



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## DIGITÁLNĚ ŘÍZENÍ TYRISTOROVÝ ZDROJ S GSM KOMUNIKACÍ

DIGITAL CONTROLLED POWER SOURCE WITH GSM

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Buday

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Martin Buday

**ID:** 173621

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### Digitálně řízení tyristorový zdroj s GSM komunikací

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte literární studii pro aktuální aplikaci protikorozní ochrany ve stížených podmínkách.
2. Navrhněte celkovou HW a SW koncepci digitálně řízeného tyristorového zdroje, který bude vybavený GSM komunikací.
3. Zrealizujte HW koncepci systému, zrealizujte a oživte elektroniku. Otestujte její funkčnost.
4. Vytvořte programové vybavení a otestujte jeho funkčnost.
5. Zhodnoťte zvolené řešení, demonstруйте jeho funkčnost a ověřte jeho vlastnosti.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 13.5.2019

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Obsahom tejto Diplomovej práce je návrh digitálneho riadenia pre tyristorový zdroj s GSM komunikáciou. Určený pre protikoróznú ochranu. Práca obsahuje návrh celého zariadenia od prvotných návrhov schém až po konečný výrobok. Opisuje deje ktoré vznikajú pri korózii, vysvetľuje princíp činnosti tyristoru ako výkonového spínača. Ďalej opisuje vytvorenie a štruktúru jednoduchého menu pomocou mikroprocesora STM32. Vysvetľuje princíp regulácie takéhoto zdroja Ďalej sa zaoberá riadenými usmerňovačmi pomocou tyristoru.

## **Kľúčové slová**

Tyristor, Tyristorový zdroj, Protikorózna ochrana, Katódová ochrana, Riadený usmerňovač, Mikroprocesor, Korózia, PID regulátor, GSM, GPS,

## **Abstract**

Content of this diploma thesis is project of the digital control design for a thyristor source with GSM communication. Designed for corrosion protection. The work contain design of the whole device from the initial proposals of the electro diagrams up to finished product. It describes the events that arise in corrosion, explains the principle of operating a thyristor as a power switch. It also describes the creation and structure of a simple menu using the STM32 microprocessor. It explains the principle of controlling a source. Next, it deals with controlled rectifiers using a thyristor.

## **Keywords**

Thyristor, Thyristor Source, Corrosion Protection, Cathodic Protection, Controlled Rectifier, Microprocessor, Corrosio, PID controller, GSM, GPS,

## **Bibliografická citácia:**

BUDAY, Martin. *Digitálně řízení tyristorový zdroj s GSM komunikací*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119256>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Zdeněk Bradáč.

## **Prehlásenie autora o pôvodnosti diela**

Prehlasujem, že svoju Diplomovú prácu na tému "*Digitálně řízení tyristorový zdroj s GSM komunikací*" som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname použitej literatúry na konci práce. Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nepovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brna dňa **13 mája 2019**

.....  
podpis autora

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.za metodickú pedagogickú a odbornú pomoc taktiež za ďalšie cenné rady. Ďalej ďakujem Ing. Marekovi Kačaliakovi za odpornú pomoc pri návrhu a celému kolektívu NES Nová Dubnica s.r.o. za praktické rady a skúsenosti.

V Brne dňa **13. mája 2019**

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teória.....	2
2.1	Korózia.....	2
2.1.1	Delenie korózie.....	3
2.2	Protikorózna ochrana.....	5
2.2.1	Pasívna antikorózna ochrana.....	5
2.2.2	Aktívna antikorózna ochrana.....	6
2.2.3	Princíp aktívnej antikorózneho ochrany.....	6
2.3	Zdroje pre katódovú ochranu.....	9
2.3.1	Topológie zdrojov.....	10
2.4	Tyristor.....	12
2.4.1	Princíp riadenia tyristora.....	14
3	Obvodový návrh dosky riadenia.....	17
3.1	Doska riadenia tyristorového zdroja.....	17
3.1.1	Mikroprocesorová doska.....	17
3.1.2	Monitorovanie pomocou prúdovej slučky.....	18
3.1.3	Periférie.....	19
3.1.4	Riadenie ventilátora.....	20
3.1.5	Externé blokovanie.....	20
3.1.6	Prehriatie.....	21
3.1.7	Meranie teploty.....	22
3.1.8	Meranie.....	22
3.1.9	Napájanie riadiacej dosky.....	24
3.1.10	Synchronizácia tyristorov.....	25
3.1.11	Budiace obvody tyristorov.....	25
3.1.12	Blokovanie pulzov.....	26
3.1.13	Kontrola napájania.....	26
3.2	Doska plošného spoja.....	27
3.3	Zostava zdroja.....	28
3.3.1	Vstupný filter.....	28
3.3.2	Olejová vaňa a silová časť.....	30
3.3.3	Výstupný filter.....	31
3.3.4	Riadiaca časť.....	32
3.3.5	Predný Panel.....	33
4	Software zdroja.....	34
4.1	Riadenie a regulácia.....	36
4.1.1	Synchronizácia.....	36

4.1.2	Meranie napätia prúdu a potenciálu .....	37
4.1.3	Regulácia napätia prúdu a potenciálu.....	39
4.1.4	Kontrola a blokovanie zdroja .....	42
4.2	Menu a ovládanie .....	43
4.2.1	Ovládanie cez DD06 .....	43
4.2.2	Ovládanie cez NES Screen.....	44
4.2.3	Užívateľské menu .....	45
4.2.4	Servisné menu.....	49
4.3	Podporný software.....	49
4.3.1	Záznam na SD kartu .....	50
4.4	GPS a GSM komunikácia .....	50
4.4.1	Časová synchronizácia .....	51
5	Oživenie a testovanie zdroja .....	51
5.1	Prvá synchronizácia.....	51
5.2	Nastavenie regulátorov .....	53
5.3	Testovanie rekuperácie zdroja.....	55
5.4	Testovanie pod výkonom a oteplenie.....	56
6	Záver .....	59
	Literatura .....	60
	Zoznam symbolov , veličín a skratiek.....	62
	Zoznam príloh.....	63



# Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Cyklus korózie na oceli a železe .....	2
Obrázok 2: a) Neporušený materiál b) Skorodovaný materiál c) Očistený materiál od oxidu [6].....	3
Obrázok 3: Tri typy nerovnomernej korózie [6].....	3
Obrázok 4: Korózne trhliny a lomy [6] .....	4
Obrázok 5: Mechanizmus elektrochemickej korózie .....	4
Obrázok 6: Ochrana vonkajším zdrojom prúdu .....	7
Obrázok 7: Ochrana obetavou anódou .....	7
Obrázok 8: Princíp anódovej ochrany.....	8
Obrázok 9: Oblasti pôsobenia blúdivých prúdov [10] .....	9
Obrázok 10: Topológia pulzného zdroja .....	11
Obrázok 11: Topológia tyristorového zdroja .....	12
Obrázok 12: Základná štruktúra PNPN. Myšlienkové rozdelenie na dve štruktúry. Obvodový model tyristoru.....	13
Obrázok 13: Vypnutie tyristora .....	13
Obrázok 14: Graf riadeného funkcie riadeného usmerňovača.....	14
Obrázok 15: Zapojenie transformátoru Dy11 .....	15
Obrázok 16: Zapojenie transformátoru Yy0 .....	15
Obrázok 17: Konceptia rekuperácie a zdroja.....	16
Obrázok 18: Zapojenie mikroprocesorovej jednotky .....	18
Obrázok 19: Zapojenie výstupných hlások von zo zdroja .....	19
Obrázok 20: Zapojenie DO/DI/IA periférii.....	19
Obrázok 21: Ovládanie ventilátoru .....	20
Obrázok 22: Externé blokovanie zdroja.....	21
Obrázok 23: Bezpečnostný teplotný senzor .....	21
Obrázok 24: Externé meranie teploty .....	22
Obrázok 25: Galv. oddelené meranie napätia .....	23
Obrázok 26: Galv. oddelené meranie potenciálu .....	23
Obrázok 27: Galv. oddelené meranie prúdu .....	24
Obrázok 28: Napájanie zdroja .....	24
Obrázok 29: Synchronizačné pulzy .....	25
Obrázok 30: Budiace obvody pre tyristor .....	26
Obrázok 31: Blokovanie a rozmietanie pulzov .....	26
Obrázok 32: Kontrola napájacieho napätia.....	27
Obrázok 33: Doska riadenia tyristorového zdroja .....	28
Obrázok 34: Schéma zapojenia vstupného filtra .....	29
Obrázok 35: Zapojenie transformátora a tyristorov .....	30

Obrázok 36: Zapojenie výstupného filtra .....	32
Obrázok 37: Zapojenie riadiacej časti .....	33
Obrázok 38: Zapojenie predného panelu.....	33
Obrázok 39: Diagram riadenia zdroja .....	35
Obrázok 40: Diagram meracej sústavy .....	37
Obrázok 41: Ukážka kalibrácie .....	39
Obrázok 42: Diagram zapojenia regulátorov .....	40
Obrázok 43: Diagnostický displej DD06.....	43
Obrázok 44: Okno ovládacieho softwaru NES Screen.....	45
Obrázok 45: Diagram Ovládacieho menu .....	48
Obrázok 46: Nes One software.....	49
Obrázok 47: DMZ10 .....	50
Obrázok 48: Ukážka webového rozhrania .....	51
Obrázok 49: Nastavené hodnoty v autosetape .....	55
Obrázok 50: Termo kamera a.) vstupné poistky b.)Tyristory .....	57
Obrázok 51: Termo kamera celé zariadenie.....	58

## Zoznam grafov

Graf 1: Synchronizácia riadiacich pulzov .....	36
Graf 2: Riadenie tyristora.....	37
Graf 3: Regulátor pri tvrdom skrate.....	41
Graf 4: Dokonalý priebeh taktovanie.....	42
Graf 5: Synchronizácia tyristoru.....	52
Graf 6: Výstupné napätie a prúd.....	52
Graf 7: priebeh napätia pred filtrom.....	53
Graf 8: Rozkmitanie prúdového regulátora .....	54
Graf 9: Meraný prúd pri rozkmitaní.....	54
Graf 10: Meranie rekuperácie zdroja.....	55
Graf 11: Zapal'ovacie pulzy a rekuperácia .....	56
Graf 12: Záznam teploty 1 .....	57
Graf 13: Záznam teploty 2.....	58

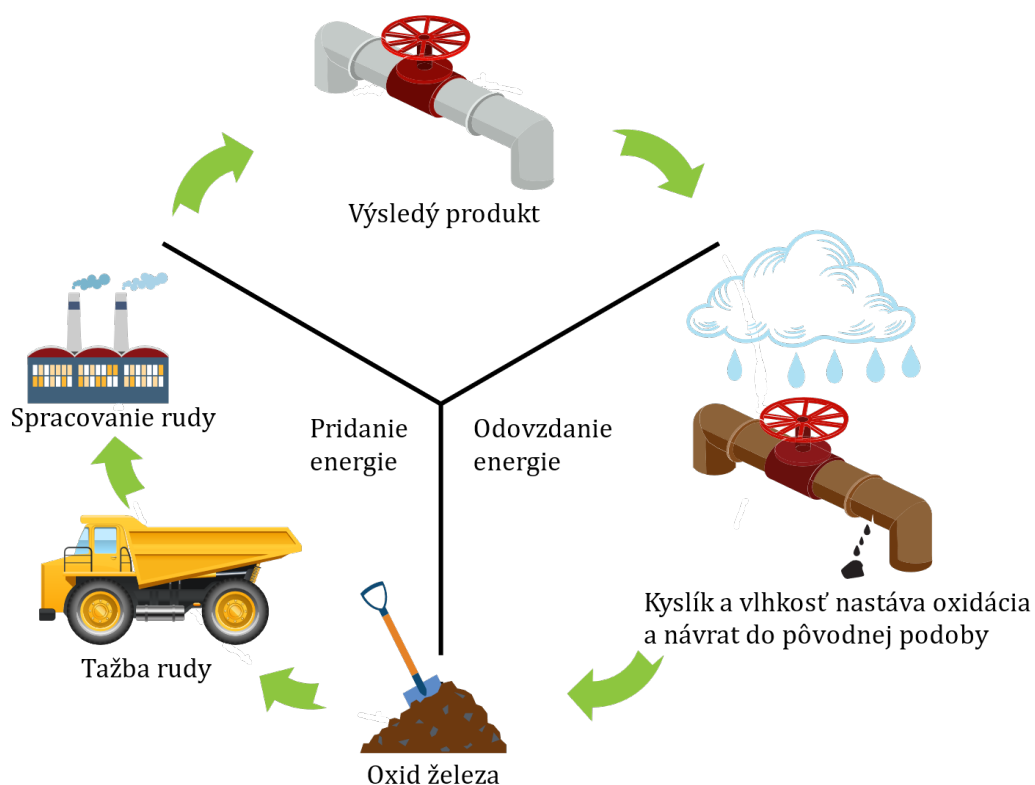
# 1 ÚVOD

Pri stavbe veľkých kovových konštrukciách alebo pri budovaní potrubných systémov ktoré vedú krajinou je potrebné myslieť aj na to že vplyvom prostredia môže dochádzať k opotrebovaniu a následnej deštrukcii daného potrubia alebo konštrukcie. A preto aby nedochádzalo k takýmto stratám používame rôzne typy ochrán proti korózii. Či už sa jedná o pasívnu alebo aktívnu ochranu proti korózii je potrebné aspoň niečo vedieť o korózii. Pri chránení týchto konštrukcii sa vo väčšine prípadov používa kombinácia aktívnej a pasívnej ochrany kde pasívna ochrana je nejaký náter, smalt ktorým sa snažíme zabrániť reakcii kovu a prostredia. Pritom pri aktívnej ochrane pracujeme na potlčený týchto javov pomocou jednosmerného napätia. Toto jednosmerné napätia, prúd sú dodávané zo zdrojov ktoré sú schopné dodať obrovský výkon niekedy až stovky ampérov. Na trhu v dnešnej dobe je dostatok pulzných zdrojov ktoré sú schopné dodať vysoké výkony ale majú jednu obrovskú nevýhodu na použitie ako katodický zdroj a to takú že nie sú dost' robustné. To znamená pri väčšom rušení či už zo siete alebo z výstupu dochádza k prirazu bud' výstupných diód alebo H-mostíka čo ma fatálne následky. A preto je výhodné ako zdroj jednosmerného prúdu použiť tyristorový zdroj jeho koncepcia je veľmi jednoduchá, nenáročná na údržbu odolná voči rušeniu ale má ja veľa nevýhod. Voľbu takéhoto zdroja je potrebné veľmi dobre zvážiť a najme sa poradiť s expertami na danú problematiku ako správne odhadnúť potrebné parameter pri výbere zdroja. Naším cieľom bude skonštruovať tyristorový zdroj ktorý bude schopný prevádzky aj v najhorších atmosférických podmienkach ako sú púšte a prístavy. Bude schopný využitia podporného softvéru ktorý už existuje. Mal by disponovať ochranou proti tvrdému skratu na výstupe. Komunikačný protokol by mal byť prispôsobený tak aby bol schopný komunikovať cez DMZ10 čo je už existujúci modul. Musí splniť všetky požiadavky na chod pri vyšších teplotách okolia. Pri testoch zariadenia musí vyhovieť vo všetkých kritériách bezpečnosti a ekológie keďže zaradenie bude chladené nebezpečnými látkami ako (olej). V neposlednom rade musí byť navrhnuté tak aby jeho výroba bola čo najekonomickejšia a tým pádom aj čo najjednoduchšia.

## 2 TEÓRIA

### 2.1 Korózia

Väčšina materiálov v prírode sa nevyskytuje v čistej forme a preto aby ich bolo možné používať v bežnom živote je potrebné ich spracovať. Kde pri spracovaní daných materiálov napríklad železnej rudy je potrebné pre spracovanie dodanie energie. Tým sa výsledný produkt stáva nestabilný a v atmosférických podmienkach sa snaží vrátiť do pôvodného stavu. A preto u kovových materiáloch ale nie je to podmienkou daný proces funguje aj pri plastoch nastáva takzvaná korózia plastov. Tento cyklus je znázornený na obrázku 1. Vo väčšine prípadoch je tento stav nežiadúci pretože pácha veľké škody na konštrukciách potrubíach či už kovových alebo plastových.



**Obrázok 1: Cyklus korózie na oceli a železe**

Ako už bolo vyššie spomenuté ku korózii dochádza takmer pri každom materiáli ktorý je vystavený atmosférickým podmienkam a preto je našou snahou tento jav čo najviac potlačiť a tým predĺžiť životnosť výrobku. Korózia sa delí na viacero druhov tieto druhy sa určujú podľa intenzity a charakteru napadnutia prostredia do kovu

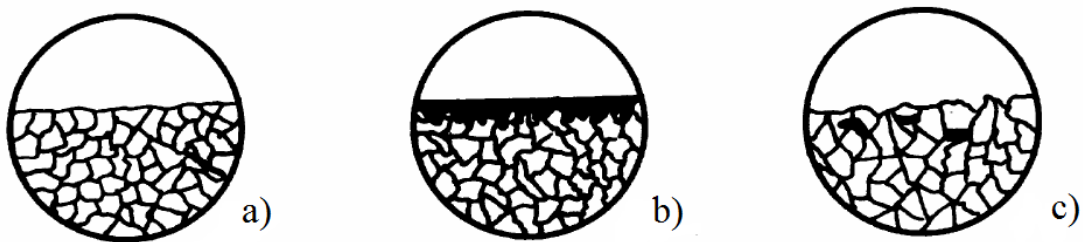
a narušenia jeho štruktúry. Definovaním druhou korózie sa zaoberá príloha normy STN 038737.

### 2.1.1 Delenie korózie

- **Podľa vzhľadu** – rovnomerná a nerovnomerná korózia.
- **Podľa mechanizmu** – chemická a elektrochemická korózia.
- **Podľa rozhodujúceho korózneho činiteľa** – korózia pod napätím, korózna únava , korózne praskanie...
- **Podľa prostredia** – Atmosférické, vo vode v plynoch v pôde...

#### 2.1.1.1 Rovnomerná korózia

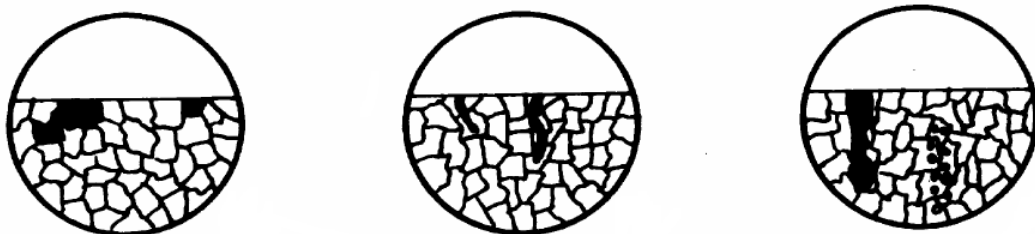
Rovnomerné korózne napadnutie sa vyskytuje za podmienok vysokej reaktivity systému. Reakčné médium má dokonalý prístup k celému povrchu. Tento typ korózie je najrozšírenejší ale najbezpečnejší. Rovnomerne narušuje povrch materiálu relatívne presne vieme stanoviť úbytok materiálu. Ako je možné vidieť na obrázku 2.



Obrázok 2:a) Neporušený materiál b) Skorodovaný materiál c) Očistený materiál od oxidu [6]

#### 2.1.1.2 Nerovnomerná korózia

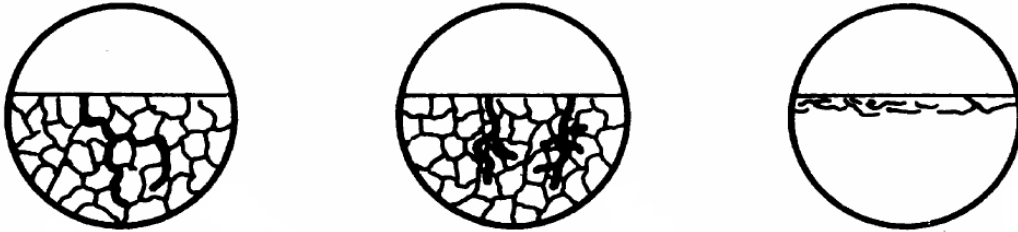
Nerovnomerné korózne napadnutie na rôznych miestach materiálu korózia preniká do rôznej hĺbky čo je väčšinou spôsobené nedokonalým prístupom reakčného média k danému materiálu. Tento typ je oveľa nebezpečnejší pretože v niektorých miestach nemusí byť korózia ani pozorovateľná ale zase na opak v niektorých môže mať deštrukčné účinky. Ako je vidieť na obrázku 3.[3]



Obrázok 3:Tri typy nerovnomernej korózie [6]

### 2.1.1.3 Korózne praskanie

Je spôsobené súčasným účinkom ťahového namáhania a špecifického korózneho prostredia. Namáhanie môže byť vyvolané prevádzkovým zaťažením, zostatkovým zaťažením výrobného procesu, alebo kombináciou oboch.[6]



Obrázok 4: Korózne trhliny a lomy [6]

### 2.1.1.4 Elektrochemická korózia

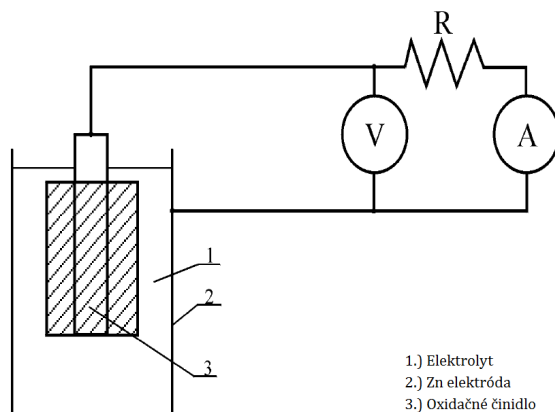
Elektrochemická korózia kovov je ich znehodnocovanie elektrickým potenciálom za vzniku elektrického prúdu, ktorý sa mení na teplo. Základným predpokladom priebehu elektrochemickej korózie je prítomnosť elektrolytu, t.j. elektricky vodivých roztokov alebo solí. Niektoré kovy sa v elektrolyte rozpúšťajú a voči „vodíkovej elektróde“ majú záporné napätie. Tieto sa nazývajú neušľachtilé kovy. Ako napríklad Al, Mg, Zn, Cr, Fe, Cd, Ni, Sn, Pb.[4]

Elektrochemická korózia prebieha vždy v elektricky vodivom prostredí a skladá sa z dvoch dejov:

- anódového – oxidácia kovu (vlastná korózia),
- katódového – súčasná redukcia niektorej oxidujúcej zložky prítomnej v roztoku ( t.j. depolarizačná reakcia ).

Zn elektróda

Oxidačné činidlo



Obrázok 5: Mechanizmus elektrochemickej korózie

Obidve reakcie sú sprevádzané vznikom reakčných spodín. Týmto sa menia aj pôvodné potenciály anódy a katódy tak, že sa hodnota rozdielu potenciálov znižuje. Tento jav sa nazýva polarizácia. Polarizáciou sa znižuje korózný prúd a tým aj

rýchlosť korózie. Ak pôsobí dej opačne, potom dochádza k depolarizácii. Ak je odstraňovanie korózných splodín dokonalé, dosahujú potenciály pôvodné hodnoty a rýchlosť korózie sa zvyšuje. Obidva deje, polarizácia a depolarizácia, sa môžu ovládať, a tým riadiť rýchlosť korózie[4]

#### 2.1.1.5 Atmosférická korózia

Skoro každý výrobok je napadnutý atmosférickou koróziou pretože sa vyskytuje v atmosfére. Táto korózia je jedna z najrozšírenejších na svete. Je výskyt a síle je daná klimatickými podmienkami vlhkosťou, teplotou, znečisteným atmosféry...

Atmosférická korózia vzniká tak, že elektrolyt tvoria kondenzované vodné pary obsiahnuté vo vzduchu, ktoré pohlcujú agresívne plyny, ako sú oxid siričitý, chlorovodík. Kde tento elektrolyt reaguje s daným materiálom.[5]

## 2.2 Protikorózna ochrana

Protikorózna ochrana má chrániť najmä konštrukcie alebo potrubia či už sú uložené v zemi alebo nad povrchom. Daná ochrana je veľmi dôležitá či už sa jedná o potrubia. Kde korózia spôsobuje narušenie plášťa potrubia a tým ho oslabuje, znižuje životnosť potrubia a tým zvyšuje náklady na údržbu. V najhorších prípadoch môže dôjsť aj k narušeniu celistvosti potrubia a tým úniku prepraveného média. Obdoba hrozby číhajú ja pri konštrukciách kde pri oslabení danej konštrukcie vplyvom prostredia môže dôjsť aj k zrúteniu či ujme na živote. Ako vidno na obrázku 1 koróziu nie je možné úplne zastaviť ale je možné ju spomaliť a tým zvýšiť životnosť Dané konštrukcie je možné chrániť niekoľkými spôsobmi.

### 2.2.1 Pasívna antikoročná ochrana

Pasívne ochrany do týchto metód patrí ochrana povlakmi, nátermi povrchovou úpravou, úpravou prostredia ,výberom vhodného materiálu a nie len to ale aj trasovanie najmä pri potrubí

- **Vhodná voľba materiálu a konštrukcie** – Táto ochrana je založená na výbere správneho materiálu kde v prvopočiatku vývoja konštrukcie je potrebné zistiť v akých prevádzkových korózných podmienkach bude daná konštrukcia a je potrebné aby technológ vybral vhodný materiál ktorá bude odolávať týmto podmienkam. Ďalej je potrebné aby projektant navrhol danú konštrukciu tak aby čo najlepšie odolávala. Pri tomto type ochrany je kľúčové aby spolupracoval projektant a technológ.
- **Úprava prostredia** – Toto opatrenie nie je veľmi často používané keďže vo väčšine prípadoch nie je možné meniť agresivitu prostredia voči danej látke ale nájdú a aj také prípady kedy táto ochrana má uplatnenie.

- **Ochranné povlaky kovových materiálov** – Táto ochrana je veľmi rozšírená používa sa aj v kombinácii s aktívnou antikoroúznou ochranou. Spočíva v tom že daná konštrukcia, potrubie je ošetrované nejakým náterom povlakom po väčšine sa používajú rôzne asfalty, smalty plášte z plastu. Pri tejto ochrane je potrebné aby pred nanosením ochranného povlaku bol daný materiál starostlivo ošetrovaný inak je ochrana neúčinná.

## 2.2.2 Aktívna antikoroúzna ochrana

Aktívna antikoroúzna ochrana sa líši od pasívnej tým že sa nesnažíme zamedziť priamo reakcii ale túto reakciu prostredia s daným materiálom potláčame aktívnymi prvkami to znamená že sa snažíme vykompenzovať potenciál a tým čo najviac spomaliť koroúznú reakciu. Táto metóda sa používa najmä pri potrubiach uložených v zemi alebo napríklad v zdimadlových komorách. Pre čo najlepšiu ochranu sa kombinuje pasívna a aktívna ochrana pri potrubiach je to po väčšinou obalené potrubie asfaltovou zmesou a použitá katódová ochrana.

