

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řídící jednotka zátěžového managementu

vedoucí práce: Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.
autor: Bc. Miroslav Krýza

2012

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

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

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav KRÝZA**
Osobní číslo: **E09N0087P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Řídicí jednotka zátěžového managementu**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

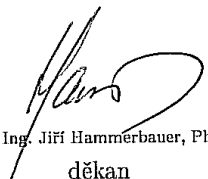
1. Zpracujte analýzu současného stavu Smart Grid a Smart City v ČR a ve světě.
2. Analyzujte možnosti sítí Smart Grid - možnosti a přínosy pro energetiku a integraci přístroje pro řízení zátěžového managementu.
3. Navrhněte obvodové řešení přístroje pro řízení zátěžového managementu.
4. Realizujte inovaci přístroje pro zátěžový management.
5. Navrhněte inovaci přístroje a další postup práce v další etapě, a to s ohledem na město Plzeň.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Havelka, O. : Elektrické přístroje
2. Katalogy firemní
3. Přednášky
4. Časopisy odborné - doporučí konzultant

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 17. října 2011
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2012


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Tato diplomová práce popisuje princip konceptu inteligentních sítí včetně jejího vývoje, hodnotí všechny kladné i záporné přínosy pro celosvětovou implementaci systému. Hlavním cílem je návrh řídicí jednotky pro zátěžový management a možnosti využití. Významnou část práce věnuji pak problematice spínání zátěžových obvodů. V závěru práce bude provedena inovace jednotky spolu s grafickým modelem celé jednotky.

Klíčová slova

Smart grid, smart home, snubber network, inteligentní měřiče energie, obnovitelné zdroje energie, životní prostředí, distribuční síť, elektromobily, mikrokontrolér MSP430F5438.

počet stran

50

počet obrázků

19

počet tabulek

3

Abstract

This diploma thesis describes the principle of the intelligent network concept, including its development. It evaluates all the positive and negative benefits for global implementation of the system. The main objective is the design of a control unit for load management and its possible applications. A substantial part of the thesis deals with the issue of load circuits switching. An innovation of the unit, together with a graphic model of the whole unit, will be performed in the conclusion of the thesis.

Key words

Smart grid, smart home, snubber network, smart meters, renewable energy, environment, distribution network, electric cars, microcontroller MSP430F5438

Number of pages**50****number of pictures****19****number of tables****3**

Prohlášení

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

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 3.5.2012

Bc. Miroslav Krýza

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému konzultantovi diplomové práce Ing. Aleši Krutinovi, za jeho připomínky, cenné rady a čas, který věnoval kontrolám této práce.

Mé další poděkování patří vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Zdeněku Vostrackému, DrSc., dr. h. c. za odborný dohled při vypracování této práce.

Obsah

Přehled symbolů, obrázků a tabulek	8
I. Seznam symbolů	8
II. Seznam obrázků	9
III. Seznam tabulek.....	9
1. Úvod.....	10
2. Inteligentní sítě.....	11
2.1 Historie „inteligentních sítí“	11
2.2 Smart Grids	12
2.3 Terminologie a výhody Smart grids	14
2.4 Smart Meter.....	17
2.4.1 Ochrana přenášených dat	18
2.5 Analýza Smart grids	19
2.5.1 Stav ve světě	19
2.5.2 Stav v ČR	20
2.6 Budoucnost Smart grids	22
3. Snubber network.....	23
3.1 Pasivní snubbery	23
3.1.1 C - snubber.....	23
3.1.2 R-C – snubber	24
3.2 Ostatní modifikace snubber network	27
4. Obvodové řešení řídicí jednotky zátěžového managementu	29
4.1 Návrh obvodového řešení	29
4.1.1 DPS silová část.....	29
4.1.2 DPS – hodnoty silové části	34
4.1.3 DPS řídicí část.....	37
4.2 Inovace řídicí jednotky pro zátěžový management	38
5. Závěr	40
Seznam literatury a informačních zdrojů	41
Seznam příloh.....	42

Přehled symbolů, obrázků a tabulek

I. Seznam symbolů

OZE	Obnovitelné zdroje energie
EU	Evropská unie
DPS	Deska plošných spojů
GMS	Global Mobile System
GPRS	General Packet Radio Service
WIFI	Wireless Fidelity
EEGI	European Electricity Grid Initiative
SETP	Strategic Energy Technology Plan
SC	Smart city
SG	Smart Grid
AMM	Automated Meter Management
MG	Micro Grid
MDMS	Meter Data Management Systems
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	Automated Meter Reading
SH	Smart Home
SCD	Smart Compatible Device
DER	Dynamic Electric Rates
ES	Electrical Storage
ASAI	Average System Availability Index
WMS	Workforce Management system
HAN	Home Area Network
DTS	Distributed Temperature Sensing

II. Seznam obrázků

Obr.2.1	Zjednodušené schéma Smart Grid	12
Obr.2.2	Zjednodušené schéma Smart home [3]	16
Obr.2.3	Smart meter [3]	17
Obr.2.4	Dobíjecí stanice pro elektromobily [3]	21
Obr.3.1	C-snobber	24
Obr.3.2	Zapojení C-snobberu do obvodu	24
Obr.3.3	RC-snobberu	26
Obr.3.4	Zapojení RC-snobberu do obvodu	26
Obr.3.5	Součástky Snubber network [4]	27
Obr.3.6	Zapojení D-Snobberu v obvodu	27
Obr.3.7	Zapojení RCD-Snobberu v obvodu	28
Obr.3.8	Zapojení RC-RCD-Snobberu v obvodu	28
Obr.4.1	Schéma zapojení část 1	29
Obr.4.2	Schéma zapojení část 2	30
Obr.4.3	Náhradní schéma při umístění součástky na chladič	33
Obr.4.4	Chladič upevněný svisle na desce (pouzdro TO 220)	35
Obr.4.5	Vývojový kit MSP430F5438	38
Obr.4.6	Schéma inovované silové části DPS	39
Obr.4.7	3D návrh silové části DPS	39

III. Seznam tabulek

Tab.2.1	Přehled výhod používání Smart meter	18
Tab.2.2	Plánované fáze projektu Smart Region [3]	21
Tab.4.1	Hodnoty použitých součástek [6]	36

1. Úvod

V posledních letech se neustále zvětšuje poptávka po elektrické energii. Pokrývání této potřeby lidstva se již nerealizuje pouze čerpáním fosilních zdrojů, ale realizuje se i pomocí obnovitelných zdrojů energie v podobě větru, vody, slunečního záření a jiných alternativních zdrojů. Dnes již obnovitelné zdroje energie nepředstavují pouze klady v podobě pozitivního dopadu na životní prostředí jako je snížení oxidu uhličitého či nižších emisí prachových částic, ale představují i riziko. Obnovitelný zdroj energie je decentralizovaná výrobní technologie, která při nevhodné realizaci napáchá více škody než užítku a může vyvrcholit až k destabilizaci elektrické distribuční soustavy. Proto je důležité, aby tyto zdroje elektrické energie byly využívány v místech, kde bude vhodné řízení OZE a distribuční soustava bude připravena na implementaci těchto zdrojů.

Tato diplomová práce je zaměřena na řešení problému s přibývajícími obnovitelnými zdroji energie nejen v České republice. Nejprve se věnuje historii a vývoji chytrých sítí Smart Grid v celosvětovém měřítku. Rozpracovává jednotlivé části a popisuje jejich funkci ve vlastní síti. Hlavní část je pak věnována vlastnímu návrhu jednotky pro zátěžový management, kde popíše problematiku spínání zátěžových obvodů a detailně se zaměřím na tlumicí obvody tzv. Snubber Network, které jsou v dnešní době číslicové techniky nedílnou součástí obvodů zvyšující spolehlivost celého systému. Výstupem hlavní části bude poté schéma zařízení včetně hodnot použitých součástí postupu jejich výpočtu.

Na závěr práce je provedena inovace celé jednotky a nástin možností využití v chytrých sítích. Nedílnou součástí bude grafický návrh DPS s rozmístěním součástí a jednotlivé přílohy s technickými parametry použitých součástí.

2. Inteligentní sítě

2.1 Historie „inteligentních sítí“

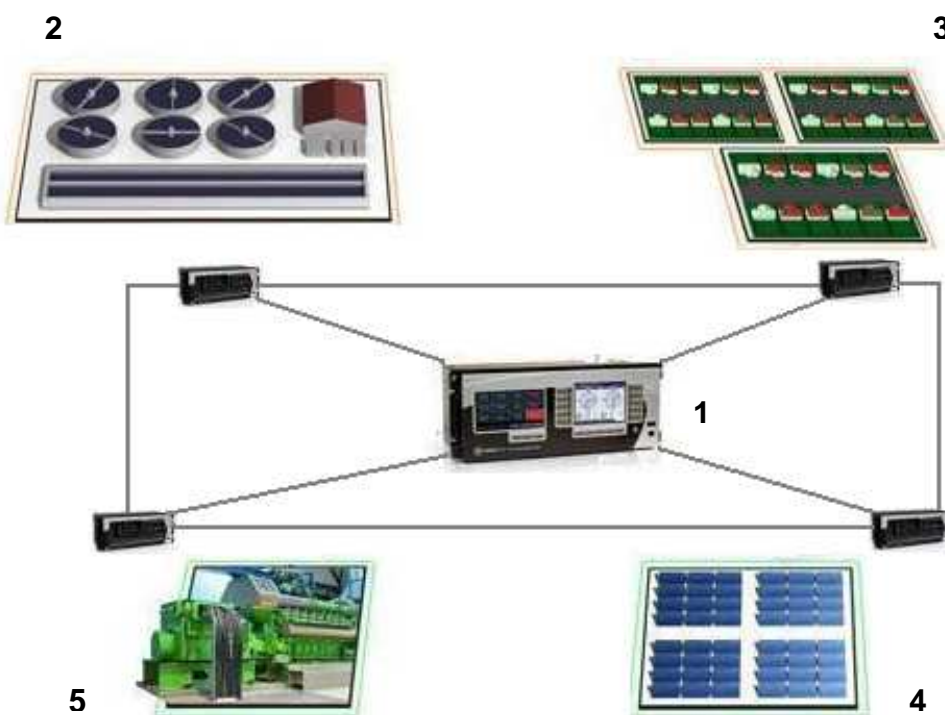
Myšlenka inteligentní sítě není nový koncept. Již před desítkami let existovaly návrhy jak aktivně a hlavně vzdáleně monitorovat a kontrolovat elektrické sítě. Bohužel tyto návrhy byly nerealizovatelné díky nedostatku technologických možností. První inteligentní technologie u rozvodných sítí se objevily v roce 1980 ve Spojených státech, kde byla použita technika na sledování nákladů u velkých spotřebitelů v podobě automatických odečtů elektrické energie. Tyto technologie se dále rozšířily i do domácností a pod pojmem Advanced Metering Infrastructure se začaly v roce 1990 využívat. Tehdy šlo pouze o monitorování spotřeby v reálném čase. Dalším krokem k vytvoření inteligentních sítí bylo připojení tzv. „chytrých zásuvek“, které dokázaly reagovat na odezvy z měřidel elektrické energie. V Itálii začátkem roku 2000 se spustil projekt Telegestore. Do tohoto projektu se zapojilo 27 miliónů domů, do kterých se nainstalovaly AMM a komunikovaly mezi sebou prostřednictvím veřejné telekomunikační sítě (GSM, GPRS).

