_9 = 120\ k\Omega$

Test Circuit 1

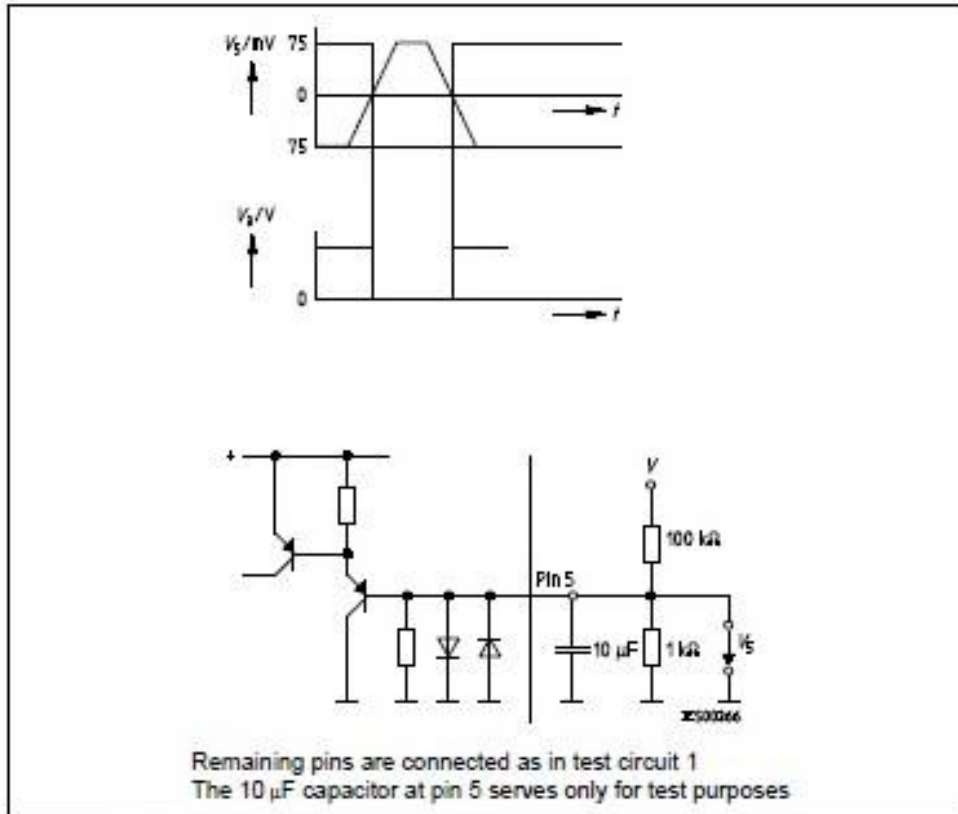




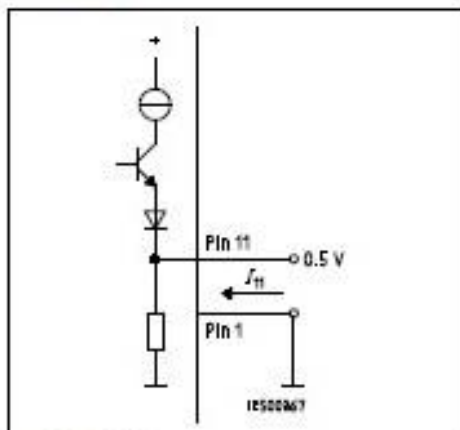
Test Circuit 2



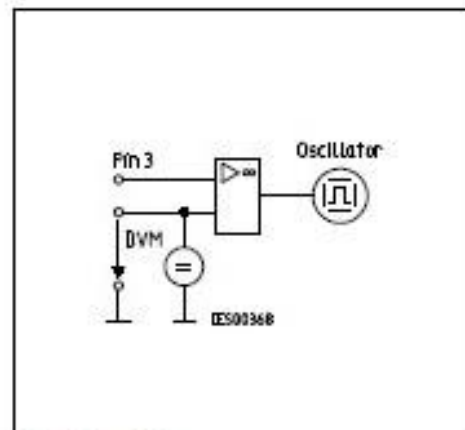
Test Circuit 3



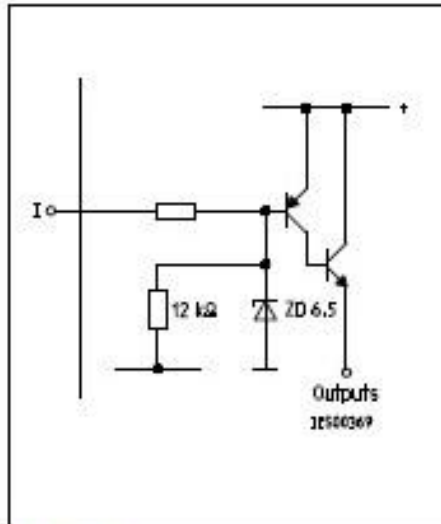
Test Circuit 4



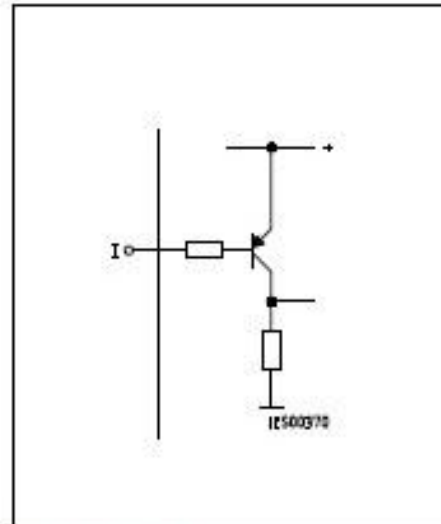
Test Circuit 5



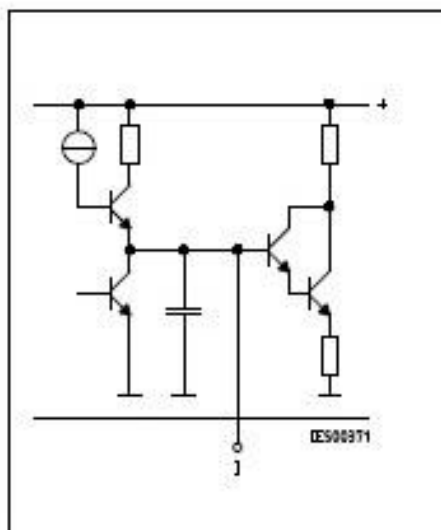