## 2.2.3 Princíp aktívnej antikoroúznej ochrany

Ak sledujeme správanie sa kovov v určitom rozmedzí potenciálov, je vidieť, že sa koroúzna aktivita kovov mení. Sú oblasti rýchleho rozpúšťania kovu ale i jeho stability, kedy je rozpúšťanie kovu z technického hľadiska zanedbateľné a závisí to od charakteru kovu i prostredia, v ktorom sa kov nachádza. V ovplyvňovaní potenciálu zásahom zvonka spočíva podstata elektrochemickej ochrany. Kovu sa vnútri potenciál, pri ktorom sa výrazne zníži koroúzna rýchlosť, t.j. kov sa dostáva do imúnneho alebo pasívneho stavu. Zmena potenciálu k zápornejším hodnotám, posúva kov do stavu imunity, pozície katódy, preto ju nazývame katódová ochrana. Posunom k vyšším potenciálovým hodnotám, môžeme niektoré kovy posunúť do oblasti pasívnej a hovoríme o anódovej ochrane.[2]

### 2.2.3.1 Katódová ochrana

Pri katódovej ochrane sa snažíme posunúť potenciál do imunitnej oblasti kde je rýchlosť šírenia koroúzie chráneného materiálu je minimálna ale na úkor toho že potrebujeme kvalitný zdroj vysokých prúdov

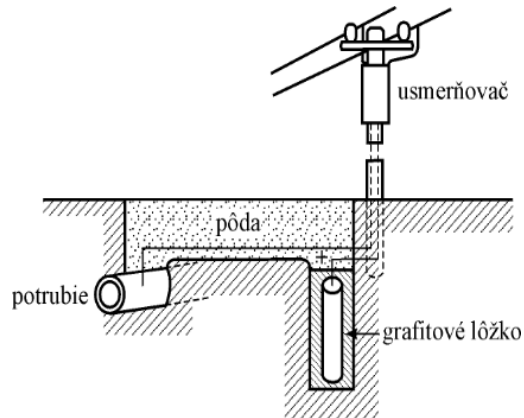
Táto metóda vyžaduje posun potenciálu z kladných do záporných hodnôt. Kde sa snažíme dosiahnuť hodnotu  $E_0$  čo je hodnota minimálneho ochranného potenciálu, kde dochádza k výraznému poklesu rýchlosti koroúzie. Ďalej je potrebné aby v stave  $E_0$  bola dodržaná prúdová rovnováha na oboch elektródach. Aby sme týchto podmienok dosiahli musíme do systému dodávať určitý prúd  $I_0$ , tento prúd sa nazýva minimálna ochranný prúd. Takto sa kov stabilizuje a koroúzne straty sú z technického hľadiska zanedbateľné. Katódová ochrana (aktívna ochrana) sa takmer



vždy používa v kombinácii s ochrannými vrstvami (pasívnou ochranou), čím sa výrazne znižuje hodnota polarizačného prúdu na dosiahnutie požadovaného účinku[2]

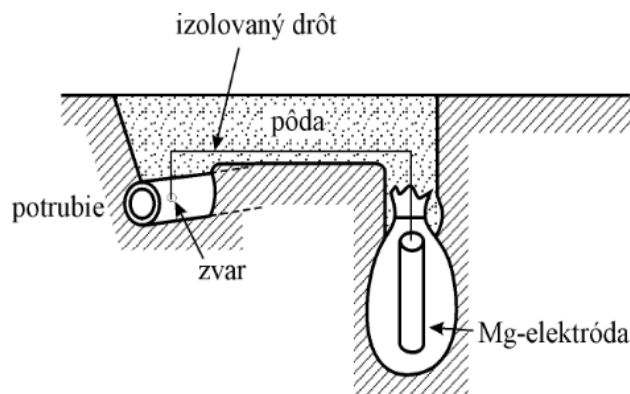
Katódovú ochranu je možné aplikovať dvoma spôsobmi:

- a) **Ochrana vonkajším zdrojom prúdu** – táto ochrana spolu s pasívnou ochranou je asi najrozšírenejšia ochrana a to preto že pomer cena a ochrana potrubia je najlepšie jej zapojenie ilustruje obrázok 6



Obrázok 6: Ochrana vonkajším zdrojom prúdu

- b) **Ochrana obetavou anódou** – túto ochranu je možné nájsť aj pod označením protektorová ochrana. Tu je princíp obdobný ako pri ochrane so zdrojom ale nie je použitý zdroj ale kov z výrazne nižším potenciálom kde tieto dva kovy sú vzájomne prepojené. Tým pádom sme vytvorili galvanický článok kde potrubie sa stáva chráneným objektom a pridaný materiál pomaly koroduje a rozpúšťa sa. Čiže ochranný prúd je získavaný z chemickej reakcie anódy pri ktorej sa uvoľňujú elektróny. A keďže dochádza k úbytku materiálu nazýva sa táto metóda obetavá. Názorná ilustrácia na obrázku 7.

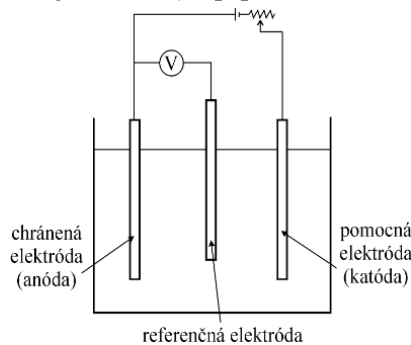


Obrázok 7: Ochrana obetavou anódou

### 2.2.3.2 Anódová ochrana

Anódová ochrana sa aplikuje najmä na kovy, ktoré sú schopné po aplikovaní anódy prejsť do pasívneho stavu. V ktorom sa sávajú stabilnejšie a tým pádom aj odolnejšie voči korózii. Tento princíp je možné si predstaviť tak že pridaním anódy a jednosmerného prúdu a udržujeme v pasívnom stave do ktorého by sa inak nedostal. Ako sme už vyššie uviedli kov držíme v pasívnom stave pomocou jednosmerného prúdu ktorý je možné regulovať kde kladný pól zdroja je pripojený na chránené potrubie a záporný pól je pripojený na katódu čo bežne predstavuje koľajnica zakopaná v určitej vzdialenosti od chráneného potrubia. Kde veľkosť chráneného prúdu zodpovedá veľkosti korózneho prúdu. Na túto ochranu sa zvyčajne používajú zdroje ktoré sú schopné merať a regulovať prúd pomocou potenciálu a tým udržiavajú dané potrubie v tej správnej pasívnej oblasti.

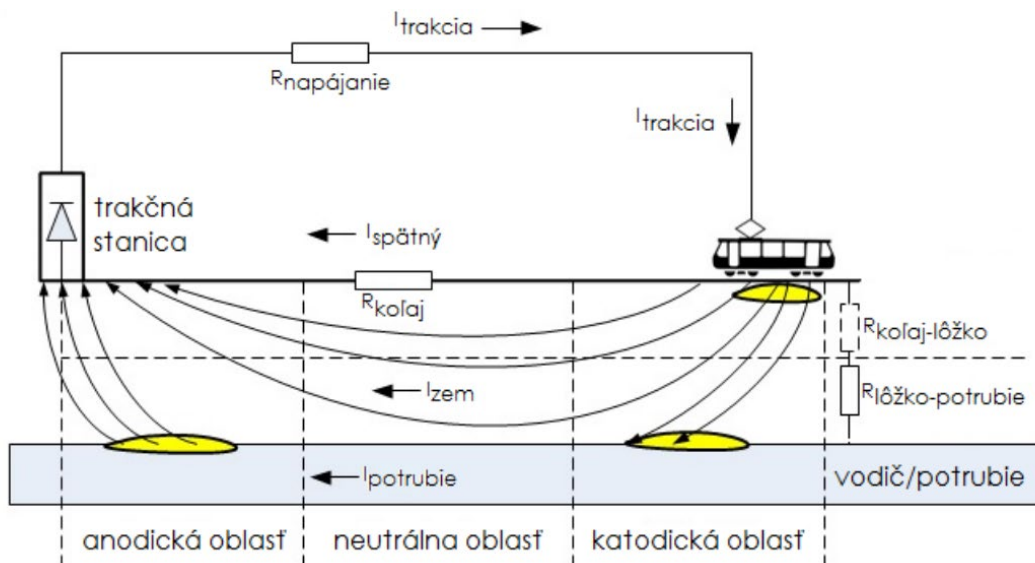
Anódová ochrana sa využíva najmä v chemickom a potravinárskom priemysle na ochranu nehrdzavejúcich ocelí a zliatin v roztokoch silných kyselín, hydroxidov a solí, kde tieto kovy bez ochrany korodujú.[2]



Obrázok 8: Princíp anódovej ochrany

### 2.2.3.3 Blúdivé prúdy

Blúdivý prúd môžeme definovať nežiadúci prúd prechádzajúci pôdou. Blúdivé prúdy vznikajú rozdielom potenciálov medzi dvoma miestami kde rozdiel napätia medzi dvoma miestami spôsobuje tok prúdu. Toto napätie vzniká medzi dvoma uzemnenými časťami v dôsledku normálnej prevádzky toto napätie je v normálnych prípadoch nízke. Problém blúdivých prúdov je najmä na tratiach koľajových vozidiel keďže ja koľajnica je využíva ako neutrálni vodič. Využívanie koľají ako spätného vodiča je hlavný problém s blúdivými prúdmi. Kvôli ich nedokonalnej izolácii a konečnej hodnote odporu, malá časť prúdu unikne do zeme. Keďže pôda nie je dokonalí izolant prúd tečie prostredím k trakčnej stanici (meniarni). Pri ceste prúdu pod zemou môže vznikáť veľa katodických a anodických miest na potrubí. Pozri obrázok 9. [11]



**Obrázok 9: Oblasť pôsobenia blúdívých prúdov[10]**

Tieto anodické a katodické miesta sú pre protikoróziu ochranu nočnou morov. Jedna vec je že v týchto miestach je veľmi ťažké dané potrubie ochrániť. Keďže v podstate s týmto potenciálom sa musí zdroj aktívnej ochrany nejakým spôsobom vysporiadať. Pri pulzných zdrojoch sú to napríklad rýchlo odpojovače na výstupe funguje to na princípe že pokiaľ zdroj začne merať záporné napätie na výstupných svorkách automaticky ich odpojí inak by sa obvod spojil cez nulovú diódu a došlo by k jej zničeniu prípadne k vyradeniu výstupnej poistky. Pri tyristorovom zdroji je potrebné vyriešiť iba správnosť zopínania tyristorov keďže je schopný pracovať aj ako menič a vrátať túto energiu do siete. Ale musia byť splnené niektoré náležitosti a to je odpojenie nulovej diódy a zariadenie nesmie byť napájané zo solárneho panelu.

## 2.3 Zdroje pre katódovú ochranu

Ako je už vyššie spomenuté pre aktívnu antikoroziu ochranu je vo väčšine prípadov potrebný zdroj jednosmerného napätia aj keď v minulosti sa využívalo aj striedavé napätie. Kde v dnešnej dobe sa používa jednosmerné napätie ktoré má lepšie vlastnosti. Zdroje jednosmerného napätia môžu byť rôzne či už napájanie z batérii čo nie je ale moc ekonomické. Prípadne je možné využiť obnoviteľné zdroje ako napríklad energiu zo solárnych panelov čo sa aj používa ale iba v niektorých prípadoch pretože je potrebné energiu niekde skladovať aby ju bolo možné následne použiť a preto v tomto rozvoji bývajú umiestnené akumulátory. Vo väčšine prípadov sa používajú klasické napájacie zdroje. Kde tieto zdroje musia byť schopné dodať požadovaný prúd čo závisí od chránenej plochy. Musia byť schopné merať potenciál a aj naň regulovať. V neposlednom rade musia byť schopné vydržať v nepriaznivých podmienkach jedným slovom povedané musia byť robustné.

## 2.3.1 Topológie zdrojov

Ako postupuje vývoj polovodičov postupuje aj vývoj zdrojov od klasických zdrojov z transformátorom a lineárnym regulátorom cez tyristorové zdroje až po pulzné meniče zo synchronným usmerňovačom. Zdroje ktoré využívali transformátor a lineárny regulátor už dnes asi ťažko nájdeme keď že ich nevýhody prevažovali nad výhodami ale zvyšné dve technológie sa zachovali do dnes.

### 2.3.1.1 Pulzné zdroje

Ich topológia je dnes už veľmi známa môžu pracovať s jednofázovým alebo trojfázovým napätím. Kde napätie vstupuje do EMC filtra a následne sa usmerní a vyfiltruje získavame nemätie medzi obvodu toto napätie je rozstriedané na vysokej frekvencii pomocou H-mostu a privedené na transformátor odtiaľ pokračuje na výstupný usmerňovač a LC filter (pozri obrázok 10) kde takto spracované napätie je možné pripojiť v našom prípade na chránenú konštrukciu. V tejto topológii môžu nastať aj drobné zmeny na príklad môže použitý iba pol most na spínanie. Aj výstupný usmerňovač môže byť konštruovaný z mosfetou ako synchronny pripadne zapojenie a počet diód sa môže líšiť. Takéto zdroje majú pre aktívnu antikoróznú ochranu veľké výhody ale aj nevýhod.

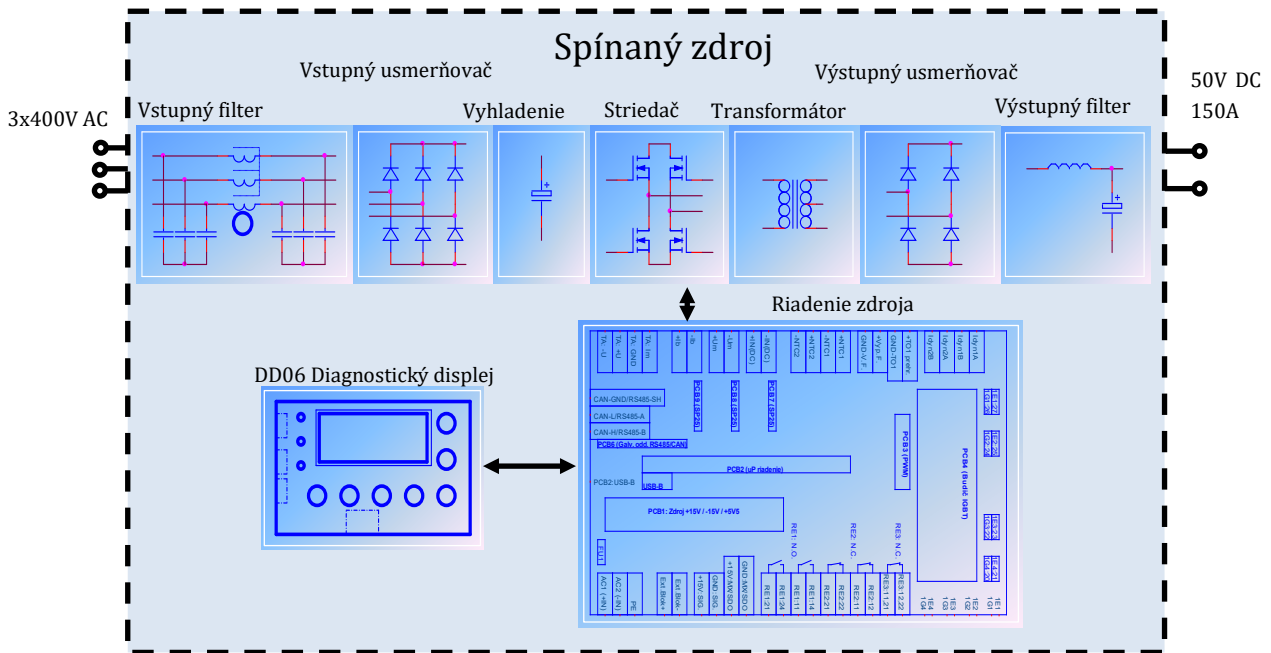
Výhody:

- Malé a ľahké
- Veľmi dobrý pomer výkon a veľkosť
- Dobrá účinnosť
- Málo náročné na údržbu
- Ľahká obsluha

Nevýhody

- Náročné na pracovné podmienky
- Málo odolné voči prepätiu podpätiu výkyvom siete
- Zložitá topológia

V dnešnej dobe moderných polovodičov typy týchto zdrojov prevažujú na trhu. Aj keď ich nasadenie v tejto oblasti nie je moc vhodné.



Obrázok 10: Topológia pulzného zdroja

### 2.3.1.2 Tyristorové zdroje

Tyristorové zdroje mali hlavné zastúpenie z doby pred 30 rokmi ich obrovskou výhodou je robustnosť a jednoduchosť. Zase vstupné napätie môže byť jednofázové alebo trojfázové toto napätie vstupuje do EMC filtra a následne do transformátoru kde z transformátoru je výstup privedený na riadený usmerňovač s tyristorov a oddiaľ to pokračuje na LC filter takto vyfiltrované napätie (pozri obrázok 11) je možné pripojiť na chránenú konštrukciu. Tieto typy zdrojov majú jednu obrovskú výhodu a to je robustnosť. Tyristorový zdroj je schopný prevádzky aj pri nepriaznivých teplotných vplyvoch prostredia ďalej je schopný odolávať blúdivým prúdom a to tak že túto energiu vracia späť do siete. Ale zase jeho nevýhody že nerovnomerne zaťažuje sieť a tým ju deformuje má malú účinnosť 80% kde pulzné meniče majú až 95%.

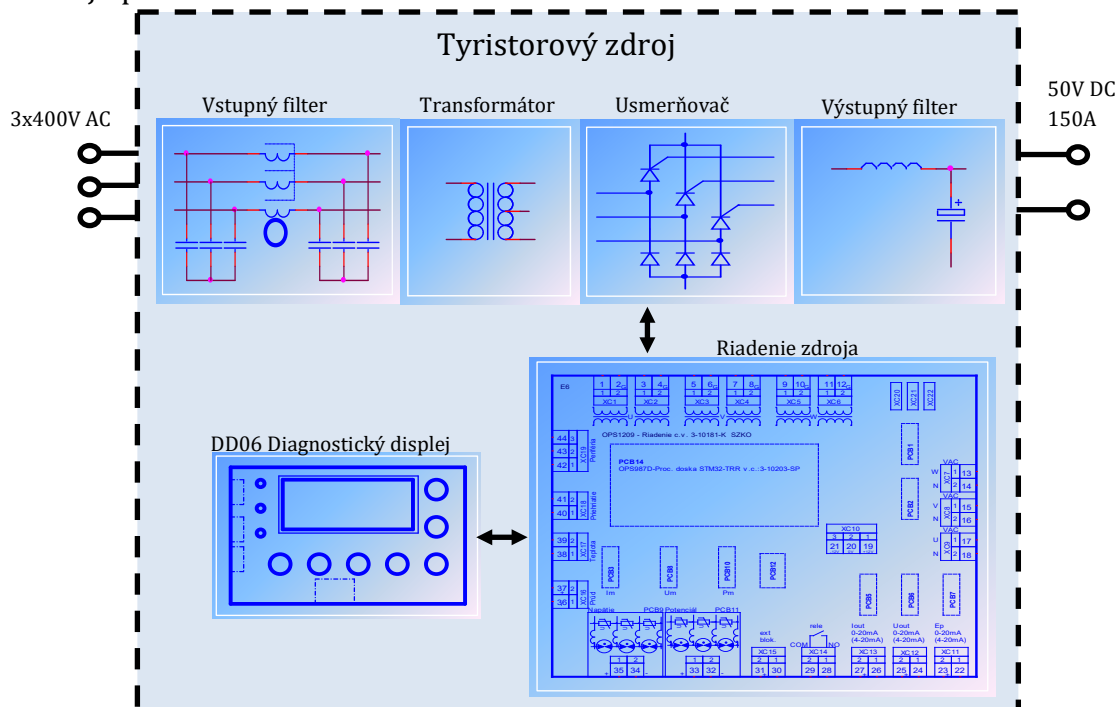
Výhody:

- Robustnosť
- Odolnosť na rušenie, prepätie, podpätie, výkyvom siete
- Jednoduchá topológia a riadenie

Nevýhody:

- Veľké a ťažké
- Veľmi zlý pomer výkon a veľkosť
- Zlá účinnosť

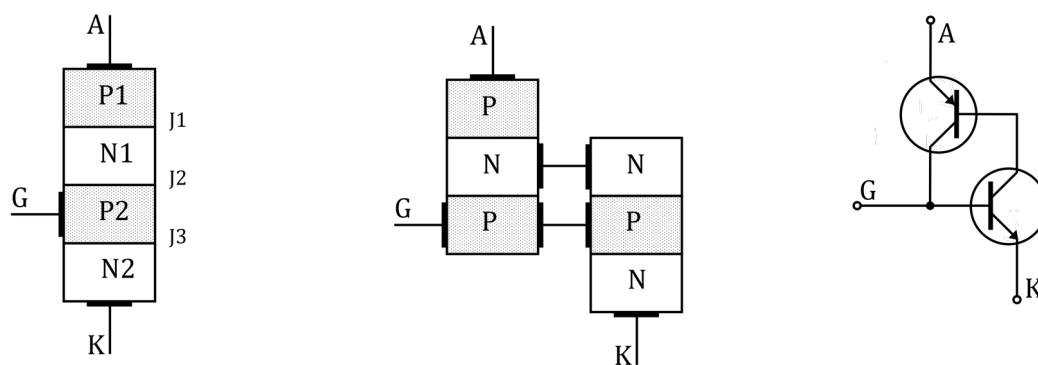
Hlavnou výhodou je že sú robustné a majú veľkú odolnosť čo pri katódovej ochrane je veľmi dôležité keďže sa na danej konštrukcii prípadne v zemi môžu indukovať rôzne rušivé napätie ktoré by mohli zdroj poškodiť a preto je tyristorový zdroj asi najlepší na katódovú ochranu.



Obrázok 11: Topológia tyristorového zdroja

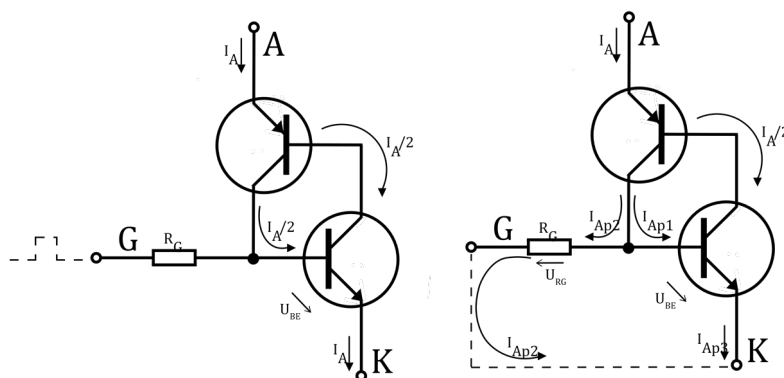
## 2.4 Tyristor

Tyristor (SCR – Silicon Controlled Rectifier) je polo riaditeľná spínacia súčiastka riadiacou elektródou je ju možné zapnúť ale nie je ju možné vypnúť. K vypnutiu dochádza zánikom anódového prúdu tento zánik prúdu teda musia zabezpečiť vonkajšie výkonové obvody v ktorých je tyristor zapojený. Táto vlastnosť tyristoru je veľmi vhodná najme striedavej rozvodnej sieti kde dochádza k pravidelným zmenám veľké využitie má najme u trojfázových usmerňovačov keďže o podmienky vypnutia sa vôbec nemusíme starať dôjde k nim automaticky prechodom do zápornej pol vlny. Ale nie je to jediné jeho využitie používa sa aj napríklad k rôznim ochranám a spínaniam pri vysokých napätiach a prúdoch keďže jeho konštrukcia je veľmi robustná. V dnešnej dobe ale ustupuje do pozadia moderným polovodičom ako sú napríklad MOS-FET a silikón karbidové tranzistory.



**Obrázok 12: Základná štruktúra PNPN. Myšlienkové rozdelenie na dve štruktúry. Obvodový model tyristoru**

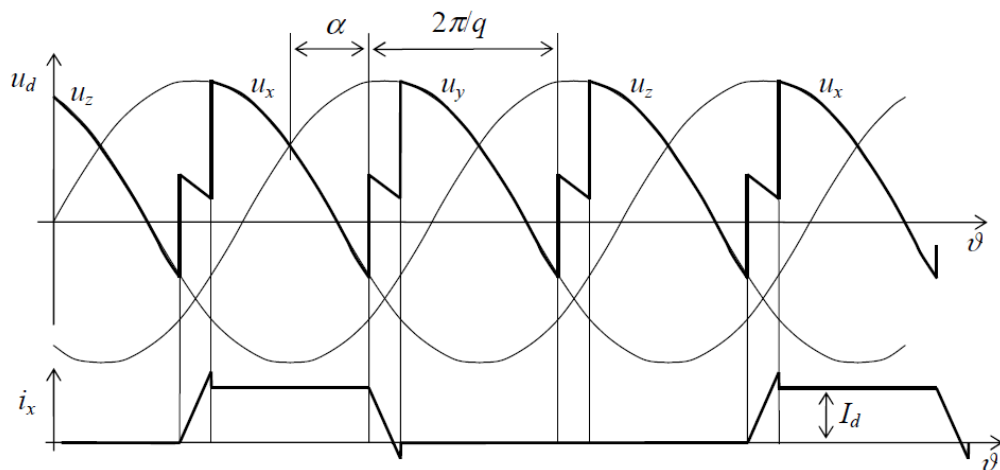
Tyristor patrí k bipolárnym súčiastkam v úplnom základe sa jedná o štvorvodičovú štruktúru PNPN ktorú je možné vidieť na obrázku 12. Princíp tyristora najjednoduchšie vysvetliť na náhradnom modeli ktorý je tvorený PNP a NPN tranzistorami ktoré tvoria kladnú spätnú väzbu, kde kolektorový prúd jedného tranzistoru je zároveň bázový prúd druhého tranzistoru. Po privedení riadiaceho pulzu na riadiacu elektródu sa štruktúra zopne a zostáva zopnutá aj po skončení pulzu. Ako je zrejme zo obrázku 12 prečo nie je možné tyristor vypnúť riadiacim pulzom. Celkový anódový prúd sa v ideálnom prípade rozdelí na polovicu. Každá polovica je potom kolektorovým prúdom jedného tranzistora a bázovým prúdom druhého tranzistora. Pokiaľ by sme teda sa snažili vypnúť tyristor skratovaným elektród G,k. to by znamenalo že polovica anódového napätia by musela vytekať cez riadiacu elektródu a jej vnútorný odpor  $R_G$  a obtekať PN priechod spodného tranzistoru. Aby k vypnutiu došlo by musel byť úbytok na od rezistore výrazne menší ako prahové napätie B-E čo je 0,7V. Čo podstate nie je z konštrukčného hľadiska možné a preto nie je možné tyristor vypnúť.[7]



**Obrázok 13: Vypnutie tyristora**

## 2.4.1 Princíp riadenia tyristora

Princíp riadenia tyristora je veľmi jednoduchý pokiaľ si vezmeme uvedenú topológiu na obrázku 35 je vidno že vstupné napätie ide priamo do transformátora kde sa transformuje na napätie o požadovanej hodnote. Následne vstupuje do tyristora kde tyristor sa v podstate chová ako riadená dióda. Je veľmi jednoduché si to predstaviť a to tak že pokiaľ nám prichádza kladná pol vlna sínusoidy a my privedieme riadiaci impulz na riadiacu elektródu tyristor sa otvorí a funguje ako dióda ale ako náhle prejde nulou do zápornej pol vlny opäť sa zatvorí a je jedno či má alebo nemá privedený riadiaci pulz. A tu je krásne vidieť ako sme schopný regulovať napätie a tým pádom aj výkon iba pomocou uhla otvorenia. Ako je vidieť na obrázku 14.



Obrázok 14: Graf riadeného funkcie riadeného usmerňovača

Kde hrubou čiarou je vyznačené kedy tyristor vedie napätie a je  $i_x$  predstavuje pretekajúci prúd z jednej fáze.

Topológie týchto usmerňovacou môžu byť rôzne či sa jedná o zapojenie tyristorov alebo transformátora. Pri zapojení tejto topológie je dobré poznať amplitúdový zákon ktorý pojednáva tom ktoré harmonické sa odčítavajú a ktoré prejdú .

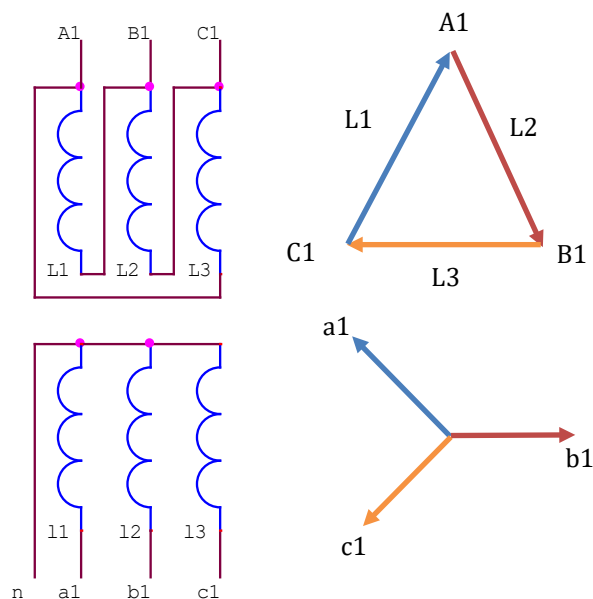
$$h = k \cdot p \pm 1$$

Vzorec vychádza : p - počtu pulzov usmerňovača

k - celé číslo

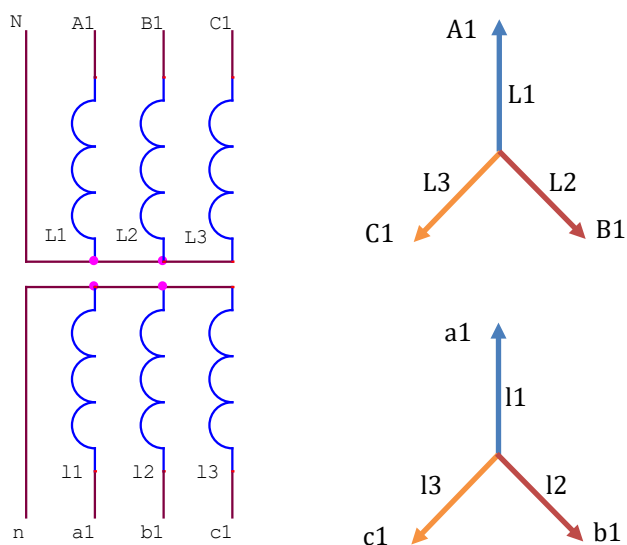
Pri zapojení transformátora je najčastejšie použité zapojenie a to práve preto že sa jednotlivé harmonické odčítajú Dy11 kde D znamená že sekundárna strana je zapojená do trojuholníka a y11že sekundár do hviezdy oneskorenie medzi primárnou a sekundárnou stranou je  $330^\circ$ .