Termín Smart grid byl rozpracován v odborném časopisu IEEE Power and Energy v roce 2005. Článek „Toward A Smart grid“ jehož autorem je S. Massoud Amin a Bruce F. Wollenberg vyzvedá přednosti a možnosti řešení inteligentních sítí. Vzhledem k rozvoji především na poli bezdrátových technologií je dnes koncept inteligentních sítí velmi aktuální. V současné době existuje několik projektů SG a SC jak ve světě tak i v České republice, kde elektrárenská společnost ČEZ připravuje v rámci projektu Futur/e/motion testování a zavádění inteligentních technologií v rozvodné síti na území regionu Vrchlabí.

2.2 Smart Grids

S rozvojem celé společnosti a vývojem nových technologií dochází na celém světě ke změnám ve výrobě a spotřebě elektrické energie v různých lokalitách. Tomuto vzrůstajícímu trendu je potřeba přizpůsobit i distribuční soustavu. Největší problém nastává v lokalitách s velkou hustotou obnovitelných zdrojů energie, jde především o zdroje využívající k přeměně na elektrickou energii sluneční záření a vítr. Fotovoltaické a větrné elektrárny mají za následek výkyvy v rozvodné síti a v krajním případě mohou nastat i výpadky elektrické energie. Inteligentní sítě SG dokáží předcházet možným výpadkům energie tím, že samy reagují na hrozící přetížení. Tyto sítě zahrnují digitální kontrolní a řídicí systém, integrované senzory monitorující chování sítě a automatické obnovování provozu po poruše. Součástí je dostupnost informací v reálném čase o zatížení sítě, kvalitě dodávky, přerušení apod. Zjednodušené schéma je na obr. 2.1.

Neustálým vývojem nových technologií a postupným zaváděním inteligentních sítí nastává problém jednotné komunikace. Jednotlivé koncepty byly a jsou vypracovávány jednotně, nezávisle na sobě a proto není koncept SG celosvětově integrován. V kapitole 2.5.1 je rozpracován vývoj SG ve Světě.



Obr. 2.1 Zjednodušené schéma Smart Grid

Legenda:

1. **Kontrolní centrum:** sbírá data od jednotlivých členů ze sítě SG pomocí inteligentních měřidel elektrické energie AMM (viz. 2.4). Poskytuje spotřebiteli analýzu komoditních cen energií, který dokáže měnit doby používání svých spotřebičů dle rozdílných sazeb cen. Jednotlivé subjekty dokáží mezi sebou komunikovat i při výpadku či přerušení kteréhokoliv z účastníků sítě SG.
2. **Průmyslová zátěž:** poskytuje informace kontrolnímu centru o spotřebě energií a jejich časového rozložení. Tyto informace mají pak k dispozici i ostatní účastníci systému. Ve stavu nouze lze velké spotřebitele energií odpojit od sítě za určitých podmínek. Samozřejmostí je přítomnost AMM.
3. **Obytná zóna:** každý rodinný dům má k dispozici AMM a za použití internetu může sledovat nejen sazby cen energií, ale také aktuální stav celé sítě jako je např. výskyt poruch aj.
4. **Fotovoltaická elektrárna:** člen systému, který má velký vliv na dynamické změny cen energií.
5. **Tepelná elektrárna:** zajišťuje hlavní zdroj elektrické energie

Celý systém může být doplněn o několik členů. Např. využití více obnovitelných zdrojů s kombinací s vodní přečerpávací elektrárnou nebo systémem pro ukládání energií na pokrytí odběrů ve špičkových časech. Ale využití těchto subjektů závisí na dané lokalitě a nároky na celou síť. Vybudování lokálních SG systémů by mělo být již připraveno na integraci s ostatními projekty.

2.3 Terminologie a výhody Smart grids

Při setkání s pojmem „Inteligentní sítě“ narazíme na několik výrazů a zkratek, které je potřeba objasnit. Seznam nejdůležitějších výrazů:

➤ **Micro Grid**

Využití vlastních obnovitelných zdrojů v rámci města či obce. Jde o energetickou nezávislost na ostatních zdrojích energie.

➤ **Smart meter**

Známý jako AMM kap. 2.3. Digitální měřič spotřeby, který dokáže odesílat a přijímat data z kontrolního centra obr. 2.1.

➤ **Meter Data Management Systems**

Nebo-li (MDMS) poskytují platformu pro připojení různých řešení AMM, neboť již v současnosti existují různá řešení např. WIFI, GSM, tak i různorodá zařízení z hlediska využitých protokolů ZigBee, M-Bus a jejich národní modifikace.

➤ **Advanced Metering Infrastructure**

Plánované pokrytí sítě, tak aby efektivně pokryly co největší počet zákazníků a to i s ohledem na všechny další potenciální zákazníky.

➤ **Automated Meter Reading**

Technologie pro automatický sběr informací (spotřeba, diagnostika, stavové informace) měřících zařízení jakou jsou vodoměry, elektroměry, plynoměry a kalorimetry a jejich přenos do centrální databáze za účelem vyúčtování, odhalování problémů (černý odběr, ztráty atp.) a další analýzy.

➤ **Smart home**

Za pomoci dotykového displeje umožní přístup k AMM a tím i k plánování spotřeby. Inteligentní domy mohou mít vlastní zdroj elektřiny ve formě obnovitelných zdrojů energie. Elektrická energie, která není spotřebována může majitel dodávat do

centrální síť. Uživatelé domu si tedy mohou navolit způsob odběru energie tak, aby víceodběrové spotřebiče typu pračka či myčka zapnuly v době, kdy je proud nejlevnější (2.2).

➤ **Smart compatible device**

Inteligentní spotřebiče, které jsou schopny komunikovat s AMM a tím se zapnout či vypnout v závislosti na aktuální sazbě cen.

➤ **Dynamic Electric Rates**

Elektrické náklady, které se mění v závislosti na poptávce. Sazby budou vyšší během špičkových odběrů.

➤ **Electrical Storage**

Ukládání energií na pokrytí odběrů ve špičkových časech.

➤ **Average System Availability Index**

Míra spolehlivosti, která je vyjádřena jako procento času elektrického systému bez poruchy.

➤ **Workforce management system**

Automatický systém, který vyhodnocuje základní poruchy v přenosové soustavě a dokáže k dané poruše vysílat terénní pracovníky.

➤ **Home area network**

Řízená spotřeba elektrické energie pomocí domácí sítě, užívaná především v projektech SH.

➤ **Distributed temperature sensing**

Dálkové snímače nejen teploty, umožňující kontrolu celého systému SG, především pak v distribuční části.



Obr. 2.2: Zjednodušené schéma Smart home [3]

Úspěšné nasazení inteligentních sítí bude mít za následek řadu pozitivních efektů a přínosů:

- **Snížení emisí oxidu uhličitého a zvýšení energetické účinnosti:**
 - a) přímo v rozvodných sítích, a to prostřednictvím snížení ztrát
 - b) integrace obnovitelných zdrojů a distribuované výroby
- **Vyšší účinnost a lepší služby v zásobování elektřinou a provozem sítě:**
 - a) s využitím podpůrných služeb v rámci přenosové a distribuční soustavy
 - b) prostřednictvím aktivního řízení a automatizace v distribučních sítích
 - c) prostřednictvím automatizace v domácnosti u zákazníka
- **Vyšší bezpečnost a kvalitu dodávek elektrické energie:**
 - a) dobře koordinovaného provozu přenosových a distribučních soustav
 - b) dostatečnou spolehlivost a kvalitu napětí
- **Snížení nákladů energetických společností:**
 - a) automatický systém vyhodnocení poruch v přenosové soustavě WMS
 - b) dálkově řízená diagnostika celé SG sítě

2.4 Smart Meter

Jednou z důležitých složek inteligentní sítí je digitální měřič energií Smart meter známý jako AMM (Tento měřič energií dokáže obousměrně komunikovat mezi řídicím centrem a spotřebitelem. Tyto nové možnosti umožňují rozhodování o využití energií. Na obrázku (2.3) vidíme různé alternativy přístrojů.

Současné starší indukční měřiče nám umožňují zjistit celkové odebrané množství elektrické energie za zúčtovací období, protože jsou čteny ručně. Tak pouze jen s obtížemi můžeme odhadovat odběr k určitému datu. Smart meter mohou automaticky nahrávat odběry energií. To je hlavní rozdíl oproti analogovým měřičům. Již dnes dokáže AMM zaznamenávat celkovou spotřebu za přesné časové období (např.: interval 1 hodina) a prostřednictvím bezdrátové či jiné technologie zobrazit systémem SH.



Obr. 2.3 Smart meter [3]

Z výše uvedených informací je patrné, že používání Smart meter v inteligentních sítích SG využije jak výrobce a distributor energií, tak i jeho spotřebitel. Soubor hlavních výhod je shrnut v tabulce (2.1).

VÝHODY	
SPOTŘEBITEL	DODAVATEL
<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Vzdálený odečet dat energií</i> ➤ <i>Využití nových tarifů D-E-R</i> ➤ <i>Začlenění do konceptu Smart Home</i> ➤ <i>Sledování bilance odebrané a zpět dodané energie u lokálních obnovitelných zdrojů</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Vzdálené ovládání měřidel</i> ➤ <i>Detailní přehled o odběrných místech</i> ➤ <i>Sběr dat pro vytvoření diagramů</i> ➤ <i>Zkvalitnění dispečerského řízení</i>

Tab. 2.1 Přehled výhod používání Smart meter

2.4.1 Ochrana přenášených dat

Velmi důležitým aspektem v sítích SG je ochrana přenášených dat. Zde jenom je nutné si uvědomit, že AMM je jednoduché zařízení, kde v mnoha případech je vyžadována funkčnost na baterie po dobu několika let (až 10 let). Tento požadavek obvykle vychází dle typu měřidla z aktuální platnosti kalibrace daného měřicího zařízení. Tj. aby po dobu platnosti ověření měřidla nebyl vyžadován technický zásah na místě, tedy výměna baterie. Bereme-li v potaz, že v běžném IT prostředí se prozatím nepodařilo zajistit bezpečnost bez nutnosti update SW vybavení v průběhu delšího času, jde zde o velmi závažnou problematiku. Nebudu zde momentálně rozebírat možnosti řešení, jenž jsou z oblasti organizačně-technického, ale upozorním na nebezpečnost zneužití informací. V případě, že kdokoliv získá možnost přístupu k přenášeným informacím o měření a to buď přímo odposlechem vedení, či radiového provozu, nebo se podaří nabourat systém MDMS. Získává tak útočník informace o chování spotřebitele.

Jednoduše řečeno sledováním spotřeby plynu, el. energie, vody, tepla může dedukovat naše chování tj. kdy jsou osoby přítomné v domácnosti a kdy ne tzn. tedy útočník ví přesně, kdy navštívit byt či dům a nerušeně se na náš úkor obohatit.. Některé země proto již v této době řeší povinnost nabídnout tarif nevyžadujícího

průběžné informace o spotřebě a nesbírající tyto informace. Bohužel v tomto případě nelze využívat koncept SG 100%, ale nastávají zde omezující faktory.

2.5 Analýza Smart grids

V předchozích kapitolách uvádím klady celého konceptu, na druhou stranu je potřeba vyzdvihnout problémy, které nastávají při zavádění systémů SG do praxe. Neustálým vývojem nových technologií a postupným zaváděním inteligentních sítí nastává problém jednotné komunikace. Jednotlivé koncepty byly a jsou vypracovávány jednotně a nezávisle na sobě, to znamená, že koncept Smart grid není celosvětově integrován. Další problém je ekonomická náročnost při přechodu na inteligentní síť. Proto v následujících dvou kapitolách krátce shrnu stav zavádění konceptu SG do praxe v České republice a ve světě.

