

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Procesorem řízený síťový spínaný regulovatelný napěťový  
zdroj 0-50V/10A**

**autor práce: Václav Špán**

**vedoucí práce: Ing. Matouš Bartl**

**Plzeň 2012**



## **Anotace**

Tato práce popisuje návrh procesorem řízeného síťového spínaného regulovatelného napěťového zdroje. Řídící jednotka je od firmy Texas Instruments. Zdroj lze regulovat od 0 do 50 voltů a jeho proudová zatížitelnost je 10 ampér. Teoretická část obsahuje modifikace měničů, EMC a výběr procesoru. Praktická část nebyla realizována.

## **Klíčová slova**

Spínaný stabilizovaný zdroj, měnič, procesor, elektromagnetická kompatibilita, řídicí obvod, vstupní obvod, výstupní obvod, transformátor.

## **Abstract**

This work describes the design of Microprocessor controlled regulated power line switching mode power supply. The control unit is made by Texas Instrument. Source can be regulated from 0 to 50 volts. Maximal current load is 10 amperes. The theoretical part contains modification of convertors, EMP and processor selection. The practical part was not realized.

## **Key words**

Switching stabilized power supply, converter, processor, electromagnetic compatibility, control unit, input circuit, output circuit, transformer.

## **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 8.5.2012

Václav Špán

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Matouši Bartlovi za výbornou podporu při psaní diplomové práce, ve které mi vždy vyšel plně vstříc.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
	<b>Seznam symbolů .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>AC-DC měniče.....</b>	<b>10</b>
2.1	Blokující měnič.....	10
2.2	Propustný měnič .....	11
2.3	Zvyšující měnič .....	12
2.4	Snižující měnič .....	13
2.5	Invertující měnič.....	14
2.6	Dvočinný plný můstek.....	15
2.7	Dvočinný půl-můstek .....	16
2.8	Dvočinný měnič s vyvedeným středem primárního vinutí.....	17
<b>3</b>	<b>Stabilizovaný zdroj .....</b>	<b>19</b>
3.1	Lineární stabilizovaný zdroj napětí .....	19
3.2	Spínaný stabilizovaný zdroj napětí .....	20
<b>4</b>	<b>Procesory .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Pravidla návrhu DSP a EMC kompatibilita .....</b>	<b>25</b>
5.1	Zásady návrhu desek plošných spojů .....	27
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>28</b>
	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>29</b>

# 1 Úvod

V průběhu let došlo k výraznému rozvoji mikroprocesorové technologie, a to hlavně z důvodů rychlosti a přesnosti řízení a regulace. Jedná se například o automobilový průmysl, kde řídicí jednotka obstarává všechny potřebné úkony ke správnému chodu motoru, jako je například správná koncentrace vzduchu a benzínu, aby ve válci docházelo ke spalování s vysokou efektivitou a zároveň nízkou spotřebou. K výraznému rozvoji přispěl i vojenský průmysl, kde se používají mikroprocesory od již zmíněných automobilů, až přes taktické zbraňové systémy.

Mikroprocesory mají výrazné použití i v měničích. Jsou to většinou měniče pro řízení stejnosměrných a střídavých točivých strojů s různými výkony. Tyto motory se používají ve vlacích, trolejbusích, tramvajích atd. Pokud se jedná o střídavý stroj je pro řízení použit AC-AC měnič. Pokud jde o stejnosměrný stroj, je řízen AC-DC měničem. Samozřejmě jsou i DC-DC a DC-AC měniče, ale ty nejsou tolik používány.

V této diplomové práci se budu soustředit zejména na návrh AC-DC měniče. Výkon tohoto měniče by měl být 50 wattů. Regulovatelné výstupní napětí od 0 do 30 voltů. Výstupní napětí bude stabilizované. Napájení bude ze sítě 230V/50Hz. Tento napěťový procesorem řízený stabilizovaný zdroj se dá použít v mnoha aplikacích. Od různých experimentů, kde je potřeba napěťového zdroje, až po nepřetržité napájení 50 wattového stejnosměrného motoru.

Tato diplomová práce se bude skládat ze dvou částí. První část bude teoretická, kde bude popsán AC-DC měnič a vysvětlena jeho funkčnost, výběr procesoru, EMC a zásady návrhu desky plošných spojů.

V druhé části se zaměřím na výběr a seznámení s procesorem a na návrh zkušebního přípravku desky plošných spojů (DSP) pro procesor. Dále bude následovat oživení procesoru a po oživení, návrh silových komponentů, jako je tlumivka, trafo, kondenzátor pro napěťový mezi-obvod, obvod PFC. Současně s výkonovou částí bude vyvíjen program pro procesor.



## Seznam symbolů

PFC	-	Obvod pro kompenzaci účinníku
DC-DC	-	Měnič napětí
DC-AC	-	Střídač
AC-DC	-	Usměrňovač
AC-AC	-	Měnič frekvence
ATX	-	Advanced Technology Extended (Nejpoužívanější počítačový zdroj)
MOSFET	-	Unipolární tranzistor
IGBT	-	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
LC	-	Článek složený s indukční a kapacitní složky
RC	-	Článek složený s odporové a kapacitní složky
DSP	-	Deska plošných spojů, Digitální signálový procesor
CAN, SCI, SPI	-	Komunikační rozhraní
GPIO	-	Univerzální vstup/výstup
MIPS	-	Milión instrukcí za sekundu
EMC	-	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	-	Elektromagnetické vyzařování
EMS	-	Elektromagnetická odolnost

## 2 AC-DC měniče

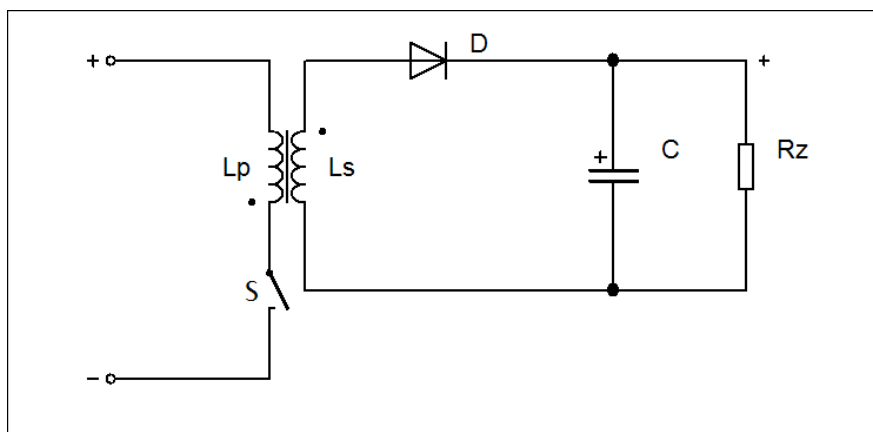
AC-DC měniče jsou realizovány jako propustné nebo blokující, z hlediska vstupu na transformátor, dále z hlediska výstupu, jako zvyšující (Step-Up), snižující (Step-Down) a invertující (Buck-Boost).