**Obrázok 15: Zapojenie transformátoru Dy11**

Kde mi pre našu konštrukciu sme použili zapojenie Yy0 kde v tom to zapojený sa žiadna harmonická neodčíta ani nie je žiadne oneskorenie takýto typ transformátoru sa zvyčajne moc nepoužíva ale my sme ho použili pretože bol uvedený v požiadavkách od zákazníka.



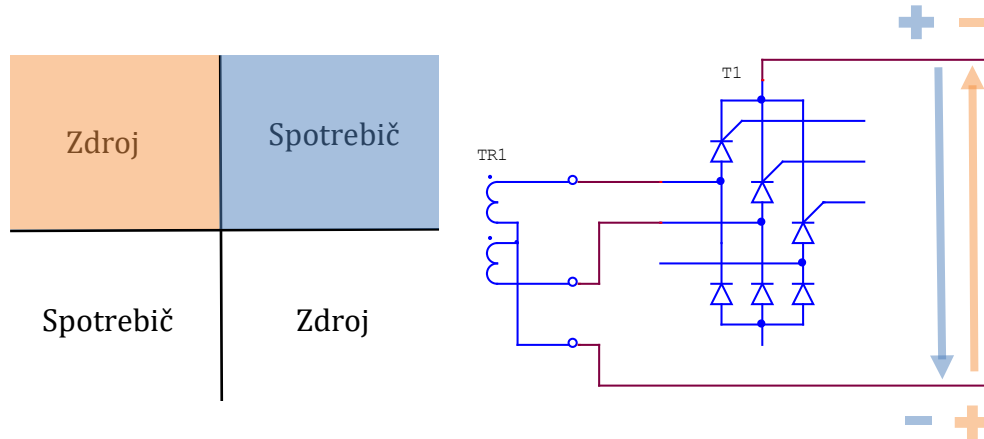
**Obrázok 16: Zapojenie transformátoru Yy0**

Takýchto zapojený a kombinácii existuje viac a je na konštruktérovi ktorú s zvolí a ktorá je pre jeho aplikáciu najlepšia mi sme volili šesť pulzný usmerňovač a zapojenie Yy0.

#### 2.4.1.1 Riadenie zdroja v druhom kvadrante

Ako už bolo uvedené tyristorový zdroj môže fungovať aj ako spotrebič aj ako zdroj energie. Pri našej topológii je to možné len je na to potrebné prispôbiť riadenie.

To znamená že zdroj je schopný nie len energiu zo siete brať ale aj do siete vracať to znamená že zdroj pracuje v dvoch kvadrantoch a aj riadenie je v dvoch kvadrantoch. V našom prípade je táto vlastnosť veľmi užitočná keďže pomocou druhého kvadrantu sme schopný odolávať blúdivým prúdom a ešte aj vraciame energiu do rozvodnej siete. Pre takýto chod v našej topológii zdroja je potrebné aby sa otočila polarita vstupujúceho napätia čo je splnené dobre je to znázornené na obrázku 17.



**Obrázok 17: Konceptia rekuperácie a zdroja**

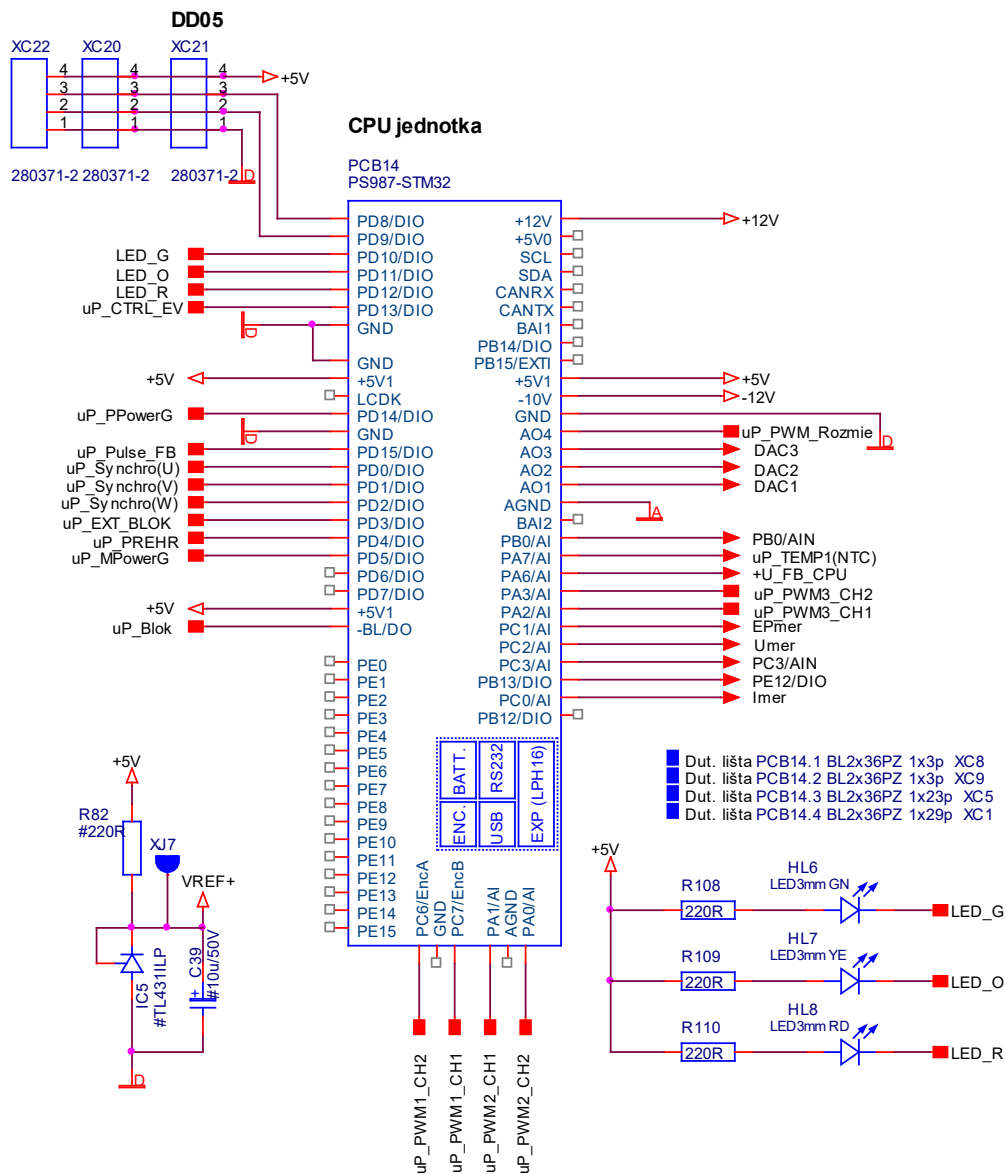
## 3 OBVODOVÝ NÁVRH DOSKY RIADENIA

### 3.1 Doska riadenia tyristorového zdroja

Riadiaca doska zdroja bola koncipovaná tak aby čo najlepšie spĺňal kritéria zákazníka a zároveň bola modulárna. Ďalej musela spĺňovať kritéria na sťaženú prevádzku to znamená možný výskyt prepätí podpätí rušivých pulzov. Bol braný ohľad na prevádzkovú teplotu keďže zariadenie môže byť umiestnené na púšti, v prístavoch. Dbali sme aj na čo najväčšiu modularitu a jednoduchý servis v teréne, užívateľský komfort.

#### 3.1.1 Mikroprocesorová doska

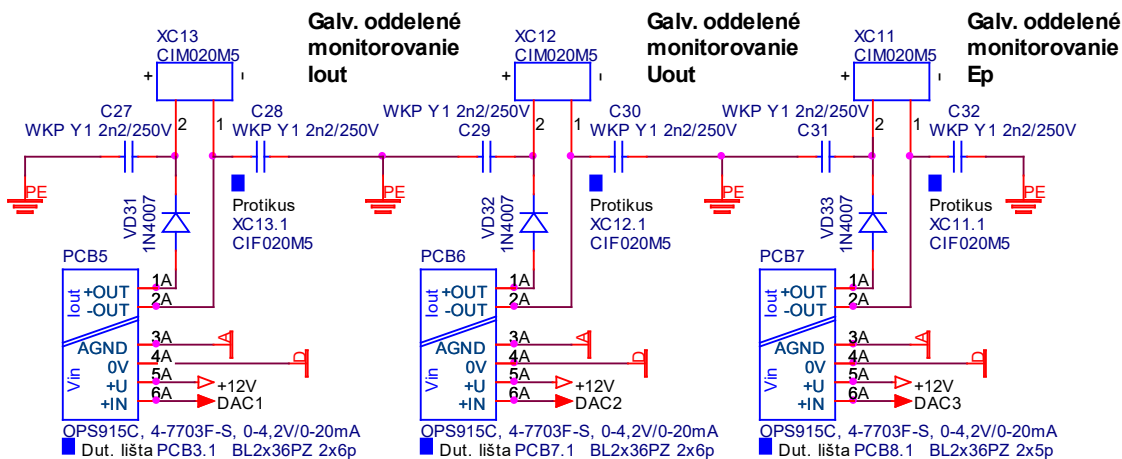
Srdcom je riadiaca doska OPS987D táto doska je osadená ARM procesorom s jadrom M3 konkrétne stm32f103. Doska sa stará o všetky regulačné deje, meranie a komunikáciu z užívateľom. Riadiaca doska obsahuje napäťový lineárni stabilizátor ktorý z 5V vytvára potrebné napätie pre procesor (3V3). Ďalej je na doske osadená napäťová referencia ktorá je teplotne kompenzovaná. Osadený RTC křišťál aj 12MHz křišťál pre externé hodiny mikroprocesora. Pri vypnutí napájanie je pre rtc obvody osadená záložná batéria ktorá slúži na zálohu. Reset je riešený pomocou aktívneho obvodu supervízora ktorý sa stará o všetko potrebné pri resete. Doska ďalej obsahuje 8 ADC vstupov ktoré sú interné v procesore 4 DAC prevodníky kde dva sú integrované v CPU a ďalšie dva sú realizované pomocou PWM a OZ pokiaľ ale chceme využívať túto funkciu musíme priviesť na dosku aj záporne napätie aspoň -7V pre OZ. Zeme analógová a digitálna sú spojené na riadiacej doske a už ich nie je potrebné spájať na matičnej doske. Všetky I/O porty majú ESD ochranu a je ich možné konfigurovať podľa toho čo daný pin má vykonávať. Celý port D môže mať externé ťahacie rezistory o plus pól. Sú vyvedené aj komunikácie je možné pripojiť RS232 alebo RS485. Ďalej je vyvedený programovací konektor JTAG/SWD cez ktorý je možné flashovať procesor. Doska je osadená aj eeprom pamäťou o veľkosti 512-Kbit. Stav dosky určujú dve led jedna je signalizácia že napájanie dosky je Ok(zelená) druhá signalizuje stav je ovládaná z procesora frekvenciou blikania určuje stav (oranžová ). Na riadiacej doske je aj konektor na rozšírenie periférie o CAN, RS232 dve externé relé prípadne RS485 ďalej je možné na tento konektor osadiť SD kartu na ktorú sa ukladajú logi zariadenia. Pre komunikáciu s užívateľom je z dosky vyvedená komunikácia s interným protokolom NES označená DD05(diagnostický display).



Obrázok 18: Zapojenie mikroprocesorovej jednotky

### 3.1.2 Monitorovanie pomocou prúdovej slučky

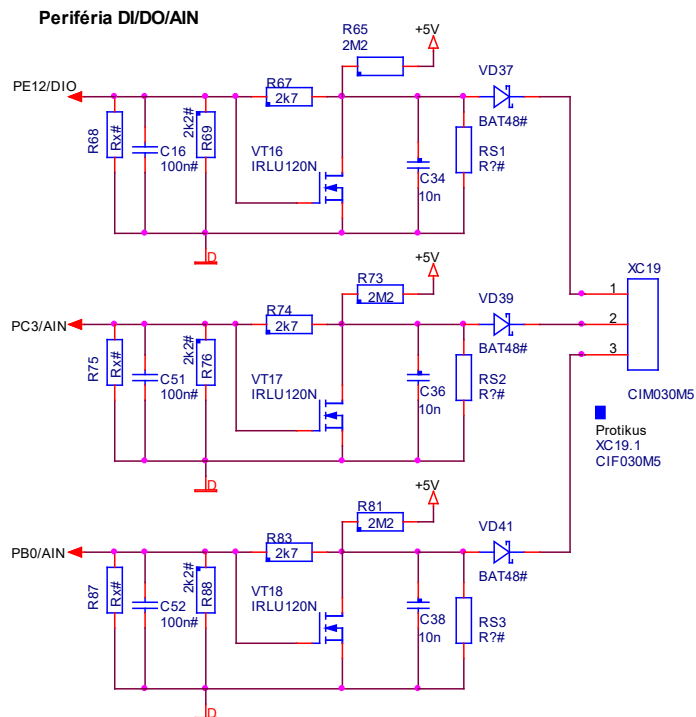
Monitorovanie je celkovo galvanicky oddelené od silovej časti pomocou OPS915 ktorý realizuje prevod napätia želaného z DCA na požadovanú hodnotu napätia alebo prúdu závisí od osadenia OPS915 v našom prípade 0-2,5V na 0-20mA. Galvanické oddelenie je realizované pre ochranu zdroja pred neodbornou manipuláciou obsluhy, spojeným rôznych zemných potenciálov a od rušivých pulzov samotného zdroja k tomu tam slúžia aj kapacity C27 až C33 a na ochranu proti prerolovaniu sú osadené VD31 až VD33 keby náhodou obsluha snažila tlačit opačné napätie do prevodníka.



Obrázok 19: Zapojenie výstupných hlások von zo zdroja

### 3.1.3 Periférie

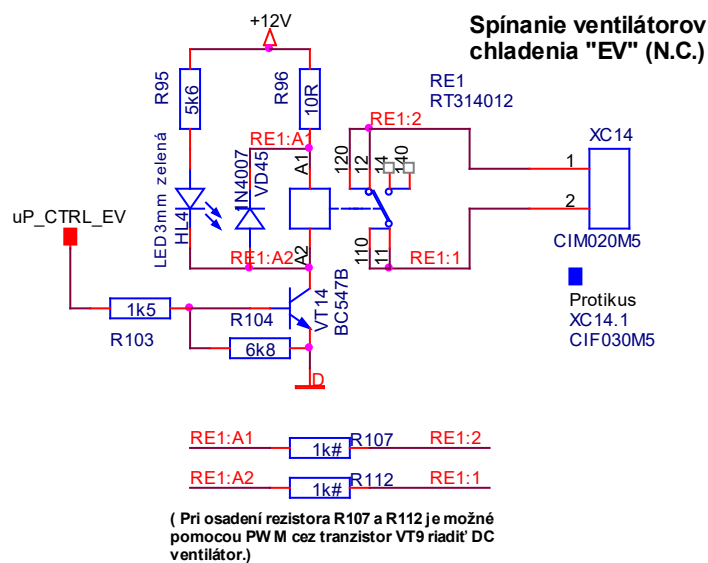
Periféria DI/DO/AIN tieto tri periférie majú byť koncipované univerzálne to znamená že pri osadení R74, R75, C36 a VD39 bude daný port slúžiť ako AIN. Potiaľ sa osadí VT17, R75, C51, a miesto VD39 sa osadí cievka alebo rezistor tak tento pin slúži ako DO takto ho aj budeme v tejto aplikácii využívať bude slúžiť na spínanie kontroliek v akom režime reguluje či v režime EP, U alebo I to bola jedna z požiadaviek zákazníka.



Obrázok 20: Zapojenie DO/DI/IA periférii

### 3.1.4 Riadenie ventilátora

Spínanie ventilátora v našom prípade zrejme nebude osadené ale je pripravené pre ďalšie rozšírenie kde môže zase pracovať v dvoch režimoch jeden je keď je osadené relé pracuje ako ON/OFF keď privedieme signál na uP\_CTRL\_EV zopneme tranzistor VT14 tým zopneme výstupný kontakt relé a uzavrie sa obvod ventilátoru, VD45 slúži ako nulová dióda a led HL4 signalizuje stav relé. Je možné miesto relé použiť dva rezistory R107,R112 tým spraviť PWM reguláciu otáčok kde VT14 bude slúžiť ako spínací tranzistor a bude do bázi dostávať PWM signál z riadiacej dosky. Je nutné aby ventilátor bol správne dimenzovaný spínací tranzistor BC547 musí byť schopný daný výkon zopnúť. Pri návrhu DPS sme dbali na to aby bola dodržaná dostatočná bariéra aby spínacie kontakty mohli byť pripojené priamo na 230V



Obrázok 21:Ovládanie ventilátoru

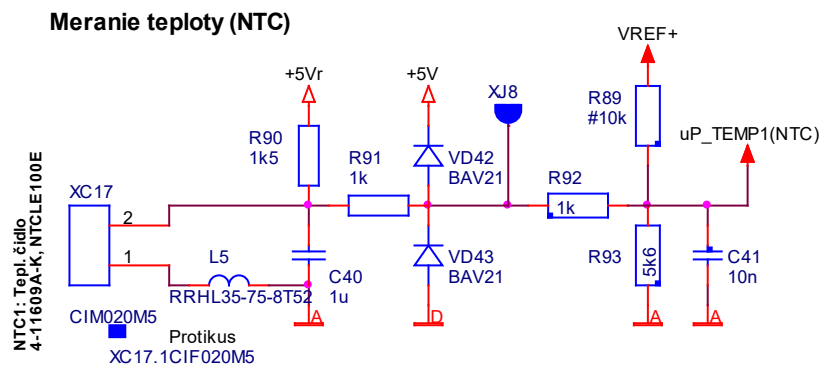
### 3.1.5 Externé blokovanie

Na Externé blokovanie je použitý OPS901B kde je to v podstate galvanicky oddelený DC/DC zdroj testovaný na 4kV a schopný pracovať vo vysokých teplotách za účelom toho aby pokiaľ dôjde k neodpornému zásahu obsluhy nedošlo k poškodeniu zdroja. Kontakt je normally close to znamená že pokiaľ je svorka prepojená zdroj je odblokovaný. Funguje to nasledovne pokiaľ je prepojená svorka XC15 cez diódu VD47 a rezistor R100 je tranzistor VT13 rozopnutý tým pádom je dióda optočlenu zhasnutá a zdroj je odblokovaný. Ale pokiaľ sa svorka XC15 rozpojí cez rezistory R97 a R100 sa VT13 otvorí a tým pádom zopne optočlen automaticky sa zdroj zablokuje cez signál PWM\_BLOK a odošle sa hláška do riadiacej dosky že zdroj bol zablokovaný.



### 3.1.7 Meranie teploty

Meranie teploty je na realizované pomocou termistoru typu NTC kde tento senzor je schopný merať teplotu od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  na základe tohto senzora je možné v menu nastaviť či a kedy má blokovať zdroj prípadne podľa teploty je možné obmedziť výkon daného zdroja. Senzor bude umiestnené na chladiči spolu s tyristormi. Meranie je realizované pomocou klasického deliča kde vrchnú vetvu tvorí R90 a spodnú termistor následne je možné pomocou R91,R92 a R93,R89 možné danú hodnotu dostaviť. Výstup je privedený do riadiacej jednotky na ADC prevodník.



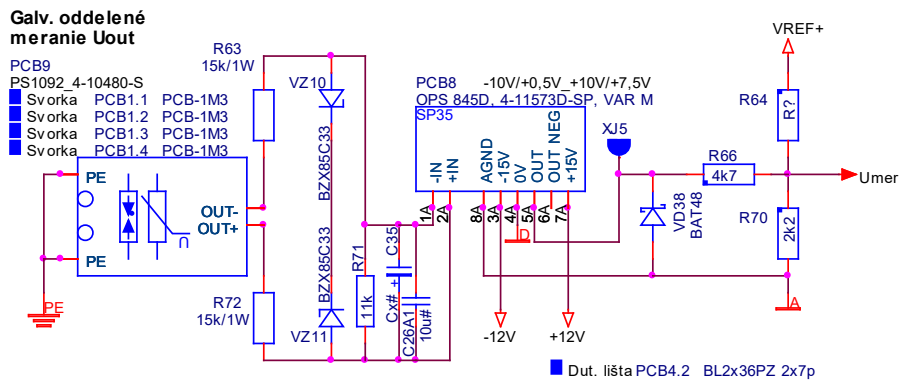
Obrázok 24:Externé meranie teploty

### 3.1.8 Meranie

#### 3.1.8.1 Meranie napätia

Meranie napätia je snímané priamo na výstupných svorkách aby nedochádzalo k úbytkom na vodičoch toto napätie je privedené na externý delič ktorý bude umiestnený v zariadení kde z daného deliča pôjde merané napätie priamo na svorku plošného spoja OPS1090 toto je ochrana proti prepätiu. Kde na danom plošnom spoji je osadená 90V bleskoistka 90V varistor a cievky. Následne napätie prechádza cez R63, R72 čo je impedančné prispôsobenie a interný delič ale nie v každom prípade sa musí osadiť môže byť nahradené prepojom.VZ10,VZ11 slúžia na orezanie napätia pokiaľ by sa na svorkách ocitlo väčšie napätie ako 33V. Následne napätie vstupuje do prevodníka OPS 845D, 4-11573D-SP, VAR M. Táto varianta prevodníka je schopná merať aj záporné napätie keďže má posunutú nulu  $-10\text{V}/+0,5\text{V}$  až  $+10\text{V}/+7,5\text{V}$ . Čo znamená že prevodník bude galvanicky oddeľovať výstup a zároveň bude danú hodnotu normovať typicky na 0,5V až 7,5. Následne takto spracované napätie je privedené na ďalší delič R66 aR70 kde je napätie znížené na 2,5V a privedené do riadiacej jednotky na ADC prevodník.

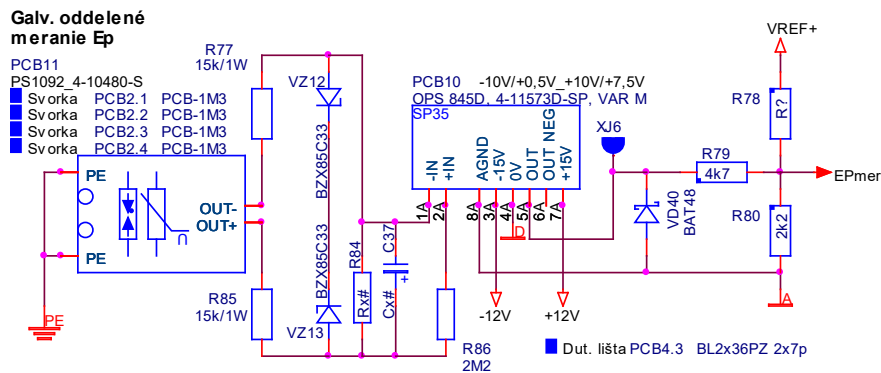




Obrázok 25:Galv. oddelené meranie napätia

### 3.1.8.2 Meranie potenciálu

Meranie potenciálu EP je realizované obdobne ako pri meraní napätia akurát nie je priradený delič v zdroji pretože napätie na potenciálovej svorky by nemalo presiahnuť  $\pm 10V$  kde všetko je obdobne ako pri meraní napätia takže zdroj je schopný merať maximálne  $\pm 12V$ . A preto je možné definovať prevodník  $-10V/+0,5V$  až  $+10V/+7,5V$ .

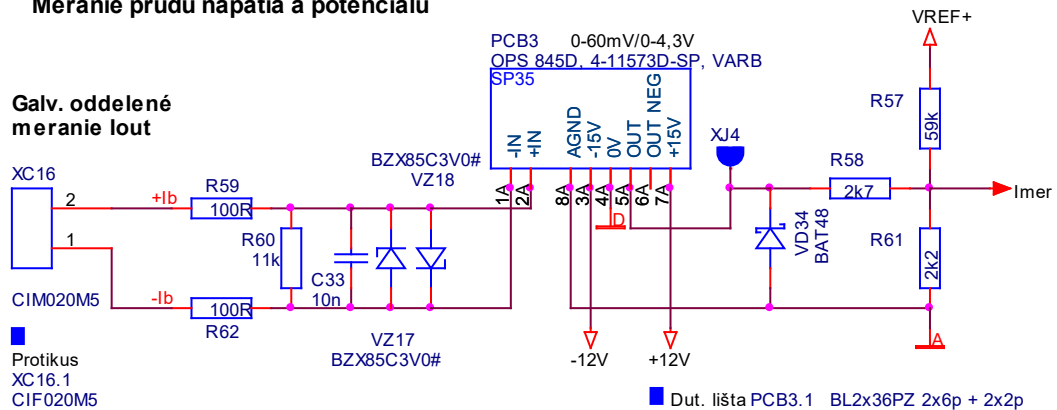


Obrázok 26:Galv. oddelené meranie potenciálu

### 3.1.8.3 Meranie prúdu

Meranie prúdu je realizované pomocou bočníku ktorý je umiestnený na sekundárnej strane za tyristorom a pred výstupným kondenzátorom. Z bočníka je napätie privedené na svorku XC16 ďalej impedančne prispôsobené pomocou R59,R62 kde rezistor R60 slúži ako nastavovací rezistor tvorí delič. Následne signál vstupuje do plošného spoja OPS845D verzia B kde prevod závisí od výkonu zdroja a tým pádom od hodnoty bočníka v našej verzii je použitý  $0-60mV/0-4,3V$ . Tento prevodník zase galvanicky oddeľuje riadiacu elektroniku od silovej následne je hodnota privedená do procesoru.

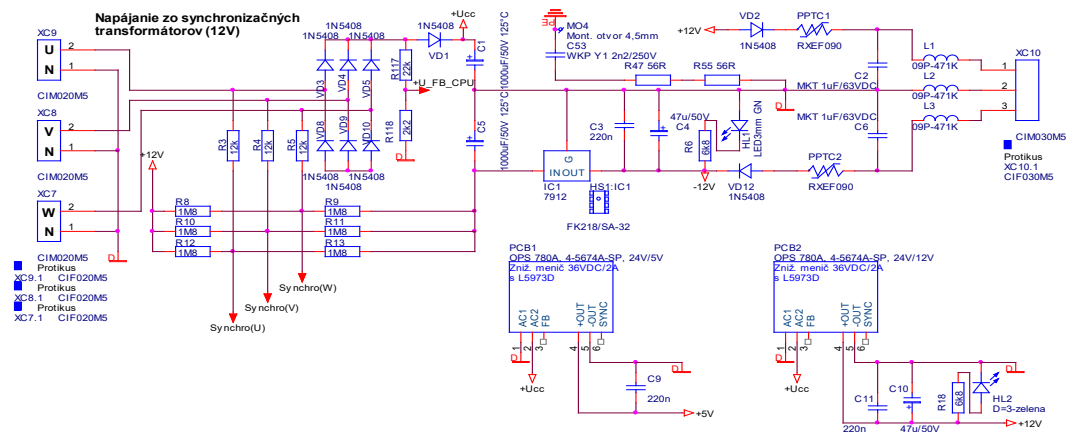
### Meranie prúdu napätia a potenciálu



Obrázok 27: Galv. oddelené meranie prúdu

## 3.1.9 Napájanie riadiacej dosky

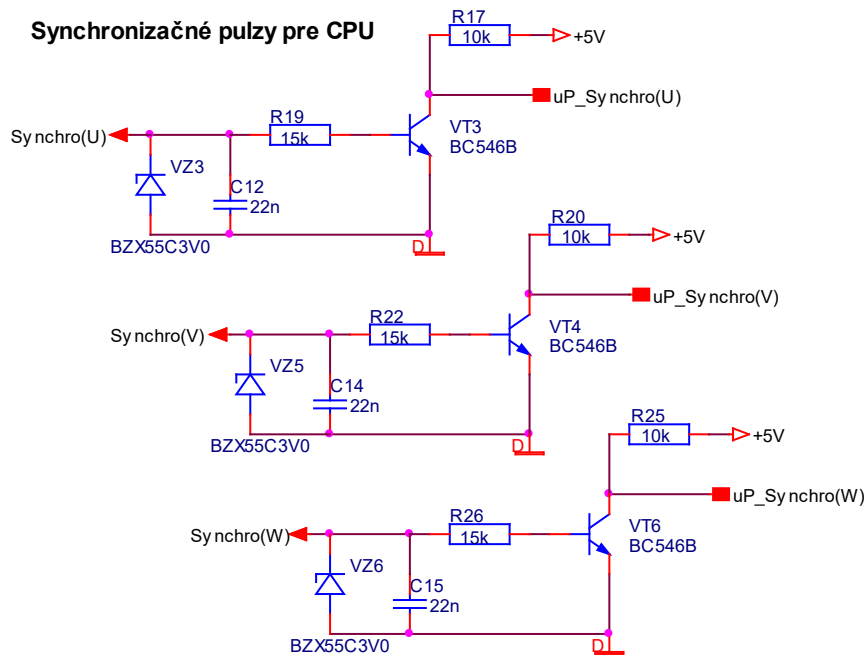
Napájanie celej riadiacej dosky je realizované zo synchronizačných transformátorov ktoré majú parametre 12V a 80VA. Radiaca doska je schopná chodu aj pri jednom synchronizačnom transformátore čiže danú radiacu elektroniku je možné veľmi jednoducho zmeniť na jednofázovú. Ale pre tento prípad je trojfázová. Každá fáza z transformátora je vedená usmerňovač a na rezistory R3,R4,R5 odtiaľto ide na synchronizáciu tyristorov rezistory R8 až R13 sú určené na posun synchronizačného napätia (slúžia posunutie prechodu nulovo) nie je ich potrebné ich osadiť. S poza usmerňovača spreď diódy VD1 ide signál +U\_FB\_CPU pomocou toho signálu zisťujeme či nedošlo k výpadku fáze a či má sieť správnu frekvenciu. Ako je vidieť v tejto koncepcii máme symetrické napätie kde záporná vetva je stabilizovaná klasickým lineárnym stabilizátorom IC1 za stabilizátorom je kontrolka ktorá signalizuje napätie a následne toto napätie ide diódu VD12 ochrana pred prepôľovaným nasleduje cez vratnú PTC poistku a cievku na konektor XC10. Kladná vetva je rozdelená na dve pracovné napätia o hodnotách +12V a +5V. O stabilizáciu tohto napätia sa starajú DC/DC meniče osadené na plošnom spoji OPS780A.