Test Circuit 6



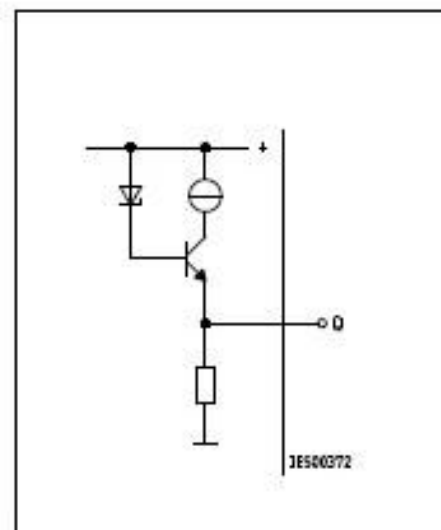
Inhibit 6



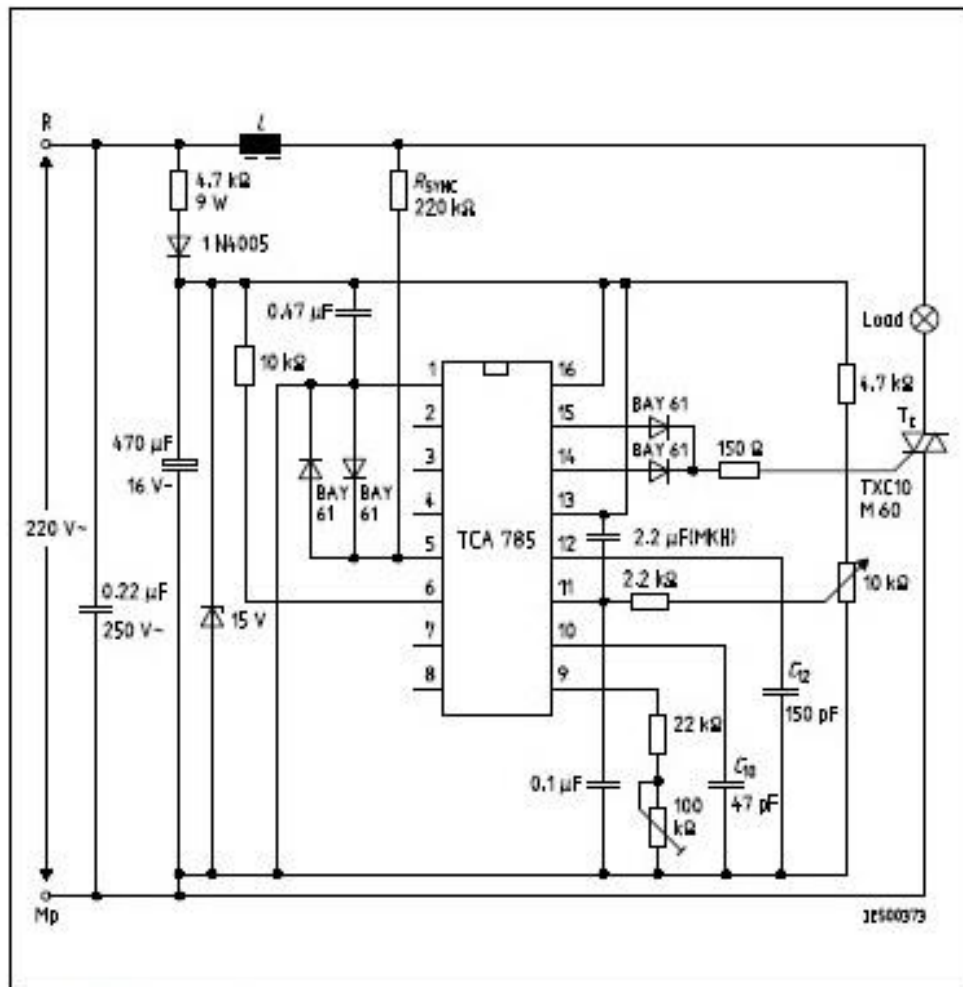
Long Pulse 13



Pulse Extension 12

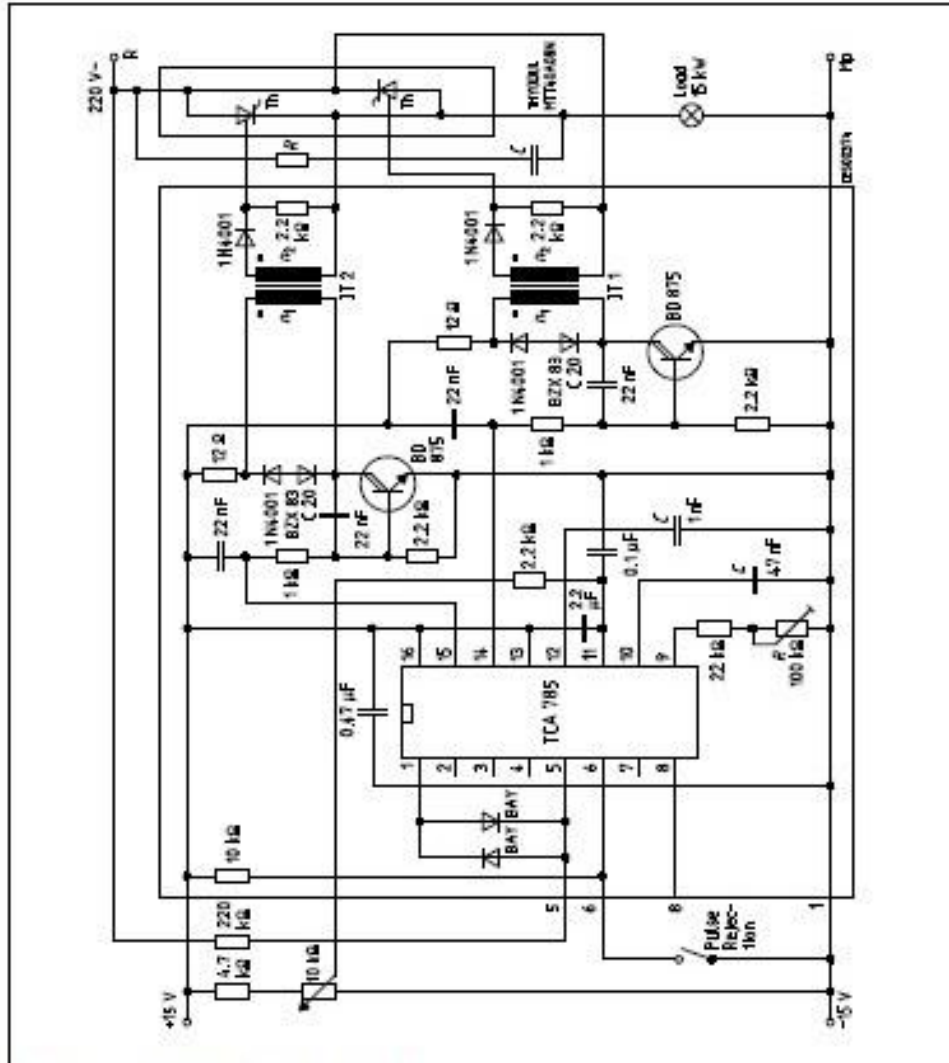


Reference Voltage 8



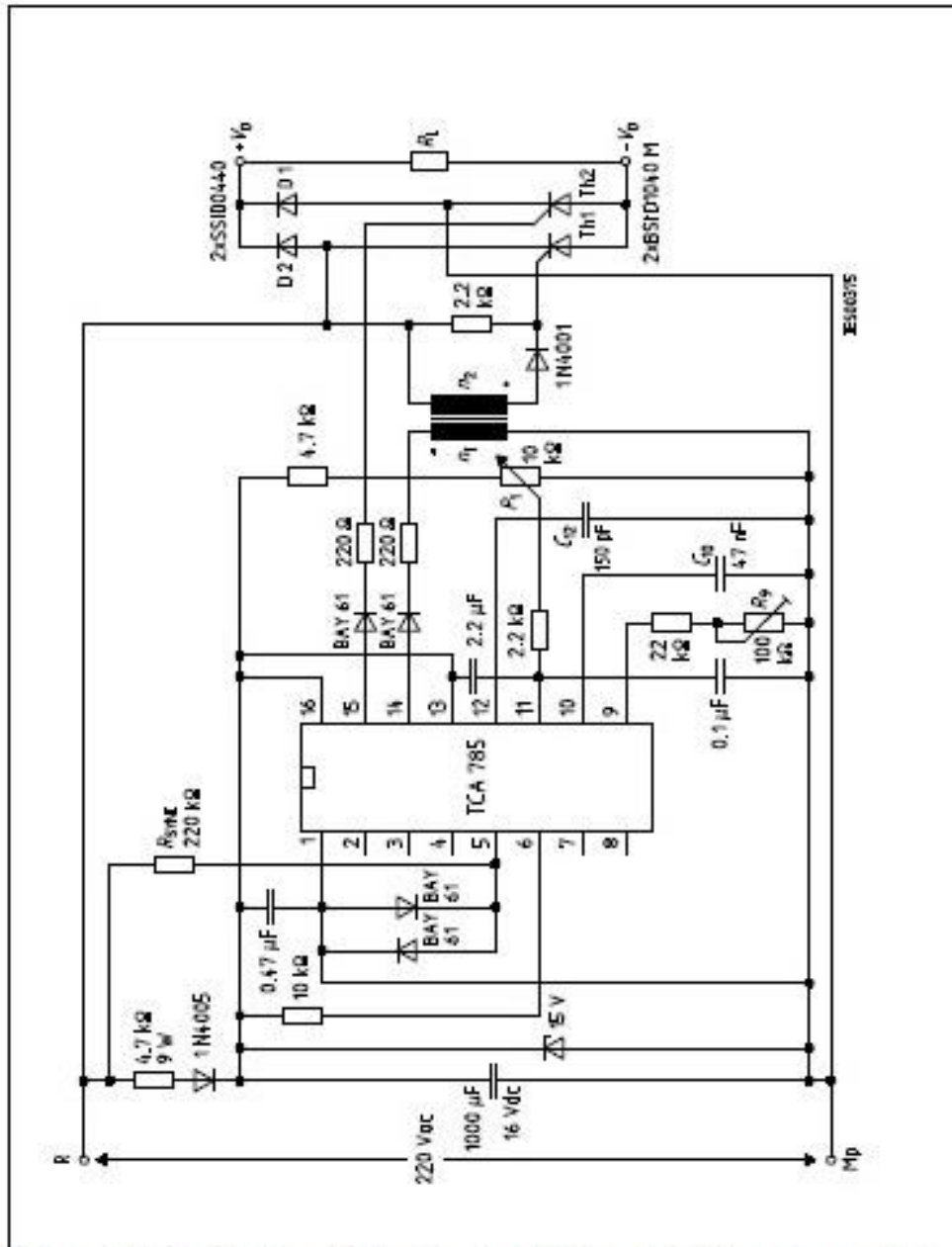
**Application Examples**  
**Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current**