Na vstup měniče se přivádí usměrněné a vyfiltrované napětí. Protože použitím vyšší frekvence spínání výkonového prvku výrazně snížíme velikost impulzního transformátoru, používají se frekvence od 20 KHz výše. Další výhodou použití vysoké frekvence je její neslyšitelnost, tedy eliminace bzučení způsobené chvěním cívek transformátoru. Frekvenci lze zvyšovat jen s přihlédnutím na dynamické parametry použitých součástek. Zejména se jedná o výkonové polovodiče (doby sepnutí a rozepnutí), vliv parazitních kapacit a indukčností a větší rozsah rušení.

### 2.1 Blokující měnič

Tento měnič s impulzním transformátorem (Obrázek 1) se často používá, pokud je požadován menší výstupní proud a větší výstupní napětí. Energie, která se přenáší, je akumulována v jádře transformátoru a na sekundárním vinutí usměrněna diodou a vyfiltrována kondenzátorem. Veškerá energie tekoucí do zátěže jde přes jádro transformátoru, proto je rozměrnější. Výhodou tohoto zapojení je jednoduchost a větší zkratová odolnost.

Funkce: Při sepnutí spínače S dochází k exponenciálnímu nárůstu proudu. Proud tekoucí transformátorem v něm indukuje magnetické pole. Diodou D proud neprochází, protože je polarizována závěrně. Při rozepnutí spínače S dochází k zanikání magnetického pole transformátoru, smysl magnetické indukce změní polaritu a napětí na sekundárním vinutí se otočí. Tím se dioda D uvede do propustného stavu a proud tekoucí obvodem se uzavírá přes zátěž. Kondenzátor C slouží k filtraci napětí.

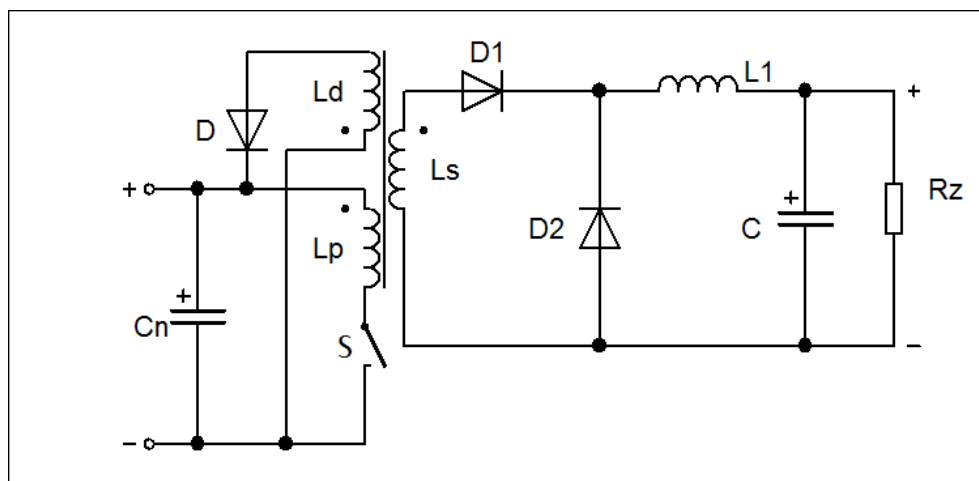


Obrázek 1: Zapojení blokujícího měniče

## 2.2 Propustný měnič

Pokud spínáme větší výkony, je tento měnič vhodnější, než měnič blokující. Měnič (Obrázek 2) má dvě primární vinutí, jedno hlavní a jedno tzv. demagnetizační, které má stejně závitů jako vinutí hlavní, ale je vinuto v opačném smyslu.

Funkce: Po sepnutí spínače S dochází k exponenciálnímu nárůstu proudu hlavním vinutím, kde dochází k indukci magnetického pole. Dioda D1 jako v předchozím případě nevede, dokud se spínač S nevypne. Po vypnutí spínače začne zanikat magnetické pole transformátoru a magnetická indukce otočí polaritu stejně jako napětí na sekundárním vinutí. Dioda D1 je otevřena a proud se uzavírá přes zátěž, zároveň dochází k indukci proudu v demagnetizačním vinutí. Proud se uzavírá přes diodu D a nabíjí kondenzátor Cn. Tímto se zabraňuje přesycení transformátoru. Dioda D2 slouží k uzavření obvodu přes zátěž, pokud je spínač S sepnutý. Kondenzátor C vyhlazuje průběh napětí na zátěži. Toto zapojení má lepší dynamické vlastnosti a tedy vyšší spínací frekvenci výkonových prvků.

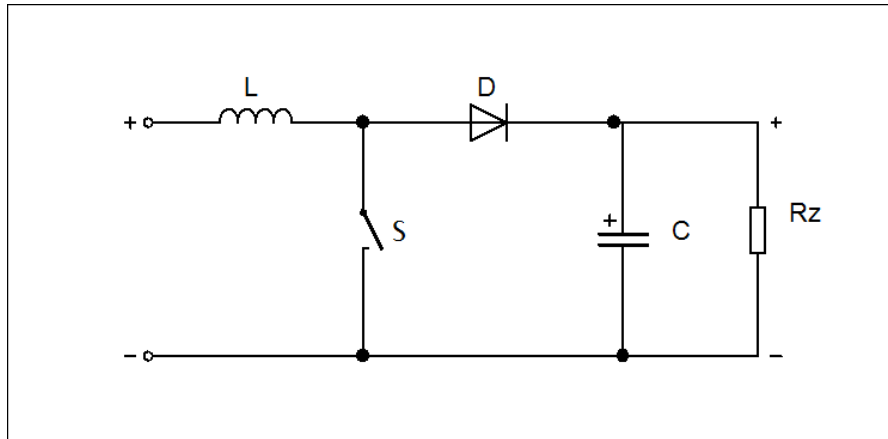


Obrázek 2: Zapojení propustného měniče

### 2.3 Zvyšující měnič

Tento měnič se nazývá zvyšující, protože má na svém výstupu vyšší napětí, než na vstupu (Obrázek 3). Není galvanicky oddělen. Musíme brát v potaz spínací frekvenci a indukčnost. Pokud je spínací frekvence nízká, stejně tak i indukčnost tlumivky, může dojít ke zkratu a zničení obvodu. Obvod by neměl pracovat naprázdno, z důvodu vysokého napětí na výstupu, které by mohlo mít destruktivní účinky především na filtrační kondenzátor.

Funkce: Po sepnutí spínače S se v tlumivce L vytváří magnetické pole. Vypnutím spínače S přestane narůstat proud tlumivkou L a magnetické pole začne zanikat. Zánik magnetického pole způsobí otočení napěťové polaroty a z tlumivky L se stává zdroj. Napětí na napájecím zdroji a tlumivce L se sčítá a nabíjí se jím kondenzátor C. Kondenzátor C slouží, jako zdroj energie pro zátěž  $R_z$  a je opakovaně dobíjen ze zdroje a tlumivky L. Výstupní napětí je přímo-úměrné střídě řídicího signálu. Dioda D slouží jako ochrana proti zkratu kondenzátoru C, při sepnutí spínače S.