2.5.1 Stav ve světě

- **Spojené státy**

V roce 2009 podpořil prezident Barack Obama rozvoj Smart Grids stimulačním balíčkem ve výši 4,5 miliardy dolarů. Finance by měly pokrýt náklady na instalaci cca 40 milionů chytrých měřidel Smart Meters zatím ve Spojených státech tvoří pouze necelých 5 % ze všech instalovaných. Na úrovni jednotlivých států jsou v implementaci Smart Grids nejdále státy Kalifornie (především Miami) a Colorado (město Boulder je již prvním „smart“ městem USA).

- **Kanada**

V kanadském městě Ontario spustila vláda projekt, kde se zavázala, že do roku 2010 bude v každé domácnosti, včetně společností, nainstalovaný Smart meter. Dala tak základ pro vznik inteligentní sítě. Dále dle plánu do roku 2025 chce 80% veškeré své spotřeby energií dodávat z vlastního systému.

- **Austrálie**

Společnost Energy-Australia zahájila v létě roku 2010 v lokalitě New South Wales stavbu inteligentních sítí po dobu pěti let. Australská vláda uvolnila ze svých prostředků na tento projekt 100 miliónů dolarů. Partnery projektu se staly firmy IBM a

GE Energy, které poskytnou potřebné technologie. Pokud tento projekt uspěje bude základem pro stavbu i financování SG i v ostatních částech Austrálie.

- **Korejská republika**

Korea na svém ostrově Jeju spustila v roce 2009 pilotní program integrovaného systému Smart grid pro 6000 domácností. Korejská vláda vyčlenila na tento program 65 miliónů dolarů. Korea se tak snaží dostát závazkům vůči životnímu prostředí pomocí inteligentních sítí.

- **Evropská unie**

V rámci SET Plánu (Strategic Energy Technology Plan), jehož cílem je dosažení závazku EU 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů v celé EU do roku 2020 a do téhož roku 20% snížení podílu CO₂, již začala činnost Evropské průmyslové iniciativy pro Smart Grids (EEGI). EEGI se zaměřuje na demonstrační projekty po celé Evropě. Cílem je vyzkoušet jednotlivé funkční celky Smart Grids. Skupina ČEZ je jediným zástupcem této iniciativy ze střední Evropy. Legislativa Evropská unie směřuje k tomu, aby v roce 2020 chytrými měřidly disponovalo na 80 % odběratelů elektrické energie a tepla a Česká republika již pracuje na zavádění inteligentních měřidel do provozu.

2.5.2 Stav v ČR

V České republice byl v roce 2010 spuštěn projekt *Smart Region* společností ČEZ. Projekt se realizuje v mikroregionu Vrchlabí. Vrchlabí bylo zvoleno proto, že má pro záměry zkušebního projektu vhodnou velikost, existují zde zapojitelné obnovitelné zdroje energie i možnost vybudování několika jednotek kombinované výroby elektřiny a tepla. Vrchlabí bude moci jako první region v České republice vyzkoušet propojení všech komponent Smart Grids v reálném provozu. Samozřejmě, že region bude i nadále zapojen do energetické soustavy České republiky. Testování chytrých sítí v tomto regionu bude základem pro další rozvoj a nasazování Smart grids u nás i v Evropské unii. V rámci projektu Smart Region Vrchlabí budou do elektrické sítě zapojovány decentralizované jednotky výroby elektřiny, tedy obnovitelné zdroje, a jednotky kombinované výroby elektrické energie a tepla. Navíc bude ve městě připraven testovací provoz infrastruktury pro elektromobily se sítí dobíjecích stanic pro tato vozidla (obr. 2.4). V současném roce 2010 probíhá montáž

Smart meter (obr. 2.3), kde se namontuje do domácností a podniků 4900 přístrojů. Vzdálená budoucnost počítá i s připojením inteligentních spotřebičů Smart compatible device. Další plánované fáze projektu jsou pro přehlednost v tabulce 2.2. Společnost ČEZ investuje do projektu 500 miliónů korun.



Obr.2.4 Dobíjecí stanice pro elektromobily [3]

Plánované akce	Období
Studie výzkumu a vývoje	2010–2012
Implementace Smart Meters (chytrých elektroměrů)	2010–2011
Transformace distribuční sítě v regionu	2010–2015
Vybudování dobíjecích stanic pro elektromobily	2012–2013
Implementace nových automatizačních a monitorovacích prvků	2011–2014
Řídící systém distribuční soustavy	2012–2015
Zapojení OZE zdrojů	2012–2015
Ostrovní provoz v lokalitě Liščí Kopec	2014

Tab.2.2 Plánované fáze projektu Smart Region [3]

V současné době (stav k 20.2. 2012) bylo v České republice nainstalováno v rámci pilotního projektu inteligentních elektroměrů Skupiny ČEZ v Pardubicích a jeho blízké okolí 24 tisíc těchto přístrojů. Pro oblast severočeských Jeřmanic pak 5 tisíc a pro Vrchlaví 4 tisíce chytrých měřidel. Česká republika se tak zařadila mezi několik západních států, které rozsáhlé testování inteligentních měřidel již zahájily.

Do dnešního dne společnost ČEZ otevřela již 10 dobijecích stanic pro elektromobily, všechny se nacházejí v Praze. Nejméně dalších 15 otevře během prvního čtvrtletí roku 2012 a to i mimo území hlavního města [3].

2.6 Budoucnost Smart grids

Aplikace konceptu SG je úkolem dlouhodobým, jehož základními atributy bude důsledné využití dnešních i budoucích technických standardů, úkolem, jehož konečné řešení musí bezpodmínečně využít synergii všech řešení dílčích. V následujících bodech je znázorněn vývoj budoucnosti SG sítí.

➤ **Současnost, velmi blízká budoucnost**

Intenzivní rozvoj sekundárních technologií. Vznik obecného řešení označovaného často také jako Real-time digital management umožňující například automatickou detekci poruch a automatickou změnu konfigurace dle aktuálních možností sítě, výroby a spotřeby.

➤ **2020 – 2025**

Řízený přenos elektrické energie, zařízení pro limitaci přenosu výkonu, „digitální transformátory“, aj. - umožňující řízení toku výkonu v síti podle aktuální požadavků a možností sítě.

Technologie vysokoteplotní supravodivosti - vysokoteplotní supravodivé vodiče.

➤ **2025 – 2035**

Kombinované přenosové a distribuční trasy el.energie/vodík – vodiče pro přenos elektrické energie uvnitř potrubí pro transport kapalného vodíku.

➤ **2035 - 2045**

Technologie „kvantových nano vodičů“ – 10x vyšší vodivosti než měď.

3. Snubber network

Při návrhu řídicí jednotky zátěžového managementu narazíme na několik problémů spojených s určením a výpočtem vhodných součástek. Při nevhodném určením hodnot součástek nemusí vždy dojít k destrukci obvodu či připojených modulů okamžitě, ale rapidně se sníží životnost a funkčnost celého zařízení. Jedním z problémů jsou u přístrojů pracujících se spínáním větších výkonů přepětové ochrany, nebo-li Snubber network. Tyto odlehčovací obvody jsou často používány v elektrických systémech s indukční (popř. kapacitní) zátěží, jejíž náhlé přerušení toku proudu často vede k prudkému nárůstu napětí přes spínací prvek. Tento prudký nárůst napětí může vést k poškození a selhání celého zařízení.

Snubber obvody se také často využívají k zabránění jiskření mezi kontakty spínačů, aby se tím omezilo spékání kontaktů, které může nastat v důsledku spínání velkých proudů. Vhodně navržený tlumicí obvod lze použít buď se stejnosměrnou zátěží nebo se střídavou zátěží. Nejčastěji se realizují jako kombinace pasivních prvků a souhrnně je nazýváme pasivní snubbery.

3.1 Pasivní snubbery

Jednoduché snubbery využívají pasivních prvků RLC. Tyto kombinace potlačují rychlý nárůst napětí přes spínací prvek, který vlivem indukce vzniklé indukčnostmi zátěžového obvodu je ohrožen.

3.1.1 C - snubber

Jednoduchý snubber, který je realizovaný pomocí kondenzátoru (obr. 3.1). Princip spočívá v předcházení indukce nebezpečných přepětí, které vznikají indukčnostmi L_z zátěžového obvodu. Připojený C-snubber dle vzorce (3.1) absorbuje energii E uloženou v L_z .

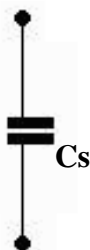
$$E = \frac{1}{2} \cdot L_z \cdot I^2 \quad [J] \quad (3.1)$$

Dle vzorce na výpočet energie kondenzátoru (3.2) upravíme rovnici tak, abychom vyjádřily rozdíl napětí ΔU , na který se nabije kondenzátor C_s a následně omezí přepětí (3.3).

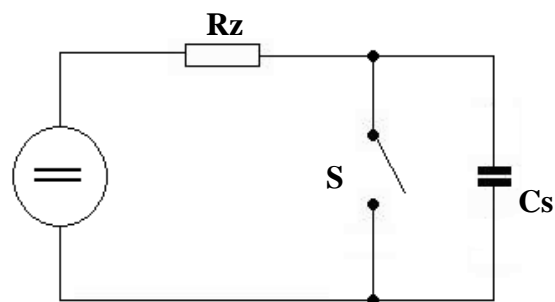
$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad [J] \quad (3.2)$$

$$\Delta U^2 = \frac{L_z \cdot \Delta i^2}{C} \quad [V] \quad (3.3)$$

Na obrázku (3.2) je příklad zapojení C-snobberu do obvodu. Tento druh snubberu je praktičtější pro nižší rozsahy proudům díky nízkým ztrátám. Hlavní nevýhoda je ve vzniku napěťových a proudových oscilací ve stejnosměrném obvodu. Mezi kondenzátorem a indukčností zátěžového obvodu mohou vznikat parazitní oscilace. Tomu lze předcházet doplněním obvodu o R-C člen. Snubber poté zajistí i odbourání přijaté energie pomocí tepelné přeměny v odporu.



Obr.3.1 C-snobber



Obr.3.2 Zapojení C-snobberu do obvodu

3.1.2 R-C – snubber

R-C snubber se skládá ze speciálně navržených pasivních součástek, kondenzátoru a odporu, které jsou spojeny do série obr. (3.3) a na obrázku 3.4 je RC snubber zapojen do obvodu. Spínač **S** nahradíme polovodičovou spínací součástkou. Návrh je složitější a pro vhodné určení hodnot součástek je potřeba definovat parametry zátěže.

Pro optimální návrh rezistoru **R_s** a kondenzátoru **C_s** je nutné stanovit spínané napětí **U₀**, maximální proud **I₀** tekoucí přes zátěž **Z**. Hodnoty součástek **R_s** a **C_s** musí být dimenzovány na špičkové napětí **U₁**, které určíme buď nejlépe simulací v programu nebo můžeme hodnotu odhadnout. Již z výše uvedených hodnot můžeme vypočítat rezistor **R_s** dle vzorce (3.4)

$$R_s = \frac{U_0}{I_0} \quad [\Omega] \quad (3.4)$$

Tento postup je však pouze orientační a není vhodný pro přesné určení rezistoru R_s . Přesnějšího určení dosáhneme zohledněním tlumícího faktoru (3.5), který získáme z oscilační frekvence.

$$\zeta = \frac{1}{2\omega \cdot R_s \cdot C} \quad (3.5)$$

To co však ve skutečnosti chceme vypočítat je hodnota rezistoru R_s , který tlumí obvod na požadovanou odezvu (3.6). Ze zkušeností je patrné, že přiměřené tlumení se vyskytuje při koeficientu $\zeta = 0,5$. Příliš malé tlumení umožňuje, aby oscilace pokračovala a naopak příliš velké tlumení vede k velkým ztrátám energie v rezistoru. Při uvažování koeficientu tlumení 0,5 se rovnice zjednoduší do tvaru (3.7).

$$R_s = \frac{1}{2\zeta\omega \cdot C} = \left(\frac{1}{2\zeta}\right) \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.6)$$

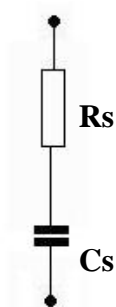
$$R_s = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.7)$$

Použití pouze odporového tlumiče povede k nadměrným ztrátám. Řešením je kondenzátor C_s umístěný v sérii s rezistorem R_s . Kapacita kondenzátoru musí být dostatečně vysoká, aby byl snadný průchod vysokých frekvencí, avšak všechny nižší frekvence zůstaly zablokované. Mezní frekvence je dána rovnicí (3.8). Nechceme aby došlo ke zmenšení zisku o 3 dB, čemu odpovídá mezní kmitočet, ale potřebujeme aby limitní frekvence byla 10x vyšší. Nejjednodušší způsob je zvolit frekvenci, která je cca 6,3x nižší, to odpovídá 2π . Tím dostaneme jednoduchou rovnici pro určení hodnoty kondenzátoru C_s (3.9).