Obrázok 28: Napájanie zdroja

### 3.1.10 Synchronizácia tyristorov

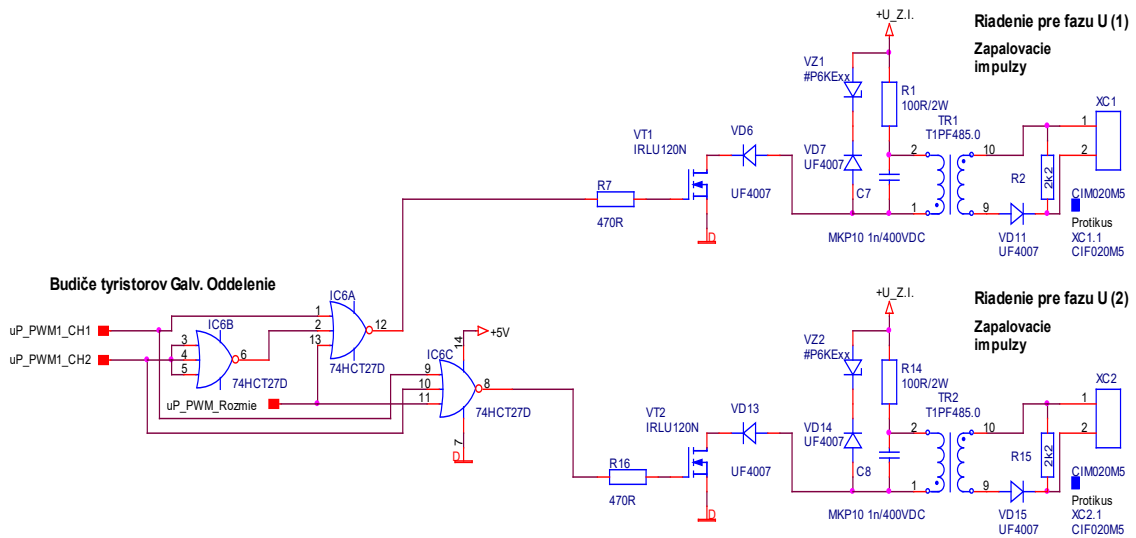
Synchronizácia tyristorov je realizovaná pre každú fázu zvlášť. Kde pri stúpaný sínusového napätie Synchro(U) dôjde k zopnutiu tranzistora VT3 a vygenerovanie synchronizačného tento pulz uP\_Synchro ktorý je privedený priamo na pin procesora pulz ktorý je snímaný riadiacou elektronikou pomocou externého prerušenia.



Obrázok 29. Synchronizačné pulzy

### 3.1.11 Budiace obvody tyristorov

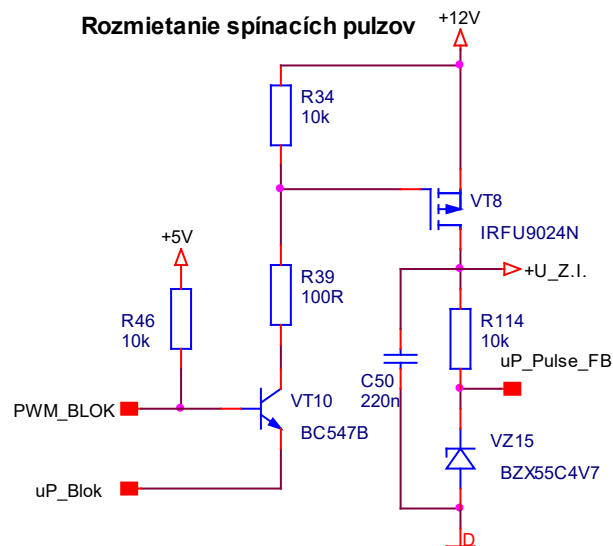
Budiace obvody ich konštrukcia vyplýva z funkcie tyristora. Volili sme naj spoľahlivejšiu metódu galvanického oddelenia a to transformátorovou väzbou kde VZ1 a VD7 slúžia na orezávanie napätových špičiek a tým zlepšovanie demagnetizácie a zmenšovanie nasýtenia jadra toto napätie sa volí o niečo vyššie ako je napájacie hodnotou VZ1. R1 a C7 slúži ako RC člen kde R1 obmedzuje prúd do riadiacej elektródy. VT1 je budiaci tranzistor a dióda VD6 slúži na to aby sa energia vždy uzavrela cez riadiacu elektródu tyristora a nie cez nulovú diódu tranzistora VT1. Odpor R2 budiaci odpor musíme osadiť s rozumnou čo najmenšou hodnotou táto hodnota závisí od použitého tyristora inak by nebolo možné tyristor vybudíť. Kde IC6 slúži na zabezpečenie správnej logiky spínania kde pravdivostná tabuľka je umiestnená nižšie tabuľka1 Rozmietanie pulzov a zároveň blokovanie táto časť je koncipovaná tak pretože používame transformátorovú väzbu a tým pádom nie je možné použiť riadiaci pulzy priamo z procesora kde by dochádzalo k presycovaniu jadra a preto je potrebné daný signál rozmietat'. Realizácia je pomocou PWM priamo z procesora na pin IC6 uP\_PWM\_Rozmie.



Obrázok 30: Budiace obvody pre tyristor

### 3.1.12 Blokovanie pulzov

Daný obvod zjednocuje všetky signály blokovania, keďže je to bezpečnostná funkcia je redundantná to znamená že je potrebné z procesorovej dosky zopnúť otvorený kolektor uP\_Blok a ďalej je potrebné privedenie PWM\_BLOK následne zopne tranzistor VT10 a ten zopne VT8 a zdroj je odblokovaný. Pomocou signálu uP\_Puls\_FB je možné overiť či došlo k zopnutiu

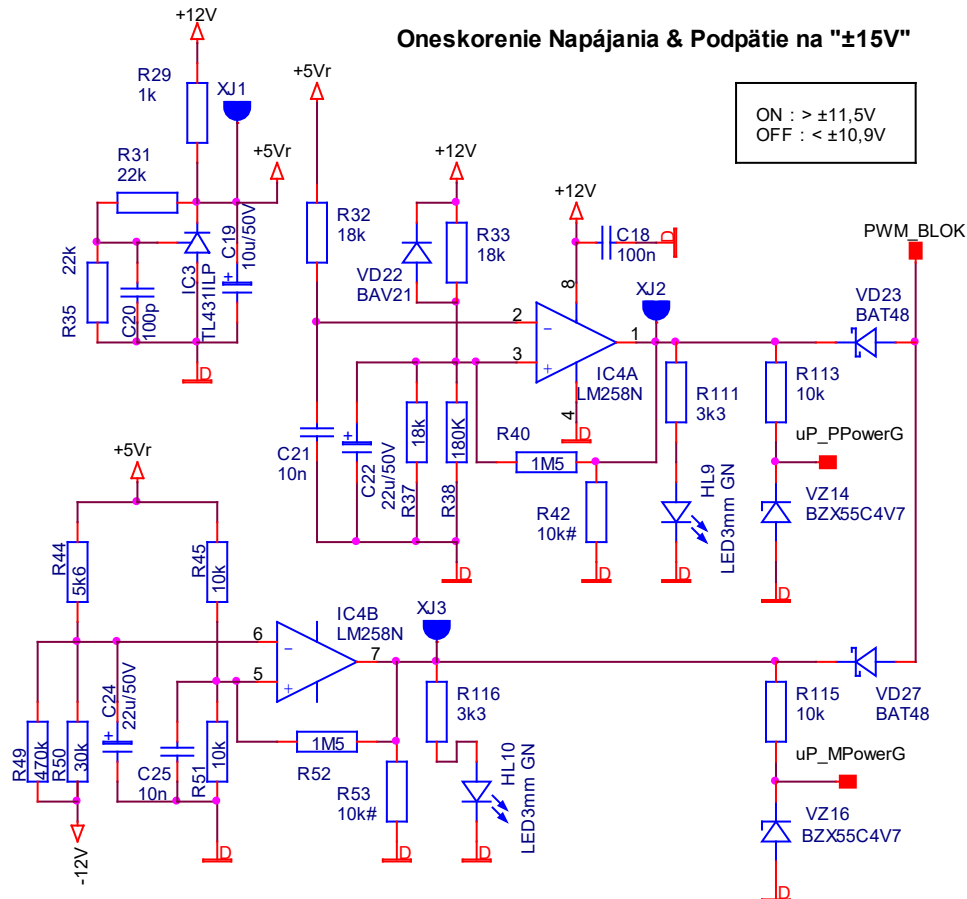


Obrázok 31: Blokovanie a rozmietanie pulzov

### 3.1.13 Kontrola napájania

Oneskorenie napájania a kontrola podpätia. Kde obvod IC3 vytvára referenčné napätie je to klasické zapojenie napät'ovej referencii. Kontrola kladnej aj zápornej

vetvy je realizovaná pomocou komparátora s nastavenou hystereziou IC4A komponuje kladnú vetvu kde vstupné napätie +12V je privedené cez delič R33 a R37,R38 a porovnáva sa k referenčnej hodnote +5V. Kondenzátor C22 sa stará o oneskorenie zapnutie pokiaľ sa cez R33 nenabije. Záporná vetva je riešená obdobne ale záporné napätie je cez referenciu posunuté na +2,5V a tým pádom aj referenčné napätie je rozdelené na polovicu a to deličom R45,R51 pomocou rezistorov R40 a R52 je možné nastaviť hysterezu.

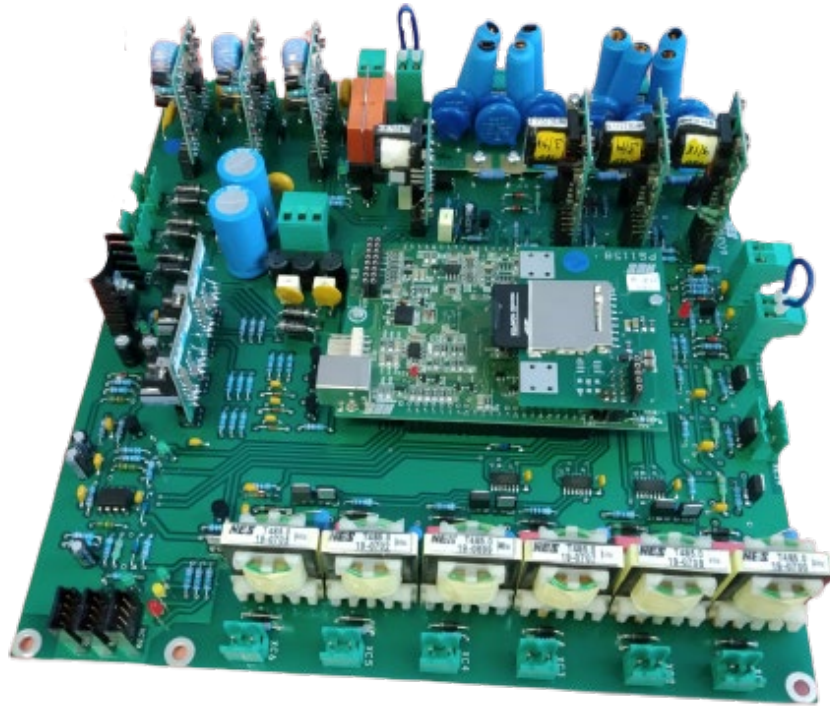


Obrázok 32:Kontrola napájacieho napätia

### 3.2 Doska plošného spoja

Daný návrh bol takto koncepčne rozvrhnutý a to aj preto že podobné riadenie už existovalo ale nebol riadené digitálne ale analógovými obvodmi. A aby bola zachovaná kompatibilita zo starým riadením niektoré konektory museli byť umiestnené identicky ako na starej doske. Schéma bola navrhnuté v orcade. Pri ťahaní jednotlivých ciest sme dbali na to aby boli dodržane základné pravidlá ktoré je nutné dodržať. Ako sú napríklad oddelenie analógovej zeme od digitálnej a následné spojenie v jednom bode. Dodržanie bariér pri galvanickom oddelení aby nedochádzalo k rušeniu a preskokom. Snažili sme sa komponenty rozmiestniť tak

aby boli cesty čo najkratšie a čo najmenej sa krížili. Doska je koncipovaná dosť univerzálne a preto nie vždy musia byť osadené všetky komponenty je potrebné sa riadiť dokumentáciou k osadeniu ktorú sme taktiež vytvorili je možné ju nájsť v prílohe.



Obrázok 33: Doska riadenia tyristorového zdroja

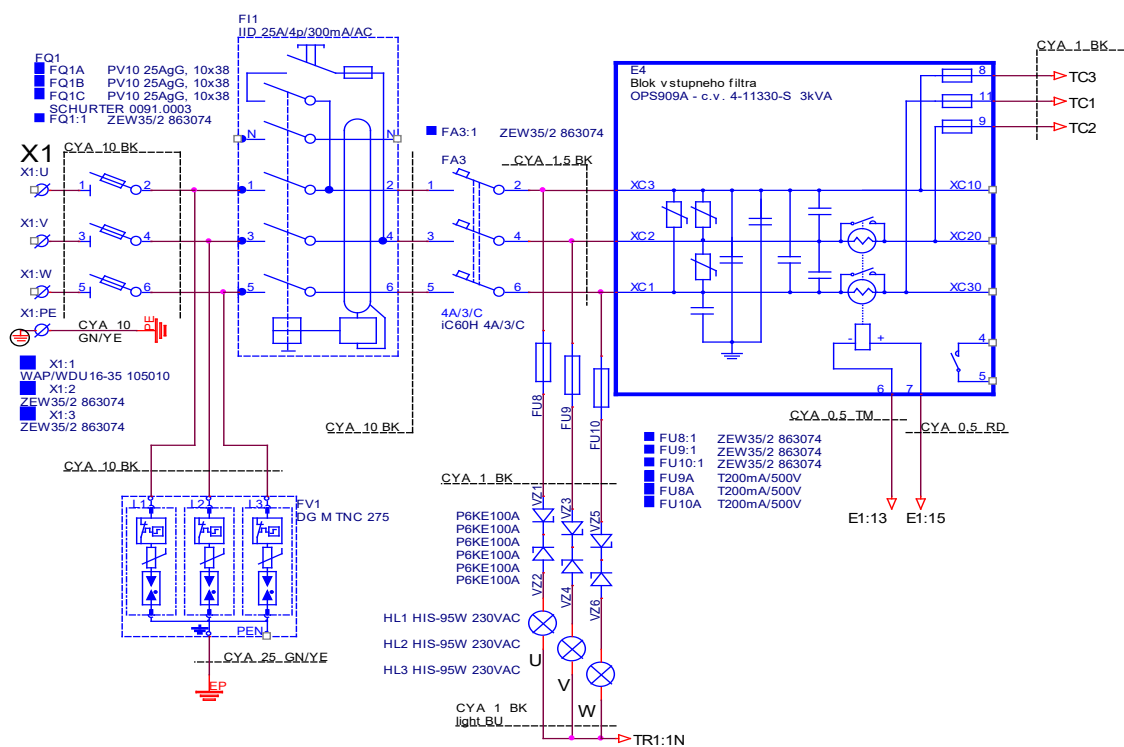
### 3.3 Zostava zdroja

Pri návrhu zdroja hlavne pri jeho konštrukcii bol braný ohľad najmä na to že zariadenie bude inštalované najmä na púšti. A preto je celá silová časť ponorená v olejovej vani kde olej ako médium slúži na chladenie a dobrý odvod tepla. Celá konštrukcia je vyhotovená tak aby bola čo najkompaktnejšia a najrobustnejšia keďže to boli požiadavky zákazníka. Ďalšou výhodou je to že zdroj nie je nutné nafázovať na rozvodnú sieť keďže synchronizácia je vyvedená až s poza filtra. Ako výstupy zo zdroja sú tri prúdové slučky kde ich hodnotu je možné softvérovo priradiť k hodnote napätia prúdu alebo potenciálu. Na prednom paneli je oledisplay a dva analógové meracie prístroje, zdiery na overenie merania.

#### 3.3.1 Vstupný filter

Vstup zariadenia je napájané zo striedavej trojfázovej sústavy TNC. Zariadenia sa pripája pevným prívodom na svorkovnicu X1. Pokiaľ by zákazník chcel dané zariadenie pripojiť zo solárneho panelu musel by pred zaradenie vložiť invertor a vypnúť funkciu rekuperácia zdroja (nesmie pracovať ako dvojčinný menič ) inak

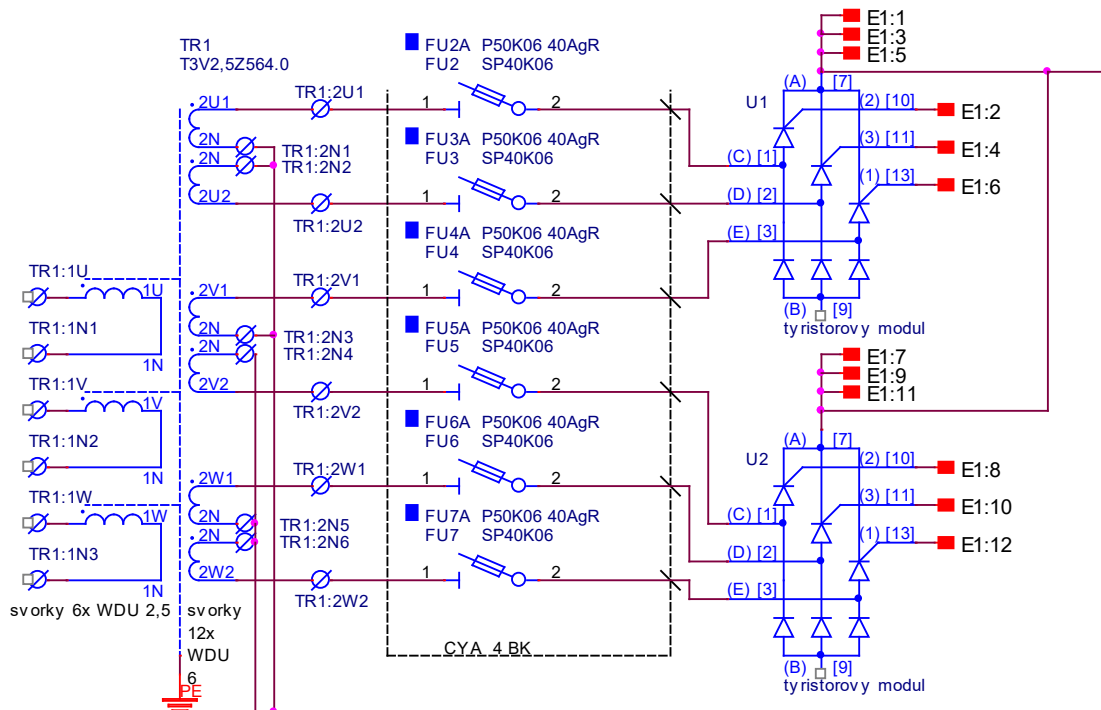
by došlo k poškodeniu invertoru. Pri pripojení nie je potrebné dbať na sled fáz ani na sfázovanie. Za svorkovnicou X1 sú umiestnené poistky FQ1 ktoré chránia pred úplným poškodením zdroja. Veľkosť poistiek závisí do výkonu zdroja keďže tento zdroj má viac výkonnostných tried. Za poistkami je umiestnená prepäťová ochrana FV1 triedy 2 a spĺňa aj triedu 3 ktorá chráni zariadenie pred prepätím zo siete keďže pri tomto type zariadenia prívodné káble bývajú pomerne dlhé. Ochrana je dimenzovaná na 275V. Lahko vymeniteľná pokiaľ dôjde k prerazeniu. Následne je v ceste prúdový chránič FI1 ktorý chráni pri poruche prípadne požiaru zdroja je 300mA a jeho kontakty znesú 25A. Prúdový chránič je použitý štvorpólový pretože sa dá jednoducho zohnať a je aj lacnejší ako trojpólový a ako je vidno na schéme funkcia testovacieho tlačidla je zachovaná. Ďalej nasleduje istič a za ním signalizácia výpadku fáze. Poistky FU8 až FU10 istia kontrolky. Diódy VZ1 až VZ6 sa starajú o to aby pri výpadku fáze daná kontrolka zhasla keby tam neboli napätie by sa mohlo dostávať napríklad cez transformátor a tým pádom by kontrolka svietila aj pri výpadku fáze. Nasleduje filter ktorý potláča rušenie či už prichádzajúce zo siete alebo vyžarované do siete. Ďalej sa stará prekracovanie termistorov ktoré sú na filtri umiestnené aby orezali prúdovú špičku pri zapnutí zdroja kým sa nenabijú kondenzátory. Následne sa pomocou relé prekrátia aby sa zbytočne nehriali a predĺžila sa ich životnosť. Z filtra vystupujú tri fázy ktoré vstupujú do synchronizačných transformátorov. A tri fázy ktoré sa pripájajú na výkonový transformátor.



Obrázok 34: Schéma zapojenia vstupného filtra

### 3.3.2 Olejová vaňa a silová časť

Výkonový transformátor spínacie tyristory a nulová dióda môžu ale nemusia byť umiestnené v oleji ktorý napomáha odvodu tepla. Tento transformátorový olej je v celku agresívni preto je potrebné voliť hermeticky zatvorené tyristory. Ako každá tekutina aj olej je schopný kapilárneho javu s ktorým sme bojovali keďže skrinka s riadením je mimo nádoby a v prototypovom kuse bola svorkovnica ponorená taktiež v oleji a po izolácii sa nám olej dostával do skrinky s riadením po úpravách umiestnenia svorkovnice sme problém vyriešili. Transformátor je zapojení do hviezdy čo nie je príliš vhodné keďže sa neodčítajú harmonické podľa ampérového zákona (vysvetleného vyššie). Ale zákazník požadoval zapojenie Yy0 dané digitálne riadenie nemá problém pracovať aj s fázovým posunom od 0 do 360° takže je schopné pracovať s rôznymi zapojeniami transformátoru. Sekundárna strana bola konštruovaná tak aby bola topológia čo najjednoduchšia a nevznikali problémy pri montáži a oživení. Skladá sa zo šiestich tyristorov ktoré súžia ako riadený usmerňovač princíp činnosti je vysvetlený vyššie. Za tyristormi je umiestnená nulová dióda s RC členom ktorý slúži na orezanie prepätia vzniknutého na dióde. Táto Dióda je montovaná tak aby si ju zákazník mohol odmontovať v prípade že chce aby zdroj bol schopný odolať napätiu tlačnému do výstupu a aby ho bol schopný rekuperovať energiu do siete. Ale stým že a zhorší zvlnenie zdroja keďže daná dióda nebude orezávať napätie čo ale pri ochrane potrubí nehrá veľkú rolu.