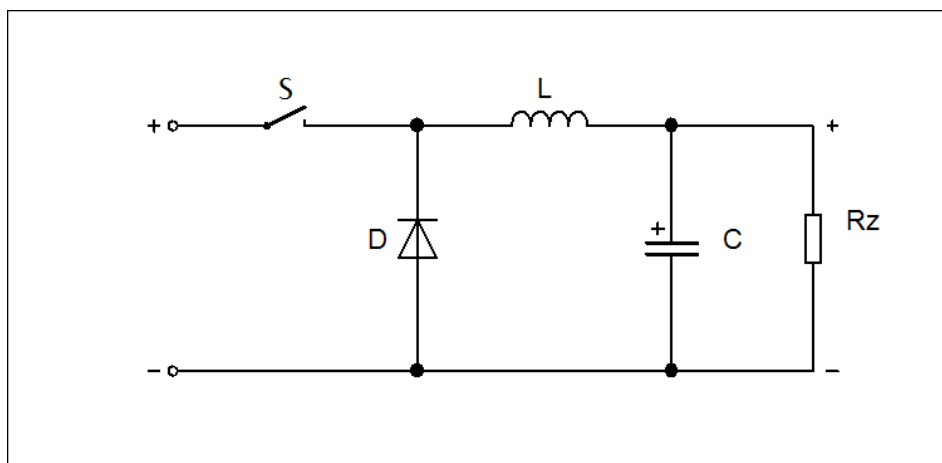


Obrázek 3: Zapojení zvyšujícího měniče

## 2.4 Snižující měnič

Maximální výstupní napětí snižujícího měniče (Obrázek 4) nemůže dosáhnout větší hodnoty, než je napětí napájecího zdroje. Snižující měnič nemůže být zničen na základě nízké spínací frekvence, jako zvyšující měnič.

Funkce: Po sepnutí spínače S napájecí zdroj nabíjí kondenzátor C, dodává energii do zátěže  $R_z$  a průchodem proudu přes tlumivku L v ní vytváří magnetické pole. Po vypnutí spínače S dochází k poklesu proudu tlumivkou. Na tlumivce L zaniká magnetické pole a napětí otočí svojí polaritu. Kondenzátor C je jediný zdroj, který napájí zátěž  $R_z$  napětí na něm pomalu klesá, je dobíjen energií z tlumivky. Poté se celý děj opakuje. Dioda D slouží pro uzavření obvodu při vypnutém spínači S a chrání proti zkratu napájecího zdroje při zapnutém spínači S.

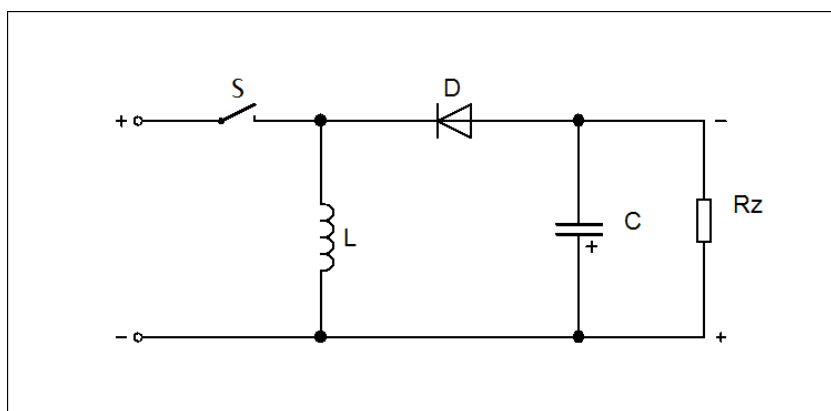


Obrázek 4: Zapojení snižujícího měniče

## 2.5 Invertující měnič

Stejně jako u zvyšujícího měniče, i zde hrozí proudové přetížení spínací součástky vlivem nízké spínací frekvence a nízké indukčnosti tlumivky. Napětí na výstupu je vždy menší, než napětí napájecího zdroje a má opačnou polaritu.

Funkce: Po sepnutí spínače S dochází k exponenciálnímu nárůstu proudu tlumivkou, ve které vzniká magnetické pole. Poté spínač S vypíná a proud zaniká. Se zanikajícím proudem zaniká i magnetické pole a napětí na tlumivce L změní polaritu. Dioda D je nyní v propustném směru a kondenzátor C se nabíjí. Celý obvod je uzavřen přes zátěž  $R_z$ . Na zátěži je napětí opačné polarity, než je napětí zdroje (Obrázek 5).

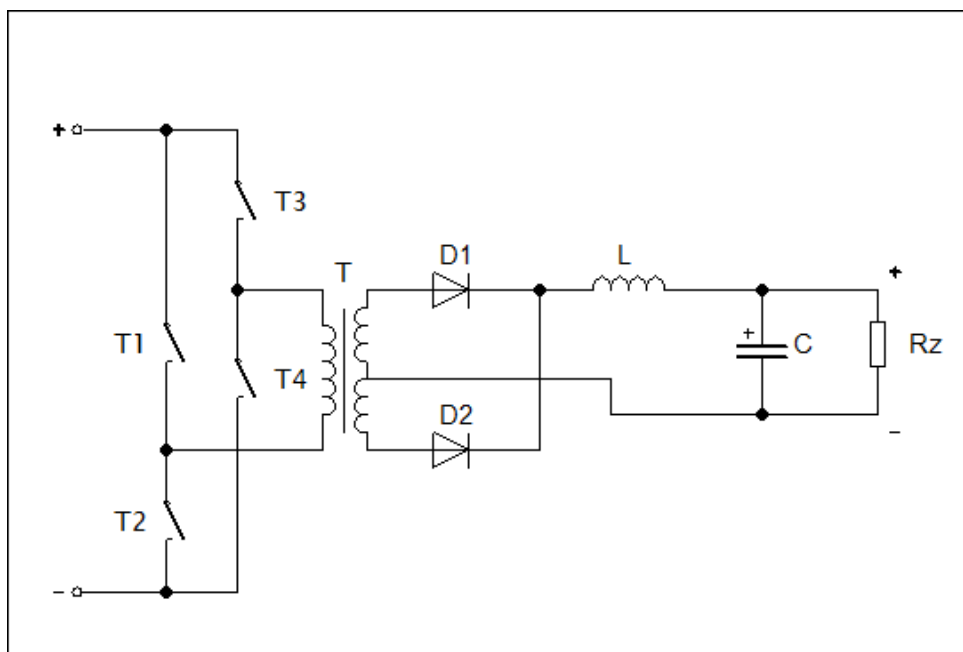


Obrázek 5: Zapojení invertujícího měniče

## 2.6 Dvojčinný plný můstek

Dvojčinný plný můstek (Obrázek 6) je vhodný pro vysoké výstupní výkony. Jedná se o složitější zapojení vzhledem k předchozím měničům, hlavně z pohledu řízení spínacích bloků. Zapojení obsahuje čtyři spínací součástky, u kterých se musíme zvláště vyvarovat sepnutí dvou v jedné větvi. Abychom sepnutí zamezili, používají řídicí obvody tzv. mrtvé časy, které zajišťují náležitou prodlevu mezi sepnutím spínačů v jedné větvi. Transformátor má menší rozměry, protože jako akumulátor energie slouží tlumivka L.

Funkce: Spínací součástky T1 a T4 jsou sepnuty a T2 a T3 jsou vypnuté. Proud transformátorem  $i$  exponenciálně narůstá a vniká magnetické pole na primárním vinutí. Protože transformátor obsahuje zavřený magnetický obvod přes feritové jádro, magnetické pole způsobuje magnetický tok jádrem. V sekundárním vinutí se pomocí magnetického toku indukuje napětí. To je usměrňováno diodou D1. Proud protékající tlumivkou L a akumuluje zde energii. Tlumivka L slouží jako zdroj proudu. Kondenzátor C vyhlazuje průběh napětí a celý obvod uzavírá zátěž R. Nyní se T2 a T3 sepnou a T1 a T4 vypnou. Polarita proudu procházející primárním vinutím transformátoru T se obrátí. Magnetický tok v jádře je též otočený a na sekundárním vinutí se indukuje napětí s opačnou polaritou, než při sepnutí T1 a T4. Napětí na sekundárním vinutí je usměrňováno diodou D2. Dioda D1 je v závěrném stavu. Dále následuje tlumivka L, kondenzátor C a zátěž R, tyto části obvodu mají stejnou funkci jako v předchozím případě.



Obrázek 6: Zapojení dvojitinného plného můstku

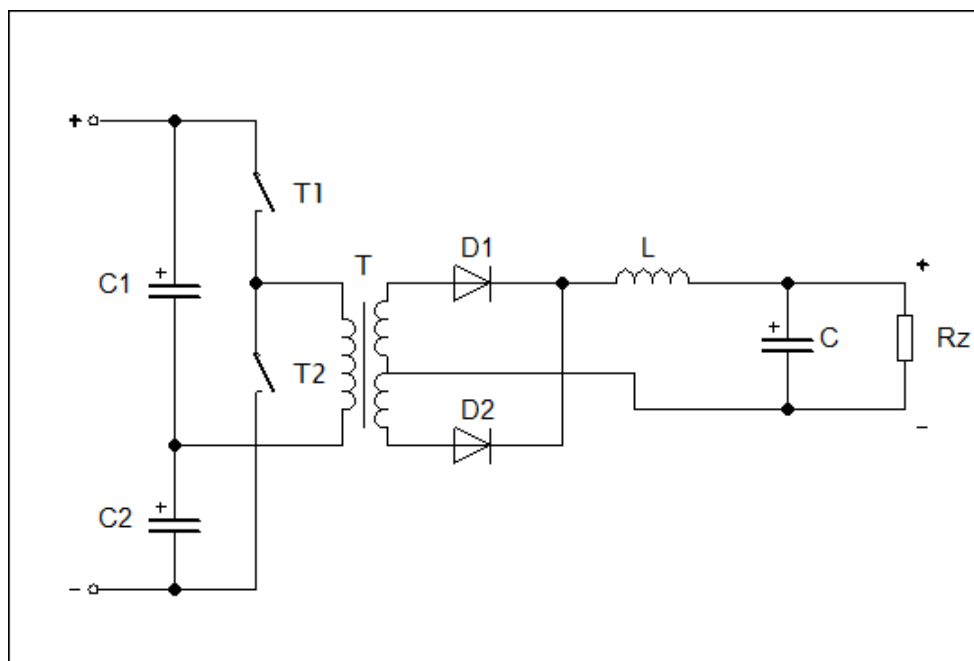
## 2.7 Dvojitinný půl-můstek

Výhodou tohoto zapojení (Obrázek 7) je menší počet spínacích součástek a tudíž menší ztráty. Stejně jako u předešlého zapojení, nesmí dojít k sepnutí spínačů v jedné větvi. Dvojitinný půl-můstek je stavěn na vyšší frekvence než plný můstek. Nevýhodou je poloviční výstupní výkon při stejném napětí, a vyšší zvlnění oproti plnému můstku.

Funkce: Pokud není sepnutý ani jeden spínací prvek, napětí mezi kondenzátory C1 a C2 by mělo být poloviční, než napájecí, ale protože je měnič v chodu a před sepnutím T1 byl sepnut T2, budeme uvažovat napětí na C2 blížící se k nule a napětí na C1 blížící se napájecímu napětí. Spínací prvek T1 je sepnut a T2 je vypnut. Kondenzátor C2 má proti zemi skoro nulové napětí a začne se exponenciálně dobíjet na napětí zdroje a C1 se vybíjí. Při dobíjení kondenzátoru prochází proud primárním vinutím transformátoru T a vytváří se jeho jádrem magnetický tok. V sekundárním vinutí se indukují napětí. Dioda D2 je v propustném stavu a dioda D1 v závěrném. Tlumivka L slouží k akumulaci energie. Kondenzátor C filtruje výstupní napětí na zátěži. V druhé fázi je T2 sepnut a T1 je vypnut. Kondenzátor C2 se vybíjí přes primární vinutí transformátoru T. Kondenzátor C1 se nabíjí ze zdroje. Průchod



vybíjecího proudu z kondenzátoru C2 je opačný, než při otevření T1, taktéž indukované napětí na sekundárním vinutí má otočenou polaritu. Dioda D1 je v propustném stavu a dioda D2 v závěrném. Tlumivka L, kondenzátor C a zátěž R mají stejnou funkci jako v předešlém cyklu.



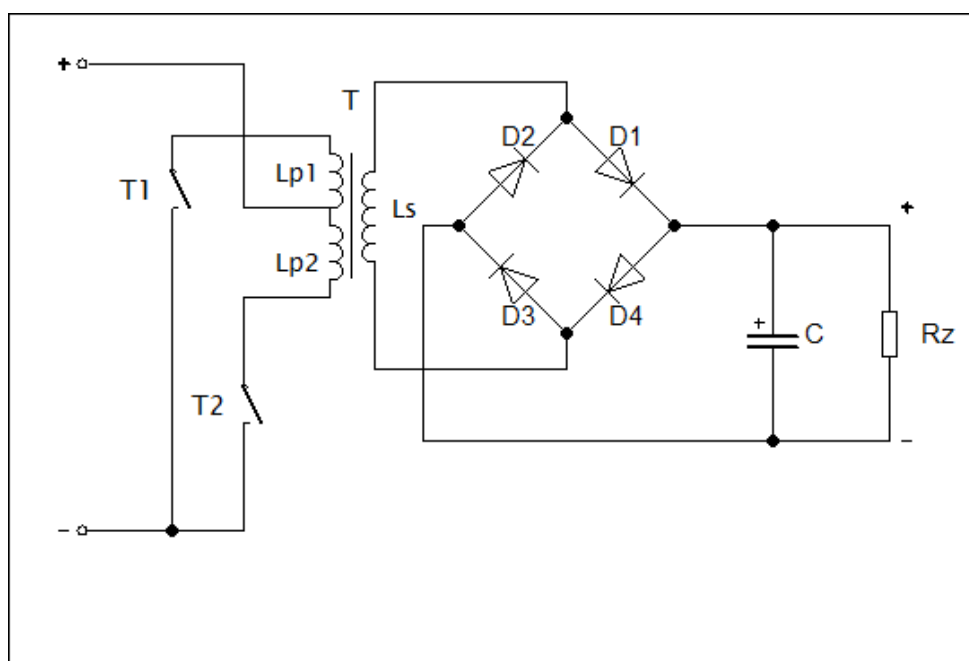
Obrázek 7: Zapojení polovičního můstku

## 2.8 Dvojitý měnič s vyvedeným středem primárního vinutí

Jedná se o nejpoužívanější měnič u ATX zdrojů. Výhoda tohoto měniče (Obrázek 8) je vysoký výstupní výkon a malé spínací ztráty, protože obsahuje jen dvě spínací součástky. Nevýhodou je transformátor s vyvedeným středem, jehož konstrukce je složitější a jeho cena vyšší. Napěťové namáhání spínacích prvků je dvojnásobné. Opět musíme dbát na mrtvé časy jednotlivých spínacích prvků, aby nedošlo ke zkratu.

Funkce: spínací prvek T1 je sepnut a T2 je vypnut. Proud primární cívkou  $L_{p1}$  exponenciálně narůstá a v magnetickém obvodu transformátoru T začíná téct magnetický tok. Tento tok budí sekundární vinutí a na tom se indukuje napětí. Napětí na sekundárním vinutí je usměrňováno můstkovým usměrňovačem, kdy dioda D1 a D3 jsou v propustném stavu a dioda D2 a D4 v závěrném, v kondenzátoru C je vyfiltrováno. Celý obvod uzavírá zátěž R. Spínací prvek T2 je sepnut a T1 je vypnut. Magnetické pole na primárním vinutí začíná

zanikat a napětí na vinutí Lp1 má hodnotu zdroje a otočenou polaritu. Toto napětí se sčítá s napětím napájecího zdroje a působí na zavřený spínací prvek T1. Proud procházející primárním vinutím Lp2 začne exponenciálně narůstat. Magnetický tok v jádru transformátoru má opačnou hodnotu, než v případě sepnutí T1. V sekundárním vinutí se indukuje napětí, které je dále usměrněno můstkovým usměrňovačem. Dioda D2 a D4 je v propustném stavu a dioda D1 a D3 v závěrném. Za usměrňovačem má napětí stejnou polaritu jako v prvním cyklu a je usměrňováno kondenzátorem C. Toto zapojení neobsahuje žádnou tlumivku na sekundární straně transformátoru T, která by sloužila jako akumulátor energie, proto musí být transformátor robustnější s větší indukčností a menší spínací frekvencí. Pokud bychom chtěli snížit ztráty, použijeme transformátor s vyvedeným středem i na sekundárním vinutí a usměrňovač ze dvou diod, jako tomu bylo u měniče s plným můstkem.



Obrázek 8: Zapojení dvojčinného měniče s vyvedeným středem primárního vinutí

### 3 Stabilizovaný zdroj

Stabilizovaný zdroj je zařízení, které dodává elektrickou energii do napájeného elektrického obvodu. Pokud se jedná o zdroj proudu, je díky stabilizaci výstupní proud konstantní. U zdroje napětí dochází ke stabilizaci výstupního napětí. Stabilizované zdroje můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou lineární stabilizované zdroje, které pracují na síťovém kmitočtu 50 Hz, ke stabilizaci se používá lineární obvod. Do druhé skupiny můžeme zařadit spínané stabilizované zdroje pracující většinou na mnohem vyšším kmitočtu, než je síťový.

#### 3.1 Lineární stabilizovaný zdroj napětí

Lineární stabilizovaný zdroj napětí se skládá ze čtyř základních částí. Transformátor, usměrňovač, filtr a stabilizátor.

Transformátor je elektrické zařízení transformující (převádějící) střídavé napětí o určité amplitudě a frekvenci na střídavé napětí jiné amplitudy a stejné frekvence. Většinou se jedná o vstupní napětí 230V a 50Hz na primárním vinutí. Výstupní napětí na sekundárním vinutí bývá o jednotky až desítky voltů větší, než potřebné výstupní stabilizované napětí.

Usměrňovač je zařazen za transformátorem. Přetváří střídavé napětí na sekundárním vinutí transformátoru na stejnosměrné. Jsou dva druhy usměrňovačů. Jednocestné a dvoucestné. Jednocestný usměrňovač je tvořen jednou diodou, která usměrňuje pouze jednu půl-periodu střídavého kladného průběhu. Záporný průběh je potlačen. Protože je usměrňena pouze jedna půl-perioda. Znamená to, že jednu půl-periodu je obvod bez napětí. Zvyšují se požadavky na filtrační obvod. Jednocestné usměrňovače se používají jen zřídka. Dvoucestný (můstkový) usměrňovač je tvořen čtyřmi diodami, kde vždy současně dvě vedou při kladné půl-periodě, zbývající dvě vedou při záporné půl-periodě. Výhodou tohoto zapojení je neustálá dodávka energie do mezi-obvodu, kromě nulových napětí mezi půlvlnami. Výhodou tohoto obvodu je eliminace ztráty napětí při záporné půl-periodě. Nevýhodou je větší počet součástek a dvojnásobné ztráty na diodách. Protože dochází k většímu úbytku napětí kvůli

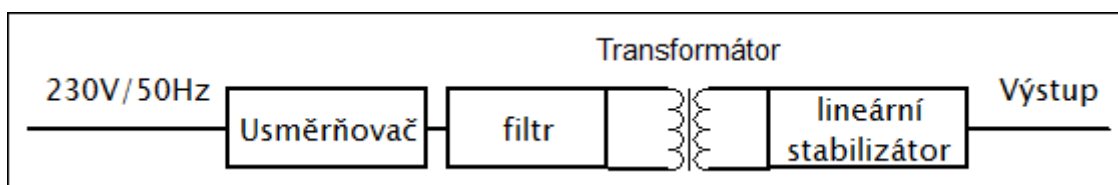
dvěma sériově zapojeným PN přechodům. Výstupem můstkového usměřovače jsou jen kladné půl-periody.

Filtr neboli napěťový mezi-obvod, umístěný za usměřovačem, má za úkol vyhladit napětí z kladných půl-vln, na co nejméně kolísající (stejnoseměrné) napětí. K tomuto účelu se používají kondenzátory o vysoké kapacitě. Pokud je výkon zdroje v řádu jednotek wattů, odebíraný proud netvoří v napájecí síti příliš velké proudové rázy, tudíž odebíraný proud nemusí být omezován. Od desítek wattů a výše, musí být proudový ráz omezován, proto se před filtrační kondenzátor předřazuje rezistor (vzniká tedy RC článek) nebo v lepším případě indukčnost (vzniká tedy LC článek). Tlumivka omezuje nárůst proudu odebíraného z napájení.

Stabilizátor je posledním členem v řetězci. Zajišťuje konstantní výstupní napětí i při různém zatěžovacím proudu. Nejjednoduššími stabilizátory jsou Zenerovy diody. Dále jsou tu integrované stabilizátory jako je například 78xx nebo 79xx. XX – je označení velikosti výstupního napětí stabilizátoru.

Výhodou těchto stabilizátorů je, že nedochází k rušení okolí nebo napájecí sítě vysokofrekvenčním signálem a jednodušší konstrukční uspořádání i nižší cenou.

Nevýhodou je nižší účinnost (okolo 70 procent), oproti spínaným zdrojům. Větší rozměry a samozřejmě i větší hmotnost.



Obrázek 9: Blokové schéma lineárního stabilizovaného zdroje

### 3.2 Spínaný stabilizovaný zdroj napětí

Spínaný stabilizovaný zdroj se skládá z vstupního filtru, usměřovače, filtru, výkonového spínače, vysokofrekvenčního (impulzního) transformátoru, usměřovače, výstupního filtru a řídicího obvodu s čidlem výstupního napětí, případně i proudu.

Vstupní filtr slouží k odfiltrování rušivých signálů, které vytváří vysokofrekvenční spínací obvod. Chrání napájecí síť. Obvykle bývá realizován jako LC nebo RC filtr. Ideální filtr by měl propouštět jen užitečný signál o frekvenci 50Hz a vyšší kmitočty nepropustit, ve skutečnosti takový filtr nelze vyrobit, proto je snaha se k ideálnímu filtru aspoň co nejvíce přiblížit. Při špatném návrhu vstupního filtru může zdroj sloužit jako zdroj vysokofrekvenčního rušení. Rušení se může projevit v audiotechnice jako pískání, může dojít k rušení citlivých elektronických systémů, nebo k vlastnímu rušení, například řídicího obvodu.

Usměrňovač je stejný jako v lineárním zdroji, tedy jednocestný nebo dvoucestný.

Filtr je tvořen kondenzátorem s vysokou kapacitou a tlumivkou pro eliminaci proudových rázů na napájecí síť. Tlumivka bývá navinuta do tvaru prstence nebo válce. Jádra tlumivek jsou nejčastěji z feritu.

Výkonový spínač je většinou tvořen unipolárním tranzistorem nejčastěji MOSFETem (metal oxid semi-conductor field efect transistor). Bipolární tranzistory se nepoužívají s důvodu nízké spínací frekvence a nižší vstupní impedance. Spínací frekvence spínaných zdrojů bývá v řádu desítek kHz pro zdroje řádově do několika jednotek KW. Pro velmi vysoké výkony řádů stovek KW, až jednotek MW používané například pro vlakovou nebo trolejbusovou dopravu jsou spínací frekvence v řádu jednotek KHz. Jako spínací součástka u takto velkých je většinou použit IGBT (isulated gate bipolar transistor). Jedná se o kombinaci bipolárního a unipolárního tranzistoru. Pro řídicí část se používá unipolární technologie a pro výkonovou část bipolární. Jedná se tedy o napěťově řízený zdroj proudu.

Vysokofrekvenční transformátor transformuje napětí, které je spínané výkonovým spínačem. Jelikož se jedná o frekvenci desítek KHz, nemusí být transformátor tak rozměrný a tudíž hmotný jako u lineárního stabilizovaného zdroje. Na sekundárním vinutí je napětí, které se znova usměrní. Jádra transformátoru jsou vzhledem k vysoké frekvenci z feritu.

Usměrňovač za VF transformátorem musí být z rychlých diod (shottkyho), z důvodu rychlého uzavření PN přechodu v blokovacím stavu. Používá se můstkové zapojení nebo transformátor s vyvedeným středem se dvěma diodami.

Výstupní filtr vyhladí výstupní napětí a odfiltruje vyšší harmonické. Nejčastěji LC filtry.

Pro realizaci zpětné vazby a tedy stabilizaci výstupního napětí je hodnota výstupního napětí snímána a v podobě signálu závislejícím na druhu převodníku přiváděna na řídicí obvod. Řídicí obvod vyhodnocuje signál z čidla a přizpůsobuje tomu spínací frekvenci výkonového spínače. Řídicí obvod může být realizován jednoduše jako pouhý komparátor. V tom případě se jedná o dvouhodnotovou regulaci. Bohužel tato regulace má široké spektrum rušivých signálů, a aby splňovala EMC normy, musí být zdroj dobře stíněn a mít filtr pracující v širokém spektru.

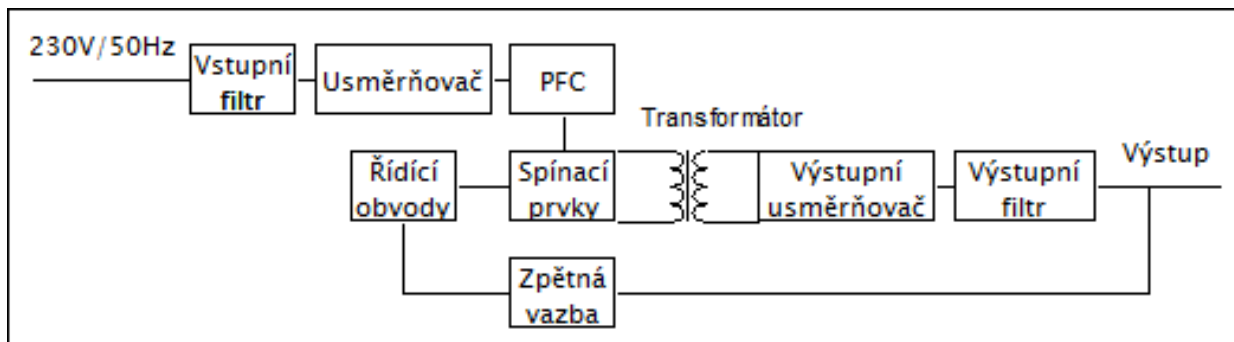
Dále je zde možnost použití složitějšího řídicího obvodu, jako je například mikroprocesor nebo integrovaný obvod. V tomto případě je výstupní napětí snímáno AD převodníkem, který nepracuje tak rychle, aby docházelo k dvouhodnotové regulaci. Nějakou hodnotu trvá, než převodník převede napěťovou hodnotu na binární signál, který dokáže mikroprocesor zpracovat. Podle výstupního napětí, které se porovnává s pevně zadanou hodnotou v mikroprocesoru, se vyhodnocuje střída pulzní šířkové modulace (PWM). PWM signál spíná výkonový spínač.

Výhodou spínaných zdrojů je vysoká efektivita a nízká hmotnost a na rozdíl od lineárních stabilizovaných zdrojů a cena s výkonem tak rapidně neroste.

Nevýhodou je složitost obvodu, a tvorba vyšších rušivých signálů a tedy i větší nároky na filtrační obvody a návrh aplikace. Další nevýhodou je více napájecích napěťových hladin (jádro procesoru 1.8V, periferie 3.3V pro oddělení analogové a digitální části, kvůli rušení) a potřeba galvanického oddělení.

PFC (Power Factor Correction) je zkratka, která označuje obvod pro kompenzaci účinníku. Není žádnou novinkou, že běžně používané ATX-spínané počítačové zdroje, AC-AC měniče nebo v mém případě AC-DC mají tyto vstupní obvody. Výkony, které jsou těmito měniči odebírané, jsou v mnoha případech vysoké. Existují pasivní a aktivní PFC. Jak již bylo zmíněno pasivní PFC je tvořen vstupní tlumivkou před filtračním kondenzátorem. Aktivní PFC je tvořen spínacím tranzistorem, který moduluje odebíraný proud ze sítě tak, aby co nejvíce připomínal ideální sinusovku a odběr probíhal rovnoměrně. Když měnič neobsahuje žádný druh PFC filtru a napětí v síti je větší, než na filtračním kondenzátoru, tak se otevřou usměrňovací diody a filtrační kondenzátor se nabíjí vysokým proudem, dokud na něm nestoupne napětí minimálně stejně, jako v síti. Tento okamžik trvá jen malou část periody síťového signálu a proud za takto krátkou chvíli je úměrný výstupnímu výkonu měniče. Takto

navržený měnič má jen zanedbatelnou šanci splnit evropské normy. Každý aktivní PFC snižuje efektivitu zdroje.



Obrázek 10: Blokové schéma spínaného stabilizovaného zdroje

## 4 Procesory

Processor je hlavní řídicí součástí regulovaného obvodu. Je mnoho různých procesorů, ze kterých si lze vybírat. Pokud se rozhodujeme, jaký procesor použijeme, musíme si ujasnit hned několik věcí. Na začátku výběru je důležitý počet procesorů. U použití jednoho procesoru je jednodušší aplikace a méně složitá diagnostika. Výhoda jen jednoho procesoru je HW a SW jednoduchost. Více, než jeden procesor se používá při aplikaci složitých řídicích systémů, kde například jeden zajišťuje regulaci a druhý diagnostiku a komunikaci. Třetí možností je použití procesoru a programovatelného pole. Toto spojení je velice používáno a vede k vysoké flexibilitě systému.

Pokud jsme si ujasnili počet potřebných procesorů, přejdeme k jejich parametrům. Základním parametrem je výpočetní výkon. Udává se v jednotkách MIPS (Million Instruction per second) a vyjadřuje kolik milionů instrukcí za sekundu je procesor schopen vykonat. U digitálních signálových procesorů (DSP) je většinou jedna instrukce prováděna v jednom taktu.

Dále je potřeba znát šířku datové sběrnice. V nynější době jsou nejčastěji používány 16 bitové procesory, ale postupně je nahrazují 32 bitové. Šířka datové sběrnice vyjadřuje kolik bitů najednou je schopen procesor přenést po datové sběrnici za jeden takt. Pokud

bychom měli například dvanácti bitový AD převodník, procesor s 8 bitovou datovou sběrnicí by ho zpracovával na dva takty, a procesor s 16 bitovou jen na jeden, což vede k dvojnásobné rychlosti.

Dalším parametrem je dostupnost periférií a jejich dostatečný počet. Pro pohonářské aplikace se jedná například o výstupy PWM, druhy komunikačních rozhraní jako je SCI, SPI nebo CAN a hlavně dostatek vstupních-výstupních bran (GPIO). Pro minimalizaci pinů procesoru jsou některé piny sdílené, jinak řečeno jeden pin může sloužit jako GPIO nebo jako PWM. Musíme tedy s tímto sdílením počítat.

Dalším krokem je dostatek systémových zdrojů, jako jsou časovače a čítače. Těchto systémových zdrojů bohužel nikdy není dost, proto je vždy požadováno jejich maximální množství.

Velice důležitá je paměť. Většinou jsou paměti kombinované. Jako programová paměť se používá RAM, protože je rychlejší, ale po odpojení napájení neuchovává obsah. Pro programovou paměť je většinou použita FLASH, která si v ní uložená data (v našem případě program) uchovává, ale jako datová paměť je pomalá a má jen omezený počet přepisů. Důležitými parametry paměti jsou tedy rychlost čtení u FLASH a počet přepisů, rychlost zápisu/čtení u RAM a velikost paměti. Pokud nestačí vnitřní paměť, potřebujeme vnější paměť, se kterou potřebuje procesor komunikovat. Proto musíme vzít v úvahu počet bitů adresové sběrnice a podle toho si zvolit paměť.

Následujícím bodem je kvalita a dostupnost vývojových prostředí. Pokud bychom měli výborný procesor a neměli bychom ho kde odladit, naprogramovat nebo simulovat, nebyl by nám moc platný. Proto potřebujeme kvalitní kompilátor jazyka C, přehledné vývojové prostředí a možnou dostupnost simulátoru.

Zvážit musíme i dostupnost procesoru na trhu. Pokud bychom si chtěli pořídit procesor, i když s velmi dobrými parametry, ale na trhu by byl špatně dostupný, mohli se připravit o drahocenný čas, po který je součástka doručována. Další skutečností je dostupnost procesoru v budoucnu, například pro výměnu zničeného procesoru, nebo replikace již hotového výrobku. Bez záruky dlouholetého výskytu procesoru na trhu v budoucnu není příliš moudré pro vývoj aplikace ztrácet čas.



Jestliže se jedná o složitý procesor a jeho studium by nám zabralo mnoho času. Měli bychom tedy volit procesor jiný, nejlépe nám již známý, kvůli minimalizaci časového nároku na jeho studium. Množství času, které vložíme do studia, bychom mohli upotřebit pro jinou činnost.

Poslední položkou je cenová náročnost. Cena je pro většinu spotřebitelů hlavním parametrem. Proto bychom měli hledat procesory v naší cenové kategorii. Jedná-li se o studentskou kategorii, tak většina studentů ví, že je dost nízko. Pro tyto případy se lze uchýlit k tzv. freesamples. Freesample je vzorek zdarma, například od firmy Texas Instrument. Jedná se jen o některé zástupce výrobků, sloužící zejména ke studijním a testovacím účelům. K procesorům si lze zdarma objednat i doplňující obvody jako jsou stabilizátory, paměti atd.

Jen pro zajímavost. Na trhu se objevují dva druhy procesorů, s pevnou řádovou čárkou a s plovoucí řádovou čárkou. Procesory s pevnou řádovou čárkou jsou již známé a jejich množství na trhu silně převyšuje procesory s plovoucí řádovou čárkou. Pokud porovnáme oba druhy procesorů, cena procesoru s pevnou řádovou čárkou je výrazně níže a taktovací frekvence je vyšší. Na druhou stranu procesor s plovoucí řádkou je jednodušší pro programování (jedná se hlavně o normování, atd.) a má větší přenositelnost kódu. Tento procesor je primárně navržen pro programování v jazyku C. U procesorů s pevnou řádovou čárkou je výhodnější programovat a assembleru. Pokud programujeme v jazyku C, záleží především na kvalitě kompilátoru, jak efektivní bude programový kód.

## **5 Pravidla návrhu DSP a EMC kompatibilita**

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je definována jako schopnost elektrického systému nebo zařízení odolávat rušivým elektromagnetickým signálům z okolí, tak i schopnost nevyzařovat rušivý signál do okolí a tedy nerušit okolní elektrické systémy. V důsledku neustále se zvyšujícího počtu elektronických zařízení, úroveň rušivého signálu roste a to ve velmi širokém pásmu od desítek Hz do stovek GHz. Jedná se zejména o pracující elektronický celek, který se skládá z různých částí a každá z částí vyzařuje elektromagnetické ručení. Pokud jedna z částí elektromagnetického celku pracuje s nízkými výkony, jako je

například mikroprocesor, vniká velká pravděpodobnost jeho rušení a tedy nesprávná funkčnost. Dalším příkladem je rušení televizního signálu například neodrušenou zapalovací svíčkou automobilu, bleskový výboj, jaderná bomba, elektrostatický výboj, okolí průmyslových oblastí nebo vedení velmi vysokého napětí atd. ve všech těchto příkladech je EMC velmi výrazným parametrem.

EMC můžeme rozdělit do dvou skupin. Zaprvé elektromagnetická interference (EMI) a zadruhé elektromagnetická susceptibilita (EMS).

EMI nebo také elektromagnetické rušení je proces, při kterém se elektromagnetické rušení šíří od elektrického systému nebo zařízení pomocí elektromagnetické vazby do okolních elektrických zařízení, které jsou rušeny. EMI se tedy zaměřuje především na zdroje rušení, jejich příčiny a měření rušivých signálů. Pokud je rušivý signál příliš vysoký, dosahuje se elektromagnetické kompatibility eliminací rušivých signálů u samotného zdroje. Pojem úroveň vyzařování popisuje rušení, které měřený zdroj vydává. Jedná se o závislost amplitudy rušivého signálu na frekvenci. S pojmem úroveň vyzařování je úzce spojen pojem mez vyzařování, který udává maximální povolené vyzařování v celém měřeném frekvenčním spektru daném normou. Rozdílem těchto dvou pojmů dostaneme rezervu návrhu.

EMS nebo také elektromagnetická odolnost se na rozdíl od EMI zaměřuje především na odolnost zařízení proti elektromagnetickému rušení. Jedná se o schopnost pracovat v prostředí s elektromagnetickým rušením. EMS se tedy soustředí hlavně na technické opatření, které navyšují elektromagnetickou odolnost, což znamená odstraňování důsledků elektromagnetického rušení. Podobně jako u EMI je zde pojem úroveň odolnosti, mez odolnosti a jejich rozdílem je zase rezerva v návrhu. Úroveň odolnosti je křivka ve frekvenční oblasti, kde její amplituda znázorňuje jak je systém odolný proti elektromagnetickému rušení a mez odolnosti je zase normou stanovená minimální odolnost systému.

Je logické co nejvíce snížit elektromagnetické rušení a zároveň co nejvíce navýšit elektromagnetickou odolnost výrobku a nejlevnější cesta, jak toho dosáhnout je od samotného návrhu desky plošných spojů. Pokud máme již výrobek hotový a EMC je nevyhovující, lze jej přizpůsobit například stínícími kryty, prostorovým uspořádáním, odrušovacími filtry atd., ale ve většině případů se bude jednat o finančně náročnější záležitosti.

## 5.1 Zásady návrhu desek plošných spojů

Zásady návrhu desek plošných spojů z hlediska EMC. Z pravidla platí pravidlo, že zařízení, které nevyzařuje rušivé signály, je zároveň odolné proti vnějšímu rušení.

Jedná se tedy o minimalizaci hodnot proudů, výběrem vhodných typů obvodů z hlediska vstupní impedance.

Minimalizaci proudových smyček, vhodným rozmístěním součástek, vedením spojů, správnou konfigurací napájení, zeměním, vstupním a výstupním zapojením kabeláže, správným blokováním napájení pomocí kondenzátorů. Toto pravidlo snižuje nejen EMI, ale i zvyšuje EMS. Příklady minimalizace proudové smyčky jsou, připojení oscilátoru co nejbližší procesoru, výkonové součástky soustředit co nejvíce k sobě kvůli minimální proudové smyčce, nejčastěji měnící se signálový vodič vést souběžně se zemnicím vodičem, případně proložit všechny signálové vodiče zemnicím vodičem a co nejkratší souběžné vedení signálových vodičů.

Minimalizaci kmitočtového spektra. Nepoužívat zbytečně rychlé obvody s rychlou změnou  $dU/dt$ , nebo zbytečně rychlou komunikaci atd.

Stínění, které potlačí vyzařování a zvýší odolnost.

Filtrace a ochrana vstupních a výstupních svorek proti elektrostatickým pulzům a přechodovým jevům.

Pokud je to možné, tak propojení chladičů se společným zemnicím vodičem. U součástek nad 75 MHz je toto propojení nutné, protože se na chladič pomocí kapacitní vazby přenáší kmitočtové spektrum z čipu a ten pak slouží jako zdroj elektromagnetického rušení. Tímto propojením lze snížit EMI až o 20 dB.

## 6 Závěr

Během vypracování diplomové práce jsem se teoreticky seznámil se spínanými stabilizovanými regulovatelnými napěťovými zdroji a s jejich modifikacemi. Získané zkušenosti jsem popsal v teoretické části práce. Základ znalostí jsem částečně získal již při studiu, ale nejsložitějším tématem, se kterým jsem se v této diplomové práci setkal, bylo studium řídicího obvodu, v mém případě studium procesorů. Zde jsem popsal jen základní pravidla pro jejich výběr a rozlišení. Teoretickou část jsem uzavřel vysvětlením veličin elektromagnetické kompatibility a základními pravidly návrhu plošných spojů.

Bohužel během počátku semestru nastaly osobní problémy, a jejich eliminace vyžadovala značnou dávku času. Majoritním problémem byla kritická finanční situace, k jejíž kompenzaci jsem využil většinu mého času a zbytek byl věnován běžným studijním účelům, jako přípravě na zkoušky a dennímu studiu. To je důvod, který mi znemožňoval plně se věnovat diplomové práci, a to hlavně jejímu praktickému zaměření. Proto odevzdávám nekompletní diplomovou práci a doufám v rozhodnutí o její opravě během následujícího roku, ve kterém už nemám žádné další studijní povinnosti.

## Použitá literatura

- [1] Záhlava, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů, Praha: Fakulta elektrotechnická (ČVUT), 2005
- [2] Pinker, Jiří; Koucký, Václav, Analogové elektronické systémy. 1. část , Plzeň : Západočeská univerzita 2004
- [3] Pinker, Jiří, Mikroprocesory a mikropočítače , Praha : BEN - technická literatura 2004