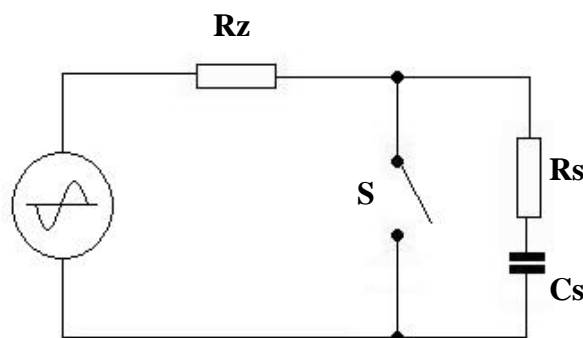
$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot R_s \cdot C_s} \quad (3.8)$$

$$C_s \approx \frac{1}{R_s \cdot f_m} = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{R_s} \quad (3.9)$$

Po vyjádření rovnic pro určení hodnot R-C snubberu zbývá určit parazitní indukční odpor **L** a kapacitní odpor **C**. Zde narazíme na problém, protože tyto hodnoty nejsou vždy známy, ale na dnešních digitálních multimetrech je lze změřit. Další možností je simulace v počítači za pomoci příslušného softwaru.



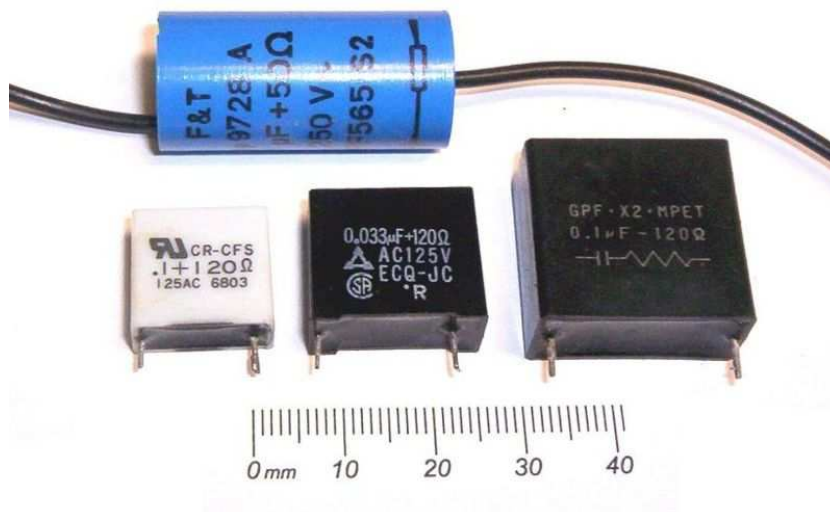
Obr.3.3 RC-snubber



Obr.3.4 Zapojení RC-snubberu do obvodu

Pro použití v tlumících obvodech není vhodný každý rezistor, naprosto nevhodné jsou drátové rezistory, kvůli vzniku parazitních indukcí. Nejvhodnější jsou rezistory uhlíkové. Samozřejmě musíme dbát i na jmenovité hodnoty napětí a proudu a tolerance použitých součástek. Použitím R-C snubberu zamezíme nejen destrukci spínacího obvodu, ale vlastní návrhem výrazně zvýšíme životnost celého obvodu.

V dnešní době se již obvody Snubber network prodávají jako samostatné součástky obr. (3.5). Jejich velkou výhodou je kompaktnost a způsob provedení pro specifické použití. Na druhou stranu je lepší tyto obvody vypočítat pro konkrétní parametry spínané zátěže z důvodu zvýšení účinnosti odlehčovacího obvodu.

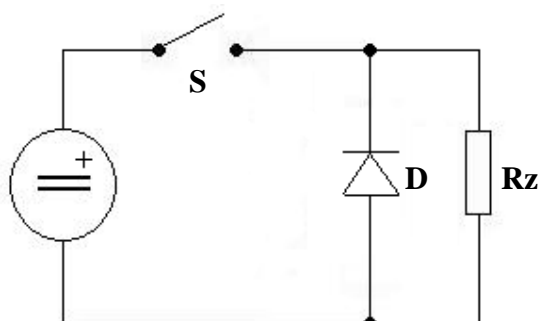


Obr.3.5 Součástky Snubber network [4]

3.2 Ostatní modifikace snubber network

D – snubber

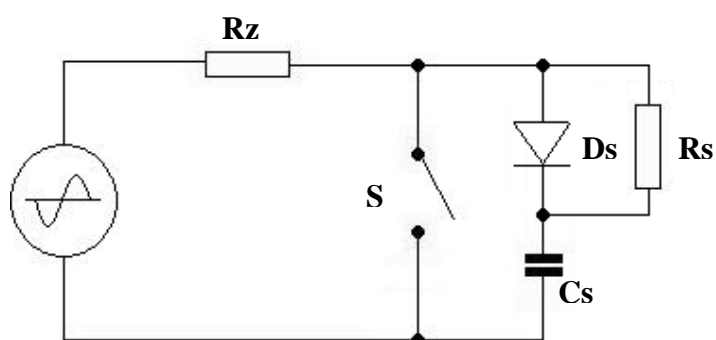
Ve stejnosměrných obvodech při spínání indukčních zátěží narazíme na problém s naindukovanými napětím na cívce spotřebiče L_z . I při malých spínacích proudech, jako je například cívka relé, může naindukované napětí trvale poškodit spínací obvod v době odpojení od zátěže. Proto se využívá D-snubber, neboli antiparalelní dioda, která se zapojuje na svorky indukční zátěže obr. (3.6) a zajistí uzavření elektrického obvodu mezi diodou a cívku zátěže a tím zamezí naindukovaným proudům destrukci obvodu.



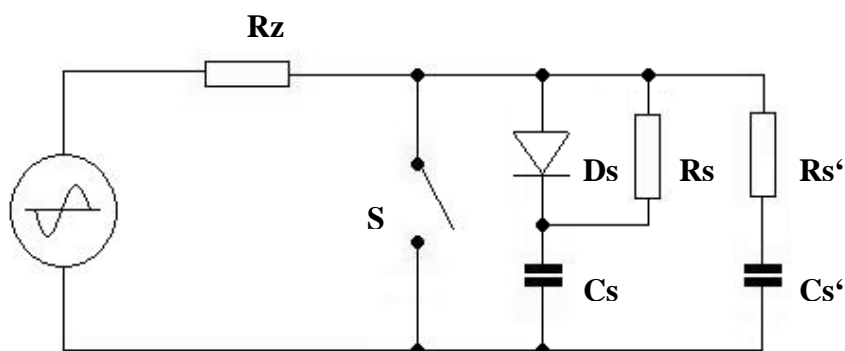
Obr.3.6 Zapojení D-Snubberu v obvodu

RCD – snubber

Na obrázku 3.7 je zobrazeno zapojení RCD-snubberu v obvodě. Na rozdíl od předchozích odlehčovacích obvodů je tento typ zvláště vhodný pro použití v obvodech s vysokými proudy a nízkým napájecím napětím. Proto jsou kladeny na použité součástky zvláštní nároky a to hlavně na diody, které by měly mít malé propustné zapínací přepětí a vlastnost SRR(Soft Reverse Recovery), nebo-li pozvolné zpětné zotavovací vlastnosti. Mezi hlavní výhody patří redukce vypínacích překmitů, které můžou redukovat i vypínací ztráty v tranzistorech. Nevýhody RCD prvků je komplikovaný výběr součástek a poměrně vysoké ztráty snubberu. Tyto ztráty lze snížit různými kombinacemi jednotlivých odlehčovacích obvodů.

**Obr.3.7** Zapojení RCD-Snubberu v obvodu

Pro zvýšení účinnosti odlehčovacích obvodů lze jednotlivé typy kombinovat, jejichž výsledkem je synergický efekt. Tyto kombinace vyžadují větší pozornost při konstrukci, protože při nesprávné zvolení parametrů součástek odlehčovacího obvodu může docházet k poškození spínacích prvků. Takto zvolené obvody nejčastěji nalezneme jako ucelené součástky obr. (3.5). Na obrázku 3.8 je znázorněn příklad zapojení kombinace RC a RCD snubberu.

**Obr.3.8** Zapojení RC-RCD-Snubberu v obvodu

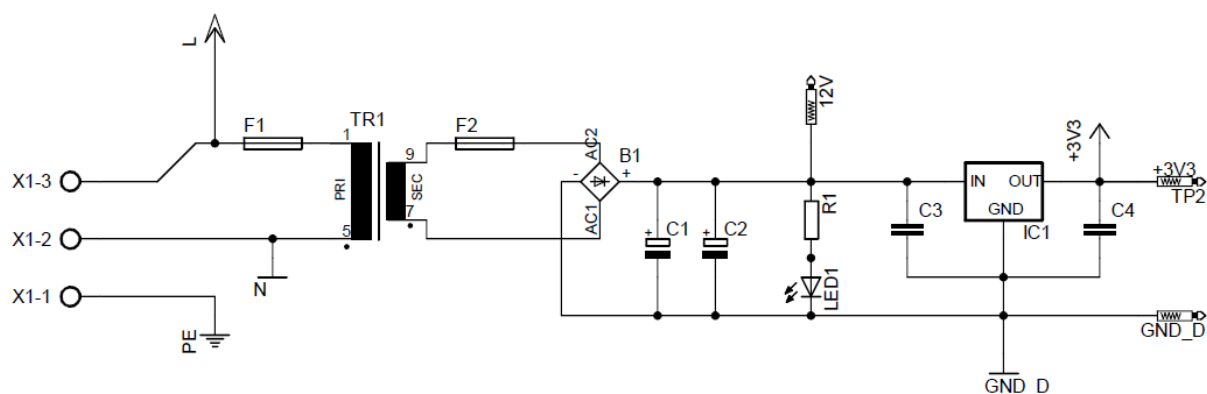
4. Obvodové řešení řídicí jednotky zátěžového managementu