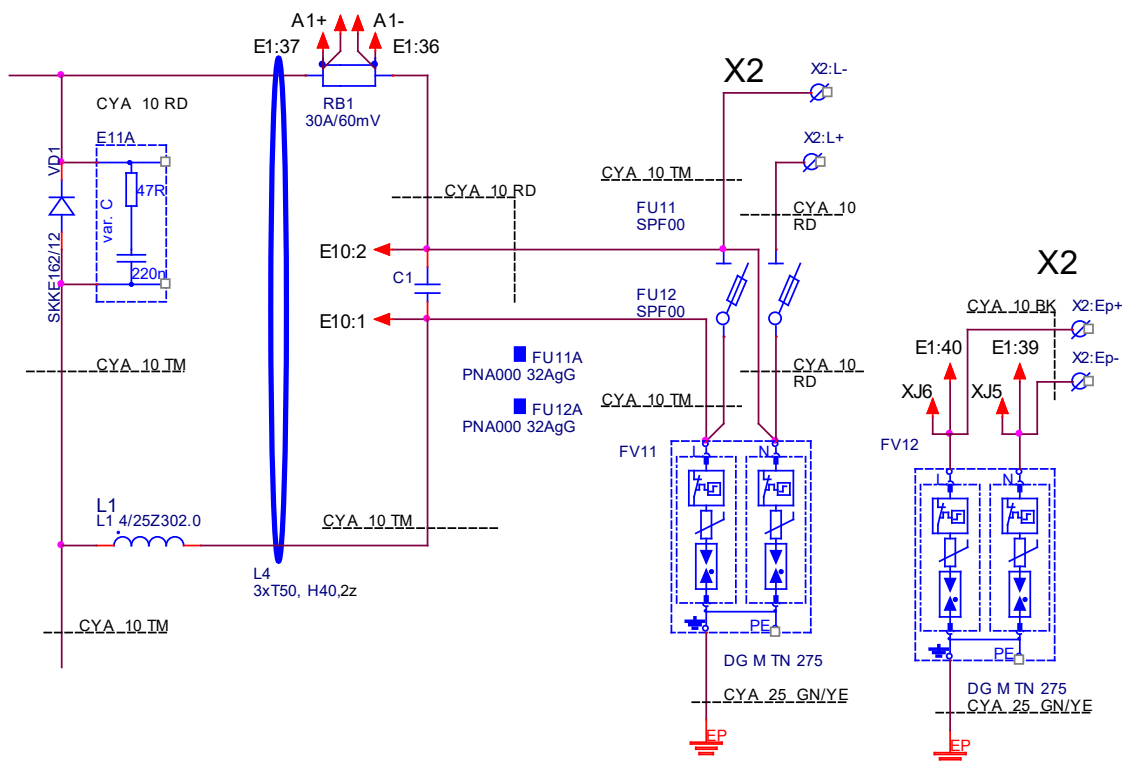


Obrázok 35: Zapojenie transformátora a tyristorov



### 3.3.3 Výstupný filter

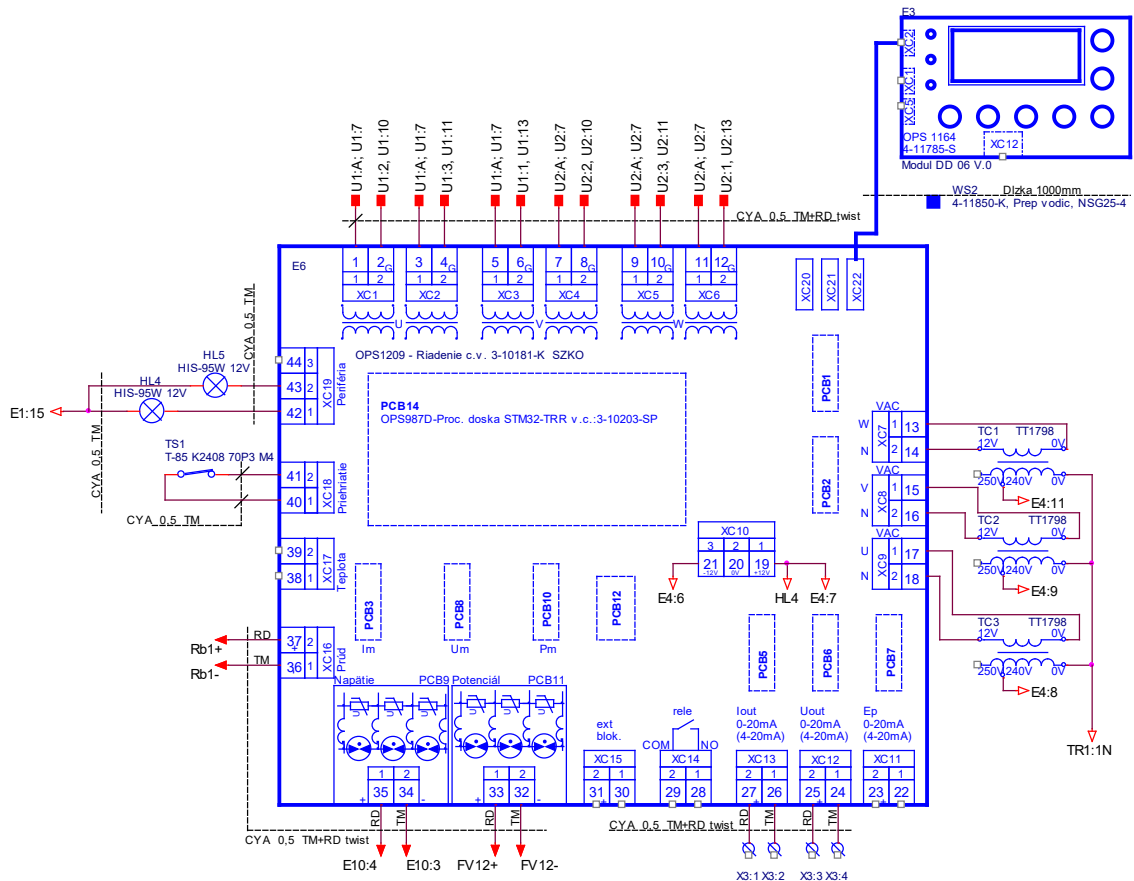
Za nulovou diódou je meranie prúdu je realizované pomocou bočníka na vyvedené na zdierky panelu a do riadiacej dosky kde sa spracúva následne sa od tohto signálu reguluje na požadovanú hodnotu. Hodnota bočníku závisí od výkonu zariadenia. V mínusovej vetve je umiestnená výkonová tlmivka ktorá sa stará o vyhladenie prúd. Jej veľkosť závisí od požiadaviek zákazníka, veľkosti zvlnenia prúdu odolnosti voči tvrdému skratu aby nedochádzalo k presýteniu. Keďže tlmivka pracuje 300Hz je navinutá medenou pásnicou na plechovom jadre. Takže je schopná pracovať v 300Hz takmer bez presýtenia pri plnom prúde. Daná tlmivka sa stará aj o to že pokiaľ je zdroj doregulovaný na prúde alebo napätí tyristor je otvorený a dôjde k skratu na výstupe a tyristor je zopnutý riadenie nemá ako v prvej pol perióde zareagovať keďže tyristor sa vypína až zánikom anódového prúdu. Takže riadenie zreguluje až v nasledujúcej perióde a túto prúdovú špicu musí byť tlmivka schopná zniesť. Silové vodiče sú pretiahnuté cez prevleky ktoré filtrujú prípadné VF rušenie tým že sa presycujú. Výstupný kondenzátor už nie je umiestnený v olejovej vani keďže je vyrobený z materiálov ktoré by sa v oleji rozpustili je umiestnený pri riadiacej časti. Kondenzátor slúži na vyhladenie napätia a spolu s cievkou tvoria LC člen. Veľkosť kapacity závisí na veľkosti zvlnenia meraným sme zistili že je lepšie použiť obojpolaritný zvitkový kondenzátor ako elektrolyt kde v našom prípade sem mali zvlnenie prúdu 5% a napätia 2% pri pripojenej nulovej dióde. Na výstupe je zase prepäťová ochrana ktorá chráni zdroj pred prepätím z vonku ktoré môže vstupovať do zdroja. Výstup je zaistený poistkou a priamo z výstupných svoriek je vyvedené merané napätie aby nedochádzalo k nepresnostiam vplyvom úbytku na vodičoch toto napätie je privedené do deliču a následne do riadiacej dosky kde sa spracúva. Delič je vo väčšine prípadov osadený iba jedným rezistorom o hodnote 100R/1W kde tento odpor slúži len na pohltenie energie pri prepätí. Zdroj je taktiež schopný merať potenciál a následne naň regulovať. Potenciál môže byť privedený na svorkovnicu X2 odkiaľ ide do riadiacej dosky a na zdierky predného panelu.



Obrázok 36: Zapojenie výstupného filtra

### 3.3.4 Riadiaca časť

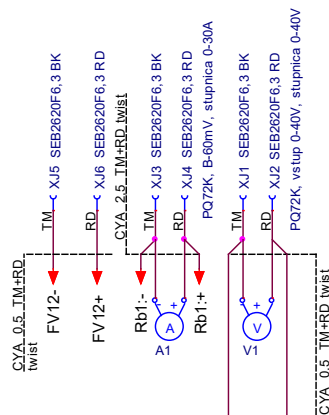
Popis jednotlivých častí riadiacej dosky je uvedený vyššie. Do dosky riadenia sa pripája meraný prúd, napätie a potenciál čo sú aj hodnoty na ktoré je zdroj schopný regulovať ďalej je možné pripojiť externé blokovanie ktoré môže byť aj externé taktovanie je nutné povoliť v menu. Ďalej doska obsahujú relé na spínanie ventilátorov tieto kontakty sa dajú použiť aj ako PWM na reguláciu otáčok. Vedľa je možné pripojiť výstupné prúdové slučky ktoré je možné si v menu nakonfigurovať. Svorky XC7 až XC9 tieto svorky slúžia na synchronizáciu a napájanie samotného riadenia. Svorky XC20 až XC22 je možné pripojiť diagnostický display prípadne meracie display, na daných konektoroch je interná TTL komunikácia je možné pripájať k tejto komunikácii iba zariadenia firmy NES. Svorky XC1 až XC6 sú galvanicky oddelené budiace pulzy pre tyristory tu je potrebné dodržať správnosť zapojenia inak zdroj nebude pracovať správne. Svorka XC19 je univerzálna svorka môže slúžiť ako výstup s otvoreným kolektorom, digitálny vstup alebo analógový vstup. Záleží od požiadaviek zákazníka v našom prípade slúži ako výstup s otvoreným kolektorom pre spínanie signalizačných diód na ktorú veličinu zdroj reguluje. Svorka XC18 je bezpečnostná ochrana proti prehriatiu kde je použité 80°C bimetalický senzor ktorý pri prehriati rozopne a zdroj sa zablokuje. Svorka XC16 slúži na meranie teploty je ju potrebné povoliť v menu dokáže indikovať aktuálnu teplotu a prípadne varovať že dôjde k prehriatiu.



Obrázok 37: Zapojenie riadiacej časti

### 3.3.5 Predný Panel

Predný panel je navrhnutý tak aby pre obsluhu bol jednoduchý a praktický merané napätie , prúd a potenciál sú zobrazované na display ten môže byť oled alebo klasický display. Tieto hodnoty sú redundantne zobrazované aj na analógových meracích prístrojoch kde pod každým meracím prístrojom sú umiestnené zdiecky kde je privedená aj reálna veličina.



Obrázok 38: Zapojenie predného panelu

## 4 SOFTWARE ZDROJA

Software zdroja sme sa snažil koncipovať tak aby bola zachovaná štruktúra podľa štandardov firmy NES. Procesor kde sa program nachádza je ústrednou jednotkou jedná sa o ARM procesor s jadrom M3 konkrétne od firmy STMicroelectronics STM32f103.

Parametre procesora

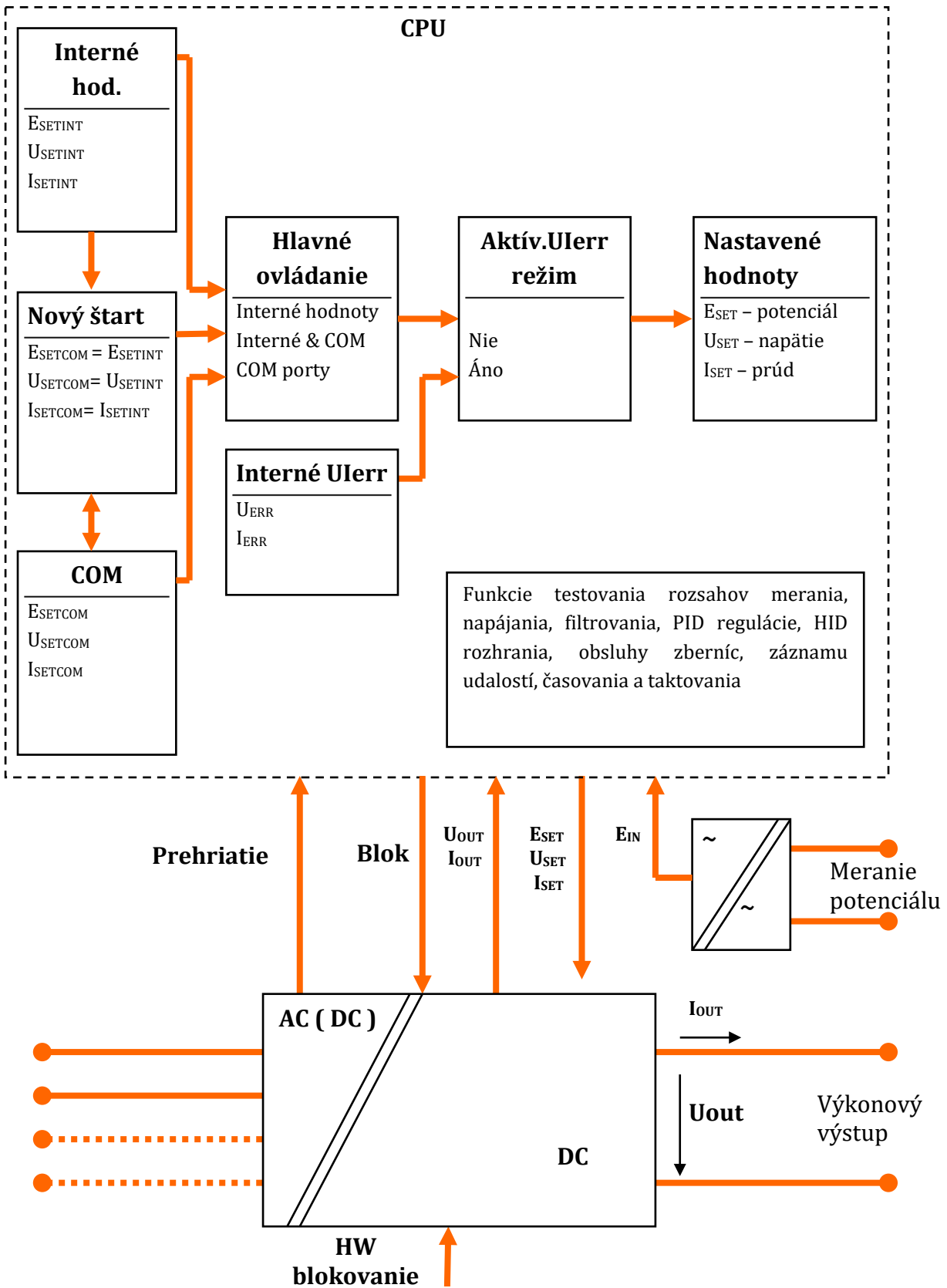
- Frekvencia jadra 72MHz
- Flash pamäť 512Kbyt
- SRAM pamäť 64Kbyt
- 3V3 logika
- 3x12bit A/D prevodník (21 kanálov)
- 2x12bit D/A prevodník
- 80 I/O portov
- 11 časovačov
- 13 Komunikačných rozhraní

Software je koncipovaný tak aby bolo možné veľmi jednoducho robiť úpravy. Celý kód je rozdelený do viacerých knižníc a viacerých časových slučiek pre dosiahnutie prehľadnosti kódu. V našom prípade sme použil štyri hlavné časové slučky.

- 1) 1ms slučka
  - a) Meranie napätia prúdu potenciálu samotná regulácia
- 2) 10ms slučka
  - a) Ovládanie výkonovej časti (spustenie, zastavenie pauza...)
  - b) Vyhodnocovanie aktuálnych stavov zdroja
- 3) 100ms slučka
  - a) Načítanie klávesnice
  - b) Obsluha displeja
  - c) Obsluha COM portov
  - d) Obnovenie displeja
  - e) ...
- 4) 1 min, 1 hod
  - a) Záznamy logov na kartu

Celý zjednodušený princíp ovládania zdroja je názorne vidieť na blokovej schéme obrázku 39. Kde všetky jednotlivé parametre je možné nastaviť a na kalibrovať. Daný blokový diagram dobre ilustruje ako je potrebné aby bolo zariadenie

nastavené a z ktorého zdroja údajov berie dáta či z COM portu, interných hodnôt alebo z obidvoch.



Obrázok 39: Diagram riadenia zdroja

## 4.1 Riadenie a regulácia

Riadenie tohto typu zdroja nie je až tak náročné ako riadenie klasického pulzného zdroja keďže tu sa riady sekundárna strana a daná regulácia je veľmi pomalá aj pri výpadku riadenia dochádza len k zvýšeniu zvlnenie výstupného napätia v tom je obrovská výhoda tohto zdroja.

### 4.1.1 Synchronizácia

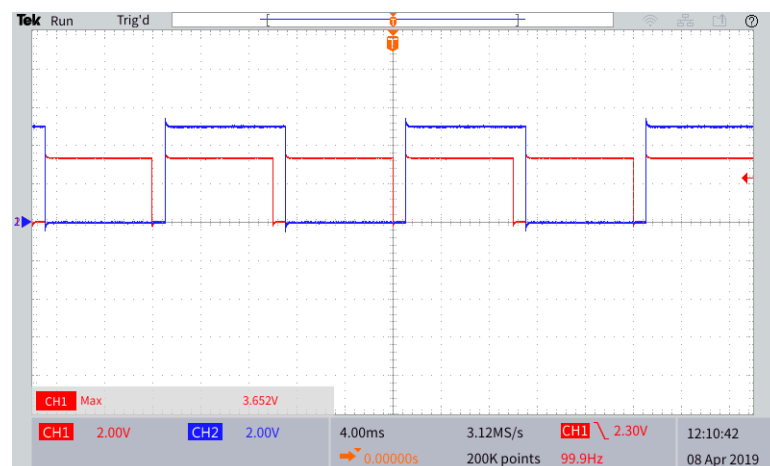
Je kľúčová pre správni chod zdroja pri výpadku synchronizácie sa zdroj do 100ms zablokuje a nie je ho možné pustiť až pokiaľ nie je synchronizácia správna.

Synchronizácia vstupuje do CPU ako pulz ktorý je privedený na pin externého prerušenia ktorý pri hrane vyvolá funkciu a následne podľa nábožnej a dobežnej hrany vypočíta ako majú nastaviť registre PWM aby boli vo generované pri prechode Tento kanál (uP\_PWM1\_CH2) nám určuje ktorý z dvojice tyristorov bude zopnutý podľa logického stavu.

uP_PWM1_CH1	uP_PWM1_CH2	uP_PWM_Rozmie	IC6B	IC6A	IC6C
0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0

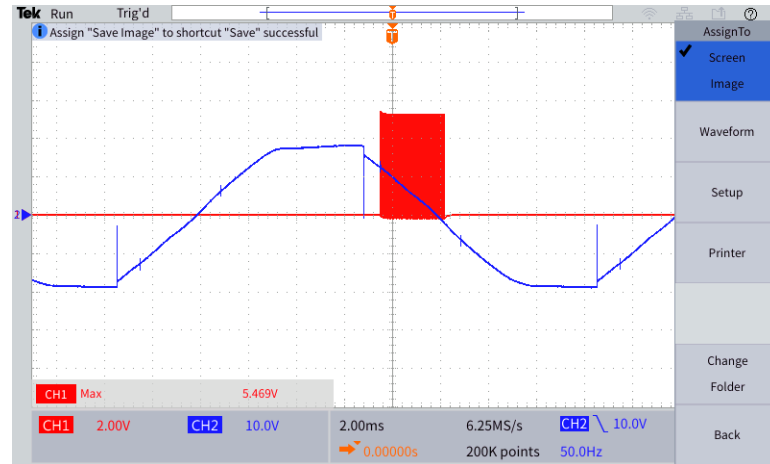
Tabuľka 1: Popis logickej funkcie

Následne ďalší kanál (uP\_PWM1\_CH1) PWM generuje striedu podľa akčného zásahu regulátora kde obidva tieto kanáli sú synchronizované na dobežanú hranu. Dobežaná hrana pretože pokiaľ by sa aj stalo že tyristor nie je presne synchronizovaný sa nič nedeje pretože je vypnutý a to tým že došlo k zániku anódového prúdu.



Graf 1: Synchronizácia riadiacich pulzov  
(CH1- akčný zásah, CH2 synchronizačný pulz )

Následne tieto dva signály sú prevedené cez logiku ktorá určí ktorý tyristor má byť otvorený a daný akčný zásah je rozstriedaný pre transformátorovú väzbu.



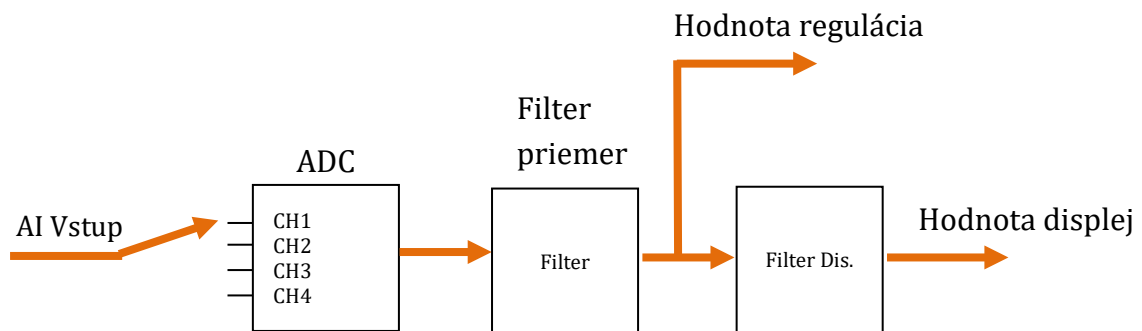
**Graf 2: Riadenie tyristora**

(CH1 – Spínacie pulzy, CH2 - napätie na anóde tyristora )

Celý program je koncipovaný tak že jednotlivé synchronizácie tyristorov majú každá svoju knižnicu takže je veľmi jednoduché z trojfázového riadenie spraviť jednofázové len je potrebné v programe vybrať potrebnú knižnicu k danej fáze a zdroj bude koncipovaný ako jednofázový.

#### 4.1.2 Meranie napätia prúdu a potenciálu

Meranie napätia, prúdu a potenciálu je realizované interným 12 bitovým ADC prevodníkom kde merané veličiny sú galvanicky oddelené od riadiacej dosky pomocou prevodníkov ich izolačná pevnosť je 4KV. Princíp merania týchto troch veličín je zobrazená v nasledujúcom diagrame.



**Obrázok 40: Diagram meracej sústavy**

Napätie vstupujúce do procesora z všetkých troch veličín je maximálne 2,2V o čo sa starajú prevodníky, vstupné delič. Procesor pri týchto troch regulačných veličinách využíva injected konverziu ako zobrazuje fotka vyššie. Meranie raz za jednu milisekundu zavolá obsluhu merania kde dôjde k tomu že privedený signál je veľmi rýchlo štyri krát na vzorkovaný to znamená že máme štyri namerané hodnoty rýchlo

za sebou nasledujúce. Kde tieto hodnoty sa následne filtrujú, filter je koncipovaný že nájde minimum a maximum tieto dve merania sa zahodia a zo zvyšných dvoch meraní sa spraví priemerná hodnota a tá je výsledkom merania. Takto isto funguje aj meranie potenciálu a prúdu. Výsledná hodnota sa prevedie na správni formát Q15 kde tato hodnota vstupuje do regulačnej slučky. Ale pre zobrazenie na displeji sa ďalej filtruje pretože hodnota na displeji by stále kmitala a pre užívateľa by to nebolo príjemné preto sa ďalej hodnoty priemerujú. Toto nie sú jediné parametre ktoré sú uložené je vytvorená jedna obrovská štruktúra s názvom AIO v ktorej sú uložené všetky hodnoty a nastavené parametre analógových vstupov a výstupov

```

/*!< ADC - DAC: všetky parametre */
typedef struct {
    AIO_Const_TypeDef Const;      /*< ulozene parametre */
    U64_TypeDef Sum;             /* LCD filter */
    int32_t SumCnt;              /* počet udajov v LCD filter */
    q1_30_t f;                   /* filter prepočítaný na fsamplovaciu (1.0=vypnutý filter) */
    q15_16_t In;                 /*< analog input/output */
    q1_30_t InOutf;              /* medzihodnota so základnym filtrom */
    q1_30_t InOutfIIR;           /* medzihodnota s prídavným filtrovaním IIR */
    q15_16_t Out;                /*< ziadana alebo merana hodnota v desiatkovom tvare */
    q15_16_t Disp;               /*< vysledek na vsetkych prepoctoch na LCD */
    uint32_t OverRNum;           /*< počet prekročení rozsahu */
    uint32_t Frequency;          /*< rychlost volania filtrov */
} AIO_TypeDef;

EXTERN AIO_TypeDef AIO[AIO_END];

#define EIN_IDX 0
#define UOUT_IDX 1
#define IOUT_IDX 2
#define USET_IDX 3
#define ISET_IDX 4
#define AOUT1_IDX 5
#define AOUT2_IDX 6
#define AOUT3_IDX 7

/* Skrateny nazov pouzivany v main.c */
#define EIN AIO[EIN_IDX]
#define UOUT AIO[UOUT_IDX]
#define IOUT AIO[IOUT_IDX]
#define USET AIO[USET_IDX]
#define ISET AIO[ISET_IDX]
#define AOUT1 AIO[AOUT1_IDX]
#define AOUT2 AIO[AOUT2_IDX]
#define AOUT3 AIO[AOUT3_IDX]

```

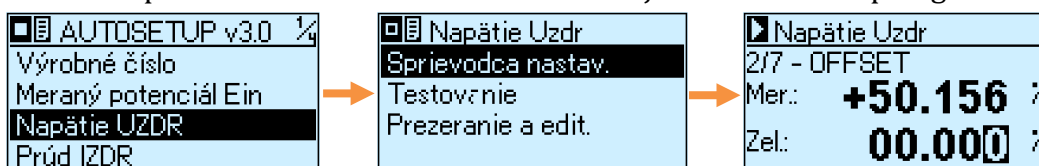
V štruktúre AIO sa zase nachádza ďalšia štruktúra s konštantami takéto rozdelenie parametrov je v celku zložitý na pochopenie ale po pochopení sa s toho stáva veľmi užitočným nástrojom pre rýchly a jednoduchý prístup ku ktorejkoľvek hodnote.

#### 4.1.2.1 Kalibrácia napätia, prúdu, potenciálu a prúdových slučiek

Kalibráciu môže robiť len osoba zaškolená a na danú prácu určená. Pretože pri neodbornom zásahu môže dôjsť k zničeniu zdroja. Kalibrácia sa nachádza v servisnom menu oddelenom heslom. Po sprístupnení menu sa zobrazí menu v ktorom je možné na kalibrovať a nastaviť všetky parametre zdroja. Kalibrácia je pri všetkých parametroch rovnaká teda opísaná bude iba kalibrácia napätia. Ku kalibrácii zdroja je možné prísť len vtedy pokiaľ je zdroj správne synchronizovaný a mal overené blokovacie funkcie. Kalibrácia je veľmi jednoduchá a prehľadná všetko postupuje po krokoch. V prvom kroku je potreba určiť nulovú



hodnotu (spodnú hranicu). Zdroj je na prázdno a pomaly začíname želať. Kde zaželáme hodnotu niekde okolo Volta počkáme kým sa hodnota ustáli a dáme OK kde presnú hodnotu meriame externým meracím prístrojom kde túto hodnotu zadáme do zdroja obdobne pokračujeme aj pri vrchnej hranici zaželáme maximálne požadované napätie zdroja toto napätie musíme merať externým meracím prístrojom na výstupe zdroja pretože želáme v percentách. Potvrdíme a zapíšeme hodnotu následne nastavíme filtre a odpor prírodných vodičov ktorý zdroj dokáže kompenzovať. Po správnom nastavení sa dostaneme do testu kde pretestujeme linearitu a správnosť nastavenia. Na obrázku 41 je znázornená topológia.



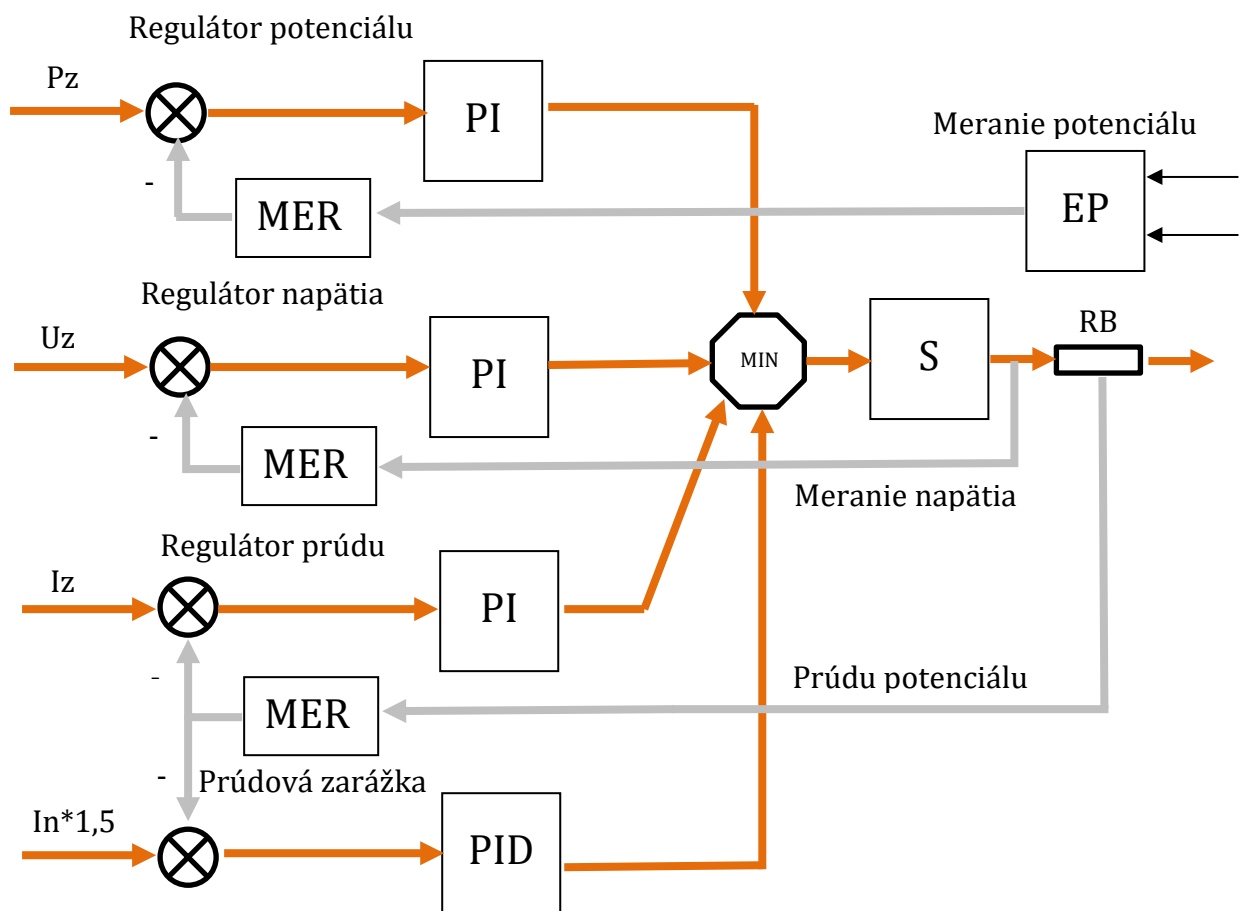
Obrázok 41: Ukážka kalibrácie

#### 4.1.2.2 Meranie teploty

Meranie teploty, zdroj je schopný merať dve teploty jedna je integrovaná v procesore a teda meria teplotu procesora a druhú je možné pripojiť k doske riadenia NTC senzor cez ktorý sme schopný merať teplotu od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+150^{\circ}\text{C}$  táto hodnota nie je meraná v injected móde ale v klasickom kde sa postupne merajú všetky pripojené kanáli. Na základe teploty sme schopný vyhodnotiť a blokovat zdroj od prehriatia alebo od podchladenia prípadne obmedziť výkon.