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 μs.

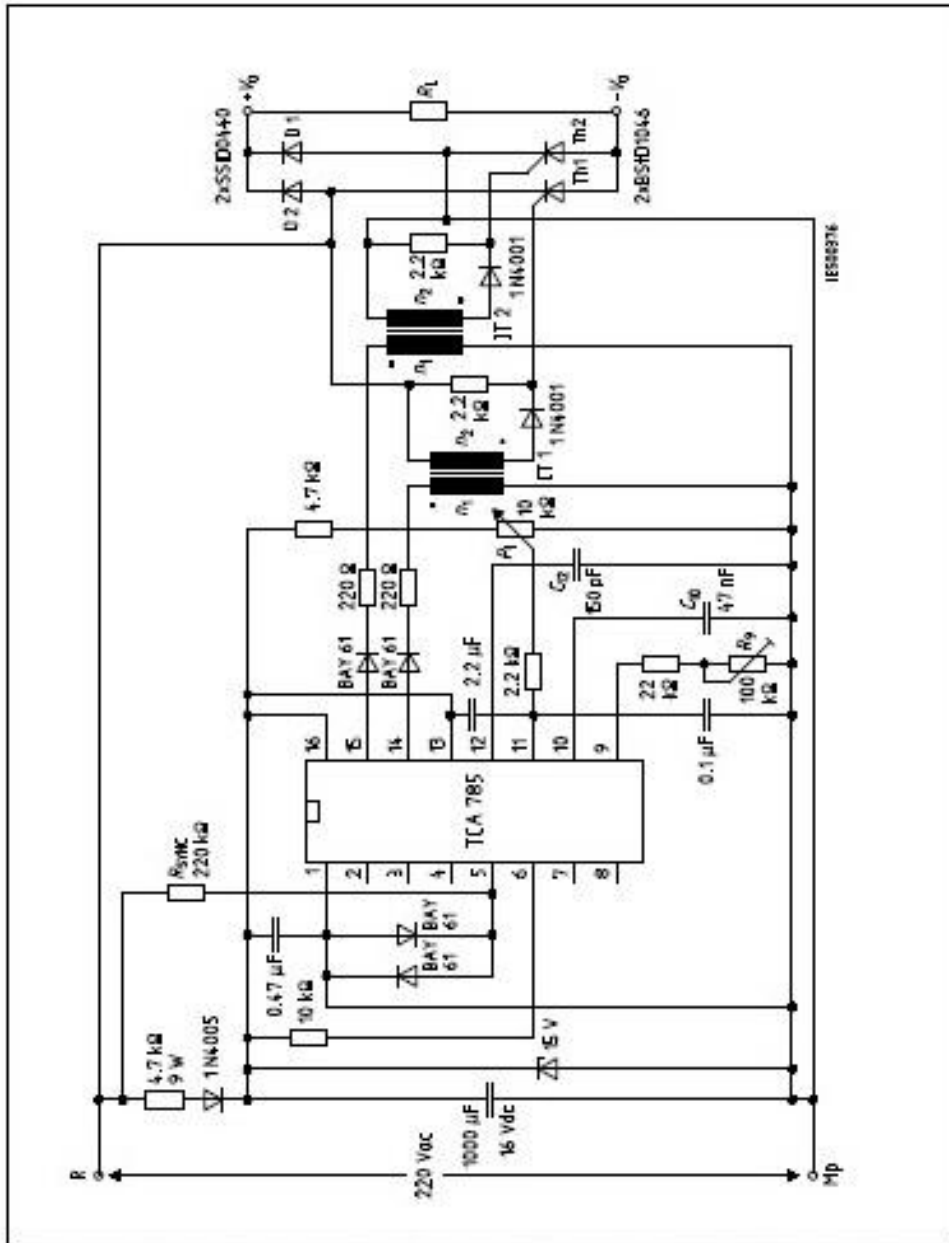


Fully Controlled AC Power Controller  
Circuit for Two High-Power Thyristors

Shown is the possibility to trigger two antiparalleled thyristors with one IC TCA 785. The trigger pulse can be shifted continuously within a phase angle between 0° and 180° by means of a potentiometer. During the negative line half-wave the trigger pulse of pin 14 is fed to the relevant thyristor via a trigger pulse transformer. During the positive line half-wave, the gate of the second thyristor is triggered by a trigger pulse transformer at pin 15.



Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors



Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors

**Thyristors**

**BT152 series**

**GENERAL DESCRIPTION**

Glass passivated thyristors in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

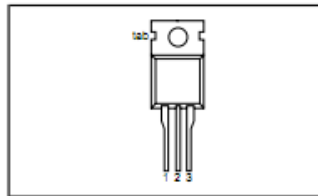
**QUICK REFERENCE DATA**

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages	400R	600R	800R	V
$V_{RRM}$		450	650	800	
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	13	13	13	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	20	20	20	A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	200	200	200	A

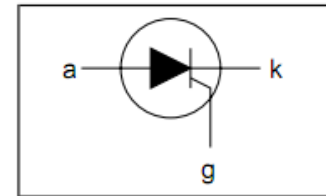
**PINNING - TO220AB**

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate
tab	anode

**PIN CONFIGURATION**



**SYMBOL**



**LIMITING VALUES**

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages		-	400R 450 <sup>1</sup>	600R 650 <sup>1</sup>	800R 800	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	half sine wave; $T_{mb} \leq 103$ °C	-	13			A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	all conduction angles	-	20			A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	half sine wave; $T_j = 25$ °C prior to surge	-	200			A
		$t = 10$ ms	-	200			A
		$t = 8.3$ ms	-	200			A
$I^2t$	$I^2t$ for fusing	$t = 10$ ms	-	200			A <sup>2</sup> s
$di/dt$	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$I_{TM} = 50$ A; $I_G = 0.2$ A; $dI_G/dt = 0.2$ A/ $\mu$ s	-	200			A/ $\mu$ s
$I_{GM}$	Peak gate current		-	5			A
$V_{GM}$	Peak gate voltage		-	5			V
$V_{RGM}$	Peak reverse gate voltage		-	5			V
$P_{GM}$	Peak gate power		-	20			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
$T_{stg}$	Storage temperature		-40	150			°C
$T_j$	Operating junction temperature		-	125			°C

<sup>1</sup> Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the thyristor may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ $\mu$ s.