4.1 Návrh obvodového řešení

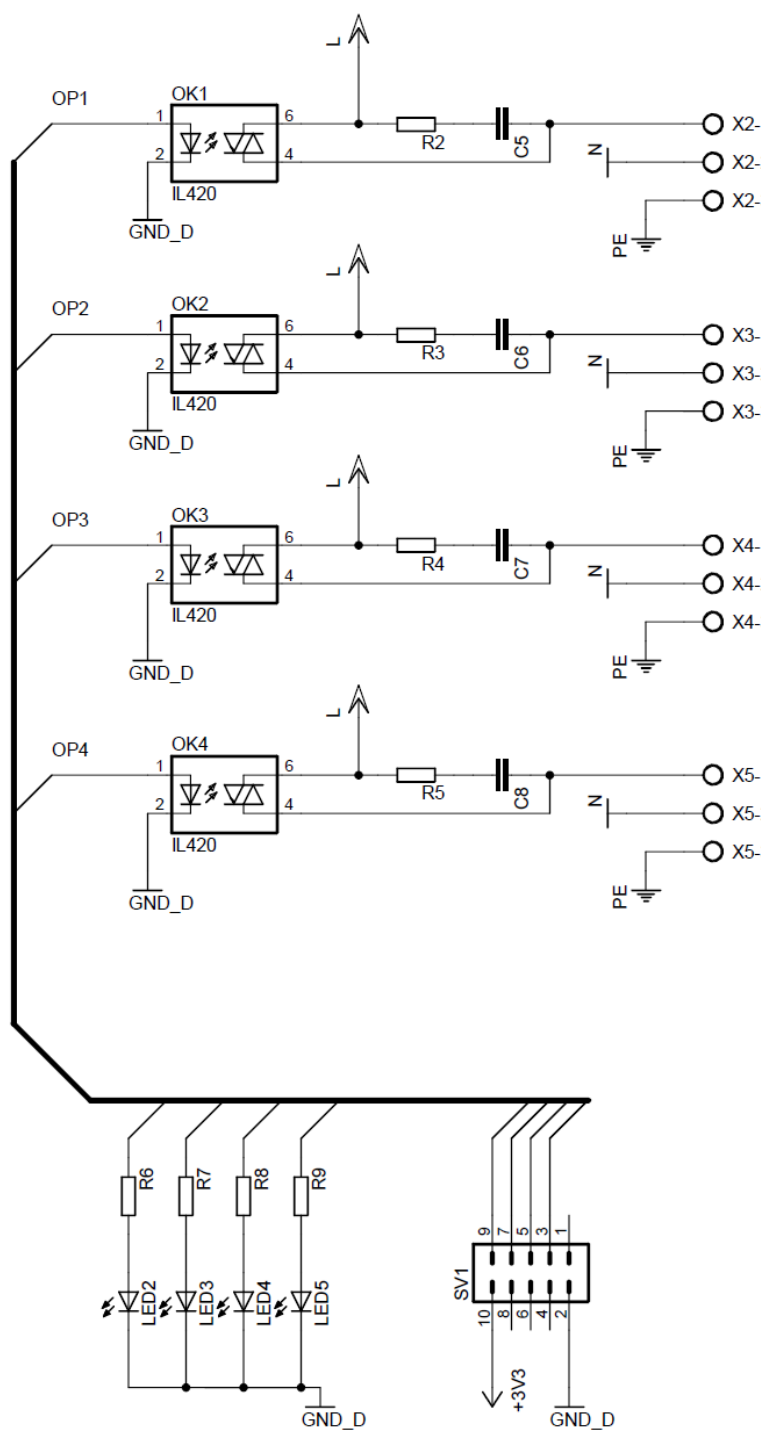
Při návrhu obvodu a následném určení hodnot použitých součástek je nutné definovat základní vstupní a výstupní parametry. Řídicí jednotku pro zátěžový management si proto rozdělím na 2 elementární DPS.

4.1.1 DPS silová část

Vstupní napětí 230V ze svorkovnice X1 je transformováno na napětí 12V a po usměrnění můstkovým usměrňovačem B1 a vyfiltrování kondenzátory je přivedeno na stabilizátor. Stabilizovaná hodnota napětí 3,3V je přivedena na konektor J1 a slouží jako napájení mikrokontroléru. Pro další možnosti rozšíření je na konektoru k dispozici také napětí 12V. Na svorkovnicích X2-X5 je výstup napájení 230V, které je spínáno optočleny. K zabránění destrukci optočlenů je použito odlehčovacích obvodů (kap.3). Každý optočlen je ovládán zvlášť pomocí signálů z mikrokontroléru a pro lepší orientaci stavu je každý vybaven signalizační diodou. Na obrázku 4.1, 4.2 je zobrazeno obvodové řešení nakresleno v programu Eagle [7].



Obr.4.1 Schéma zapojení část 1



Obr.4.2 Schéma zapojení část 2

Vyhlazovací kondenzátor:

Transformátor T1 s výkonem 6 VA má na sekundárním vinutí 12V. Můstkovým usměrněním získáme SS napětí, které je potřeba vyhladit. Dle vzorce 4.1 určíme kapacitu vyhlazovacího kondenzátoru.

$$C = \frac{I_{celk} \cdot t}{\Delta U_C} \quad (4.1)$$

Pro výpočet kondenzátoru bude nutné určit maximální hodnotu napětí na které se kondenzátor nabije U_{maxC} (4.2) a následně minimální hodnotu vybíjení U_{minC} (4.3).

$$U_{maxC} = k \cdot \sqrt{2} \cdot U_{INrms} - \Delta U_D \quad (4.2)$$

;kde

k – koeficient možného snížení napětí sítě

U_{INrms} – efektivní hodnota napětí na sekundárním vinutí transformátoru

ΔU_D – úbytek napětí na diodách můstku

$$U_{minC} = U_{max} + U_{VS} \quad (4.3)$$

;kde

U_{max} – výstupní napětí obvodu

U_{VS} – napětí nutné ke správné funkci stabilizátoru

Celkový proud tekoucí obvodem I_{celk} získáme dílčím součtem všech proudů(4.4).

$$I_{celk} = I_{OUT} + I_{STAB} + I_{LED} \quad (4.4)$$

U elektrolytického kondenzátoru nás kromě kapacity, kterou jsem počítal pro případ poklesu napájecího napětí o 10% a zajištění spolehlivé práce stabilizátoru při zadaném odběru, bude zajímat i maximální napětí v případě zvýšení napájecího napětí o 10%. Na toto zvýšené napětí U^*_{maxC} (4.5) musíme dimenzovat konkrétní elektrolytický kondenzátor.

$$U^*_{maxC} = k \sqrt{2} \cdot U_{INrms} - \Delta U_D \quad (4.5)$$

;kde

k – koeficient možného zvýšení napětí sítě

U_{INrms} – efektivní hodnota napětí na sekundárním vinutí transformátoru

ΔU_D – úbytek napětí na diodách můstku

Předřadný rezistor pro LED:

Předřadný rezistor R musí zabezpečit stav, kdy na LED diodě je napětí U_F a diodou protéká proud I_F (4.6). Při tomto stavu LED dioda dostatečně svítí a není přetěžována. Po určení konkrétní hodnoty rezistoru musíme zjistit výkonové zatížení P_R (4.7) a na tuto hodnotu rezistor dimenzovat.

$$R = \frac{U_{\max C}^* - U_F}{I_F} \quad (4.6)$$

$$P_R = I_F^2 \cdot R \quad (4.7)$$

Chlazení součástek:

Výpočet hodnot součástek a samotný návrh DPS bude ovlivňovat i teplota součástek, resp. zda nějaké součástky bude nutné chladit. V našem případě se jedná především o integrovaný obvod **LF33CV** určený ke stabilizaci napětí 3,3V. Nejprve určíme ztrátový výkon stabilizátoru v kritické režimu P_{Zk} (4.8) a poté výkon, který dokáže pouzdro bez chladiče odvést do okolí (4.9). Tyto dvě hodnoty se porovnejí a pokud bude velikost ztrátového výkonu větší navrhne se vhodný chladič.

$$P_{Zk} = (U_{\max C}^* - U_{OUT}) \cdot I_{OUT} \quad (4.8)$$

$$P_{Zp} = \frac{(T_J - T_A)}{R_{THJA}} \quad (4.9)$$

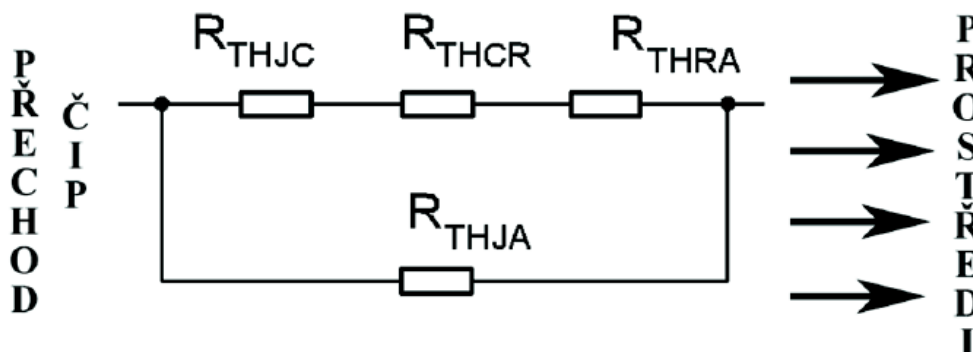
;kde

T_J – povolená teplota čipu

T_A – teplota okolí

R_{THJA} – tepelný odpor mezi čipem a okolím bez použití chladiče

Při použití chladiče vycházíme z náhradního schématu pro umístění součástky na chladič(4.2) z něhož můžeme odvodit celkový tepelný odpor $R_{TH\Sigma}$ (4.10) a následně dopočítat přenesený výkon do okolí P_Z (4.11).



Obr.4.3 Náhradní schéma při umístění součástky na chladič

;kde

R_{THJC} – tepelný odpor mezi čipem a pouzdrem

R_{THCR} – tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem

R_{THRA} – tepelný odpor mezi chladičem a okolím

$$R_{TH\Sigma} = R_{THJC} + R_{THCR} + R_{THRA} + R_{PODL} \quad (4.10)$$

;kde

R_{PODL} – tepelný odpor slídkové podložky

$$P_Z = \frac{(T_J - T_A)}{R_{TH\Sigma}} \quad (4.11)$$

Pokud požadovaný ztrátový výkon bude větší než ztrátový výkon daného pouzdra stabilizátoru, pak musíme dopočítat hodnotu tepelného odporu chladiče (4.12) a určíme tak teplotu chladiče.

$$\vartheta = T_A + R_{TH\Sigma} \cdot P_Z \quad (4.12)$$

4.1.2 DPS – hodnoty silové části

Využitím postupu v předchozí kapitole dopočítáme a určíme konkrétní hodnoty součástek pro obvod silové části DPS.

Výpočet vyhlazovacího kondenzátoru:

$$U_{\max C} = 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 12 - 1 = 14,27V \quad (4.2)$$

$$U_{\min C} = 12V \quad (4.3)$$

$$I_{\text{celk}} = 0,4A \quad (4.4)$$

$$C = \frac{0,4 \cdot 0,01}{14,27 - 12} = 1,762 \cdot 10^{-3} F = \underline{1762\mu F} \quad (4.1)$$

$$U_{\max C}^* = 1,1\sqrt{2} \cdot 12 - 1 = \underline{17,67V} \quad (4.5)$$

Velikost vyhlazovacího kondenzátoru je 1762 μF dimenzován na napětí 25V. V obvodu jsou navrženy dva kondenzátory o hodnotě 1000 $\mu F/25V$.

Výpočet předřadného odporu pro LED:

$$R_1 = \frac{17,67 - 1,8}{0,001} = \underline{15870\Omega} \quad (4.6)$$

$$P_{R1} = 0,001^2 \cdot 15870 = \underline{0,01567W} \quad (4.7)$$

$$R_{6-9} = \frac{3,3 - 1,8}{0,001} = \underline{1500\Omega} \quad (4.6)$$

$$P_{R6-9} = 0,001^2 \cdot 1500 = \underline{0,0015W} \quad (4.7)$$

Hodnota předřadného rezistoru pro signalizační LED napájení bude 16K. Pro signalizační LED sepnutí výstupní zátěže bude hodnota 1K5. Tyto rezistory budou metalizované a dimenzovány na příkon 0,4W s tolerancí 1%.