#### 4.1.3 Regulácia napätia prúdu a potenciálu

Regulácia je asi najdôležitejšia na danom zdroji. Zdroj je schopný regulovať na každom z troch parametrov prípadne ich kombinácii. A preto pri štarte zdroja je potrebné si vybrať v ktorom móde má zdroj pracovať. Okrem toho že je schopný regulovať na všetky tri veličiny je schopný reagovať aj na tvrdý skrat na výstupe o ktorý sa stará rýchli prúdový PID regulátor na obrázku 42 nižšie je znázornená schéma regulácie a zapojenia regulátorov. Na obrázku 42 je vidieť že výstupné parametre prechádzajú cez blok merania tento blok je na obrázku 40 následne vstupuje spolu so želanou hodnotou do rozdielového členu sa vypočíta odchýlka táto odchýlka vstupuje do regulátora kde regulátory jednotlivých veličín sú od seba oddelené po výpočte sa vyberie najmenší akčný zásah a ten vstupuje do sústavy. Kde regulátor pre napätie, potenciál a prúd je použitý veľmi pomalý PI regulátor kde jeho časová konštanta sa nastavuje v servisnom menu.



Obrázok 42: Diagram zapojenia regulátorov

Regulátor pre prúdovú zarážku je PID tento regulátor je veľmi rýchli pretože slúži ako prúdové obmedzenie jeho funkcia sa začne uplatňovať pokiaľ výstupný prúd dosiahne jeden a pol násobok nominálneho prúdu. Ako je vidieť na grafe 3. Tieto údaje boli pomocou špeciálnych ladiacich nástrojov vyčítavané priamo za chodu z registrov daný nástroj na vyčítavanie týchto hodnôt bol od firmy SEGER. Ako je vidieť na grafe 3 konkrétne na prúdovom PID regulátore dané špice ktoré sme neboli schopný identifikovať a mysleli sme si že máme chybu v programe. Tak po konzultácii s firmou SEGER sme došli k záveru že program vyčíta register v rôznych časových okamihoch kde v tomto registri sa môže nachádzať aj hodnota medzi výpočtu takže dané špice sú medzi výpočty akčného zásahu.

Pri regulácii sa využíva takzvané vlečenie. To znamená že pri regulácii napríklad napätového regulátora sa ostatné regulátory nedostanú do saturácie ale iba do určitej hodnoty nad akčnú zásah to zrýchľuje reakciu pri porucha alebo pri preberaní regulačnej veličiny nemusí klesať zo saturácie ale klesá len z určitej hodnoty.

```

if (P_Ureg.uk < P_Ireg.uk) ek = P_Ureg.uk;
else ek = P_Ireg.uk;

//ek = P_Ureg.uk;
// Porovnanie E a (min(U,I))
if (P_Ereg.uk < ek) ek = P_Ereg.uk;

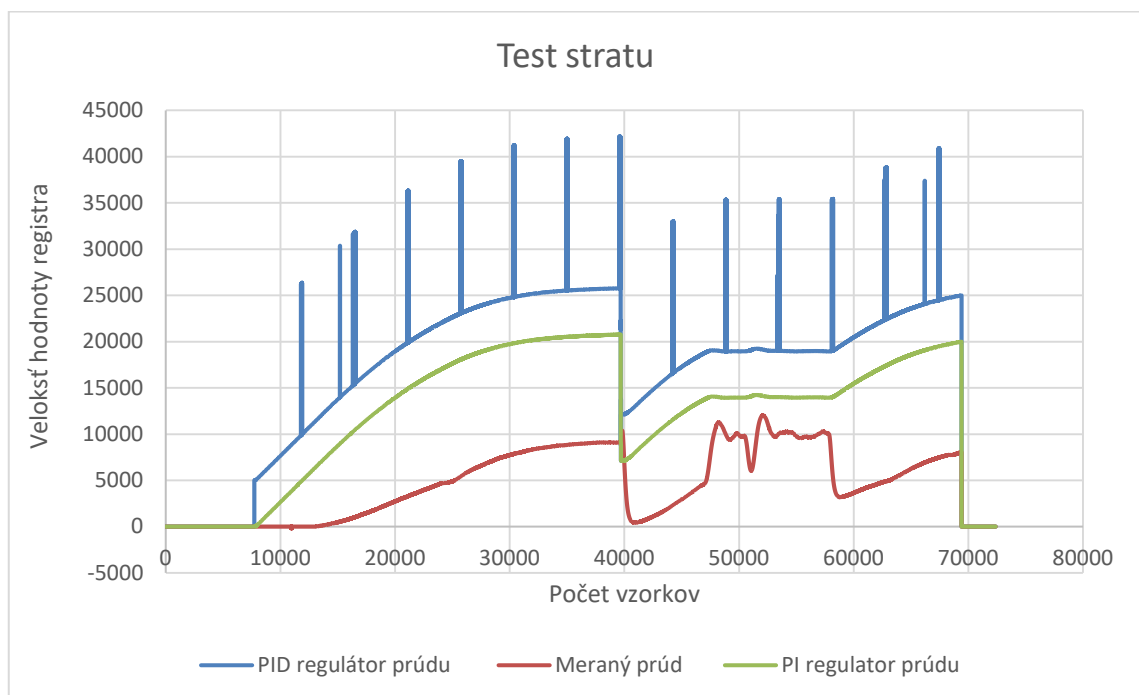
// Porovnanie zacasaka s (min(U,I,E))
if (PIDI_Reg.uk < ek) ek = PIDI_Reg.uk;

dac1Value = ek;
TRRx_Reg = dac1Value;

// vlastny regulator pre DAC1
ek=dac1Value+5;
if (P_Ereg.uk>ek) P_Ereg.uk1 = ek;
if (P_Ureg.uk>ek) P_Ureg.uk1 = ek;
if (P_Ireg.uk>ek) P_Ireg.uk1 = ek;
ek+=5000;
// obmedzenie pre I regulator
if (PIDI_Reg.uk>ek) {
    // datREG = __USAT(ek, 16);
    q15_PID_PreSet(ek, &PIDI_Reg);
}

```

Všetky použité regulátory pracujú z 64 bitovým int číslom kde to je preto že 32bitový float má malé rozlíšenie keďže 8 bitov je exponent jeden bit je znamienko a ostane nám 23 bitov čo pri čísle 9000.001 už nepostačuje a regulátor bi nebol schopný regulovať na posledné desatinné miesto pri tejto regulácii nie je použité normovanie.

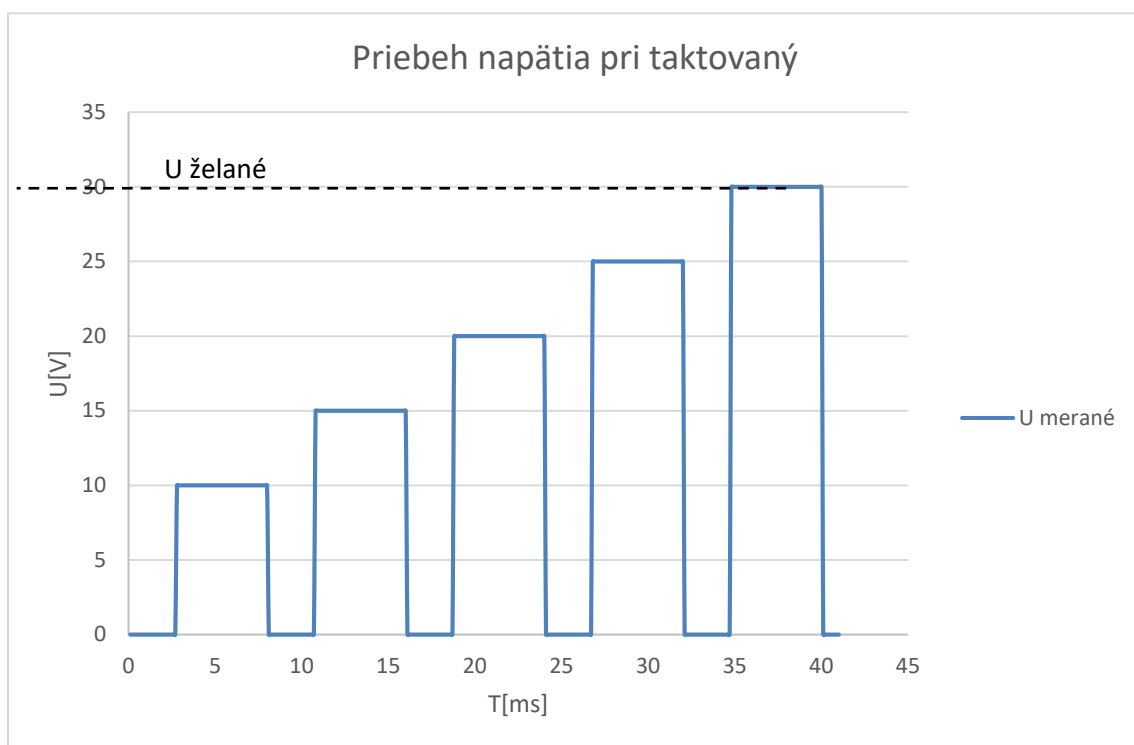


**Graf 3: Regulátor pri tvrdom skrate**

Zdroj má aj jednoduchú detekciu medzných parametrov regulátorov ale nie je dobré sa na túto detekciu spoliehať keďže vo veľkej miere závisí aj od sústavy ktorá nemusí byť vždycky identická.

#### 4.1.3.1 Regulácia pri zapnutom taktovaní

Pri zapnutom taktovaní je regulácia ešte zložitejšia keďže dochádza k vypínaniu a zapínaniu silovej časti v určitých intervaloch. Takúto sústavu je celkom problematické uregulovať princíp je nasledovný. Pri taktovaní sa je veľkou výhodou že regulácia je pomalá času taktovania je možné nastaviť užívateľom ale len v určitých medziach aby nedochádzalo k rozkmitaniu. Pri taktovaní si regulátor pamätá predchádzajúcu hodnotu na ktorej skončí a následne pokiaľ nebola zmenená želaný hodnota pri ďalšom štarte začína s touto hodnotou inak by pri dlhých intervaloch nikdy nedosiahol požadovanú hodnotu Všetky tieto meracie a regulačné deje pri tomto zdroji idú na 1KHz



Graf 4: Dokonalý priebeh taktovanie

#### 4.1.4 Kontrola a blokovanie zdroja

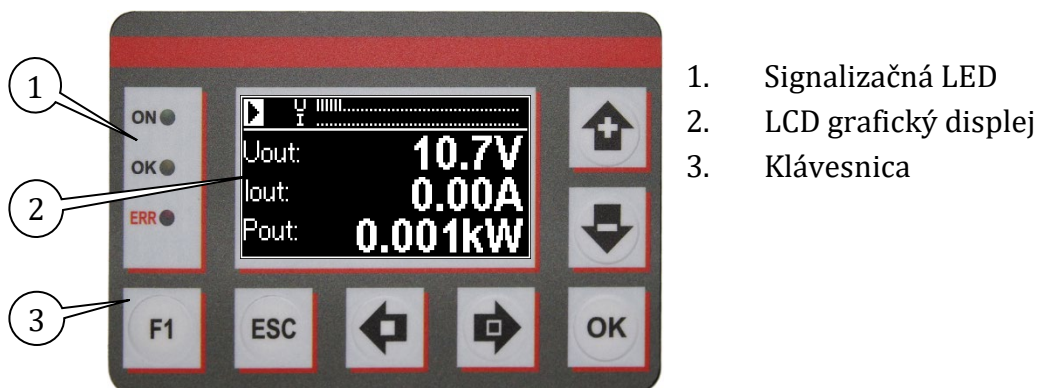
Blokovanie je riešené dvoma spôsobmi ako je popísané vyššie čo znamená že blokovanie je redundantné. Pri softwarovom blokovaní je zase viacero možností jedna prvá možnosť je želané hodnoty nastaviť na nulu v zdroji táto možnosť ale nie je využitá ďalšia možnosť je zablokovaním rozmietať tým sa zablokujú riadiace pulzy v logickom čelene a poslednou možnosťou je spínanie tranzistora na riadiacej doske OPS987D v zapojení otvorený kolektor .

## 4.2 Menu a ovládanie

Ovládanie zariadenia je možné rôznymi spôsobmi na prezeranie a nastavený všetkých parametrov je použitie ovládací panel DD06 ktorý je kompatibilný s panelom DD05 pri vhodnom použití prepojovacieho vodiča je možné zariadenia ovládať až na vzdialenosť 50 m. táto zobrazovacia jednotka je navrhnutá do väčšieho rozsahu teplôt ako DD05. Ďalej je možné zariadenie ovládať cez USB pomocou softwaru NES screen prípadne diaľkové ovládanie cez modus RTU, RS232,RS485,GSM modulu.

### 4.2.1 Ovládanie cez DD06

Je zložená s oled displeju klávesnice a stavových led diód slúži iba ako zobrazovač všetky výpočty prebiehajú v hlavnej riadiacej jednotke zdroja s ktorou je prepojená. Cez túto jednotku je možné zariadenie kalibrovať prestavovať a monitorovať stav zariadenia.



Obrázok 43: Diagnostický displej DD06

#### 4.2.1.1 Stavové LED diódy

Určujú v ako stave sa zdroj nachádza tento stav je vo väčšine prípadov aj popisovaný v hornej časti displeja.

- **Zelená LED**
  - **Nesvieti** -nízke napájanie zdroj v stave STOP
  - **Bliká** -výpadok fáze alebo synchronizácie
  - **Svieti** -zariadenie má napájanie v poriadku

Pri prevádzkovom stave musí zelená LED dióda svietiť inak zdroj nie je možné pustiť je zablokovaný.

- **Oranžová LED**
  - **Nesvieti** -Zariadenie je v režime STOP
  - **Bliká** -Zdroj dostal požiadavku na chod ale je blokový HW napríklad (prehriatie, výpadok synchronizácie...)

- **Svieti** -Zdroj je v chode.

Pri prevádzke zdroja musí oranžová LED svietiť pokiaľ LED nesvieti zdroj nie je v chode je zablokovaný.








- **Červená LED**

- **Nesvieti** -Zdroj je v chode
- **Bliká** -Zdroj je v poriadku ale nejaká podmienka nie je splnená napríklad (prehriati, prekročenie alarmu, výpadok fáze...)
- **Svieti** -Zdroj nepracuje (chyba regulácie, systémová chyba )

Pri bežnej prevádzke je červená LED zhasnutá pokiaľ červená LED svieti došlo k chybe vo väčšine prípadov je na zariadený nutné vykonať servis.

#### 4.2.1.2 Zadávanie hodnôt

Zadávanie prebieha pomocou klávesnice na paneli alebo cez komunikáciu z nadradeného systému. Zadávanie hodnôt cez klávesnicu pri DD06 je pomocou siedmich tlačidiel pri DD05 pomocou šiestich tlačidiel kde OK nahradzuje F1 VO väčšine prípadov zdroj bude dodávaný z DD06

Tlačidlo	Meranie	Menu	Nastavenie
	Žiadna funkcia	Posun na predchádzajúcu sekciu menu	Ukončenie nastavenia bez uloženia hodnoty
	Zmena zobrazovaných parametrov na LCD	Zmena výberu sekcie	Pripočítanie k číslu hodnotu podľa aktuálneho rádu
	Zmena zobrazovaných parametrov na LCD	Zmena výberu sekcie	Odpočítanie od čísla hodnotu podľa aktuálneho rádu
	Zmena zobrazovaných parametrov na LCD	Zmena výberu sekcie	Zmena rádu / odznačenie
	Zmena zobrazovaných parametrov na LCD	Zmena výberu sekcie	Zmena rádu / označenie
	Žiadna funkcia	Vstup do zvolenej sekcie	Uloženie nastavenej hodnoty
	Nastavenie napätia a prúdu len ak je heslo „0000“.	Žiadna funkcia	Žiadna funkcia

Tabuľka 2: Funkcie tlačidiel

#### 4.2.2 Ovládanie cez NES Screen

Ovládanie cez USB alebo sériovú linku je možné pomocou softwaru NES Screen je potrebné nainštalovať USB ovládače od firmy STMicroelectronics pretože USB rozhranie pracuje prostredníctvom virtuálneho sériového portu po pripojení do PC

je potrebné spustiť software a vybrať daný COM port zdroji nie je potrebné nič prepínať. Kde zdroj po linke posielala iba obrazovky a práma prípadné stlačenie tlačidiel inak všetky výpočty prebiehajú v riadiacej jednotke.



Obrázok 44: Okno ovládacieho softwaru NES Screen

Ovládanie cez PC má hlavné výhody v tom že je možné nahrávanie displeja pomocou tlačidla REC prípadné spravenia snímky obrazovky pomocou ikony tlačiarne. Nevýhodou je že ovládanie je pomalšie čo je spôsobené rýchlosťou komunikácie môže to na užívateľa pôsobiť že program prestal pracovať.

### 4.2.3 Užívateľské menu

Zdroj má do kopy tri druhy menu aj program je tak koncipovaný kde prvé dve menu čo je užívateľské menu ktoré je určené iba pre užívateľa. Kde môže nastavovať hodnoty a parametre zdroja. Po zadaní hesla sa odomkne identické menu aké je pre užívateľa ale niektoré informácie a nastavenia sú iné ako napríklad vyťaženie procesora, teplota procesora správne s fázovanie toto menu je určené pre technika v prípade problému. Celé menu je možné prepnúť do štyroch jazykov. Menu je v programe robené pomocou jednej štruktúry ktorá obsahuje funkciu ktorá sa vykoná a kam má skočiť keď sa stlačí jednotlivá klávesa

```
// INDEX      *pTEXT,      x,y,      Back,      Left,      Right,      Enter,      Esc
EXTERNC MENU_TypeDef MainMenuTab[M_END] _IS_(
{ MI_INFO,    (char*)s0,      NU,NU,    M_RUN,      M_INFO,      M_INFO,      M_RUN,      MenuInfo},
{M_RUN,      (char*)sM1,    12,1,    M_RUN,      M_LANG,      M_DISP,      MR_NO,      MenuMove},
```

Kde INDEX určuje kde sa nachádza TEXT určuje aký text sa má vypísať na obrazovku na výpise z kódu je vidno že textová sada je v štyroch jazykoch.

```
_T_ sM1      _S_ (      " Hlavné menu\n\1 Štart|\1\2 Zobrazenie údajov|\2\3 Nastavenie|\3\4 Informácie|",
              " Main menu\n\1 Start|\1\2 Measured values|\2\3 Settings|\3\4 Information|",
              " Főmenü\n\1 Start|\1\2 Állapot kij.||\2\3 Beállítás|\3\4 Információ|",
              " Menu g³ővne\n\1 Start|\1\2 Pomiarz|\2\3 Nastawy|\3\4 Informacje|");
```

Ďalej je parameter X,Y určuje ako o koľko a kam má byť text posunutý. Následne štruktúra udáva ktorý na index sa má posunúť pri stlačení daného tlačidla následne je funkcia ktorá sa má vykonať.

```
void MenuMove(void)
{
    if (MENU_Compare() || (KEYS_GetKeyStatus() & KEY_RISE))
    {
        LCD_Clr();
        LCD_SetFont(&FONT_NORMAL);
        MENU_ShowState();
        LCD_SetImage(LCD_GetX(), LCD_GetY(), &iMENU);
        LCD_SetX(LCD_GetX() + iMENU.width);

        char *pChar = (char *)MENU_GetText();
        LCD_SetMask(LCD_BW);
        LCD_SelectText(pMenuStructure->Y, pChar);
        if (pMenuStructure->X > 11)
        {
            IMG_TypeDef img;
            img.chars = CharsFract.char_table + CharsFract.info_table[pMenuStructure->X].offset;
            img.height = CharsFract.height;
            img.width = CharsFract.info_table[12].width;
            LCD_SetImage(LCD_MAX_X - img.width, 0, &img);
        }
        LCD_SetLineH(0, LCD_GetFontHight() - 1, LCD_MAX_X - 1);
        swMenuIndex = 0;
    }
}
```

Celé užívateľské menu spolu s knižnicou jazykov je rozsiahle ale veľmi univerzála na editovanie a zmeny. Kde celá štruktúra menu je na nasledujúcom obrázok 45 ktorý je viac zrozumiteľný ako kód. Kde pre takéto použitie bolo potrebné napísať veľa obslužných funkcií ktoré sa starajú o to aby bol dodržaný správni formát textu zobrazovaného na displeji. Za dávanie hodnôt z klávesnice má taktiež svoju špeciálnu funkciu keďže je potrebné užívateľovi nejak obmedziť hodnoty zadávania vypisovať rôzni počet desatinných miest a jednotiek na to slúži funkcia na vytváranie premenných.

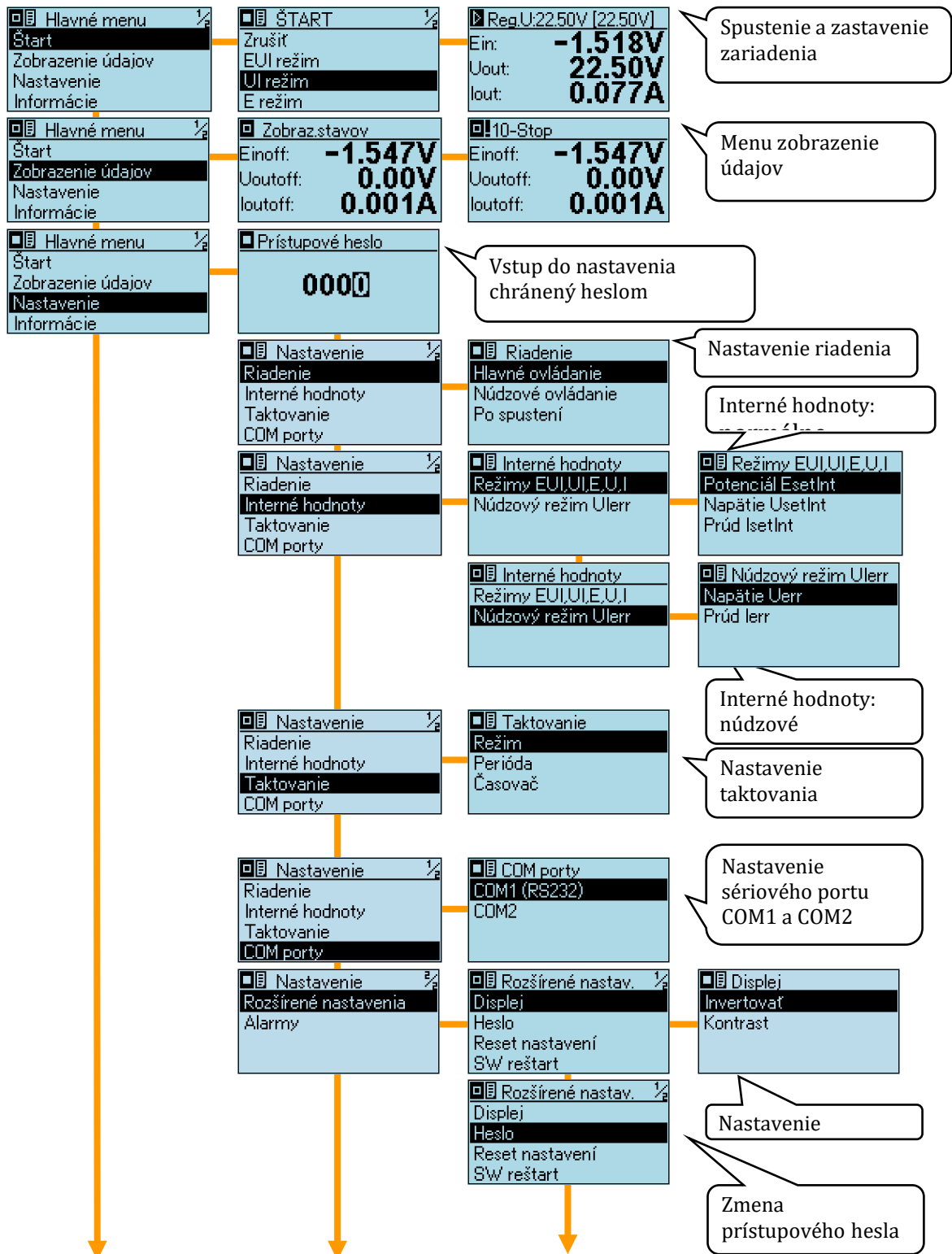
```
VAR_NEW_STRUCT_IIC(q15_16_t, IsetInt, SZK_Int.Iset, 5, (uint8_t *)&ISET.Const.Dot, V_Q15|V_UNSIGN|V_FIXSIZE, sA);
```

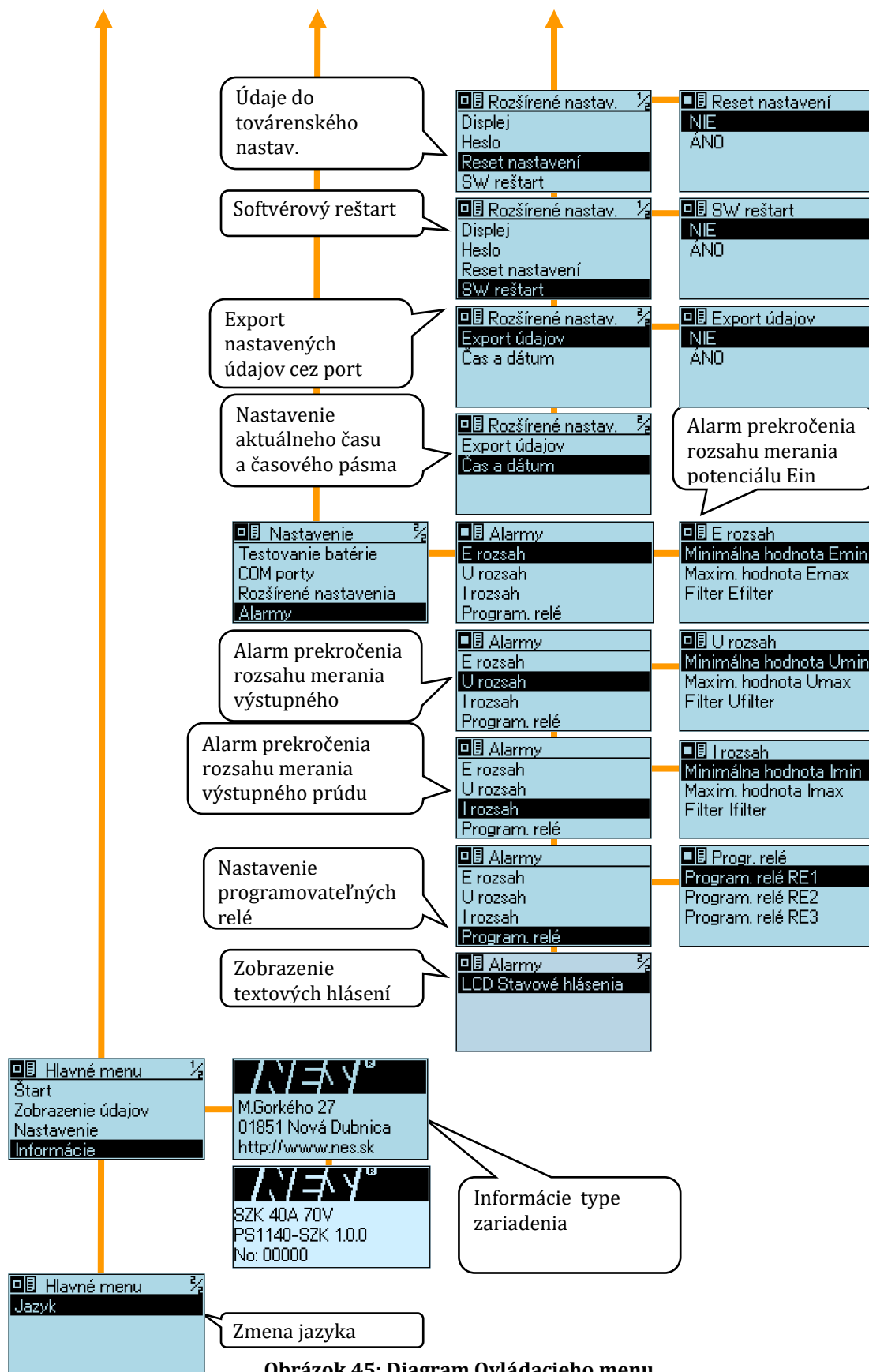
Prvý parameter značí typ vytvárajenej premennej druhý názov tretí kam sa má prekopírovať ďalší počet cifier na displeji následne počet desatinných miest potom aké parametre má mať dané číslo a posledné je text v tomto prípade ampére. Takto sú vytvorené všetky premenné ktoré sú vypisované na displeji a je ich možné meniť užívateľom

Obdobný spôsob je realizovaný aj v servisnom menu ktoré má zase svoje premenné ale zapisujú sa do tej istej štruktúry ako údaje z klasického menu. Podrobné

Celý popis a ovládanie tohto menu je veľmi komplexné a preto bol vypracovaný ovládací manuál ktorý je v prílohe v anglickom jazyku







Obrázok 45: Diagram Ovládacieho menu



software pomocou modbus funkcií vyčítava aktuálne hodnoty a stavy zo zariadenie a prehľadne ich interpretuje užívateľovi. Ďalej pomocou tohto softwaru je možné nastavovať rôzne hodnoty a parametre zdroja kde meravá hodnoty je taktiež možné zaznamenávať a ukladať na disk. Následne tieto hodnoty znovu načítať prípadne vyhodnocovať keďže sú v súbore .csv.