## Thyristors

BT152 series

## THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th(j-c)}$	Thermal resistance junction to mounting base		-	-	1.1	K/W
$R_{th(j-a)}$	Thermal resistance junction to ambient	In free air	-	60	-	K/W

## STATIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{GT}$	Gate trigger current	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	3	32	mA
$I_L$	Latching current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	25	80	mA
$I_H$	Holding current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	15	60	mA
$V_T$	On-state voltage	$I_T = 40\text{ A}$	-	1.4	1.75	V
$V_{GT}$	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.6	1.5	V
$I_D, I_R$	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}; I_T = 0.1\text{ A}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ $V_D = V_{DRM(max)}; V_R = V_{RRM(max)}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	0.25	0.4	-	V
			-	0.2	1.0	mA

## DYNAMIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$dV_G/dt$	Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C};$ exponential waveform gate open circuit	200	300	-	V/ $\mu\text{s}$
$t_{gt}$	Gate controlled turn-on time	$V_D = V_{DRM(max)}; I_G = 0.1\text{ A}; dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s};$ $I_{TM} = 40\text{ A}$	-	2	-	$\mu\text{s}$
$t_c$	Circuit commutated turn-off time	$V_D = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C};$ $I_{TM} = 50\text{ A}; V_G = 25\text{ V}; dI_{TM}/dt = 30\text{ A}/\mu\text{s};$ $dV_G/dt = 50\text{ V}/\mu\text{s}; R_{GM} = 100\ \Omega$	-	70	-	$\mu\text{s}$

Thyristors

BT152 series

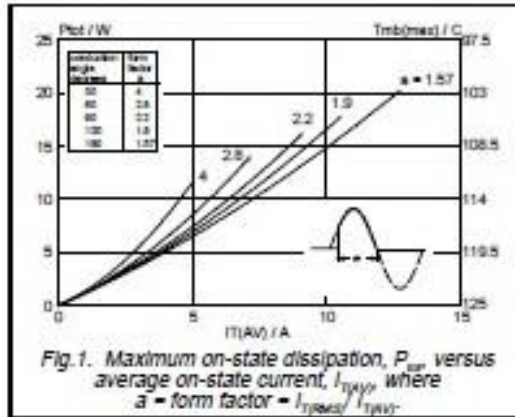


Fig. 1. Maximum on-state dissipation,  $P_{tot}$ , versus average on-state current,  $I_{T(AV)}$ , where  $a$  = form factor =  $I_{T(RMS)} / I_{T(AV)}$ .

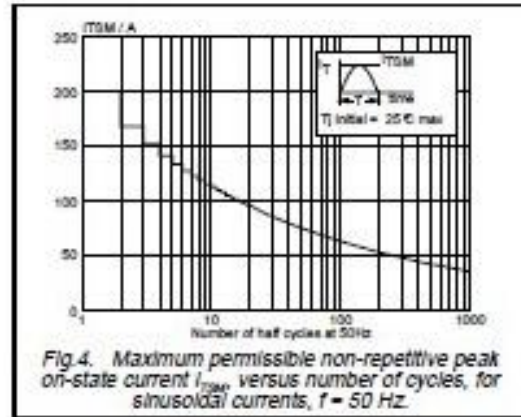


Fig. 4. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$  versus number of cycles, for sinusoidal currents,  $f = 50$  Hz.

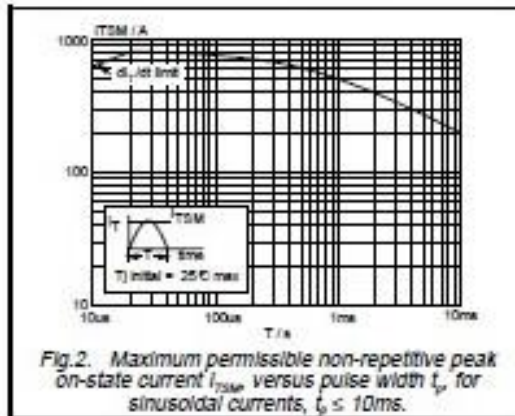


Fig. 2. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$  versus pulse width  $t_p$ , for sinusoidal currents,  $t_p \leq 10$ ms.

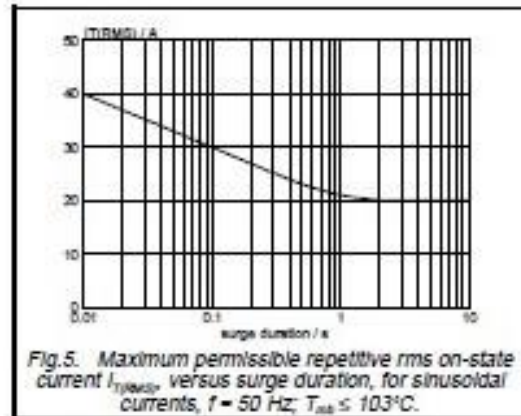


Fig. 5. Maximum permissible repetitive rms on-state current  $I_{T(RMS)}$  versus surge duration, for sinusoidal currents,  $f = 50$  Hz;  $T_{amb} \leq 103^\circ\text{C}$ .

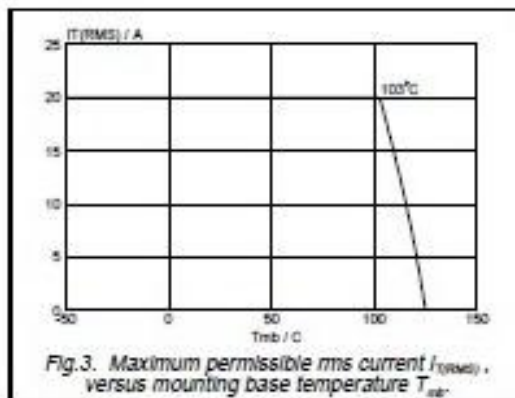


Fig. 3. Maximum permissible rms current  $I_{T(RMS)}$ , versus mounting base temperature  $T_{amb}$ .