Chladič pro obvod LF33CV:

$$P_{zk} = (17,67 - 3,3) \cdot 0,37 = \underline{4,06W} \quad (4.8)$$

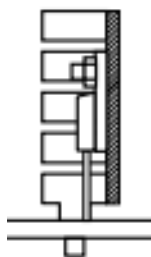
$$P_{zp} = \frac{(125 - 25)}{50} = \underline{2W} \quad (4.9)$$

Integrovaný obvod LF33CV v pouzdru TO-220 bez chladiče dokáže odvézt do okolí ztrátový výkon 2W. Požadovaný ztrátový výkon je 4,06W, proto musíme navrhnout vhodný chladič.

$$\vartheta = 25 + 50 \cdot 4,06 = \underline{228^{\circ}C} \quad (4.12)$$

$$\vartheta_{chl} = 25 + 12,8 \cdot 4,06 = \underline{76,96^{\circ}C} \quad (4.12)$$

Teplota pouzdra TO 220 bez použití chladiče bude při plném zatížení 228°C, což je pro součástku destruktivní, ale s využitím chladiče s tepelným odporem 10 K/W klesne teplota na 76,96°C. Tato teplota se ještě může snížit použitím tepelně vodivé pasty umístěné mezi pouzdro součástky a chladič. Pro tuto konstrukci bude vhodný chladič ve tvaru 'U' svisle upevněný v DPS(4.3).



Obr.4.4 Chladič upevněný svisle na desce (pouzdro TO 220)

Výpočet odlehčovacího obvodu:

Při určování velikosti hodnot jednotlivých členů R-C odlehčovacího obvodu je nutné stanovit parazitní indukční odpor **L** a kapacitní odpor **C**. Jelikož nemůžeme dopředu určit parametry spínané zátěže, použijeme hodnoty orientační, kde **L=1μH** a **C=0,1nF**.

$$R_s = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-10}}} = \underline{100\Omega} \quad (3.7)$$

$$C_s \approx \frac{2\pi\sqrt{1 \cdot 10^{-16}}}{100} = \underline{6,28nF} \quad (3.9)$$

Optočlen:

Pro využití zapojení do klasické distribuční sítě jsem zvolil optotriak MOC3021, který se vyznačuje velmi nízkou vazební kapacitou a izolačním napětím do 1.6kV. Dobře poslouží při spínání řídicích a výkonových relé mechanického provedení, na jejichž cívce je fázové napětí. Galvanicky takto oddělí cívku od řídicího obvodu. Optočlen je umístěn v pouzdře DIP6. MOC3021 od společnosti COSMO splňuje i evropskou směrnici RoHS, protože se jedná o bezvolnaté provedení.

Transformátor a můstek:

Napájení řídicí jednotky pro zátěžový management je realizováno jednofázovým transformátorem o výkonu 6VA, jedním sekundárním vinutím o napětí 12V. Z důvodu rozměru celé jednotky je použit transformátor s pouzdrem určeném do DPS. Jak sekundární tak primární vinutí je opatřeno pojistkou v pouzdře.

Usměrňovací můstek v pouzdře DIL4 s označením DB101 s maximálním průtokovým proudem 1A postačuje pro naše potřeby napájení DPS.

Ostatní parametry vybraných použitých součástek v silové části obvodu jsou uvedeny v podobě katalogových listů v příloze č. I.

Seznam použitých součástek:

OZNAČENÍ	HODNOTA	POZNÁMKA	PŘÍLOHA
R1	15kΩ	metalizovaný	-
R2 – R5	100Ω	metalizovaný	-
R6 – R9	1,5kΩ	metalizovaný	-
C1, C2	1000μF/25V	radiální	-
C3, C4	100nF	keramický	-
C5 – C8	5,6nF	foliový	-
LED1	3mm, 3mA	zelená	-
LED2 – LED5	3mm, 3mA	červená	-

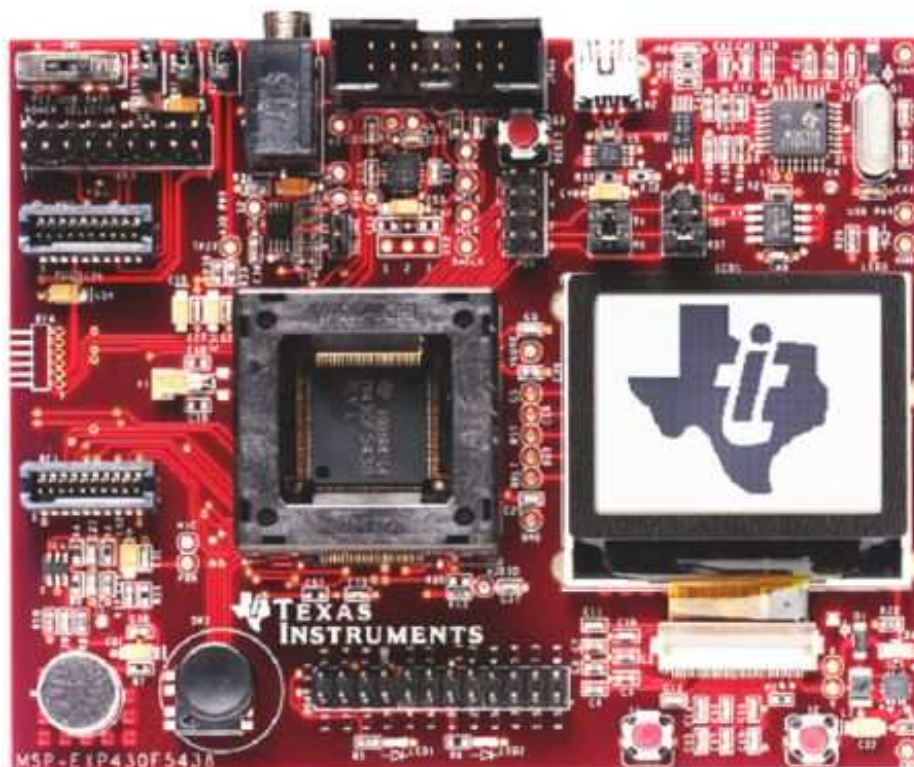
B1	DB101	DIL4	44
F1	FSM00.050	typ F	-
F2	FSBF00.5	typ F	-
TR1	HAHN BV EI 422	pouzdro do DPS	43
IC1	LF33CV	TO-220	45
OK1 – OK4	MOC3021	DIL6	47
X1 –X5	ARK128V-A-3P	horizontální	-
SV1	KON100.00	10-pinů	-
TP1 – TP3	Jumper	1 vývod	-

Tab.4.1 Hodnoty použitých součástek [6]

4.1.3 DPS řídicí část

Základem řídicího obvodu je použit vývojový kit od společnosti Texas Instruments z řady MSP 430. Vývojový kit „Experimenter’s Kit“ určený pro nízkopříkonové mikrokontroléry MSP430F5xx. Řada F5xx pracuje s nejnižší možnou spotřebou nabízí velkou paměť a vysokou integraci pro aplikace, jako je sběr dat, samonabíjecí systémy, bezdrátové a automatické měřicí systémy. Proto byl pro tento účel použit obvod MSP430F5438 (4.4).

Základními vlastnostmi vývojového kitu MSP430F5438 je snadný a rychlý vývoj nízkopříkonových bezdrátových aplikací podpořený kompatibilitou s celou řadou bezdrátových modulů pracujících na frekvencích <1GHz až 2,4GHz. Dále možnost volby použití I/O pinů pro usnadnění vývoje mezi integrovaným mikrofonem, joystickem, ovládacími tlačítky, grafickým LCD displejem, USB a 3,5mm Jack audio output konektorem a v neposlední řadě integrovaný rozšiřující konektor, který usnadňuje případný budoucí upgrade kitu.

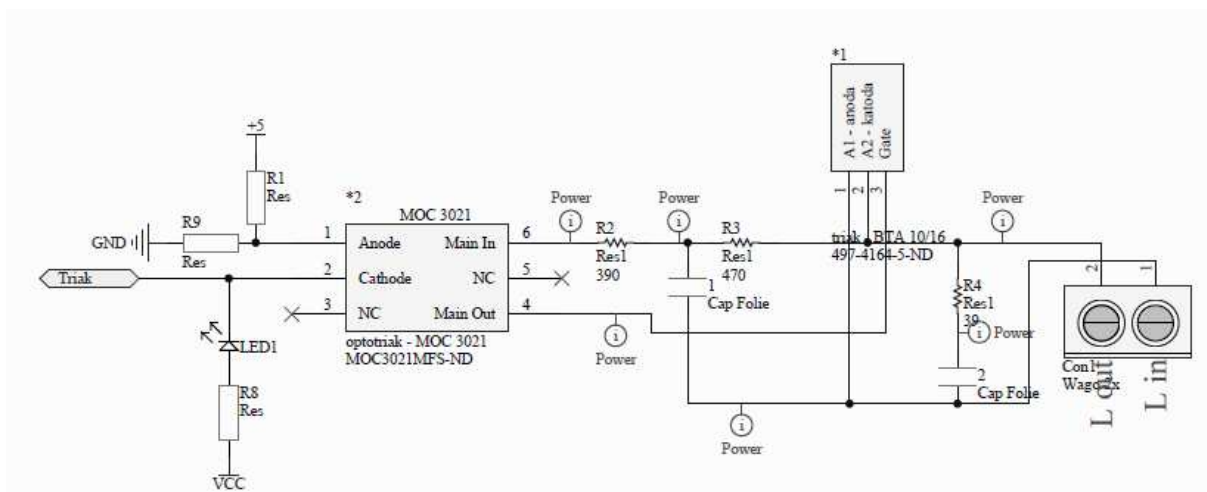


Obr.4.5 Vývojový kit MSP430F5438 [5]

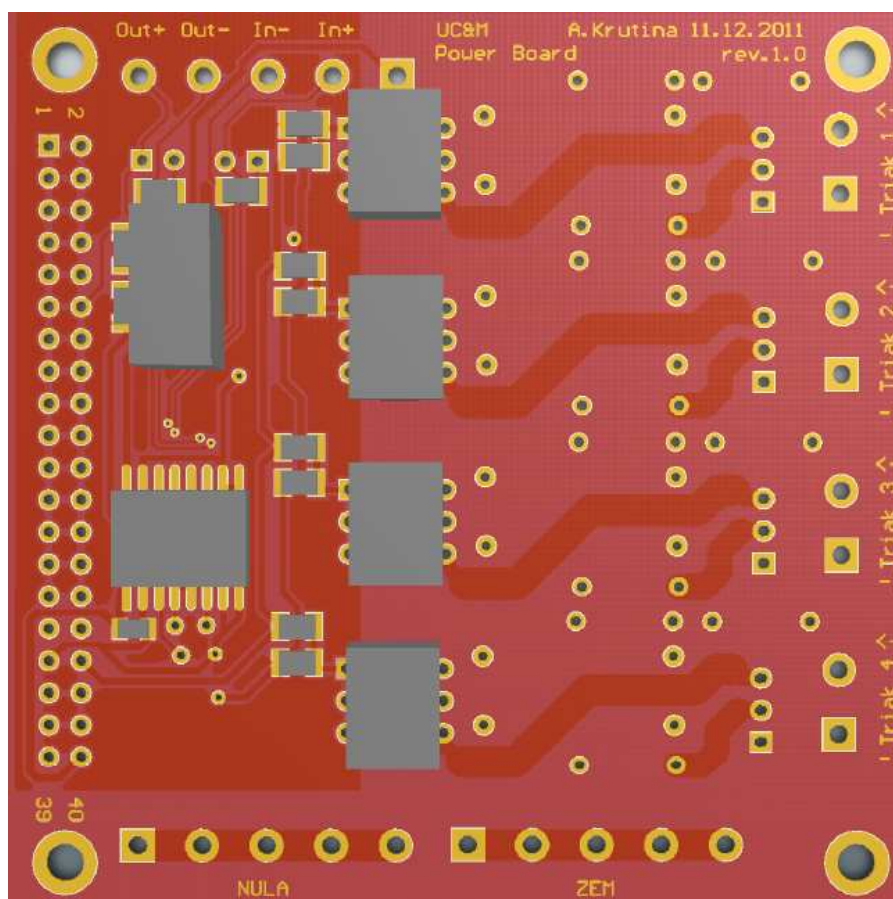
4.2 Inovace řídicí jednotky pro zátěžový management

V rámci řešení projektu FRVŠ, jehož cílem bylo vytvořit komplexní přípravek po emulaci zátěžových křivek generátorů, byl inovován návrh silové části řídicí desky, který je jednou částí DPS rozšiřujícího řídicí desku. Celý projekt bude poté zahrnut do výuky předmětů, především bude koncipován tak, aby do budoucna mohlo být využito při výuce SG. Řešitelem projektu je Ing. Aleš Krutina, spoluředitelem pak Prof. Ing. Zdeněk Vostracký DrSc., dr.h.c. a Ing. Luboš Frank. V průběhu vývoje byla za pomoci profesionálního návrhového systému Altium Designer 10 vyvinuta deska plošných spojů (4.6) a následně byla vyrobena. Schéma inovované desky je znázorněno na obrázku 4.5.

Současná podoba silové části DPS má jako v původním návrhu (kap 4.2.1) 4 triaky, umožňující spínání popř. regulování zátěžových zařízení (230V/16A).



Obr.4.6 Schéma inovované silové části DPS



Obr.4.7 3D návrh silové části DPS

5. Závěr

V posledních letech se celá Evropa, ale i svět potýká s několika klíčovými problémy. Jeden z hlavních problémů je neustále se zvětšující se spotřeba elektrické energie. Jelikož v dnešní době se již nelze spoléhat pouze na zásoby hnědého a černého uhlí, svět hledá řešení za pomoci alternativních zdrojů energie. A protože v posledních 10 letech umožňují používané technologie snadnou dostupnost obnovitelných zdrojů energie je rychlý rozmach těchto zdrojů předpokládaný i do budoucna, ale bez předem cílené implementace způsobují tyto zdroje destabilizaci přenosových soustav. Nástup chytrých sítí SG se snaží tento zvyšující se trend alespoň regulovat po stránce negativních dopadů na provoz a přenos elektrické energie. V neposlední řadě je nutné budování chytrých sítí co možná nejvíce sjednotit, aby do budoucna nevznikaly kolize mezi jednotlivými projekty, které v době realizace nebyly řešeny závisle mezi sebou.

Cílem předkládané diplomové práce byl návrh řídicí jednotky pro zátěžový management. Jelikož tato jednotka bude částí SG, věnoval jsem první část práce historii, vývoji a stavu v České republice i ve světě chytrým sítím. Vlastní řídicí jednotku jsem pak rozdělil na silovou část DPS a řídicí část DPS a ty řešil samostatně. Výstupem práce je elektronické schéma řídicí jednotky pro zátěžový management vypracované za pomoci softwaru Eagle verze 5.1, včetně výpočtů součástek a jejího seznamu. U vlastního návrhu jsem pak řešil především problematiku spínání zátěžových obvodů a možnosti řešení tlumících obvodů. Pro jednotlivé druhy snubber network jsem určil možnosti použití v různých aplikacích a na řídicí jednotku pro zátěžový management aplikoval přímo R-C snubber network včetně teoretického základu a výpočtu jednotlivých součástek tlumícího obvodu, jejichž seznam je součástí tabulky 4.1.

Doufám, že tato práce bude inspirací pro řešení konstrukčního provedení především na poli tlumících obvodů a pomůže nejen k jejich výpočtu, ale i k samotné realizaci obvodů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] AMIN, S. a Wollenberg B.F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. IEEE power: For electric power professionals. 2005, roč. 2005, č. 5, s. 34 - 41. ISSN 1540-7977. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/topAccessedArticles.jsp?punumber=8014>
- [2] HAVELKA, Otto. Elektrické přístroje. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. 436 s.
- [3] ČEZ a.s.: projekt Smart Region [online]. [cit. 2010-12-05]. Dostupné z: <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/index.htm>
- [4] Cornell Dubilier: Design of Snubbers for Power Circuits [online]. [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.cde.com/pdf/frame.htm>
- [5] Texas Instruments: MSP430F5438 [online]. [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/msp430f5438>
- [6] GM electronic: Katalog součástek [online]. [cit. 2012-01-23]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/elektronicke-soucastky-material-a-zarizeni>
- [7] PLÍVA, Zdeněk. EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci: [návrhový systém pro plošné spoje]. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007. 181 s. ISBN 978-80-7300-227-5
- [8] POTMĚŠIL, Jaroslav. Nová koncepce diagnostiky a řízení elektrických spínacích přístrojů VN a VVN: technický a ekonomický pohled, 1997, 209 s. ISBN 80-7082-342-9

Seznam příloh

Příloha I	Katalogové listy vybraných součástí	43
Příloha II	Blokové schéma MSP430F5438	50

Příloha I Katalogové listy vybraných součástek

Transformátor:



HAHN - Elektrobau GmbH & Co. KG
 Bellersheimerstraße 45
 35410 Hungen

Tel: 06402/808-0
 Fax: 06402/808-60
 E-Mail: info@hahn-trafo.de

Datenblatt: BV EI 422 1224

Bauhöhe/Pakethöhe	Leistung (ta 70B)	h 1 (mm)	h 2 (mm)	Gewicht kg
EI 422 / 14,8 mm	6 VA	26,4	32,3	0,200

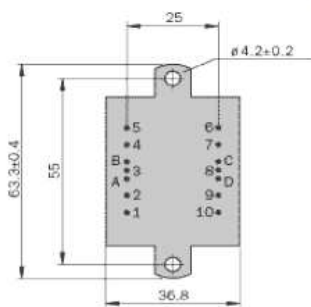
- Leistung bis max. 6 VA - nicht kurzschlußfest bei Temperaturklasse ta 70/B.
- ausgezeichnetes Temperaturwechselverhalten durch Spezial - Vakuumverguß
- mit VDE-, ENEC 10- und UL- Prüfzeichen
- höchste Sicherheit und Langlebigkeit
- hohe Spannungsfestigkeit
- selbstverlöschendes Verguß- und Haubenmaterial
- stückgeprüfte Qualität mit Prüfzertifikat

Bestell-Nr.BV	Leistung VA	prim.V	Anschluß- stifte	Arbeitspunkt sek. +/- 5%	Anschluß- stifte	Leerlauf- spannung V +/- 5%
EI 422 1224	6	230	1-5	12 V 500 mA	7-9	16,7

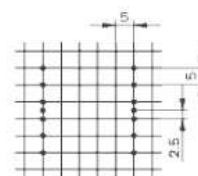
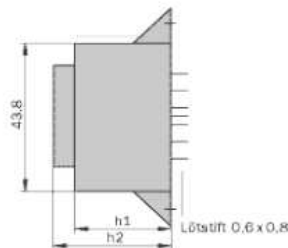
Prüfzeichen



Standard Vergußgehäuse: Ausführung "K"



Ansicht auf die Stifte



EI 42/14,8

Ausführung „K“ Vergußgehäuse mit 2 Befestigungslaschen

Maße ohne Toleranzangabe ± 0,3 mm. Ausführungsänderungen vorbehalten

Maße in der Zeichnung ohne Toleranzangabe +/- 0,3 mm. Lötstifte 0,6 x 0,8 mm. Abbildung mit Standardraster und Standard - Stiftbelegung.

Usměrňovací můstek:**DB101 THRU DB107****SINGLE-PHASE GLASS PASSIVATED SILICON BRIDGE RECTIFIER**

Reverse Voltage – 50 to 1000 V

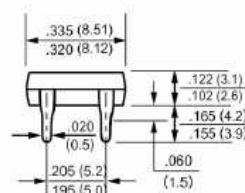
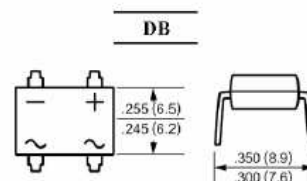
Forward Current – 1 A

Features

- Glass passivated chip junction
- Low forward voltage drop
- High surge overload rating of 50 A peak
- Ideal for printed circuit board

Mechanical Data

- Case: Molded plastic, DB
- Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- Terminals: Leads solderable per MIL-STD-202, method 208 guaranteed
- Mounting position: Any



Dimensions in inches and (millimeters)

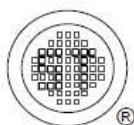
Absolute Maximum Ratings and Characteristics

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.

Parameter	Symbols	DB101	DB102	DB103	DB104	DB105	DB106	DB107	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current at $T_A = 40^\circ\text{C}$	$I_{(AV)}$	1							A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC Method)	I_{FSM}	50							A
Maximum Forward Voltage at 1 A	V_F	1.1							V
Maximum Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	I_R	at $T_A = 25^\circ\text{C}$							μA
		at $T_A = 125^\circ\text{C}$							
Typical Junction Capacitance ¹⁾	C_J	25							pF
Typical Thermal Resistance ²⁾	$R_{\theta JA}$	40							$^\circ\text{C/W}$
Typical Thermal Resistance ²⁾	$R_{\theta JL}$	15							$^\circ\text{C/W}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_S	-55 to +150							$^\circ\text{C}$

¹⁾ Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4 V

²⁾ Thermal resistance from junction to ambient and from junction to lead mounted on P.C.B with 0.5 X 0.5" (13 X 13 mm) copper pads.

**SEMTECH ELECTRONICS LTD.**

(Subsidiary of Sino-Tech International Holdings Limited, a company listed on the Hong Kong Stock Exchange, Stock Code: 724)



Dated :01/04/2006 H

Stabilizátor LF33CV:

LF00 SERIES

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

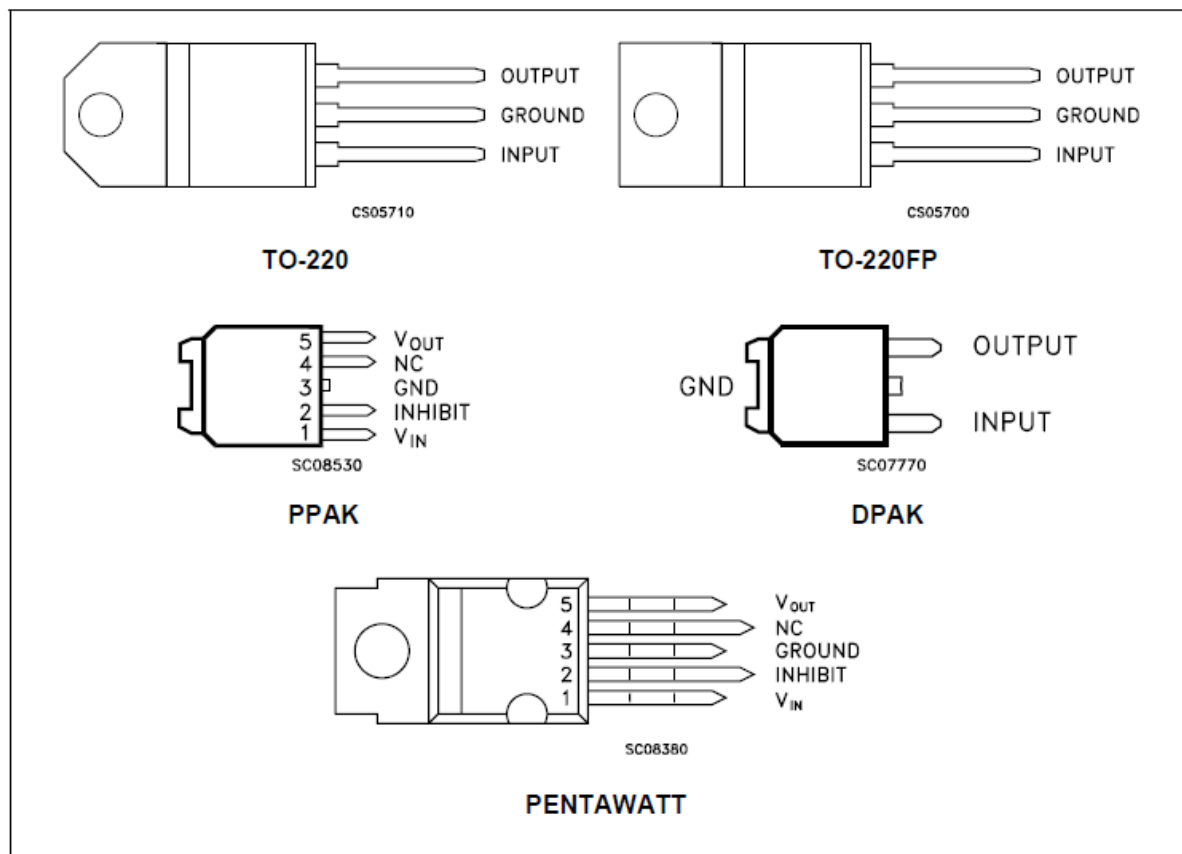
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_I	DC Input Voltage	-0.5 to 40 (*)	V
I_O	Output Current	Internally Limited	
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature Range	-40 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature Range	-40 to 125	°C

(*) For $18 < V_{IN} < 40$ the regulator is in shut-down

THERMAL DATA

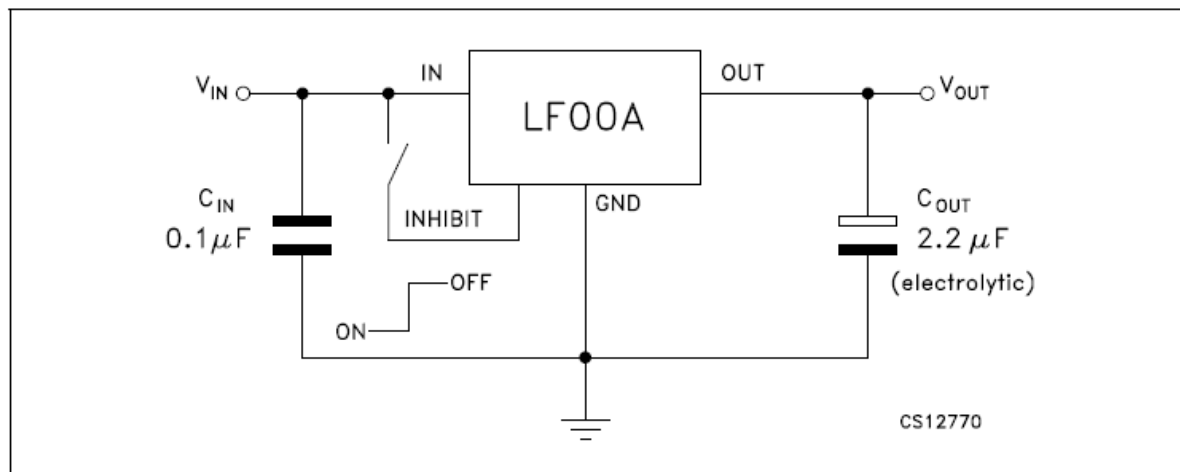
Symbol	Parameter	PENTAWATT	TO-220	TO-220FP	DDPAK/PPAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	3	3	5	8	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	50	50	60	100	°C/W

CONNECTION DIAGRAM (top view)



LF00 SERIES

TEST CIRCUITS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR LF33C (refer to the test circuits, $T_j = 25^\circ\text{C}$, $C_I = 0.1 \mu\text{F}$, $C_O = 2.2 \mu\text{F}$ unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$I_O = 50 \text{ mA}$, $V_I = 5.3 \text{ V}$	3.234	3.3	3.366	V
		$I_O = 50 \text{ mA}$, $V_I = 5.3 \text{ V}$, $T_a = -25 \text{ to } 85^\circ\text{C}$	3.168		3.432	
V_I	Operating Input Voltage	$I_O = 500 \text{ mA}$			16	V
I_O	Output Current Limit			1		A
ΔV_O	Line Regulation	$V_I = 4.3 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 5 \text{ mA}$		3	16	mV
ΔV_O	Load Regulation	$V_I = 4.6 \text{ V}$, $I_O = 5 \text{ to } 500 \text{ mA}$		3	16	mV
I_d	Quiescent Current	$V_I = 4.3 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 0 \text{ mA}$	ON MODE	0.5	1	mA
		$V_I = 4.6 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 500 \text{ mA}$			12	
		$V_I = 6 \text{ V}$	OFF MODE	50	100	μA
SVR	Supply Voltage Rejection	$I_O = 5 \text{ mA}$ $V_I = 5.3 \pm 1 \text{ V}$	$f = 120 \text{ Hz}$	80		dB
			$f = 1 \text{ KHz}$	75		
			$f = 10 \text{ KHz}$	65		
eN	Output Noise Voltage	$B = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ KHz}$		50		μV
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 200 \text{ mA}$		0.2	0.35	V
		$I_O = 500 \text{ mA}$		0.4	0.7	
V_{IL}	Control Input Logic Low	$T_a = -40 \text{ to } 125^\circ\text{C}$			0.8	V
V_{IH}	Control Input Logic High	$T_a = -40 \text{ to } 125^\circ\text{C}$	2			V
I_I	Control Input Current	$V_I = 6 \text{ V}$, $V_C = 6 \text{ V}$		10		μA
C_O	Output Bypass Capacitance	ESR = 0.1 to 10 Ω , $I_O = 0 \text{ to } 500 \text{ mA}$	2	10		μF

Optotriak MOC3021:

PRODUCT SPECIFICATION

DATE:03/23/2004

cosmo ELECTRONICS CORPORATION	Photocoupler : KMOC3021	NO.60P41002	REV.
		SHEET 1 OF 6	3

Optoisolators TRIAC Driver Output
(400V Volts Peak)

●**Features**

1. Compact dual-in-line package.
2. 400V peak blocking voltage.
3. Isolation voltage between input and output (Viso:5000Vrms).

●**For 115/240 Vac(rms) Application:**

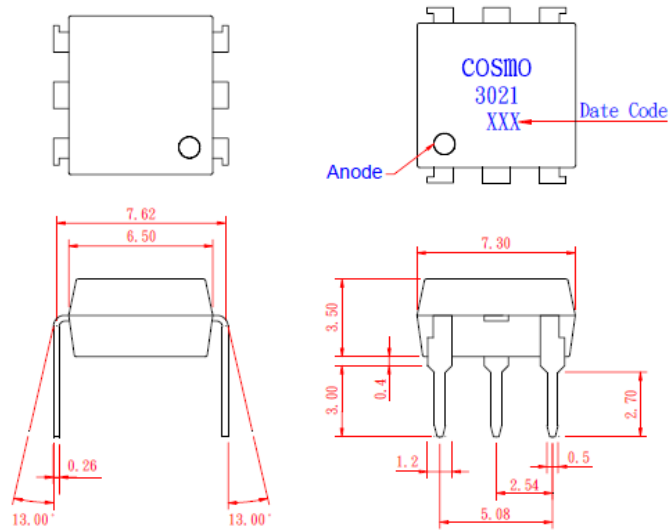
1. Solenoid/Valve Controls.
2. Lighting Controls.
3. Static Power Switches.
4. AC Motor Drives.
5. Temperature Controls.
6. E.M. Contactors.
7. AC Motor Staters.
8. Solid State Relays.
9. Programmable controllers.

PRODUCT SPECIFICATION

DATE:03/23/2004

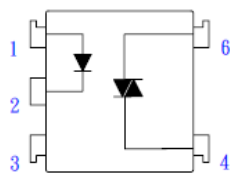
cosmo ELECTRONICS CORPORATION	Photocoupler :	NO.60P41002	REV. 3
	KMOC3021	SHEET 2 OF 6	

1. OUTSIDE DIMENSION : UNIT (mm)



TOLERANCE : $\pm 0.2\text{mm}$

2. SCHEMATIC : TOP VIEW



- 1. Anode
- 2. Cathode
- 3. NC
- 4. Main Terminal
- 6. Main Terminal

DATE:03/23/2004

cosmo ELECTRONICS CORPORATION	Photocoupler :	NO.60P41002	REV.
	KMOC3021	SHEET 3 OF 6	3

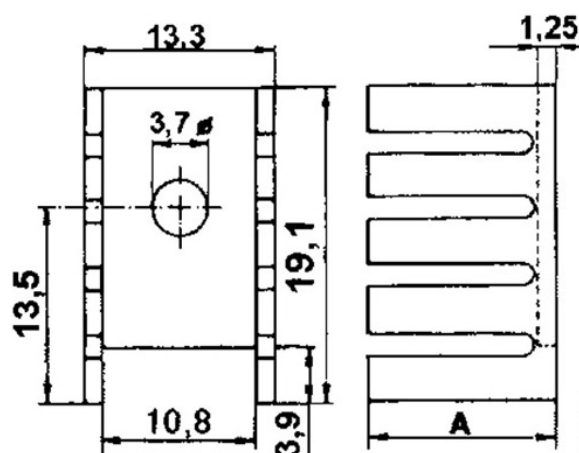
● Absolute Maximum Ratings

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	IF	50	mA
	Peak forward current	IFM	1	A
	Reverse voltage	VR	6	V
	Power dissipation	PD	70	mW
Output	Off-State Output Terminal voltage	VDRM	400	VPEAK
	On-State R.M.S. Current	IT(RMS)	100	mA
	Peak Repetitive Surget Current (PW=10ms.DC 10%)	ITSM	1	A
	Power dissipation	PD	300	mW
Total power dissipation		Ptot	330	mW
Isolation voltage 1 minute		Viso	5000	Vrms
Operating temperature		Topr	-40 to +80	°C
Storage temperature		Tstg	-50 to +125	°C
Soldering temperature 10 second		Tsol	260	°C

● Electro-optical Characteristics

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	VF	IF=10mA	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	VFM	IFM=0.5A	-	-	3.5	V
	Reverse current	IR	VR=4V	-	-	10	uA
Output	Peak Blocking Current	IDRM	VDRM=400V	-	-	100	nA
	ON-State Voltage	VTM	ITM=100mA	-	1.6	3	V
Transfer characteristics	Holding Current	IH		-	0.1	-	mA
	Critical rate of rise of OFF-state voltage	dV/dt	VDRM=(1/√2)*Rated	600	-	-	V/uS
	Isolation resistance	Riso	DC500V	5x10 ¹⁰	10 ¹¹	-	ohm
	Minimum trigger current	IFT	Main Terminal Voltage=3V	-	-	15	mA
	Turn-on time	Ton	VD=6V,RL=100ohm,IF=20mA	-	-	100	uS

Chladič pro stabilizátor LF33CV:



Příloha II Blokové schéma MSP430F5438