### 4.3.1 Záznam na SD karte

Ďalšia možnosť zberu údajov je SD karta ktorá môže a nemusí byť použitá pokiaľ je použitá je potrebné ju povoliť v menu. Pokiaľ je povolená na displeji ukazuje aktuálne voľné miesto na karte. Na danej karte sa pri každom reštartovaní CPU vytvorí textový súbor do ktorého sa ukladajú údaje každú minútu. Zapisované údaje sú napätie, prúd, potenciál a aktuálny stav spolu s časovou značkou všetky údaje sú oddelené oddeľovačom pre jednoduchý export do Excelu. Na pomocou SD karty je možné aj nahrať update softwaru kde na kartu sa umiestni softvér ktorý sa pri prvom reštarte aktualizuje toto funguje iba pokiaľ je v zariadení nahraný originálny bootloader.

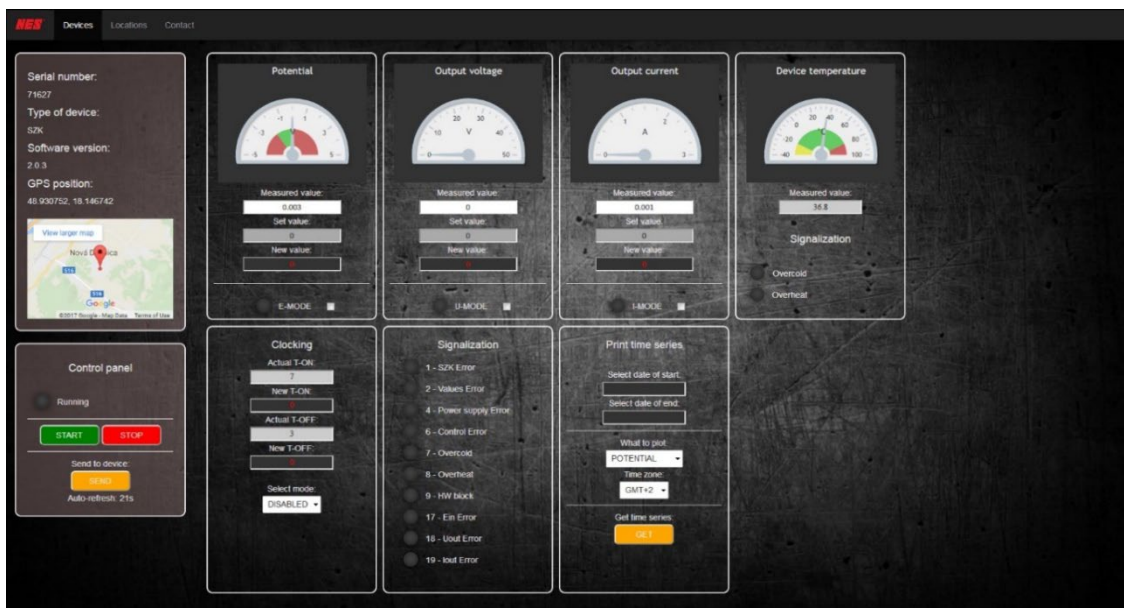
## 4.4 GPS a GSM komunikácia

K zdroju je možné pripojiť monitorovací systém DMZ10 ktorý zo zdrojom môže komunikovať pomocou RS458 alebo RS232 kde táto jednotka slúži na monitorovanie a nastavovanie hodnôt zdroja na diaľku. Zdroj je možné ovládať s ktoréhokoľvek miesta na zemi kde je prístup k internetu. V zariadení je umiestnená SIM karta cez ktorú je prenos uskutočňovaný.



Obrázok 47: DMZ10

Každé toto zariadenie má univerzálny login cez ktorý je možné sa k danému zariadeniu pripojiť pomocou webového rozhrania. Toto rozhranie umožňuje kontrolu stavu zdroja a tým pádom aj potrubia ďalej umožňuje nastavenie základných hodnôt zdroja a detekciu prípadnej poruchy. Umožňuje zobrazenie všetkých zariadení a ich umiestnenie na mape. Prípadne môže slúžiť aj ako zdroj presných hodín kde toto sa využíva najmä v režime taktovania kde na jednom potrubí je viacero zdrojov takže je potrebné ich navzájom synchronizovať.



Obrázok 48: Ukážka webového rozhrania

#### 4.4.1 Časová synchronizácia

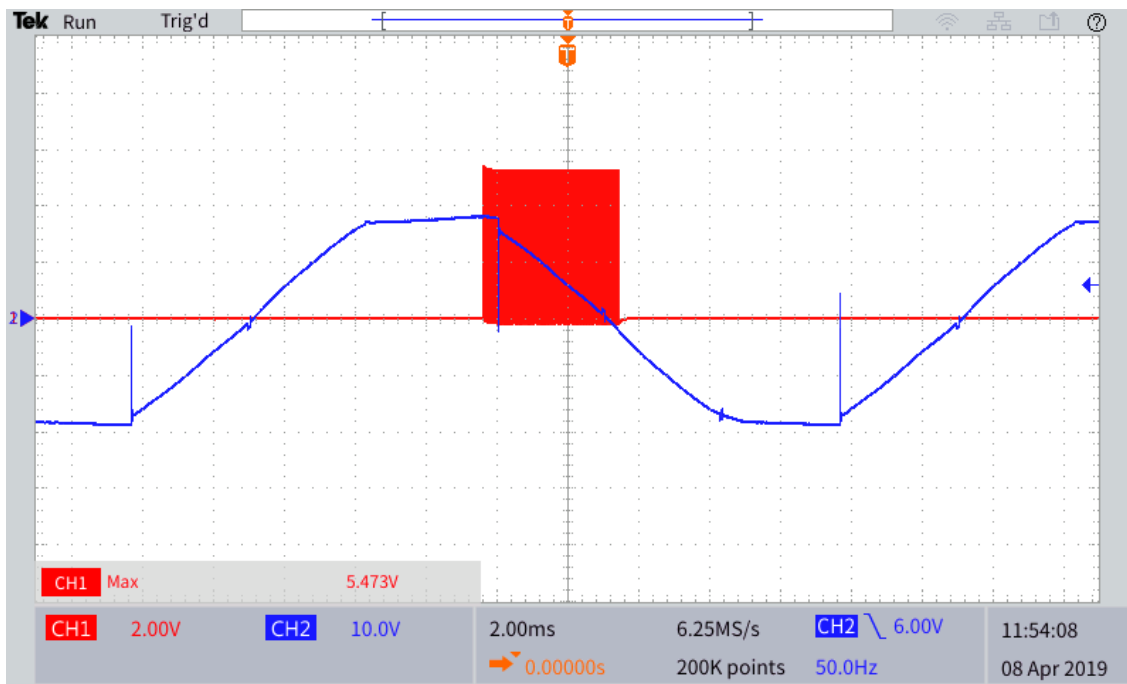
Synchronizácia zdrojov pri taktovaní pokiaľ sú na jednom potrubí je veľmi dôležitá aby dochádzalo k správnym chemickým reakciám a nedochádzalo k poškodeniu zdrojov. Synchronizácia je možná aj pomocou GPS antény ktorá je tiež výrobkom NES kde v konektore je osadený dekodér ktorý posiela presný čas riadiacej jednotke.

## 5 OŽIVENIE A TESTOVANIE ZDROJA

Pred prvým pustením zdroja sme najskôr oživilí dosku riadenie kontrola všetkých napájacích zdrojov. Kontrola synchronizačných pulzov. Overenie všetkých bezpečnostných funkcií kalibrácia výstupných prúdových slučiek a merania potenciálu overenie funkčnosti a správnosti osadenia budiacej časti. Po preverení všetkých týchto funkcií je riadenie zdroja pripravené na montáž do samotného zdroja. Kde silovú časť bolo tiež potrebné správne zapojiť podľa priloženej schémy kde foto z tejto montáže je umiestnené v prílohe.

### 5.1 Prvá synchronizácia

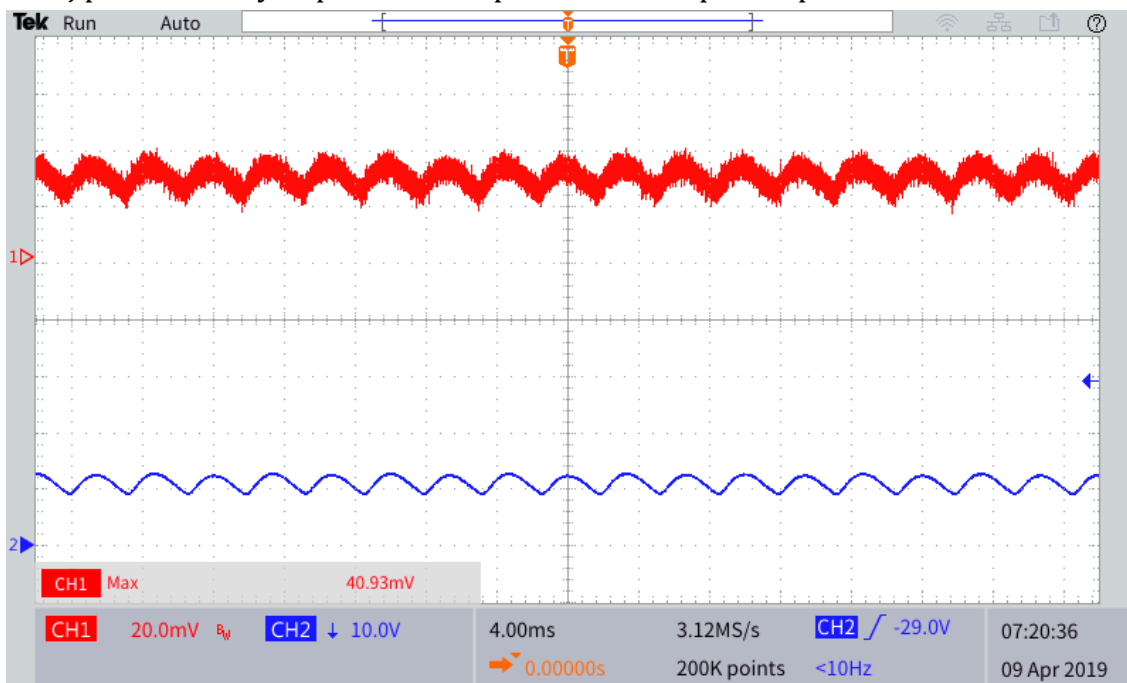
Synchronizácia prebiehala tak že všetky zapalovacie impulzy sa vytiahli z riadiacej dosky a vytiahol sa aj prevodník na meranie prúdu to preto aby zdroj otvoril regulátor na maximum keďže nemal spätnú väzbu. Potom pomocou merania jednou sondou sme chytili sínusový signál privedený na tyristor a druhou sondou zapalovacie pulzy a následne sme postupne skúšali ktorý zapalovací pulz má byť privedený na daný tyristor.



**Graf 5: Synchronizácia tyristoru**

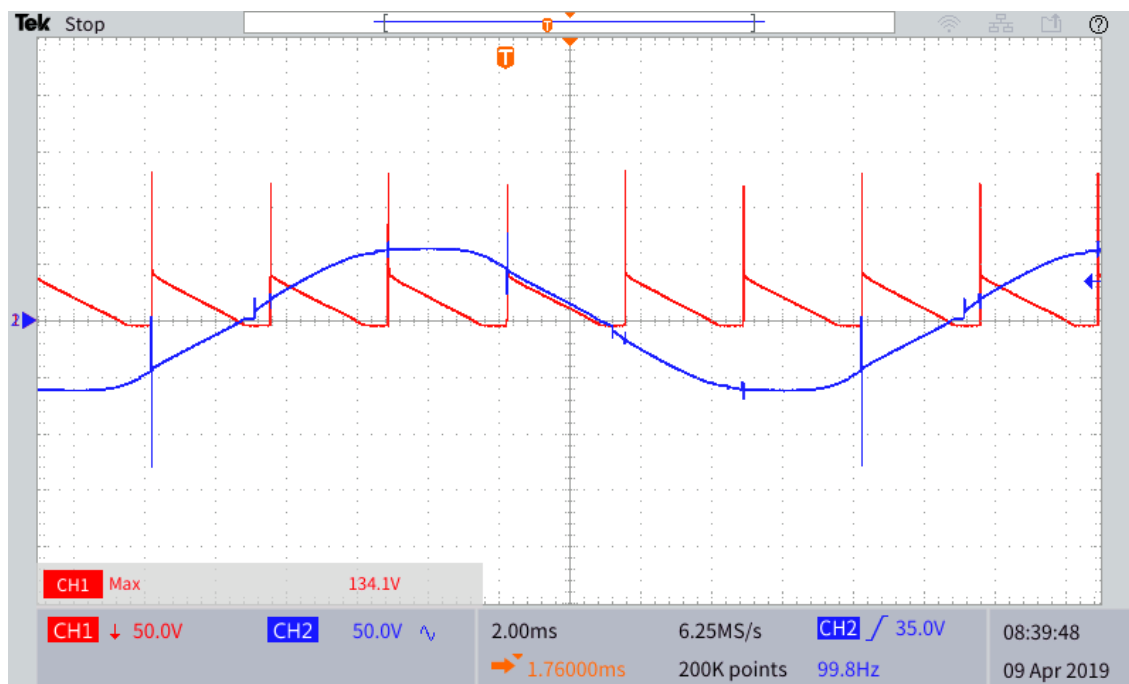
(CH1 – zapal'ovacie pulzy, CH2 – Napätie na tyristore)

Následne sme tento postup opakovali na všetkých tyristoroch. Po spárovaní zapal'ovacích pulzoch sa nám na výstupe objavilo napätie v správnej polarite. Zasunuli sme prevodník prúdu a na kalibrovali sme aj prúd a napätie. Následne sme zdroj pustili a na výstup e sme mali požadované napätie a prúd.



**Graf 6: Výstupné napätie a prúd**

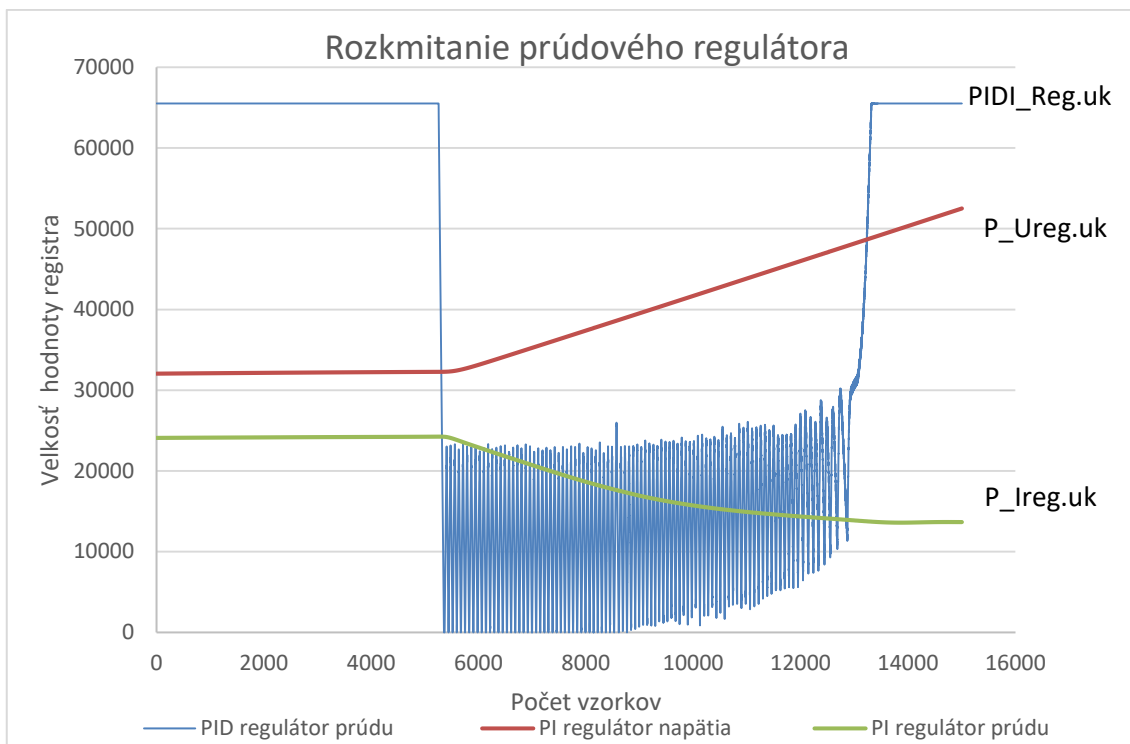
(CH1 – výstupný prúd, CH2 - výstupné napätie)



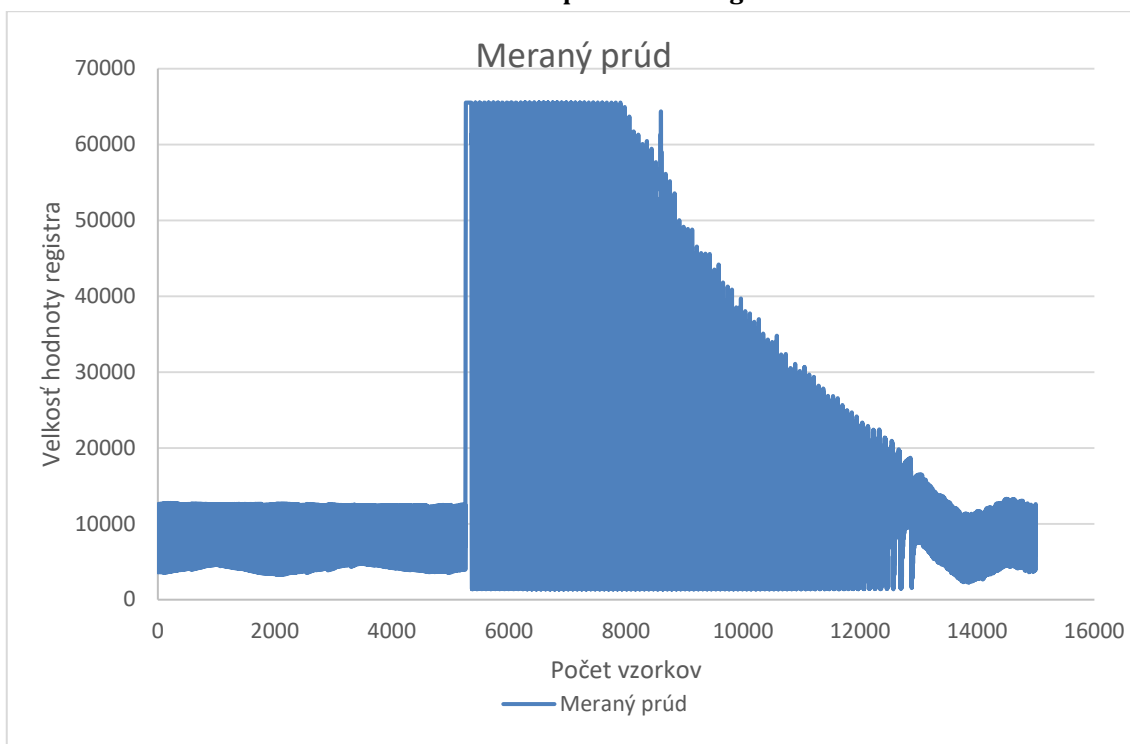
**Graf 7: priebeh napätia pred filtrom**  
 (CH1 - napätie pred filtrom, CH2 – Napätie na tyristore )

## 5.2 Nastavenie regulátorov

Nastavenie správnej hodnoty regulátora prúdovej záložky kde tu prvé pokusy dopadli takmer fatálne keďže sme mali chybu v regulačnej slučke po spravený tvrdého skratu nás prúdová záložka nechytla a tým pádom mám cez tyristory tiekol skratový prúd kde tento prúd je maximálny prúd transformátora a ten je 180A. Kde naša pohotová reakcia že sme daný obvod rozpojil tiež nebola veľmi dobrá pretože po rozpojení zdroj vygeneroval prepätie a to nám vniklo do merania kde nás ochránila bleskoistka a varistori ale tie iba tú energiu priviedli do skratu a následne nám sublimovali cesty na meracom plošnom spoji. Po odstránení závady v regulátore a opravený plošného spoja bolo možné pokračovať. Kde pri prvom meraní sa nám dokonca podarilo regulátor aj rozkmitať meranie je vidieť nižšie sú to hodnoty vyčítané počas pokusu priamo z registrov. Na grafe je na osi Y veľkosť registra to znamená že PID regulátor bol na maxime čiže 65535 následne došlo na výstupe k skratu tým pádom kleslo napätie preto prúdový regulátor začal klesať a napäťový stúpať kde PID začalo krásne kmitať to znamenalo že regulátor je zle nastavený.



**Graf 8: Rozkmitanie prúdového regulátora**



**Graf 9: Meraný prúd pri rozkmitaní**

Po pretestovaní rôznych nastavení mám vyššie, že prúdová záťaž má byť nastavená nasledovne. Kompletne nastavenie zdroja je možné vidieť v prílohe *autosetap.txt*

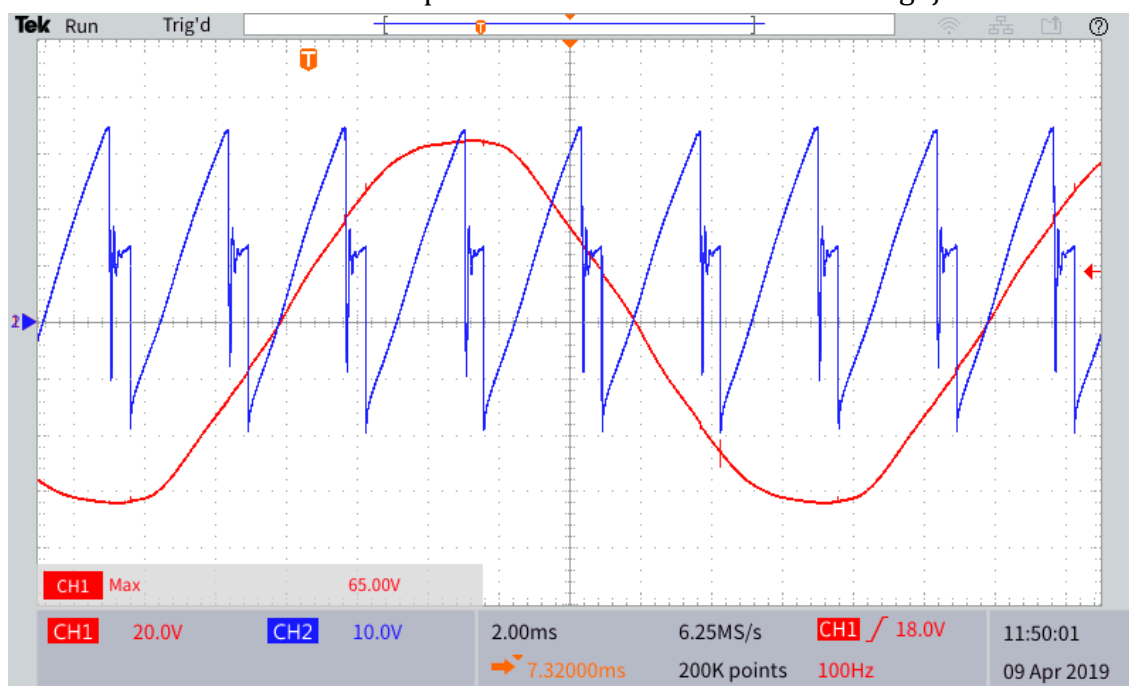


<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Reg. napätia</span> <span>✖</span> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Ti: <b>0030.00</b></p> </div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>PID Regulator</span> <span>✖</span> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Ki: <b>000.40</b>  Kd: <b>000.00</b>  Kp: <b>000.25</b></p> </div> </div>
---	---

Obrázok 49: Nastavené hodnoty v autosetape

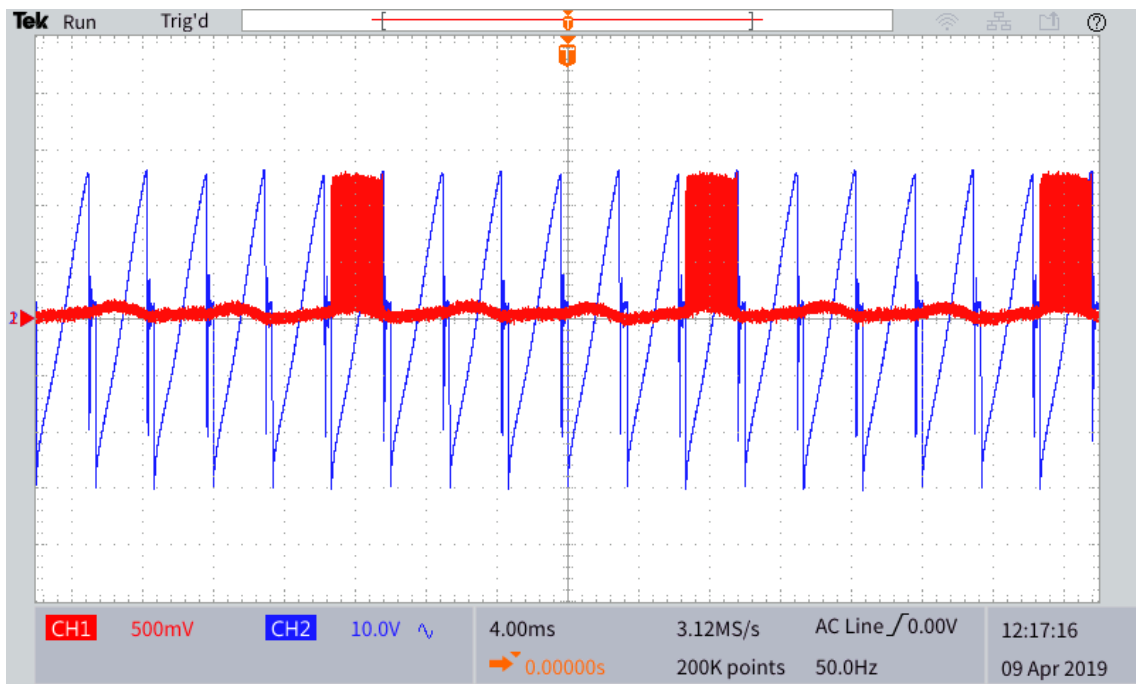
### 5.3 Testovanie rekuperácie zdroja

Kde zdroj je schopný za určitých podmienok pracovať aj ako dvoj kvadrantový menič. To znamená prúd môže tiecť obidvomi smermi kde je potrebné aby bola dopojená nulová dióda inak by dochádzalo k skratu. Pri našom testovaní sme použili klasický spínaný zdroj ktorým sme tlačili napätie v opačnej polarite do testovaného zdroja ten je schopný pracovať s uhlom posunutia a tým pádom je schopný spínať aj v zápornej polovlne. Po spustení obidvoch zdrojov a nastavený požadovaného prúd na testovanom zdroji bol zdroj schopný regulovať nastavený prúd ale o zápornom napätí. Z merania krásne vidno ako daný tyristor páli v druhom kvadrante to znamená že prúd vracia do siete. Čiže funguje ako menič.