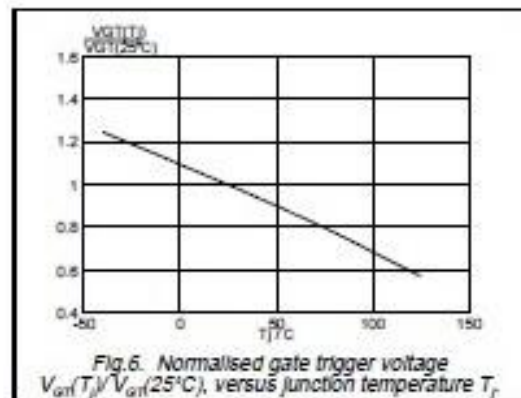
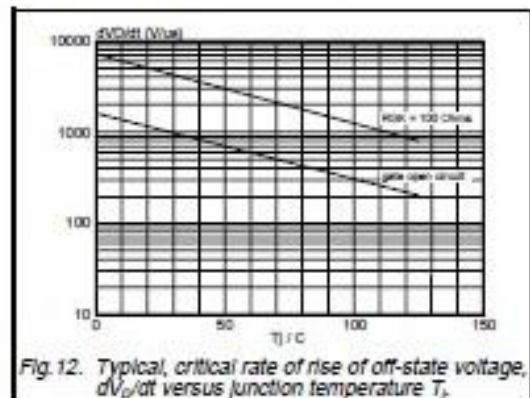
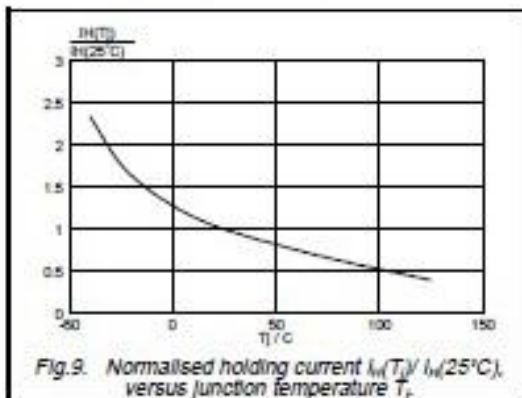
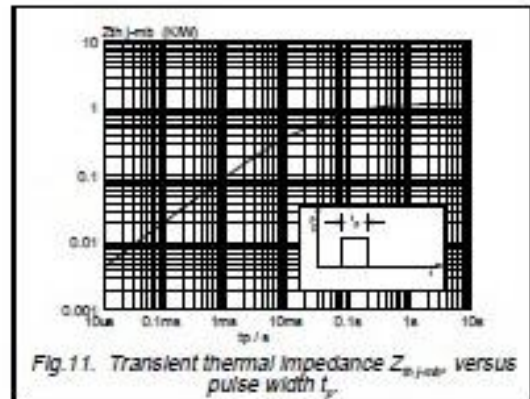
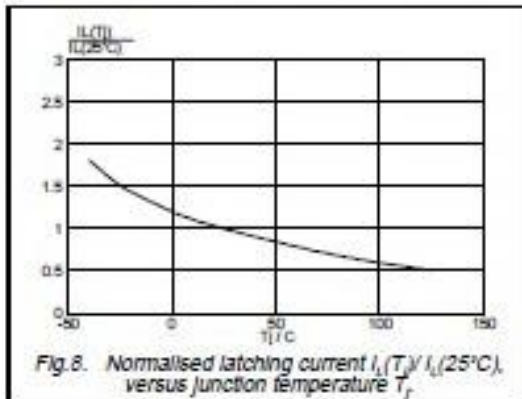
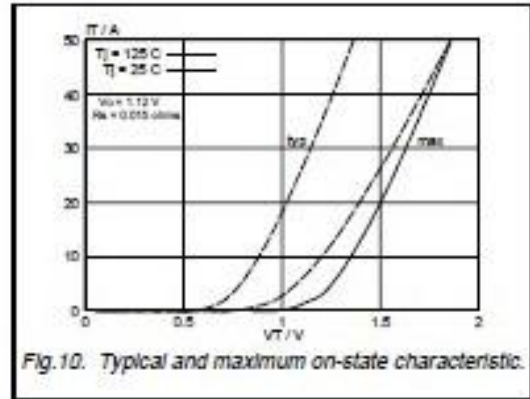
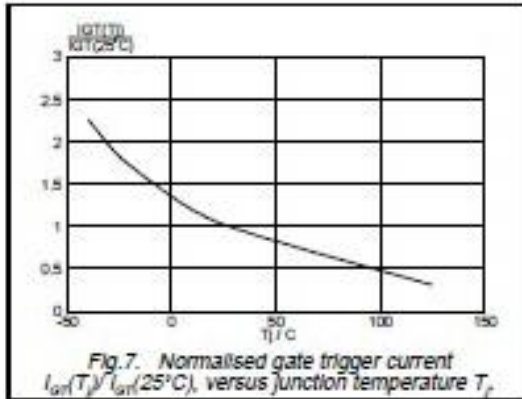


Fig. 6. Normalised gate trigger voltage  $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25^\circ\text{C})$ , versus junction temperature  $T_j$ .

Thyristors

BT152 series



**MECHANICAL DATA**

*Dimensions in mm*

*Net Mass: 2 g*

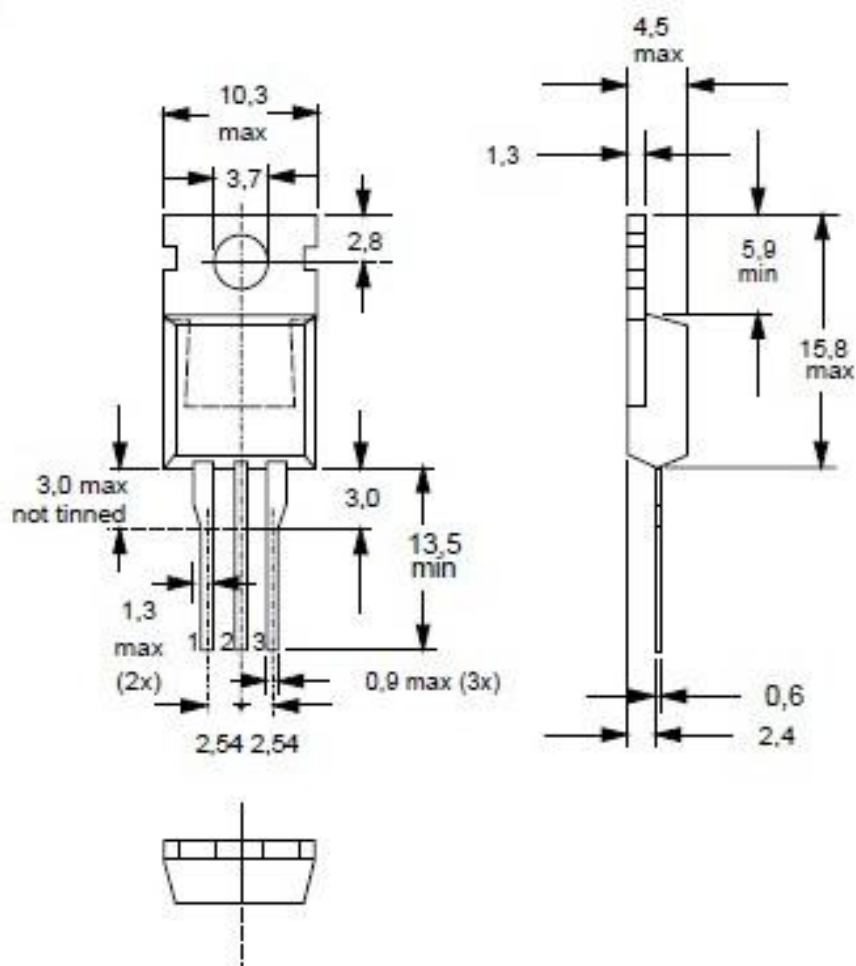


Fig. 13. TO220AB; pin 2 connected to mounting base.

**Notes**

1. Refer to mounting instructions for TO220 envelopes.
2. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

## Thyristors

BT152 series

**DEFINITIONS**

<b>Data sheet status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
<b>Application Information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	
© Philips Electronics N.V. 1997	
All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.	
The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.	

**LIFE SUPPORT APPLICATIONS**

These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.





**LITE-ON ELECTRONICS, INC.**

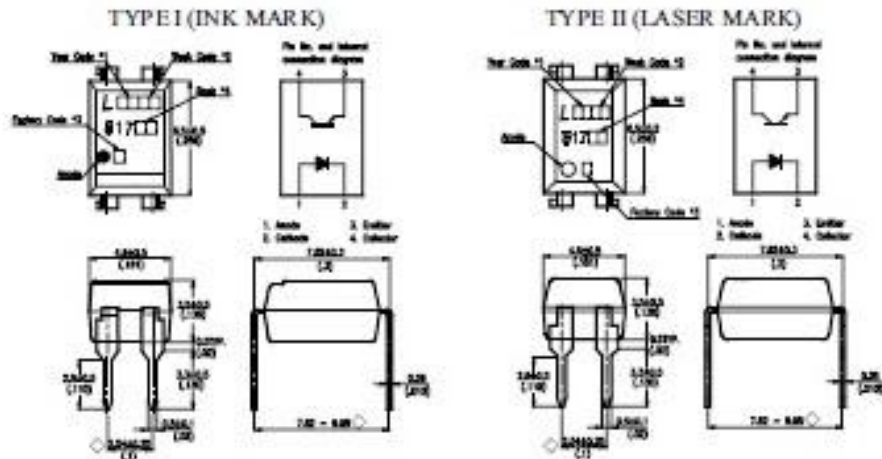
**Property of Lite-On Only**

## FEATURES

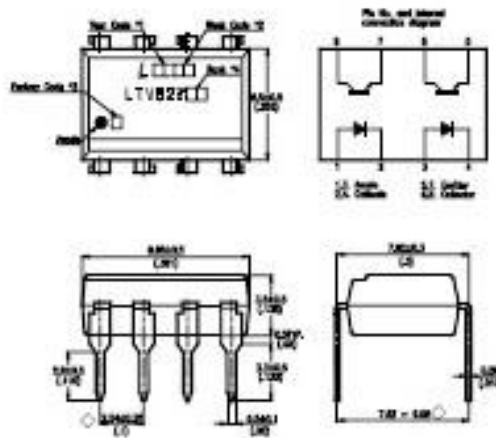
- \* Current transfer ratio  
( CTR : MIN. 50% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$  )
- \* High input-output isolation voltage  
(  $V_{iso} = 5,000\text{V}_{rms}$  )
- \* Response time  
(  $t_r$  : TYP.  $4\mu\text{s}$  at  $V_{CE} = 2\text{V}$ ,  $I_C = 2\text{mA}$ ,  $R_L = 100\Omega$  )
- \* Dual-in-line package :
  - LTV-817 : 1-channel type
  - LTV-827 : 2-channel type
  - LTV-847 : 4-channel type
- \* Wide lead spacing package :
  - LTV-817M : 1-channel type
  - LTV-827M : 2-channel type
  - LTV-847M : 4-channel type
- \* Surface mounting package :
  - LTV-817S : 1-channel type
  - LTV-827S : 2-channel type
  - LTV-847S : 4-channel type
- \* Tape and reel packaging :
  - LTV-817S-TA1, LTV-827S-TA1
- \* UL approved ( No. E113898 )
- \* TUV approved ( No. R9653630 )
- \* CSA approved ( No. CA91533-1 )
- \* FIMKO approved ( No. 202634 )
- \* NEMKO approved ( No. P98101945 )
- \* DEMKO approved ( No. 307857 )
- \* SEMKO approved ( No. 9845089 / 01-30 )
- \* VDE approved (No. 094722 )
- \* BSI approved ( No. 8334 )
- \* ◇ Critical characteristic
- \* ○ Safety or compliance characteristic.

**OUTLINE DIMENSIONS**

**LTV-817 :**



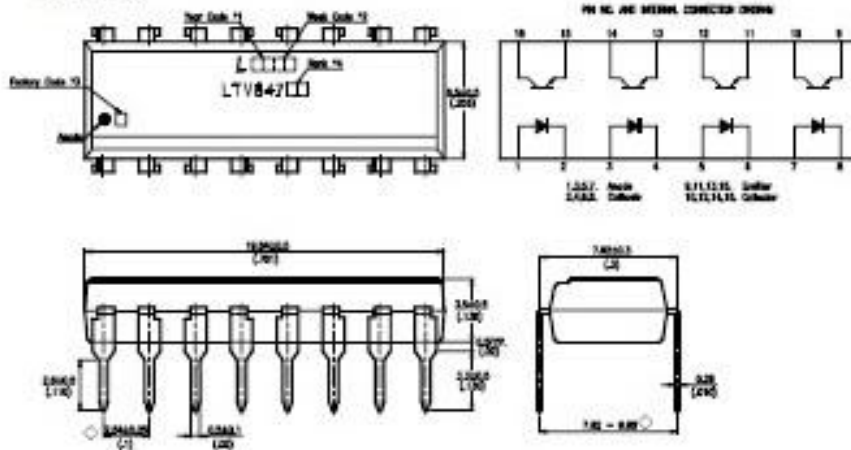
**LTV-827 :**



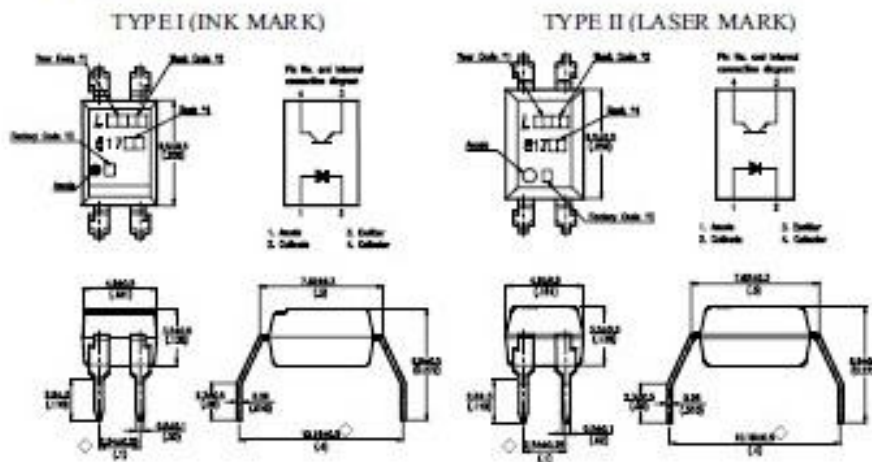
- \*1. Year date code.
- \*2. 2-digit work week.
- \*3. Factory identification mark shall be marked (Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China).
- \*4. Rank shall be or shall not be marked.

**OUTLINE DIMENSIONS**

**LTV-847 :**



**LTV-817M :**

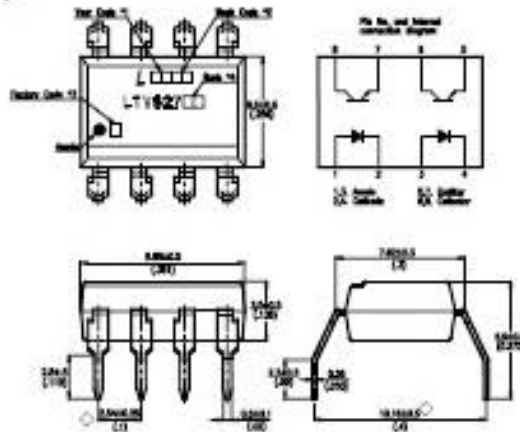


- \*1. Year date code.
- \*2. 2-digit work week.
- \*3. Factory identification mark shall be marked (Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China).
- \*4. Rank shall be or shall not be marked.

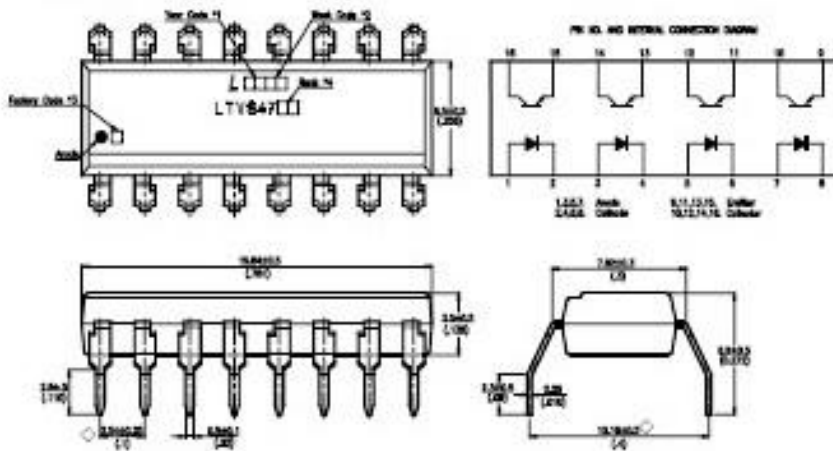


**OUTLINE DIMENSIONS**

**LTV-827M :**



**LTV-847M :**

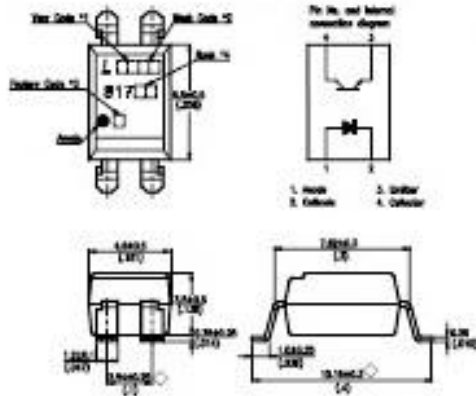


- \*1. Year date code.
- \*2. 2-digit work week.
- \*3. Factory identification mark shall be marked (Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China).
- \*4. Rank shall be or shall not be marked.

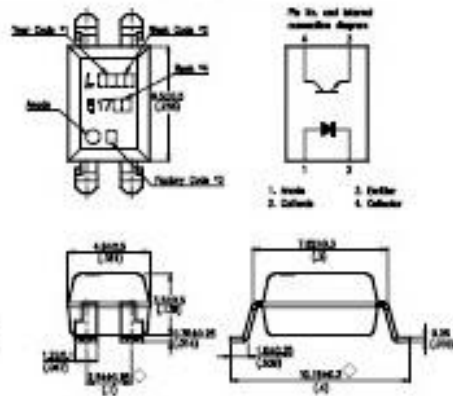
**OUTLINE DIMENSIONS**

**LTV-817S :**

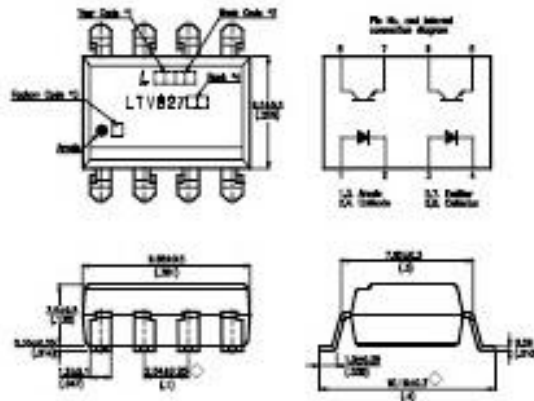
**TYPE I (INK MARK)**



**TYPE II (LASER MARK)**



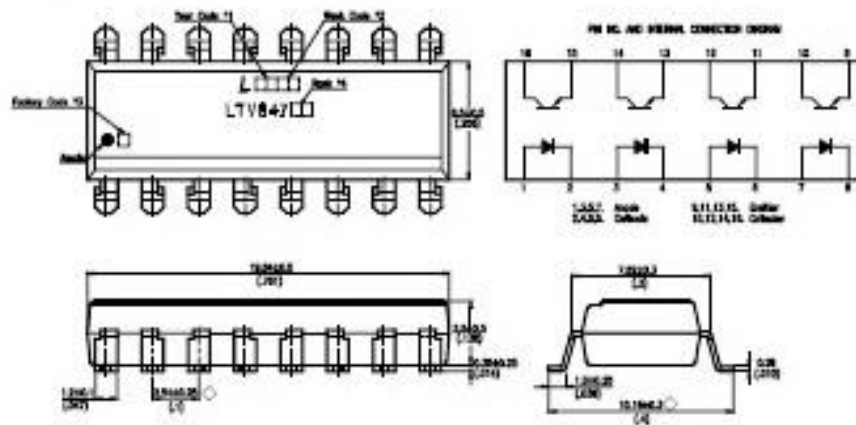
**LTV-827S :**



- \*1. Year date code.
- \*2. 2-digit work week.
- \*3. Factory identification mark shall be marked (Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China).
- \*4. Rank shall be or shall not be marked.

**OUTLINE DIMENSIONS**

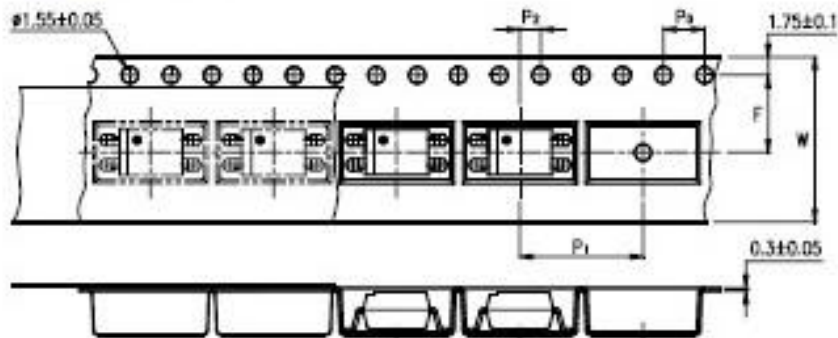
LTV-847S :



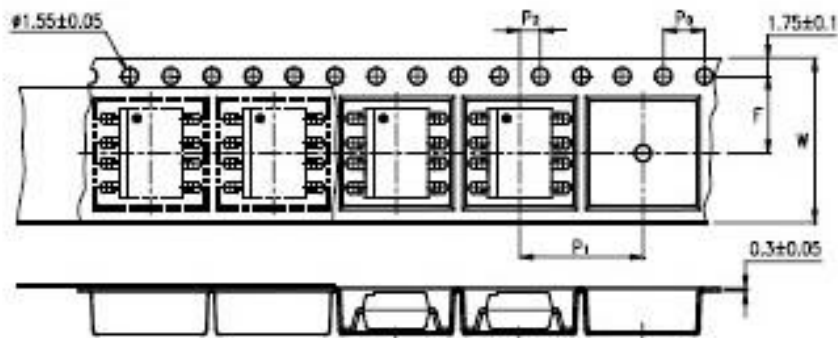
- \*1. Year date code.
- \*2. 2-digit work week.
- \*3. Factory identification mark shall be marked (Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China).
- \*4. Rank shall be or shall not be marked.

**TAPING DIMENSIONS**

**LTV-817S-TA1 :**



**LTV-827S-TA1 :**



Description	Symbol	Dimensions in mm ( inches )
Tap width	W	$16 \pm 0.3$ (.63)
Pitch of sprocket holes	$P_2$	$4 \pm 0.1$ (.15)
Distance of component	F	$7.5 \pm 0.1$ (.295)
Distance of component to component	$P_1$	$2 \pm 0.1$ (.079)
Distance of component to component	$P_3$	$12 \pm 0.1$ (.472)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATING**

 (  $T_a = 25^{\circ}\text{C}$  )

	PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
INPUT	Forward Current	$I_f$	50	mA
	Reverse Voltage	$V_R$	6	V
	Power Dissipation	$P$	70	mW
OUTPUT	Collector - Emitter Voltage	$V_{CE(s)}$	35	V
	Emitter - Collector Voltage	$V_{EC(s)}$	6	V
	Collector Current	$I_C$	50	mA
	Collector Power Dissipation	$P_C$	150	mW
Total Power Dissipation		$P_{tot}$	200	mW
*1	Isolation Voltage $\bigcirc$	$V_{iso}$	5,000	V <sub>rms</sub>
Operating Temperature		$T_{op}$	-30 ~ +100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature		$T_{stg}$	-55 ~ +125	$^{\circ}\text{C}$
*2	Soldering Temperature	$T_{sol}$	260	$^{\circ}\text{C}$

\*1. AC For 1 Minute, R.H. = 40 ~ 60%

Isolation voltage shall be measured using the following method.

- (1) Short between anode and cathode on the primary side and between collector and emitter on the secondary side.
- (2) The isolation voltage tester with zero-cross circuit shall be used.
- (3) The waveform of applied voltage shall be a sine wave.

\*2. For 10 Seconds

**ELECTRICAL - OPTICAL CHARACTERISTICS**

(Ta = 25°C)

PARAMETER		SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	CONDITIONS
INPUT	Forward Voltage	V <sub>F</sub>	—	1.2	1.4	V	I <sub>c</sub> =20mA
	Reverse Current	I <sub>s</sub>	—	—	10	μA	V <sub>s</sub> =4V
	Terminal Capacitance	C <sub>i</sub>	—	30	250	pF	V=0, f=1KHz
OUTPUT	Collector Dark Current	I <sub>co</sub>	—	—	100	nA	V <sub>ce</sub> =20V, I <sub>c</sub> =0
	Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV <sub>cem</sub>	35	—	—	V	I <sub>c</sub> =0.1mA I <sub>e</sub> =0
	Emitter-Collector Breakdown Voltage	BV <sub>ecm</sub>	6	—	—	V	I <sub>c</sub> =10μA I <sub>e</sub> =0
TRANSFER CHARACTERISTICS	Collector Current	I <sub>c</sub>	2.5	—	30	mA	I <sub>e</sub> =5mA V <sub>ce</sub> =5V
	*1 Current Transfer Ratio ◇	CTR	50	—	600	%	
	Collector-Emitter Saturation Voltage	V <sub>cesat</sub>	—	0.1	0.2	V	I <sub>c</sub> =20mA I <sub>e</sub> =1mA
	Isolation Resistance	R <sub>iso</sub>	5×10 <sup>10</sup>	1×10 <sup>11</sup>	—	Ω	DC500V 40~60% R.H.
	Floating Capacitance	C <sub>f</sub>	—	0.6	1	pF	V=0, f=1MHz
	Cut-Off Frequency	f <sub>c</sub>	—	80	—	kHz	V <sub>ce</sub> =5V, I <sub>c</sub> =2mA R <sub>L</sub> =100Ω, -3dB
	Response Time (Rise)	t <sub>r</sub>	—	4	18	μs	V <sub>ce</sub> =2V, I <sub>c</sub> =2mA R <sub>L</sub> =100Ω
	Response Time (Fall)	t <sub>f</sub>	—	3	18	μs	

$$*1 \text{ CTR} = \frac{I_c}{I_e} \times 100\%$$

**RANK TABLE OF CURRENT TRANSFER RATIO CTR**

MODEL NO.	RANK MARK	CTR (%)
LTV-817	L	50 - 100
	A	80 - 160
	B	130 - 260
	C	200 - 400
	D	300 - 600
	L or A or B or C or D	50 - 600
LTV-827 LTV-847	B	130 - 260
	B or C or BC	130 - 400
	C	200 - 400
	C or D or CD	200 - 600
	B · BC · C · CD or No mark	50 - 600

<b>CONDITIONS</b>	$I_f = 5 \text{ mA}$ $V_{CE} = 5 \text{ V}$ $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
-------------------	-------------------------------------------------------------------------------------



**CHARACTERISTICS CURVES**

Fig.1 Forward Current vs. Ambient Temperature

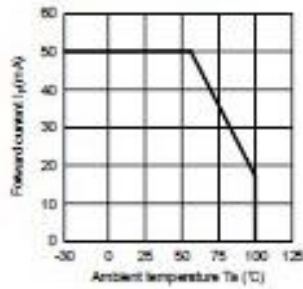


Fig.2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

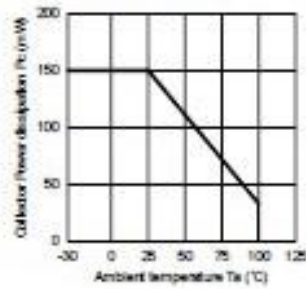


Fig.3 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current

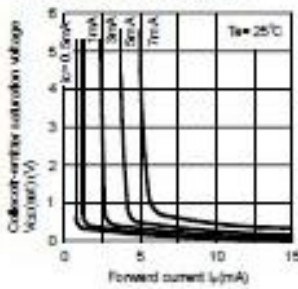


Fig.4 Forward Current vs. Forward Voltage

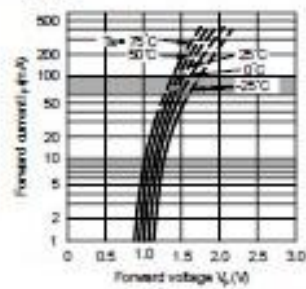


Fig.5 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

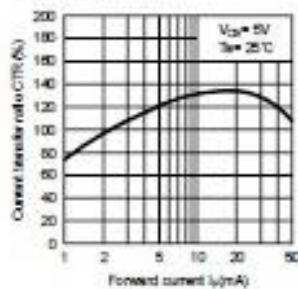
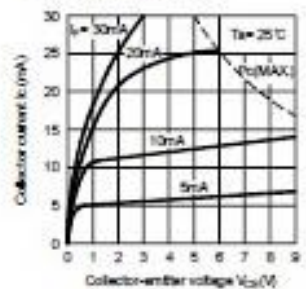


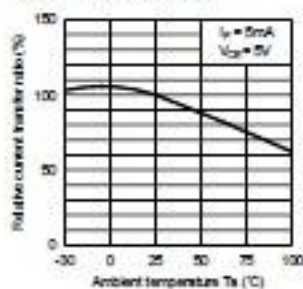
Fig.6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage



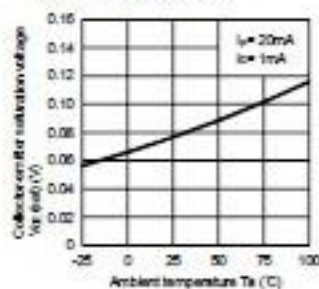


**CHARACTERISTICS CURVES**

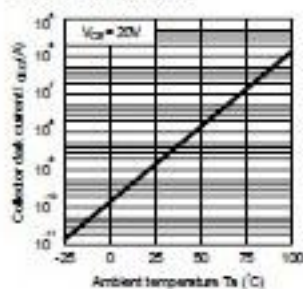
**Fig.7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature**



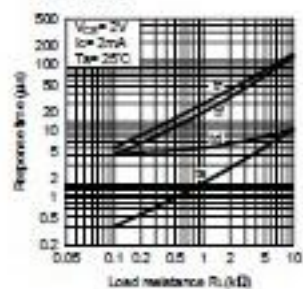
**Fig.8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature**



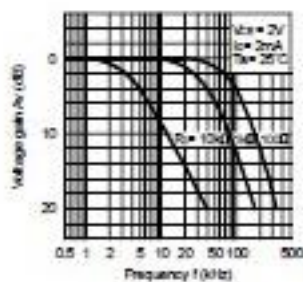
**Fig.9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature**



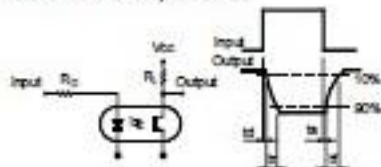
**Fig.10 Response Time vs. Load Resistance**



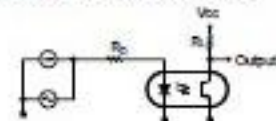
**Fig.11 Frequency Response**



**Test Circuit for Response Time**



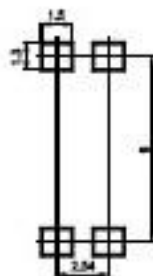
**Test Circuit for Frequency Response**



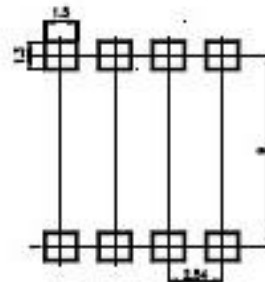
**RECOMMENDED FOOT PRINT PATTERNS (MOUNT PAD)**

Unit : mm

4 PIN



8 PIN



16 PIN