Graf 10: Meranie rekuperácie zdroja

(CH1 – Napätie na tyristore, CH2 – Napätie pred výstupným filtrom )

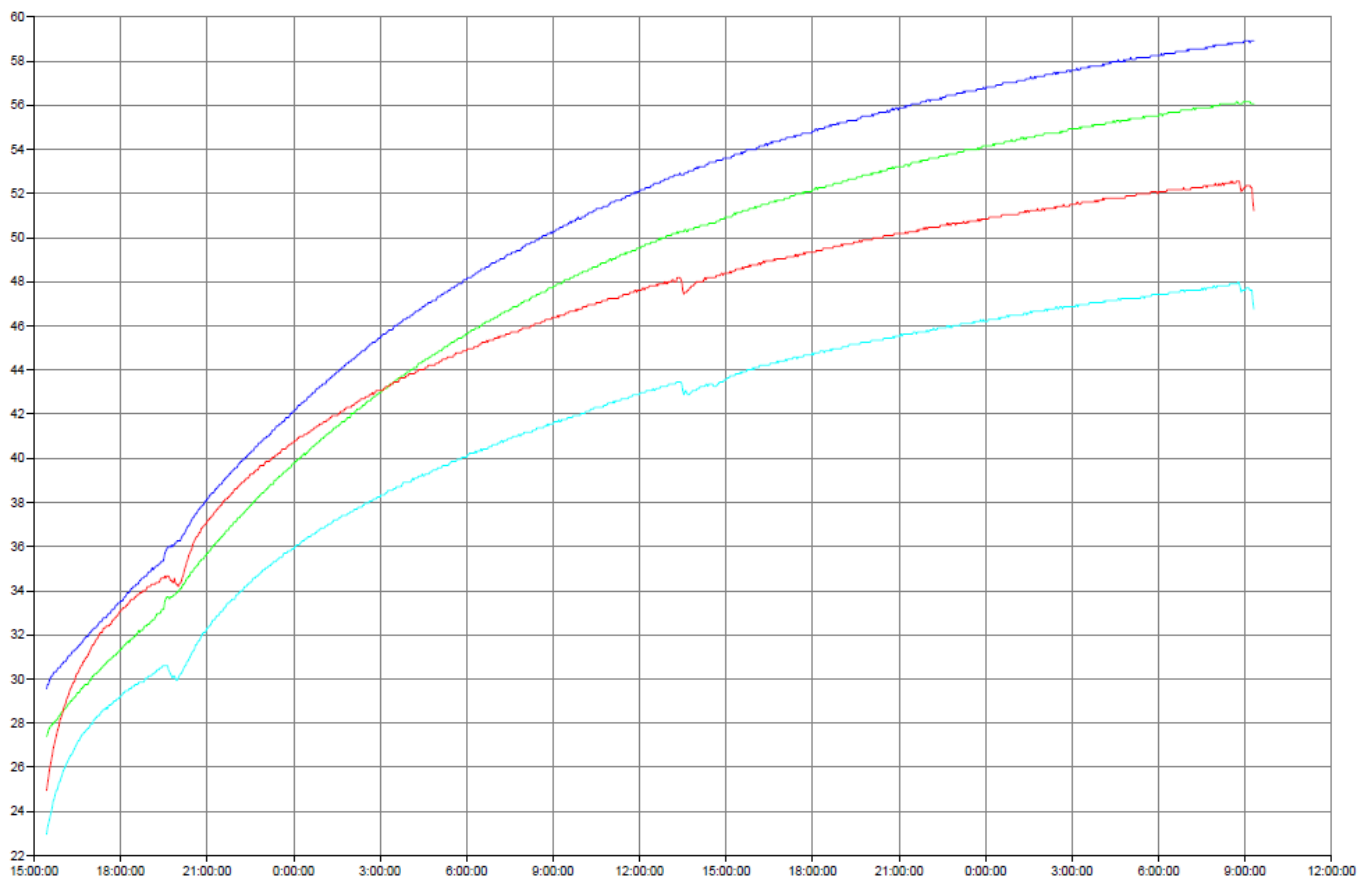


**Graf 11: Zapal'ovacie pulzy a rekuperacia**  
 (CH1 – Zapal'ovacie pulzy, CH2 - Napätie pred výstupným filtrom )

## 5.4 Testovanie pod výkonom a oteplenie

Keďže na zhotovenie zariadenia bol kladený veľký dôraz na robustnosť a prácu vo nepriaznivých teplotných podmienkach. Aj testy tomu zodpovedali kde doska riadenia bola v teplotnej komore podobu dvoch dní. Teplota v komore sa menila v rozsahu od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ . Pri tomto teste sa kontrolovali jednotlivé funkcie riadiacej dosky. Riadiaca doska vyhovela jediný problém ktorý nastal je kondenzát pri rýchlej zmene teploty takže je dosku potrebné pred montážou zalakovať vode odolným lakom. Následne prebiehali klasické krátkodobé testy preťaženia kde v nádobe nebol žiadny chladiaci olej. Ďalšie meranie ktoré sme realizovali bolo dlhodobé meranie pri 50V a 50A Meranie teplôt prebiehalo pomocou dvoch záznamníkov kde na merané grafy je možné vidieť nižšie celý protokol aj s fotkami z termokamery as nachádza v prílohe.

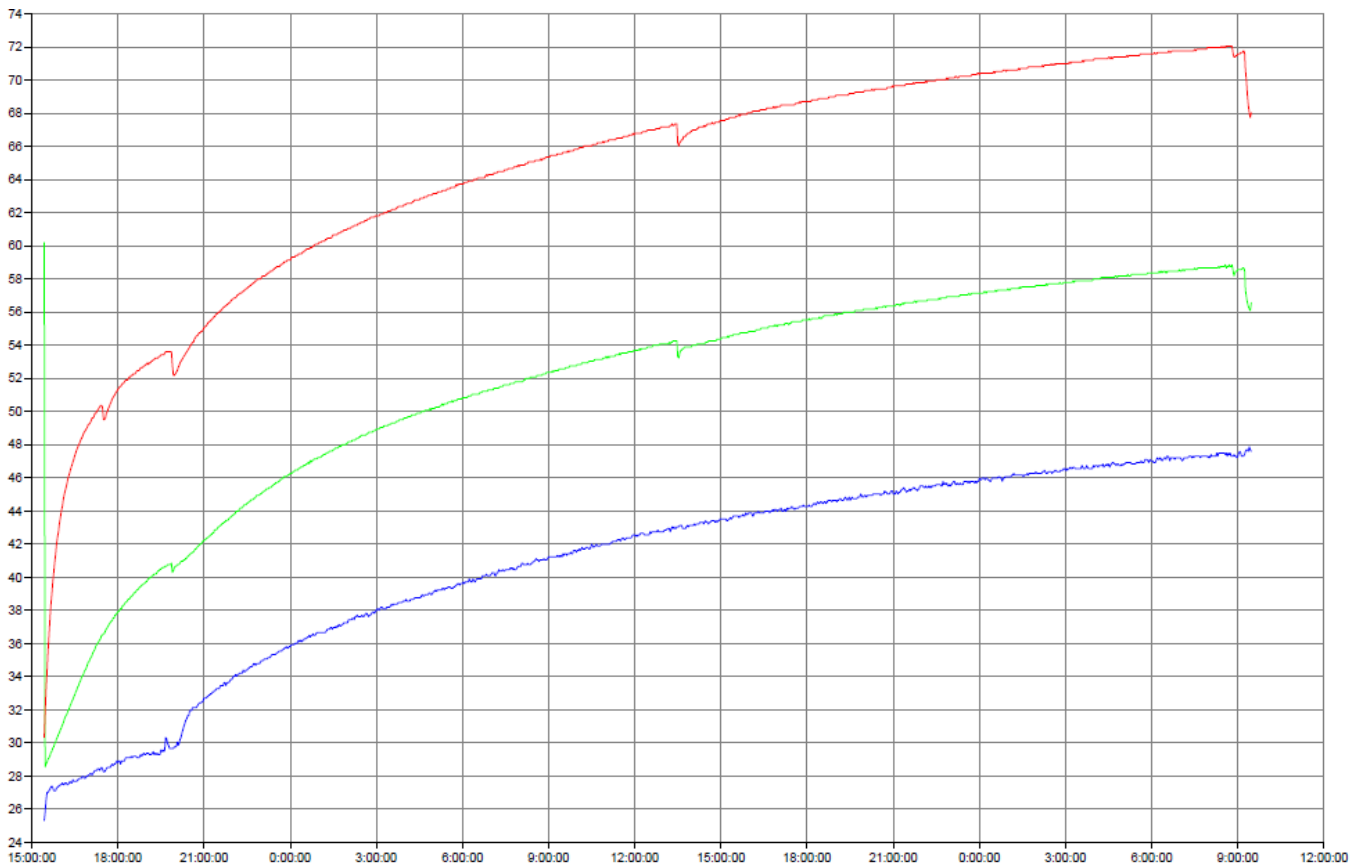
- Spodná časť olejovej nádrže
- Spodná časť ovládacej skrine
- Horná časť ovládacej skrine
- Horná časť olejovej nádrže



Graf 12: Záznam teploty 1

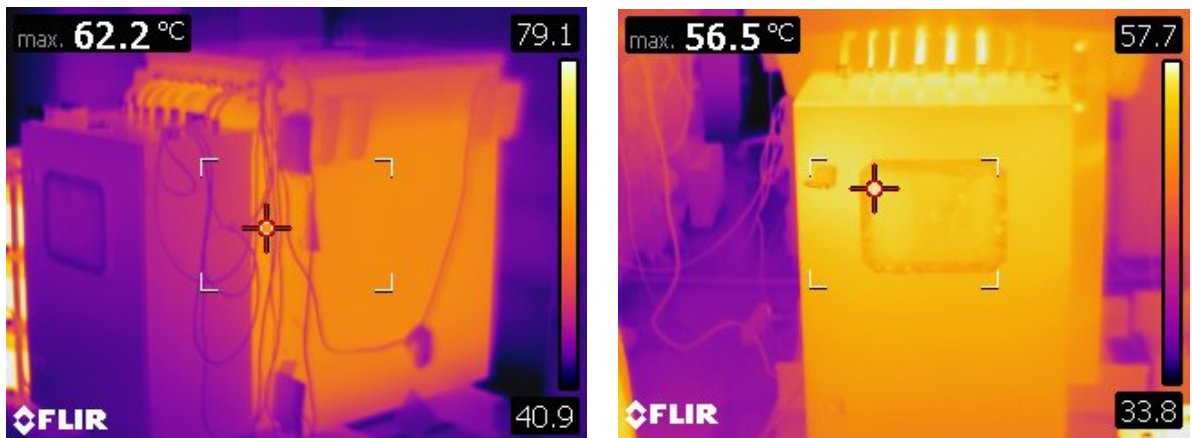


Obrázok 50: Termo kamera a.) vstupné poistky b.)Tyristory



Graf 13: Záznam teploty 2

- synchronization transformer
- output fuse
- ambient temperature



Obrázok 51: Termo kamera celé zariadenie

## 6 ZÁVER

Oboznámili sme sa s problematikou korózie a jej typmi. Zistili sme ako účinne proti nej bojovať a aké metódy sa používajú na jej potlačenie. Kde pri aktívnej ochrane sme zistili aké sú momentálne trendy a aké technológie sa používajú. Následne sme zistili výhody a nevýhody využitia jednotlivých topológií napájacích zdrojov. Kde viacej sme sa už venovali len tyristorovému zdroju keďže zadanie od zákazníka znelo jasne. Ozrejmili sme si jednotlivé topológie zapojenia týchto zdrojov a následne sme po konzultácii zo zákazníkom zvolili jednu. Pre ktorú sme navrhli dané riadenie. Pri bližšom rozbore týchto zdrojov sme narazili na fakt že tento zdroj môže byť riadený aj v druhom kvadrante kde táto myšlienka s nám páčila a preto sme sa pustili do realizácie. Pri návrhu dosky sme spočiatku mali problém jednotlivé komponenty na dosku vtesnať aby boli dodržané izolačné medzery ale nakoniec sa nám to podarilo. Po osadení dosky prišiel na rad vývoj softwaru pre riadenie kde tu nás celkom potrápila synchronizácia bojovali sme najme z rušením ale po nastavení správnych konštánt sme aj tento problém prekonali. Ďalší problém ktorý nám vystal bol keď sme chceli zistiť či nám nevypadla náhodou fáza. Keďže nám meranie beží na 1KHz čo pri 300Hz signále a zlej topológii zisťovania nebolo možné nakoniec sme upravili topológiu kódu a už sme boli schopný merať túto frekvenciu. Následne sme sa trápili stým aby sme prispôbili komunikácie na už existujúci software čo sa nám tiež podarilo. Pri návrhu regulácie sme najskôr mysleli že rýchlosť regulátorov bude dostatočná aj na za regulovanie tvrdého skratu kde prax ukázala že nebola. Následne bol doplnený rýchli prúdový regulátor a vlečenie. Pri oživení riadiacej dosky na naše prekvapenie až na jeden otočený kondenzátor a pretypovanie pomocného zdroja blokovania ktorý bol na 5V momentálne je na 12V sa rozbehlo na prvý raz. Následne sme testovali software a jeho funkcie blokovanie kde tu taktiež všetko prebehlo podľa očakávanie. Následne sme dosku namontovali do zdroja a začalo testovanie všetky testy prebiehali ako mali okrem testov tvrdých skratov kde sa zistilo že v implementácii rýchleho regulátora máme chybu odniesol to len prepálený bočník a odporový delič. Po oprave a opätovnej skúške už bolo všetko v poriadku. Po týchto testoch sme testovali aj prácu v treťom kvadrante a rekuperovali sme späť do siete. Ako posledné sme robili teplotné skúšky a meranie účinnosti a test všetkých komunikácií. Účinnosť sa pohybovala niekde okolo 80%.Z merania teplôt sme spravili protokol a vytvorili potrebné manuáli pre zákazníka. Myslím že dané zariadenie splnilo všetky očakávanie a vyhovelo všetkým požiadavkám zákazníka.

# Literatura

- [1] Šablona pro BP/DP a prezentace v2.63 [online]. Brno: FEKT VUT, 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://latex.feec.vutbr.cz/sablona/>
- [2] Zásady protikorózne prevencie a ochrany [online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1092>
- [3] Teoria\_korozne- napadnutie. [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/teoria\\_korozne-napadnutie.pdf](http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/teoria_korozne-napadnutie.pdf)
- [4] Elektrochemická korózia [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [is.stuba.sk/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=235;studium=75294;zp=23634;download\\_prace=1](http://is.stuba.sk/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=235;studium=75294;zp=23634;download_prace=1) Elektrochemická korózia
- [5] Korózia [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.kvalitaprodukcie.info/13-korozia/>
- [6] Korózia [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://goo.gl/cFYu9V>
- [7] PATOČKA, M. Výkonové polovodičové spínací součástky. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2014. s. 1-179.
- [8] Three-phase full-wave Controlled Rectifier [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://protorit.blogspot.com/2013/02/three-phase-full-wave-controlled-rectifier.html>
- [9] SPÍNANÝ ZDROJ AC/DC [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: [http://www.nes.sk/documents/catalogProduct/original/236/zdroj\\_1250A\\_25V\\_vodne\\_chladienie\\_03\\_2017.pdf](http://www.nes.sk/documents/catalogProduct/original/236/zdroj_1250A_25V_vodne_chladienie_03_2017.pdf)
- [10] HLAVÁČ, Pavol - KOVÁCS, Zoltán - KUBALA, Milan - ŠPOK, Marek - CERMAN, Anton. Full scope risk monitor for the transmission grid. In *Electric Power Engineering 2014 : 15th International scientific conference on Electric power engineering (EPE); Brno, Czech Republic, May 12-14, 2014*. 1. vydanie. Brno : Brno University of Technology, 2014, s. 63-68. ISBN 978-1-4799-3806-3
- [11] Modelovanie spätných prúdov v elektrickej trakcii [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.fei.stuba.sk/buxus/docs/2015/autoreferaty/Autorefer\\_Cerman.pdf](https://www.fei.stuba.sk/buxus/docs/2015/autoreferaty/Autorefer_Cerman.pdf)
- [12] Understanding Vector Group of Transformer [online]. 2012 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://electrical-engineering-portal.com/understanding-vector-group-transformer-1>
- [13] Výkonová elektronika [online]. 2014 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://dSPACE.tul.cz/bitstream/handle/15240/7154/Vykonova\\_elektronika\\_text.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dSPACE.tul.cz/bitstream/handle/15240/7154/Vykonova_elektronika_text.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- [14] Reference manual [online]. 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/cd00171190.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190.pdf)

- [15] *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b* [online]. 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)
- [16] *PID controller* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
- [17] *Data type* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_type](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_type)
- [18] *Triple 3-input NOR gate* [online]. 2015 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC\\_HCT27.pdf](https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT27.pdf)

# Zoznam symbolov , veličín a skratiek

DPS	-	Plošný spoj
$E_0$	-	Minimálna hodnota ochranného potenciálu
$I_0$	-	Minimálna hodnota ochranného prúdu
OZ	-	Operačný zosilňovač
IO	-	Integrovaný obvod
EP	-	Meraný potenciál
$R_G$	-	Vnútorý odpor riadiacej elektródy tyristora.
AIN	-	Analógový vstup
DI	-	Digitálny vstup
DO	-	Digitálny výstup
RB	-	Bočník
$I_z$	-	Želaný prúd
$U_z$	-	Želané napätie
$P_z$	-	Želaný potenciál
$I_n$	-	Nominálny prúd
$U_{err}$	-	Hodnota napätia EROR
$I_{err}$	-	Hodnota prúdu EROR



# Zoznam príloh

Príloha 1 Zdrojový súbor schémy a plošného spoja.

Príloha 2. Zdrojový súbor schémy celkového zapojenia.

Príloha 3. Užívateľský manuál a ovládací manuál

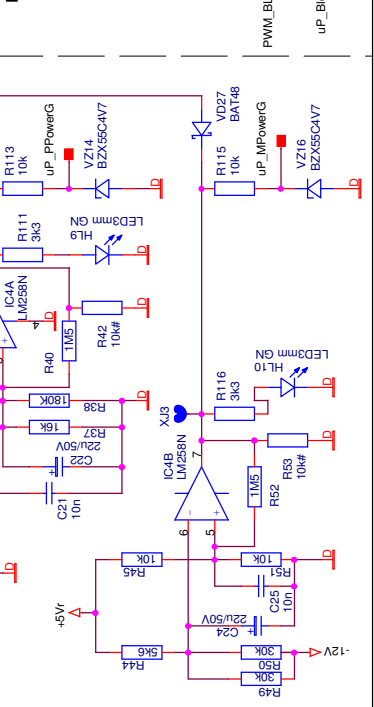
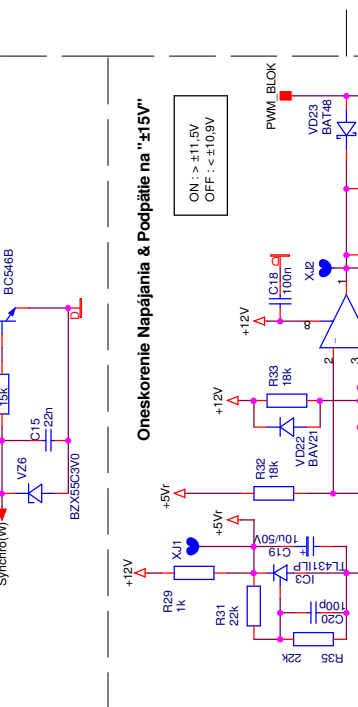
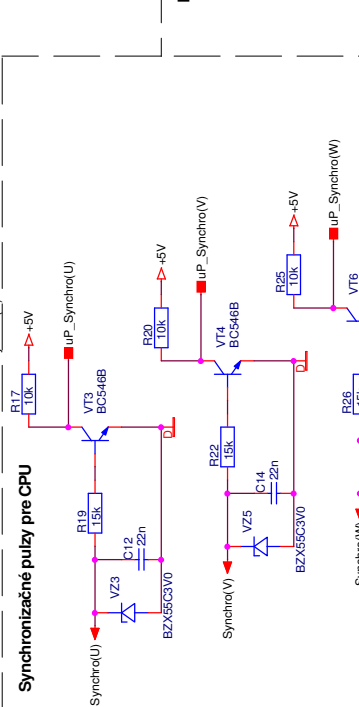
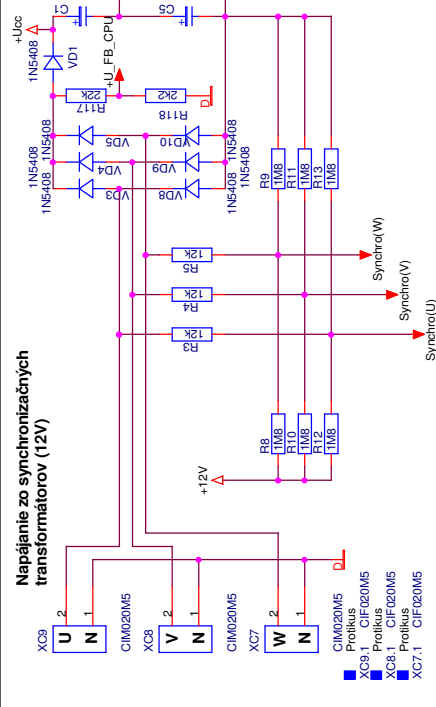
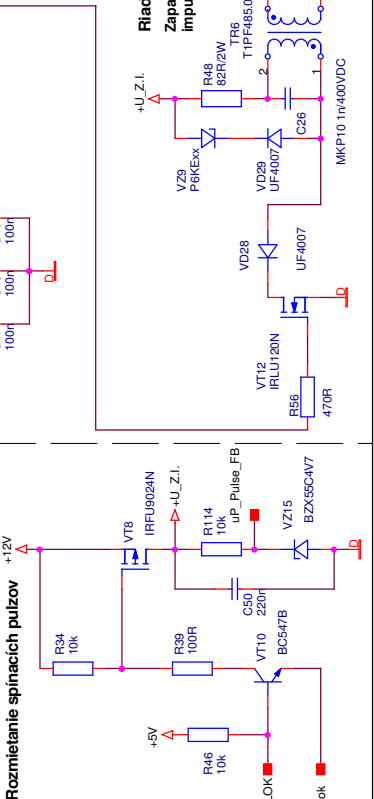
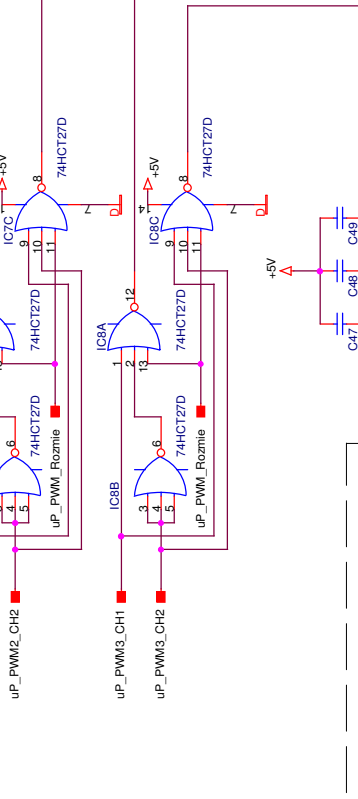
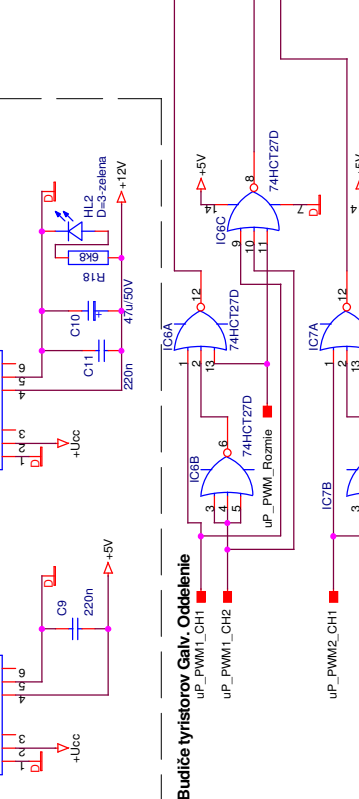
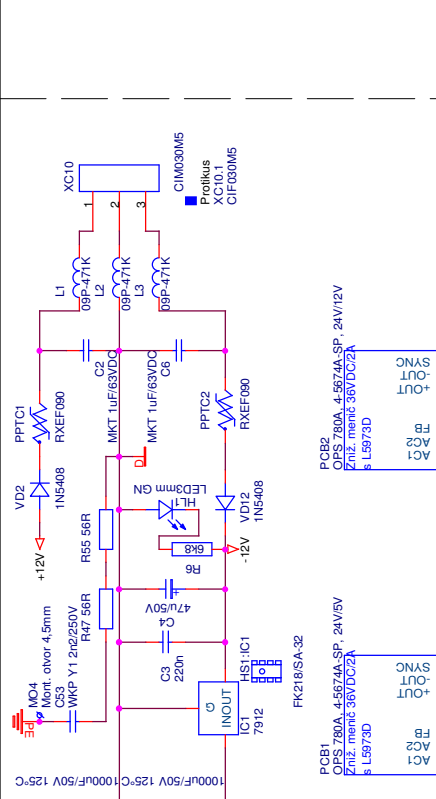
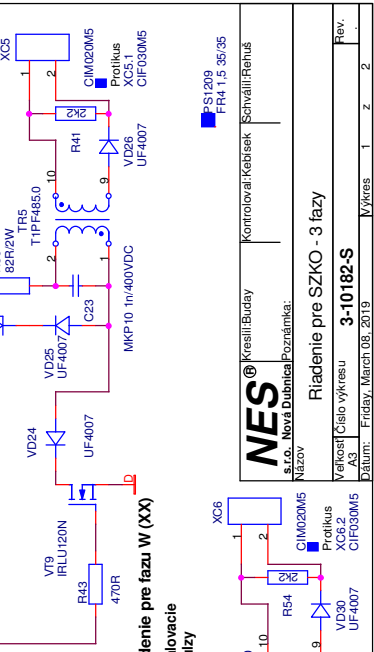
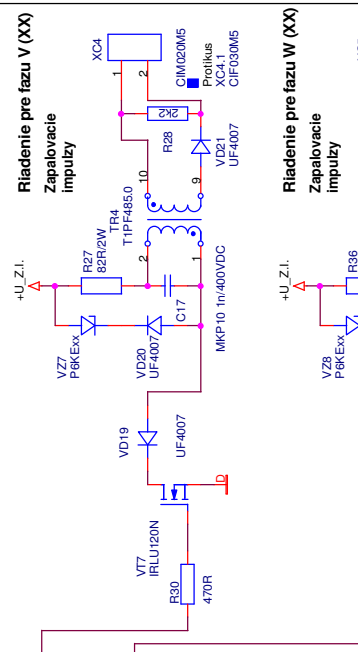
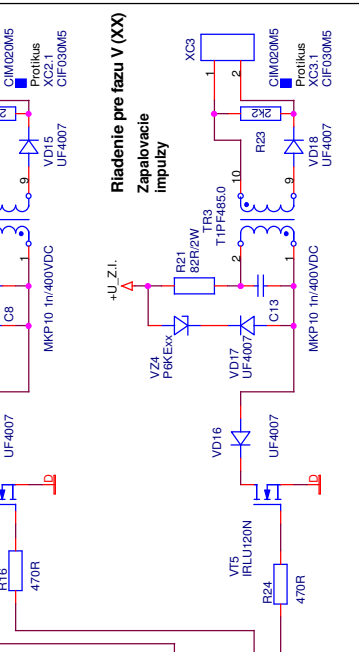
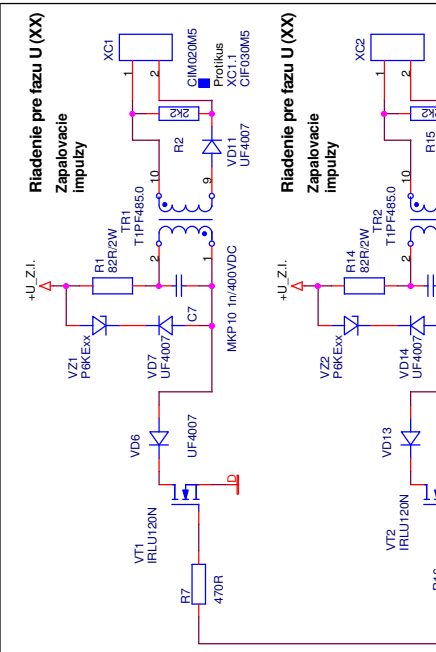
Príloha 4. Program

Príloha 5. Teplotné testy

Príloha 6. Merania

Príloha 7. Foto dokumentácia





**NES**  
s.r.o. Nová Dubnica nad Váhom  
Názov: NES  
Kontroloval/Kontrolka: Schwalli/Renhus  
Dátum: Friday, March 08, 2019

Riadenie pre SZKO - 3 fazy  
3-10182-S  
Výkres: 1 z 2  
Rev.:

