

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra Elektroenergetiky

Spínané zdroje pro průmyslovou a spotřební elektroniku

Switching power - supply for industrial and consumer  
electronic products

2010

VOJTĚCH LIŠKA

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 7. 5. 2010

Podpis: .....

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Petru Bernatovi Ph.D., za pomoc a odborné rady při psaní této práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá spínanými zdroji pro průmyslovou a spotřební elektroniku. Srovnává jejich vlastnosti, výhody a nevýhody. Začátek práce je věnován základním zapojením lineárních obvodů, protože části lineárních obvodů jsou i ve spínaných zdrojích. Dále jsou zde popsána základní zapojení spínaných zdrojů, jejich řízení a možnosti zapojení spínaných zdrojů bez indukčnosti a s obvody TOP switch. Na konci práce jsou uvedeny a zhodnoceny výsledky měření V-A charakteristik a zvlnění dvou spínaných zdrojů a jednoho lineárního.

## **Abstract**

Bachelor work is dealing with switched sources for industrial and consumer electronic products. It's comparing their characteristics, benefits and disadvantages. Start of the work is dedicated to basic wiring linear circuits, because the parts of linear circuits are in switched sources. Further are here described the basic wiring of the switched sources, theirs proceedings and possibilities wiring of switched sources without conductivity and with circuits TOP switch. In the end of work are introduced and reviewed results of measurement V-A characteristics of two switched sources and one's linear.

## **Klíčová slova**

Spínaný zdroj, lineární zdroj, usměrňovač, stabilizátor, řízení spínaného zdroje, zapojení spínaných zdrojů, zapojení s TOP switch, průmyslové spínané zdroje

## **Key words**

Switching power supply, linear power supply, rectifier, stabilizer, regulation of switching power supply, integration of switching power supply, integration with TOP switch, industrial power supplies

## Seznam některých použitých symbolů a zkratek

$C_N$	[F]	kapacita nabíjecího kondenzátoru
D		označení diody
I	[A]	proud
$I_z$	[A]	proud Zenerovou diodou
komp.		komparátor
$N_1$		primární vinutí transformátoru
$N_{2-x}$		sekundární vinutí transformátoru
OZ		operační zesilovač
p	[%]	zvlnění napětí na konci usměrňovače
R	[ $\Omega$ ]	rezistor
t	[s]	čas
T	[s]	doba periody
$U_0$	[V]	výstupní napětí, střední hodnota usměrněného napětí
$U_{ERR}$	[V]	zpětnovazební napětí
$U_{OSC}$	[V]	pilovité napětí signálu z oscilátoru
$U_{PWM}$	[V]	obdélníkový signál puzlně šířkové modulace
$U_{REF}$	[V]	referenční napětí
$u_{sek}$	[V]	napětí na sekundární straně transformátoru
$U_{\xi-\xi}$	[V]	napětí špička – špička, napětí mezi nejmenší a největší hodnotou usměrněného napětí
$u_{vst}$	[V]	vstupní napětí
ZD		Zenerova dioda

# OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Lineární zdroje .....	4
2.1. Síťové transformátory .....	4
2.2. Usměrňovače .....	4
2.2.1. Jednocestné usměrňovače .....	4
2.2.2. Dvoucestné usměrňovače .....	5
2.2.3. Můstkové usměrňovače .....	7
2.2.4. Zdvojovače.....	7
2.2.5. Násobiče napětí.....	9
2.3. Stabilizátory .....	10
2.3.1. Stabilizátor se Zenerovou diodou .....	10
2.3.2. Diferenciální stabilizátor.....	10
2.3.3. Napětíové referenční obvody .....	11
2.3.4. Lineární třísvorkové stabilizátory napětí .....	12
3. Spínané zdroje.....	13
3.1. Princip funkce .....	13
3.2. Základní zapojení spínaných zdrojů .....	14
3.2.1. Rezonanční spínaný zdroj .....	14
3.2.2. Propustné zapojení .....	15
3.2.3. Akumulující zapojení.....	15
3.2.4. Kombinované zapojení .....	16
3.2.5. Dvojčinné zapojení .....	16
3.2.6. Můstková zapojení.....	17
3.3. Způsoby řízení spínaných zdrojů .....	18
3.3.1. Pulzně šířková modulace .....	18
3.3.2. Proudová zpětná vazba .....	19
3.3.3. Rezonanční mód .....	20
3.4. Možnosti zapojení bez indukčnosti.....	20
3.5. Zapojení spínaných zdrojů pomocí integrovaných obvodů TOP switch.....	21
3.5.1. Popis obvodů.....	21

3.5.2. Popis jednotlivých vývodů a typické zapojení .....	22
3.6. Průmyslové spínané zdroje .....	23
3.6.1. Provedení a vlastnosti .....	23
3.7. Srovnání průmyslových zdrojů se zdroji pro spotřební elektroniku.....	24
3.8. Popis funkce obvodů pro spotřební elektroniku .....	26
3.8.1. Zdroj z videorekordéru Samsung.....	26
3.8.2. Zdroj z videorekordéru Sanyo .....	26
4. Měření volt-ampérové charakteristiky zdrojů pro spotřební elektroniku a srovnání výstupního zvlnění lineárního zdroje se spínaným.....	27
4.1. Popis jednotlivých zdrojů .....	27
4.1.1. Zdroj AT7002A .....	27
4.1.2. Zdroj ADP-20HB.....	28
4.1.3. Zdroj C2176A .....	29
4.2. Výsledky měření V-A charakteristik .....	30
4.3. Srovnání výstupních zvlnění měřených zdrojů.....	31
4.3.1. Výpočet zvlnění spínaného zdroje AT7002A 32V/2,2A.....	31
4.3.2. Výpočet zvlnění spínaného zdroje ADP-20HB 18V/1,1A.....	32
4.3.3. Výpočet zvlnění lineárního zdroje C2176A 30V/400mA .....	32
5. Závěr .....	34
6. Použitá literatura .....	35
7. Přílohy.....	36

# 1. Úvod

Spínané zdroje jsou běžnou součástí našeho života. I když je nevidíme, přesto jsou mezi námi, a ve spotřebičích, které běžně používáme a bez kterých si život v dnešní době nedokážeme představit. Jedná se například o počítače, tiskárny, různé přehrávače či jiná multimediální zařízení nebo nabíječky mobilních telefonů. Nalezneme je téměř ve všech moderních zařízeních, kde je potřebný převod střídavého síťového napětí na nízké stejnosměrné. To samé platí i v průmyslovém odvětví.

Cílem práce je porovnání lineárních a spínaných zdrojů podobných parametrů a srovnání spínaných zdrojů pro průmyslovou a spotřební elektrotechniku.

Bakalářská práce se nejprve zabývá lineárními zdroji. Výstupní obvody spínaných zdrojů jsou totiž nejčastěji koncipovány jako lineární zdroje. Ty jsou tvořeny jednocestnými nebo dvoucestnými usměrňovači, násobiči napětí a stabilizátory.

Další část patří spínaným zdrojům. Spínané zdroje mají mnoho druhů možných zapojení s indukčností, např. akumulující, jednočinné, dvoučinné atd. Jsou možná i zapojení bez indukčnosti s integrovanými obvody a s integrovanými obvody TOP switch.

V posledních částech práce jsou popsána dvě schémata spínaných zdrojů pro videorekordéry. Na závěr jsou uvedeny výsledky měření V-A charakteristik a zvlnění zdrojů pro napájení tiskáren značky Hewlett – Packard. Jsou to dva zdroje spínané a jeden lineární.



## 2. Lineární zdroje

Lineární zdroje jsou zařízení, která snižují síťové napětí 230 V na požadované nižší usměrněné napětí. Jsou tvořeny transformátorem snižujícím napájecí napětí na nižší požadované napětí, usměrňovačem napětí, stabilizátorem a dalšími částmi.

### 2.1. Síťové transformátory

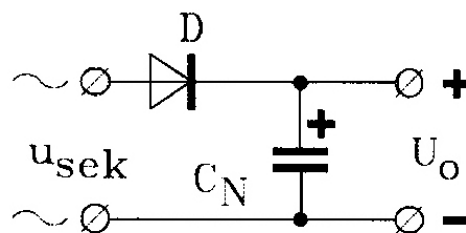
Síťové transformátory jsou elektrické netočivé stroje, které převádějí síťové napětí na nižší. Transformátorů je mnoho druhů, ale ve zdrojích se nejčastěji používají transformátory klasické a toroidní.

Jádro klasických transformátorů se skládá z transformátorových plechů nebo se využívají feritová jádra. Klasické transformátory se nejčastěji používají v obyčejných zdrojích, kde nevadí širší magnetické pole okolo transformátoru. Toroidní transformátory se nejčastěji používají ve zvukové technice, jelikož magnetické pole okolo transformátoru je velmi malé, a proto neruší zpracovávaný zvukový signál v zesilovači.

### 2.2. Usměrňovače

#### 2.2.1. Jednocestné usměrňovače

Jednocestné usměrňovače jsou usměrňovače, které nejjednodušším způsobem usměrňují střídavé napětí. Jednocestný usměrňovač se skládá z jedné usměrňovací diody a filtračního kondenzátoru. Jejich nevýhodou je použití pouze pro malé proudy, zvlnění napětí na jejich výstupu je velké.

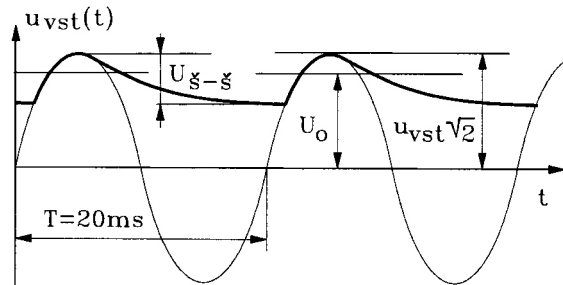


Obr. 1 schéma jednocestného usměrňovače ([1] str. 35)

Dioda se v tomto zapojení volí s dostatečnou rezervou než na jaký proud má být konstruován usměrňovač. Nejčastěji se volí dioda pro dvojnásobek výstupního proudu usměrňovače. Dalším faktorem volby diody je závěrné napětí. Pokud by byl usměrňovač bez zatížení, může se závěrné napětí rovnat součtu špičkové hodnoty napětí na sekundární straně transformátoru a napětí, na které se

dokáže nabít filtrační kondenzátor. Proto je nutné volit diodu, která je stavěna na minimálně 1,2 násobek usměřovaného napětí.

Kapacita kondenzátoru je volena dle potřeby velikosti zvlnění výstupního napětí. Čím menší zvlnění, tím lépe.



Obr. 2 průběh napětí na jednocestném usměřovači ([1] str. 35)

Zvlnění se počítá dle vztahu:

$$p = \frac{U_{\xi-\xi}}{U_0} \cdot 100 \quad (\%) \quad [1]$$

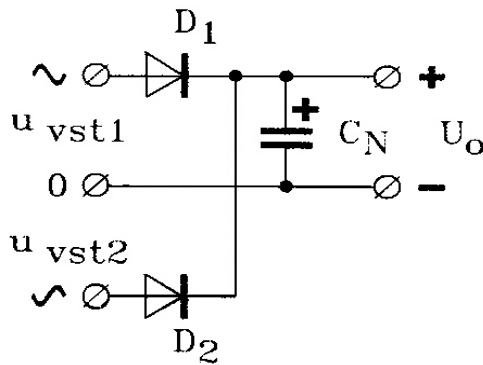
Vzorec pro výpočet kapacity výstupního filtračního kondenzátoru:

$$C_N = \frac{600 \cdot I}{p \cdot U_0} \quad (\mu\text{F}; \text{mA}; \% ; \text{V}) \quad [1]$$

Z praktického hlediska je dostačující velikost kapacity kondenzátoru, která zajistí zvlnění napětí maximálně 10 %. Velmi málo se totiž stává, že přímo za kondenzátorem je připojen spotřebič. Ve většině případů je za kondenzátorem připojen filtr nebo stabilizátor napětí.

## 2.2.2. Dvoucestné usměřovače

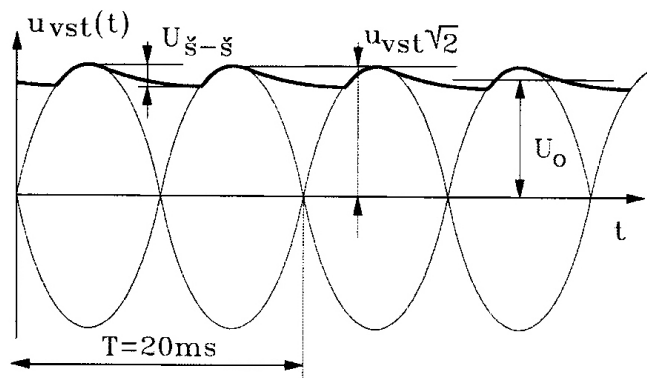
Dvoucestné usměřovače se skládají, na rozdíl od jednocestných usměřovačů, ze dvou diod. Jejich výhodou je možnost použití pro vyšší proudy, jejich zvlnění je poměrně malé. Další výhodou je, že každou diodou teče jedna polovina stejnosměrného proudu, který z usměřovače vychází. Napětově se dvoucestné usměřovače dimenzují stejně jako jednocestné.



Obr. 3 schéma dvoucestného usměřňovače ([1] str. 43)

Nevýhodou dvoucestných usměřňovačů je potřeba dvou stejných symetrických vinutí na sekundární straně transformátoru s vyvedeným středem. Po usměrnění se střed vinutí chová jako záporný pól a dva krajní konce vinutí napájí kladný pól.

Výpočet pro zvlnění je stejný jako u jednocestného usměřňovače.



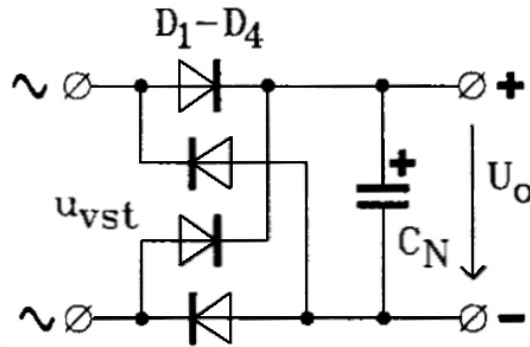
Obr. 4 průběh napětí na dvoucestném usměřňovači ([1] str. 43)

Z napěťových průběhů lze vidět, že zvlnění je menší než u jednocestného usměřňovače. Průběh střídavého napětí je u dvoucestného usměřňovače dvojitý. Tlustá křivka na obr. 4 proto nemůže klesnout tak nízkou jako u jednocestného. Než se stihne filtrační kondenzátor vybit, tak se nabíjí další špičkou usměrněného střídavého napětí. Díky tomu je napětí  $U_{s,s}$  menší než u jednocestného usměřňovače. Jinými slovy, zvlnění jednocestného usměřňovače má 50Hz, kdežto u dvoucestného usměřňovače je zvlnění rovno 100 Hz. Z toho vyplývá, že není potřeba tak velké kapacity kondenzátoru, a proto se mění vztah pro jeho výpočet.

$$C_n = \frac{300 \cdot I}{p \cdot U_o} \quad (\mu\text{F}; \text{mA}; \% ; \text{V}) \quad [1]$$

### 2.2.3. Můstkové usměrňovače

Jsou to usměrňovače, které využívají tzv. Graetzův můstek. Jedná se svým způsobem o dvoucestné zapojení diod, kdy není potřeba, jako u dvoucestného usměrňovače, dvojitěho symetrického sekundárního vinutí na transformátoru.

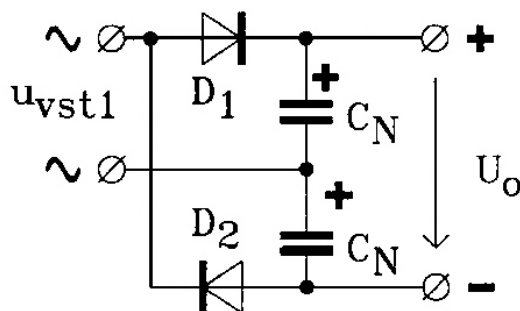


Obr. 5 schéma Graetzova můstku ([1] str. 45)

Stejně jako u dvoucestného zapojení, tak i u můstkového zapojení teče každou diodou polovina výstupního stejnosměrného proudu. Závěrné napětí diod by mělo mít hodnotu více jak dvojnásobek výstupního napětí ze zdroje. Kapacita kondenzátoru se počítá shodně jako u dvoucestného usměrňovače. V dnešní době se velmi málo zapojuje můstek ze samostatných diod. Ve většině případů se volí samostatná součástka jako můstek, ve které jsou diody zakomponovány. Tato součástka se mnohem lépe připojuje na chladič.

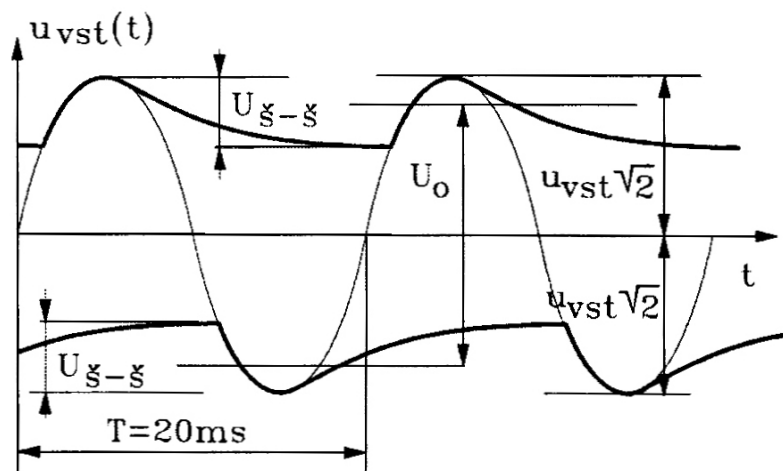
### 2.2.4. Zdvojovače

Zdvojovače jsou dva jednocestné usměrňovače, které zdvojují napětí. Svými vstupy jsou spojeny paralelně, ale jejich výstupy jsou spojeny sériově. Díky tomu je na výstupu 2x větší napětí. Toto zapojení se používá při potřebě 2x většího napětí, než které je na výstupu z transformátoru.



Obr. 6 schéma zdvojovače ([1] str. 46)

Celkové napětí na výstupu zdvojovače se vypočte podle vztahu:  $U_0 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u_{vst1}$



Obr. 7 průběh napětí na zdvojovači ([1] str. 48)

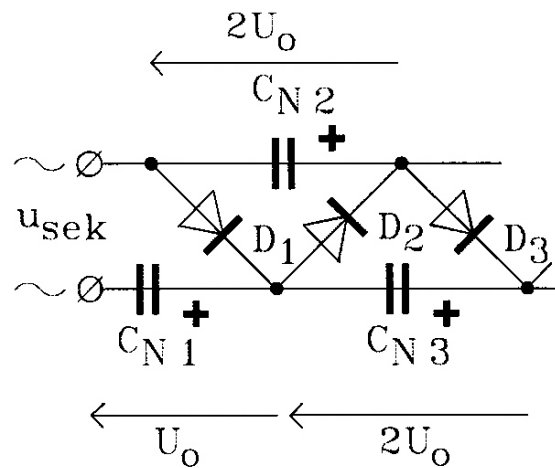
Ze zobrazeného průběhu na obr. 7 lze vidět, že tvar zvlnění a jeho hodnota by měly být téměř stejné jako u jednocestného usměřovače. Jediným rozdílem je průběh zvlnění pro kladný i záporný pól. Kapacita každého z filtračních kondenzátorů se počítá obdobně jako u jednocestného či dvoucestného usměřovače, pouze s tím rozdílem, že konstanta se změnila na hodnotu 1200.

$$C_n = \frac{1200 \cdot I}{p \cdot U_0} \quad (\mu\text{F}; \text{mA}; \% ; \text{V}) \quad [1]$$

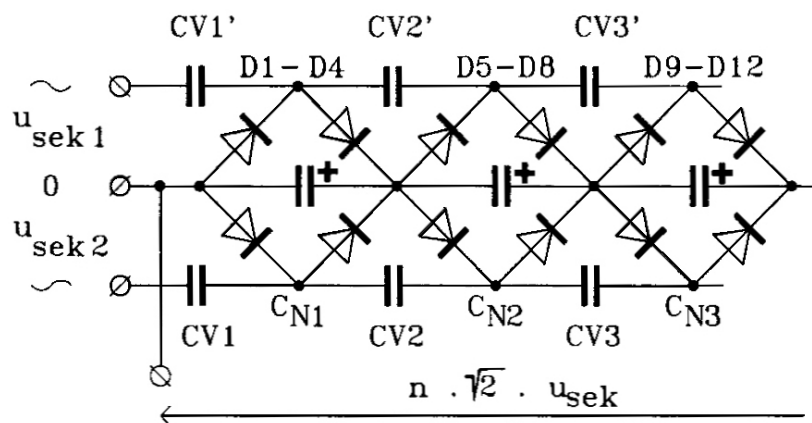
## 2.2.5. Násobiče napětí

Jedná se opět o usměrňovače. Jsou zkombinovány tak, aby výstupní napětí z usměrňovače násobily. Teoreticky je možné konstruovat násobiče tak, aby násobily vstupní napětí do nekonečna. Z hlediska účinnosti se však konstruují pouze do desetinásobku vstupního napětí.

Násobiče jsou jednocestné, tzv. Delonův násobič, a dvoucestné, které jsou tvořeny z Graetzových můstků.



Obr. 8 schéma zapojení třístupňového Delonova násobiče napětí ([1] str. 51)



Obr. 9 schéma zapojení třístupňového dvoucestného násobiče z Graetzových můstků ([1] str. 53)

## 2.3. Stabilizátory

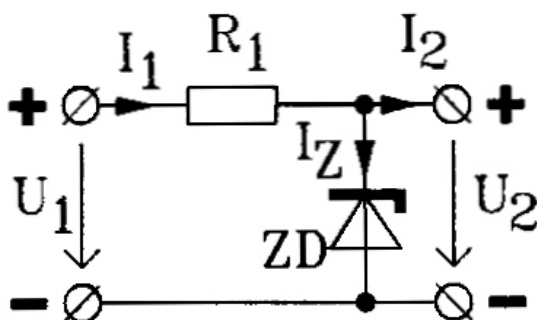
Stabilizátory jsou obvody, které dokáží stabilizovat napětí na požadovanou hodnotu. Nejčastěji se používají ve spojení s usměrňovači, protože napomáhají filtrovat střídavé složky usměrněného napětí (zvlnění).

Stabilizátorů je velmi mnoho druhů, od nejjednodušších zapojení se Zenerovou diodou po integrované třísvorkové či vícesvorkové stabilizátory.

### 2.3.1. Stabilizátor se Zenerovou diodou

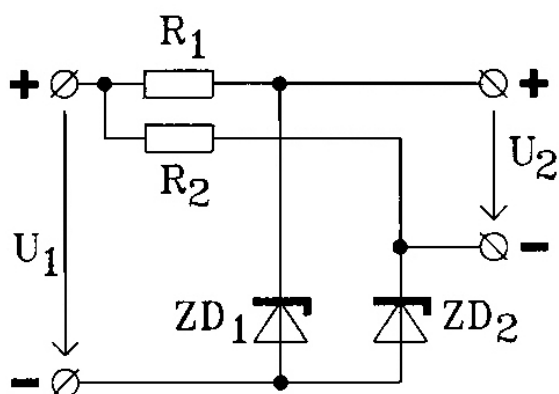
Zapojení se Zenerovou diodou patří mezi nejjednodušší zapojení diody jako stabilizátoru napětí.

Vlastností Zenerovy diody se využívá při jejím zapojení v závěrném směru. Dochází k nárůstu proudu, ale její závěrné napětí téměř neroste. Zenerovu diodu je proto nutné volit podle potřeby velikosti výstupního napětí.



Obr. 10 schéma zapojení Zenerovy diody jako stabilizátoru ([1] str. 61)

### 2.3.2. Diferenciální stabilizátor



Obr. 11 schéma zapojení diferenciálního stabilizátoru ([1] str. 61)

Diferenciální stabilizátor je z praktického hlediska jen zapojení dvou jednoduchých stabilizátorů. Výstupní napětí se rovná rozdílu napětí obou stabilizátorů.

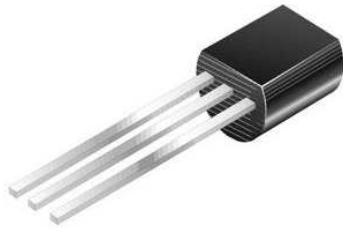
$$U_2 = U_{ZD1} - U_{ZD2} \quad [1]$$

Mezi další možnosti zapojení patří stabilizátor s posunutým výstupním napětím, symetrický stabilizátor napětí nebo také kaskádní stabilizátor.

Existují stabilizátory, ve kterých jsou zapojeny tranzistory a operační zesilovače. Takových zapojení je ale velmi mnoho, a nejsou obsahem práce.

### 2.3.3. Napět'ové referenční obvody

Předchozí zapojení stabilizátorů se využívalo dříve, v dnešní době se využívají integrované napět'ové referenční obvody, které mají mnohem lepší parametry. Jejich hlavní výhodou je stabilita výstupního napětí a přesnost. Funkci ale splňují naprosto stejnou jako klasické zapojení. Ve většině případů jsou vyráběny v pouzdrech TO92 nebo DIP8.

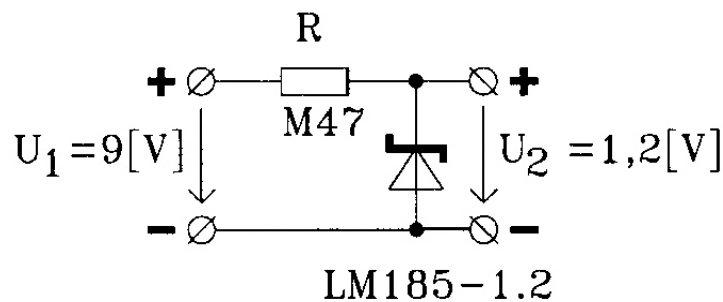


Obr. 12 vzhled pouzdra TO92 ([3])



Obr. 13 vzhled pouzdra DIP8 ([3])

Zapojení těchto obvodů je shodné jako u Zenerových diod a jejich schématická značka je téměř stejná.



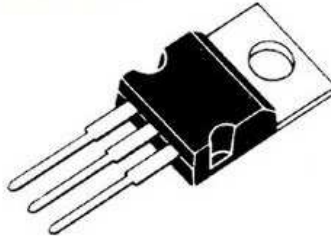
Obr. 14 příklad zapojení napět'ové reference ([1] str. 68)

Dokonalejší typy napět'ových referencí obsahují navíc proudový zdroj, čímž se možnost jejich použití zvyšuje. Proto mají ještě jeden vstup do pouzdra. Některé typy napět'ových referencí mají možnost nastavení výstupního napětí nebo mají více výstupů, kdy na každém výstupu je jiné napětí.



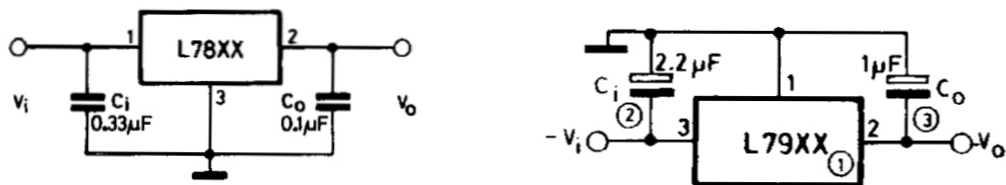
### 2.3.4. Lineární třísvorkové stabilizátory napětí

Tyto stabilizátory se dělí na několik druhů. Mohou být jak kladné, tak záporné, sledovací, s pevným výstupem a nebo také plovoucí. Většinou jsou vyráběny v pouzdech TO220 a jejich maximální proud bývá od 1 do 3 A.



Obr. 15 vzhled pouzdra TO220 ([3])

Kladné stabilizátory s pevným výstupním napětím jsou značeny čísly 78XX. Záporné stabilizátory jsou značeny 79XX.



Obr.16 základní zapojení stabilizátorů 78XX a 79XX ([4] str. 99)

Nespornými výhodami těchto stabilizátorů je jednoduché zapojení včetně montáže, přesná stabilizace napětí a jejich cena. Poměrně velkou nevýhodou stabilizátorů řady 79XX je, že nedokáží stabilizovat naprázdno. Zaručené stabilizované napětí je až při odběru 5 mA.

## 3. Spínané zdroje

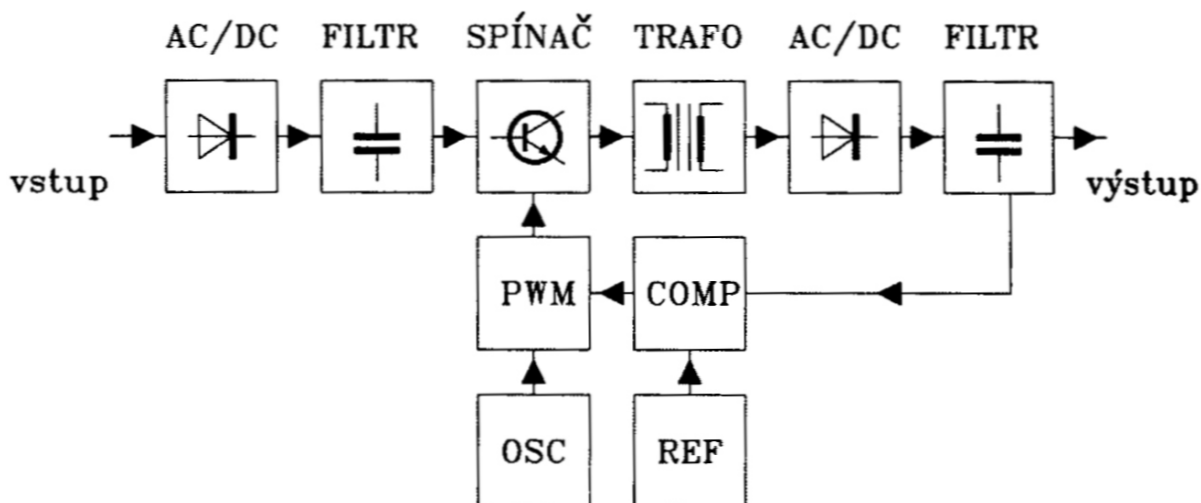
V dnešní době jsou spínané zdroje základním prvkem ve většině spotřebičů, ať už se jedná o výpočetní techniku nebo spotřební elektroniku. V porovnání s klasickými lineárními zdroji je jejich velkou výhodou vysoká účinnost, malé rozměry a váha. Je to zejména proto, že spínané zdroje pracují na mnohem vyšší frekvenci než klasické. Jsou schopny pracovat na jakýchkoli vysokých frekvencích. Čím je vyšší frekvence, na které zdroj pracuje, tím je vyšší účinnost zdroje. Rovněž nevyužívají velkých transformátorů k převodu z vysokého síťového napětí na nižší, a proto jsou mnohem lehčí a menší.

### 3.1. Princip funkce

Do spínaného zdroje je přiváděno síťové napětí o kmitočtu 50 Hz. To se usměrní na diodách a pokračuje na vstupní filtrační kondenzátor.

Usměrněním vstupního napětí vzniká potřeba převést toto napětí na nižší hodnotu. Proto je nutné přeměnit toto napětí na střídavou složku. To provádí „spínače“. Jsou to vysokofrekvenční tranzistory, které jsou schopny při kmitočtech od 20 kHz do 1 MHz vytvářet střídavý obdélníkový průběh. Poté se napětí převádí na nižší hodnotu na indukčnosti nebo na transformátoru. Na transformátor jsou kladeny poměrně velké požadavky, jelikož celková účinnost celého zdroje závisí hlavně na něm. Jádra transformátorů jsou feritová, protože klasická jádra z trafoplechů jsou pro tak vysoké kmitočty nevhodné. Následně se výstupní převedené napětí opět usměrňuje a filtruje. Zde jsou kladeny velké nároky na diody. Musí být stavěny na vysoké frekvence a ne jen na klasický síťový kmitočet 50 Hz. Diody musí mít malou vypínací a spínací dobu, a také malou kapacitu PN přechodu. Na výstupní filtr již vysoké nároky kladeny nejsou. Čím je vyšší frekvence na výstupu z usměrňovače, tím je potřebná menší kapacita kondenzátoru. Vzhledem k tomu, že se navíc jedná o usměrňování obdélníkového průběhu, tak zvlnění za diodami je již velmi malé. Proto je poměrně malá kapacita schopna bez problémů vyfiltrovat zbylé zvlnění.

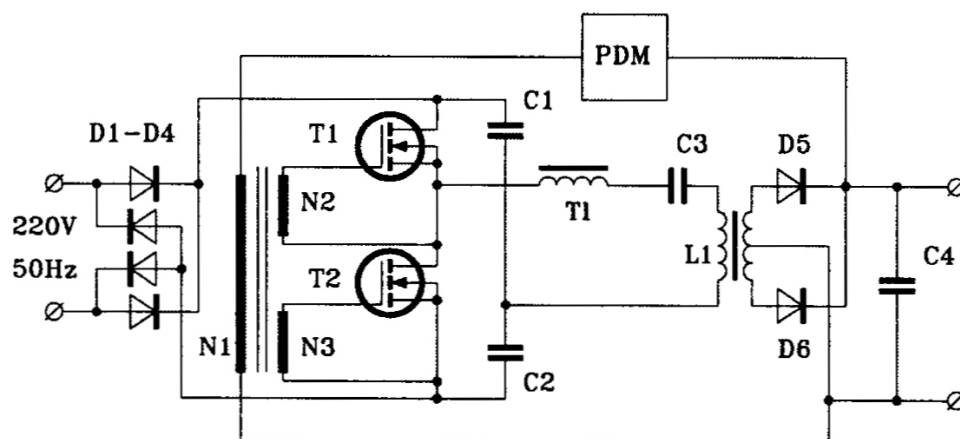
Z výstupního filtračního kondenzátoru jde výstupní napětí přes zpětnou vazbu do komparátoru. Je to obvod, který porovnává výstupní napětí s referenčním napětím. To je vyrobeno ve vedlejším obvodu. Jejich rozdíl poté směřuje do pulzně šířkového modulátoru, kde navíc vstupuje signál z oscilátoru. Z modulátoru jde signál na vysokofrekvenční tranzistory, kde se usměrněné síťové napětí mění na napětí vysokofrekvenční.



Obr. 17 blokové schéma spínaného zdroje ([1] str. strana 207)

## 3.2. Základní zapojení spínaných zdrojů

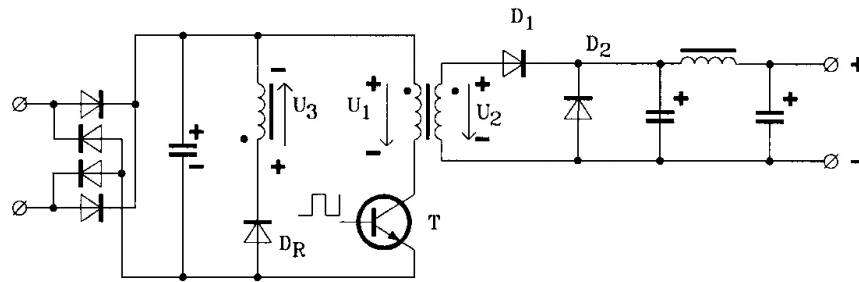
### 3.2.1. Rezonanční spínaný zdroj



Obr. 18 rezonanční spínaný zdroj ([1] str. 213)

Rezonanční spínaný zdroj pracuje na principu sériové rezonance. Síťové napětí se usměrní a vyfiltruje. Sériový rezonanční obvod tvoří kondenzátor  $C_3$  a cívka  $L_1$ , která je také primárním vinutím transformátoru. PDM obvod, který je znázorněn na obr. 18, budí pomocný transformátorek pulzním kmitočtem  $f_0$  na vinutí N1. Vinutí N2 a N3 slouží k časovanému otvírání obou spínacích tranzistorů. Pokud se změní výstupní hodnota napětí, tak PDM obvod změní frekvenci, aby se co nejvíc podobala té rezonanční. Díky tomu začíná rezonančním obvodem protékat větší nebo menší proud, a proto se zvyšuje nebo snižuje jeho impedance. Tím se zvyšuje nebo snižuje výstupní napětí na potřebnou stanovenou hodnotu.

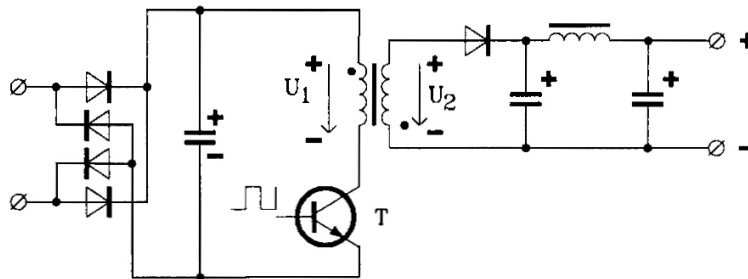
### 3.2.2. Propustné zapojení



Obr. 19 propustné zapojení spínaného zdroje ([1] str. 215)

Propustné zapojení se vyznačuje přímým přenosem toku energie. Proud teče zároveň primárním i sekundárním vinutím za předpokladu sepnutého spínacího tranzistoru. Velmi záleží na polaritě vinutí a polaritě výstupní diody. Mají-li vinutí začátek na stejné straně, a pokud je na začátek primárního vinutí přiváděno kladné napětí, tak na sekundárním výstupu bude stejný potenciál. Jestliže vinutí budou opačná, bude napětí na výstupu záporné. Proto je nutné diody otočit. Důležitým prvkem v obvodu je vinutí u diody  $D_R$ , na kterém je napětí  $U_3$ . Jedná se o rekuperační vinutí s rekuperační diodou. Toto vinutí indukuje napětí na sekundáru jen tehdy, není-li sepnut tranzistor.

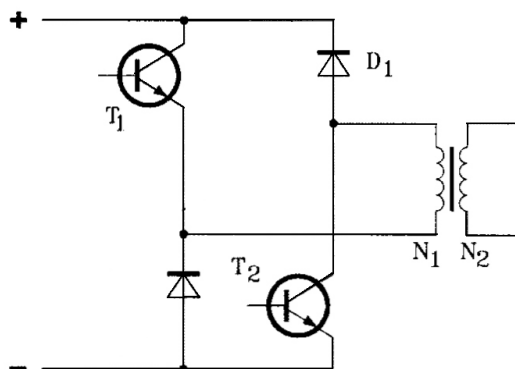
### 3.2.3. Akumulující zapojení



Obr. 20 akumulující zapojení spínaného zdroje ([1] str. 217)

Akumulující zapojení se liší od propustného zapojení tím, že neobsahuje rekuperační vinutí a diodu. Vinutí transformátoru jsou otočena proti sobě. V tomto případě není rekuperační vinutí nutné. Pouze by zlepšovalo účinnost přenosu energie, která se akumuluje v primárním vinutí, když je tranzistor rozepnut. Sepnutím tranzistoru začne vinutím procházet proud, a současně se na sekundárním vinutí naindukuje napětí  $U_2$  (v opačné polaritě než je zobrazeno na obrázku). Až se tranzistor rozepne, tak se na sekundárním vinutí naindukuje napětí v polaritě, kterou je schopna usměrňovací dioda propustit. Zdroje s takovýmto zapojením se využívají pro výkony od 20 do 50 W a pracují, v závislosti na použitých součástkách, přibližně od 50 do 500 kHz. Jejich účinnost bývá okolo 80 %.

### 3.2.4. Kombinované zapojení

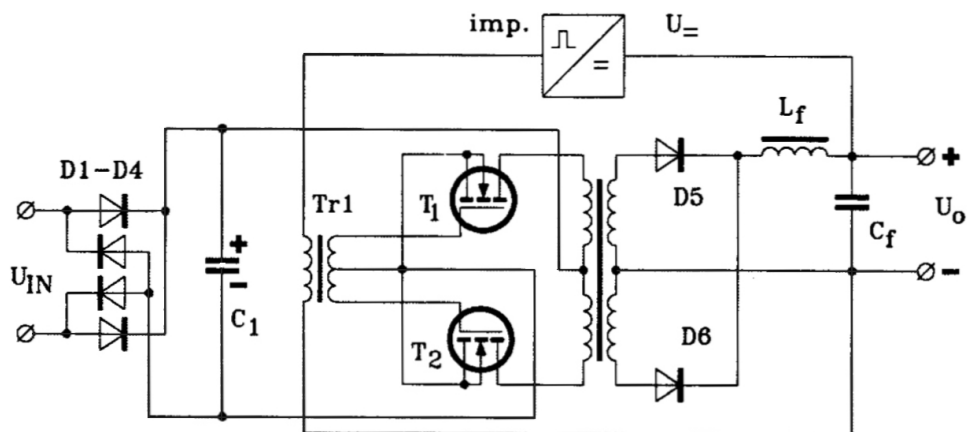


Obr. 21 kombinované zapojení vstupní části spínaného zdroje před primárním vinutím ([1] str. 221)

Kombinované zapojení se používá pokud rekuperační vinutí komplikuje návrh zapojení. Jak je zobrazeno na obr. 21, je tvořeno dvěma tranzistory a dvěma diodami.

Při sepnutí obou tranzistorů protéká proud přes tranzistor  $T_1$  na vinutí  $N_1$  a poté přes tranzistor  $T_2$  k zápornému pólu. Jakmile jsou tyto tranzistory uzavřeny, protéká proud od záporného pólu přes diodu  $D_2$  na vinutí  $N_1$ , a poté přes diodu  $D_1$  teče ke kladnému pólu. O tom, zda se jedná o zapojení akumulací nebo propustné, rozhoduje polarita zapojení usměrňovací diody připojené na sekundární vinutí.

### 3.2.5. Dvojčinné zapojení



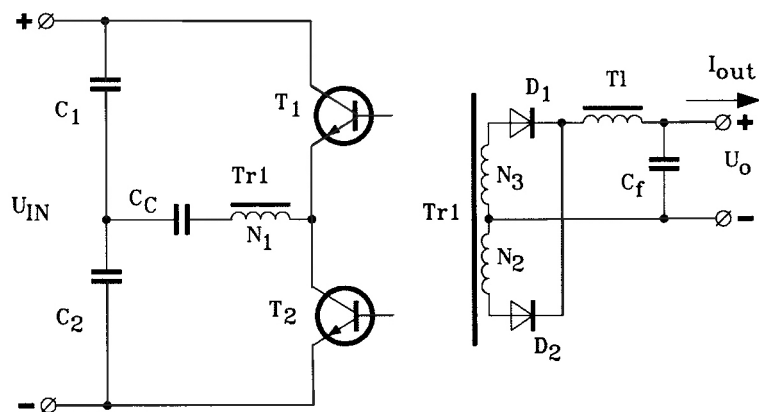
Obr. 22 dvojčinné zapojení spínaného zdroje ([1] str. 222)

V dnešní době se v téměř naprosté většině spínaných zdrojů nachází dvojčinné zapojení. Důležitým prvkem v obvodu je primární a sekundární vinutí transformátoru, které je symetrické. To je napájeno

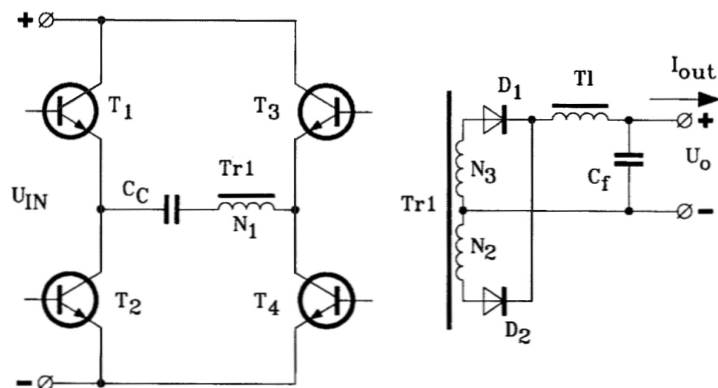
dvěma tranzistory, které jsou zapojeny inverzně. Je-li jeden tranzistor sepnut, druhý je rozpojen. Vstupní usměrňovač se často volí jako dvoucestný nebo můstkový. Na sekundární straně vinutí se používá dvoucestné usměrnění. Účinnost těchto zdrojů se pohybuje nad 80 %, neboť pracovní frekvence bývá běžně okolo 200 kHz.

### 3.2.6. Můstková zapojení

Jedná se o zapojení tranzistorů na straně primárního vinutí. Rozdělují se na polomosty a plné mosty. Nečastěji se používají polomosty. Plné mosty se využívají pro zdroje s nejvyššími výkony do 1 kW.



Obr.23 příklad zapojení polomostu ([1] str. 227)

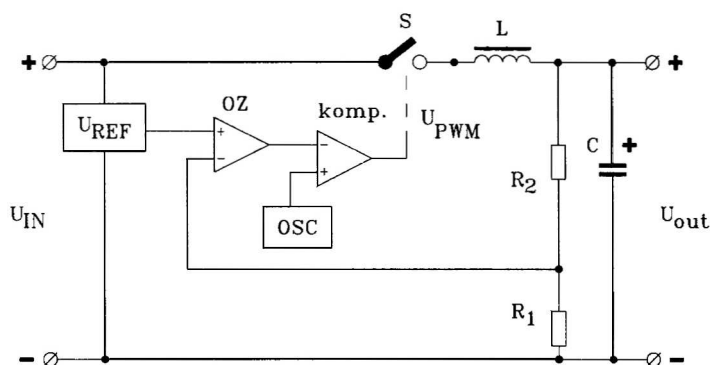


Obr.24 příklad zapojení plného mostu ([1] str. 230)

### 3.3. Způsoby řízení spínaných zdrojů

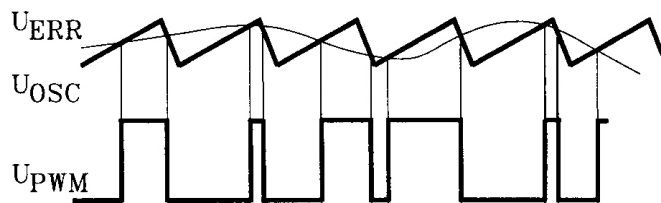
#### 3.3.1. Pulzně šířková modulace

Pro pulzně šířkovou modulaci se používá zkratka PWM pocházející z anglického výrazu pulse width modulated. Je to způsob řízení spínaných zdrojů, který porovnává rozdíl napětí mezi výstupním napětím zdroje a referenčním napětím oscilátoru. Podle tohoto rozdílu se zvyšuje nebo snižuje hodnota budícího napětí, které je přiváděno na transformátor, aby se výstupní napětí co nejvíce rovnalo referenční hodnotě.



Obr. 25 zapojení pulzně šířkové modulace ve spínaných zdrojích ([1] str. 231)

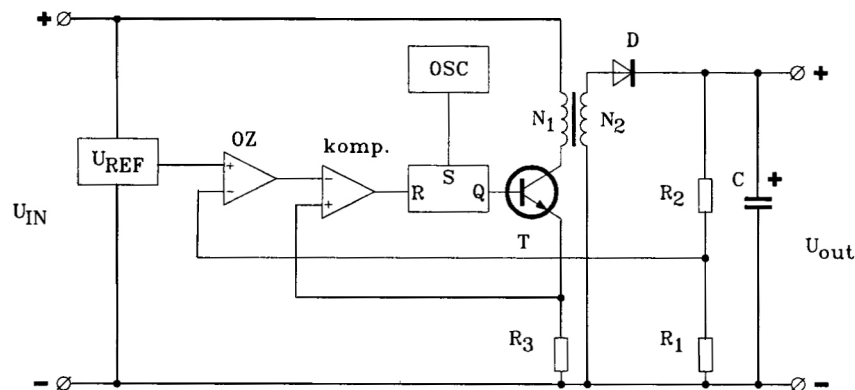
Hodnota referenčního napětí získávána z  $U_{REF}$  je přiváděna na neinvertující vstup operačního zesilovače. Zmenšená výstupní hodnota (pomocí děliče napětí) výstupního napětí  $U_{out}$  je přiváděna na jeho invertující vstup. Operační zesilovač zesiluje pouze odchylku těchto dvou napětí. Výstupní signál operačního zesilovače jde na invertující vstup komparátoru. Dále je na neinvertující vstup komparátoru přiváděn pilovitý signál z oscilátoru. Výsledkem je pulzně šířkově modulovaný signál na výstupu z komparátoru, který jde na spínač S. Spínač svým sepnutím dobíjí kondenzátor C na výstupu, a tím se reguluje jeho napětí.



Obr. 26 průběhy napětí při řízení pulzně šířkovou modulací ve spínaných zdrojích ([1] str. 231)

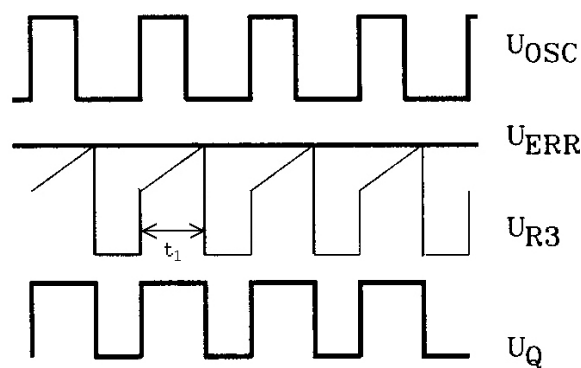
Výstupní napětí musí být vždy větší než referenční. Pokud tomu tak není, je výstupní napětí z operačního zesilovače menší než pilovitý signál z oscilátoru, a tím se na výstupu objeví pulzní šířkově modulované napětí, které spíná spínač. Nevýhodou tohoto řízení je proměnná frekvence a střída. Může být problém výstupní napětí vyfiltrovat, a proto se mohou na výstupu objevovat zvlnění.

### 3.3.2. Proudová zpětná vazba



Obr. 27 schéma zapojení proudové zpětné vazby ([1] str. 232)

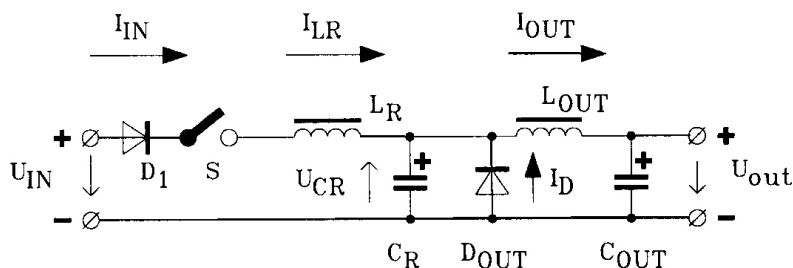
V tomto zapojení zjišťuje operační zesilovač odchylku výstupního napětí od napětí referenčního. Poté jde zesílený rozdíl napětí na komparátor, kde je porovnáván s napětím na rezistoru  $R_3$ , které je přímo úměrné emitorovému proudu spínacího tranzistoru. Rozdíl napětí je porovnáván proto, že emitorový proud je úměrný velikosti výstupního napětí  $U_{out}$ . Proudová zpětná vazba funguje tak, že jakmile se nadměrně zvýší kolektorový proud tranzistoru (zvýší se  $U_{out}$ ), tak komparátor zablokuje klopný obvod RS a tím nepřijdou žádné impulsy na spínací tranzistor. Díky tomu se výstupní napětí sníží. Pokud se sníží výstupní napětí  $U_{out}$ , tak se zvýší hladina napětí, které je na výstupu z komparátoru, čímž se prodlouží čas  $t_1$ , který zajistí zvýšení kolektorového proudu na spínacím tranzistoru. Je to proto, že s náběžnou hranou signálu z oscilátoru  $U_{osc}$  se překlápí klopný obvod RS do stavu logické 1, a tím je spínán tranzistor. Se zvýšenou hodnotou napětí z komparátoru ( $U_{ERR}$ ) se prodlouží doba vypnutí klopného obvodu RS. Tím se zvýší proud procházející spínajícím tranzistorem a výstupní napětí  $U_{out}$ .



Obr. 28 průběh signálů proudové zpětné vazby ([1] str. 233)



### 3.3.3. Rezonanční mód



Obr. 29 schéma zapojení v rezonančním módu ([1] str. 235)

Toto zapojení, na rozdíl od rezonančního zapojení na straně 14, je bez transformátoru. Čím vyšší množství energie je potřeba přenést přes zdroj, tím vyšší frekvenci spínání musí mít spínač. Doba spínání však musí být stejná jako na výstupním filtru  $L_{out}$  a  $C_{out}$ . Frekvence spínání spínače je odvozována od výstupního napětí přes obvod VCO (Voltage Controlled Oscillator). Zásadní výhodou tohoto zapojení je, že zbytek obvodu pracuje se spojitými průběhy, zatímco spínací prvek pracuje v režimu sepnuto – rozepnuto. Díky tomu se značně sníží šum, zvlnění, proudové a napěťové špičky. Snížením těchto špiček se zvyšuje elektromagnetická kompatibilita, jelikož zdroj nevyzařuje tak velké elektromagnetické pole do prostoru. [1]

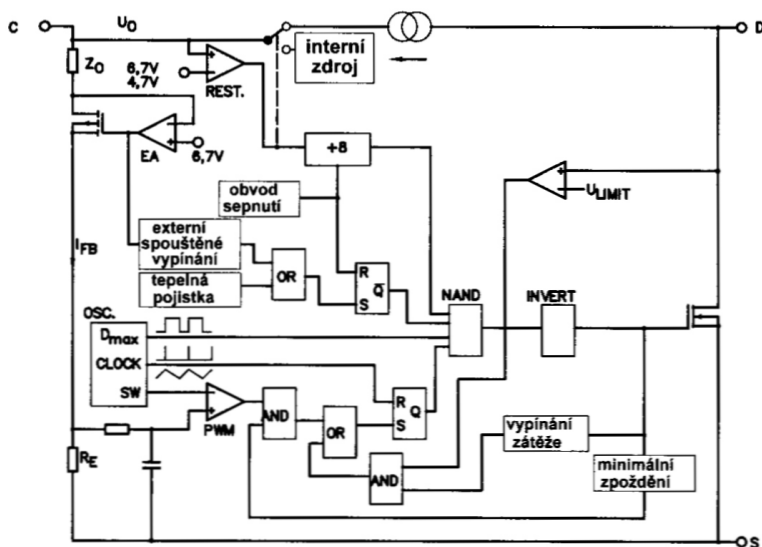
### 3.4. Možnosti zapojení bez indukčnosti

Spínané zdroje lze konstruovat také bez indukčnosti. Takovéto zdroje fungují na různých principech přepínání kondenzátorů. K těmto zapojením se využívají integrované obvody. Jednotlivé integrované obvody dokáží například zdvojnásobovat vstupní napětí, invertovat vstupní napětí nebo umí generovat obě polaritě výstupního napětí. Možnosti funkcí integrovaných obvodů jsou různé a jsou schopny, v závislosti na zapojení, dělat i jiné funkce, než jsou zde uvedeny. Hlavními přednostmi uvedených zdrojů je jejich nižší hmotnost a také mnohem menší elektromagnetické pole okolo sebe. Mezi výrobce jmenovaných integrovaných obvodů patří například firmy Motorola, Linear technology, Maxim, Texas instruments nebo Analog devices.

## 3.5. Zapojení spínaných zdrojů pomocí integrovaných obvodů TOP switch

### 3.5.1. Popis obvodů

TOP switch obvody zjednodušují návrh zapojení spínaných zdrojů. Pomocí nich je možné dosáhnout u spínaných zdrojů účinnosti více jak 90 %.



Obr. 30 blokové schéma zapojení obvodů TOP switch ([2] str. 25)

Hlavními výhodami obvodů je zjednodušený návrh zapojení, mnoho existujících návodů k realizaci, existence integrovaného PWM budiče a 350 V spínaný mosfet tranzistor ve standardním pouzdře TO220 s jediným vnějším kondenzátorem pro správnou činnost. Mají kombinovaný systém ochrany s autorestartem a testováním překročení proudu v každém cyklu činnosti. Integrovaná tepelná ochrana chrání celý systém proti přetížení. Vysoká přizpůsobivost zapojení umožňuje použít snižující, zvyšující, propustné i zpětnovazební zapojení, kde je snadné oddělení sekundární strany optickou vazbou. Obvod podporuje spojitý i nespojitý režim činnosti spínaného zdroje. ([2] str. 24)

Při porovnávání TOP switch obvodů s obvody, které mají samostatně od sebe oddělený oscilátor, spínaný tranzistor, pulzně šířkovou modulaci a další, lze jednoznačně říci, že integrované obvody velmi zjednodušují zapojení, snižují váhu celé desky a zároveň zvyšují účinnost a spolehlivost celého zdroje.

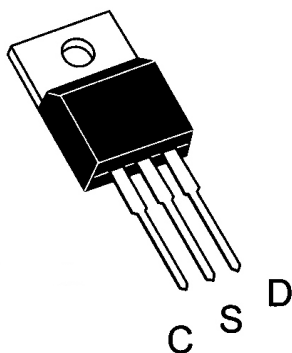
Jsou určeny hlavně pro napájení ze sítě 110 – 240 V. Využívají se převážně v konstrukci do 110 W. Zapojením jako DC/DC měnič, je možné je použít přibližně do výkonu 25 W.

### 3.5.2. Popis jednotlivých vývodů a typické zapojení

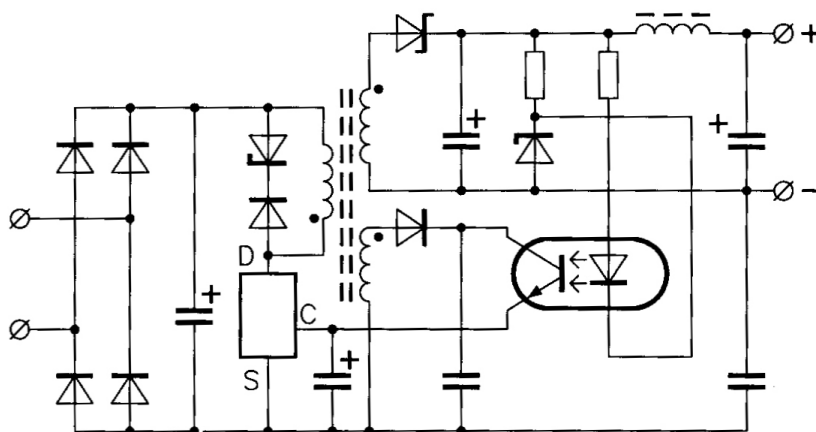
DRAIN (D) – z tohoto vývodu se odebrává vnitřní proud pro zpětnovazební obvody přes vnitřní vysokonapěťový zdroj. Tento vývod je kolektorem interního spínacího tranzistoru.

CONTROL (C) – tento vývod je vstupem chybového zesilovače a zpětné vazby pro řízení změnou střídavy. Je to vnitřní zpětnovazební regulátor, zapojený jako obvod paralelního regulačního členu. Může být vstupem pro zpětnovazební obvod nebo obvod automatického restartu a také jako vstupní svorka pro připojení kompenzačního kondenzátoru. ([2] str. 25)

SOURCE (S) – je emitorem interního spínacího tranzistoru. Dále je společným bodem (zemí) primárního obvodu i zpětnovazebního napětí a referenčním bodem celého zapojení. ([2] str. 25)



Obr. 31 umístění jednotlivých vývodů obvodů TOP1xx a TOP2xx na pouzdře TO-220 ([2] str. 25)



Obr. 32 typické zapojení obvodů TOP switch ([2] str. 24)

## 3.6. Průmyslové spínané zdroje

### 3.6.1. Provedení a vlastnosti



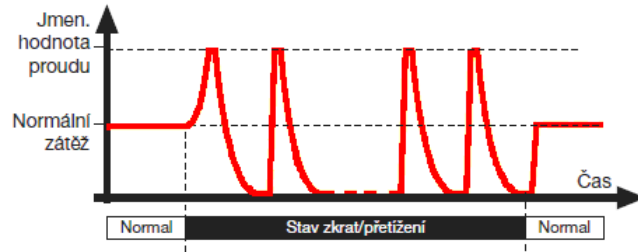
Obr. 33 vzhled zdrojů na DIN lištu [9]



Obr. 34 krabičkové provedení zdrojů v plechovém pouzdru [10]

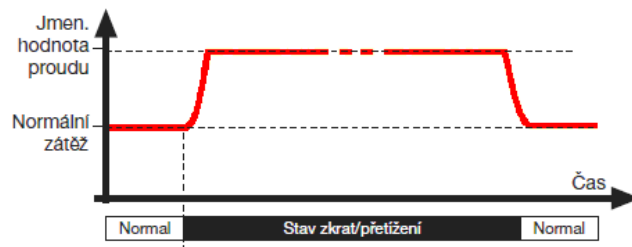
Tyto zdroje jsou vyráběny pro montáž na DIN lištu nebo na jednoduché přišroubování šrouby. Přístroje, které je možno upevnit pouze na DIN lištu, mají nejčastěji kryt z umělé hmoty, jinak jsou kryty kovové. Mohou být napájeny jednofázově napětím 110 V, 240 V nebo trojfázově napětím 400 V. Vyrábějí se v různých výkonových kategoriích od desítek wattů do několika kilowattů. Nejčastější je standardizované výstupní napětí 12 V, 24 V nebo 48 V. Výjimkou nejsou ani napětí 120 V. Jejich krytí začíná na IP20 a není problém ani krytí IP67. Jejich hlavní výhodou je, že dokáží pracovat přetížené a přetížení může být dlouhodobé. Při přetížení jsou schopny dodávat o 10 – 20 % vyšší proud při mírném poklesu napětí. Vše záleží na modelu zdroje. Mají různé ochrany proti zkratu, např. Hiccup nebo Fold forward. Využívá se také pouze jednoduché omezení proudu. Mezi výrobce průmyslových zdrojů patří např.: Lovato, Axima, Metronix, MTM Power, Cosel, Adel System, Pewarton, BKE nebo Vicor.

**Ochrana Hiccup** – při překročení určité nastavené hranice odběru proudu a po nastavené době, během které má být proud odebírán, se ochrana aktivuje a přestane dodávat do zátěže výkon. Po určité době se resetuje a testuje, zda již zkrat pominul (stejným způsobem jako na začátku). Pokud je vše v pořádku, zdroj pracuje v běžném provozu jako předtím. Pokud ne, děj s omezením výkonu se opakuje tak dlouho, dokud se nesníží zátěž. Hlavní výhodou této ochrany je, že do zátěže jde pouze malý výkon, který nepoškodí zdroj a zároveň okamžitě po skončení poruchového stavu přechází zdroj do normálního režimu.



Obr. 35 zobrazení průběhu proudu po zareagování ochrany Hiccup při zkratu [6]

**Ochrana Fold forward** – tato ochrana při zkratu snižuje výstupní napětí. Zároveň se s daným jevem zvyšuje výstupní proud. Okamžitě po pominutí zkratu se ochrana resetuje a vrátí se vše zpět.



Obr. 36 zobrazení průběhu proudu po zareagování ochrany Fold forward při zkratu [6]

### 3.7. Srovnání průmyslových zdrojů se zdroji pro spotřební elektroniku

Průmyslové zdroje a zdroje pro spotřební elektroniku mají stejný princip zapojení. Největší rozdíly jsou v systému ochran, robustnosti a rušení.

Zdroje pro spotřební elektroniku nemají žádné ochrany. Je to z toho důvodu, že zařízení nemají velkou spotřebu energie. V případě poruchy nedojde k tak velkým škodám jako na průmyslových zařízeních a ztrátám na zisku. Proto jsou průmyslové zdroje stavěny na dlouhodobý a samozřejmě spolehlivý provoz. Z toho vyplývá, že průmyslové zdroje jsou vyráběny tak, aby vydržely hrubší zacházení. Součástky jsou voleny s dostatečnou rezervou a spolehlivým chlazením. Je to proto, že při vyšších pracovních teplotách dříve odcházejí. Ve spotřebních zdrojích jsou součástky voleny bez rezervy nebo s minimální rezervou. V případě poruchy spotřební elektroniky po uplynutí dvouleté záruční doby, je pro zákazníka výhodnější koupě nového přístroje. Oprava je obvykle dražší. Ve většině případů není rozhodující cena vadné součástky, ale cena práce technika, který tento spotřebič opravuje,

a skutečnost, že v dnešní době se jednotlivé součástky velmi málo mění. Nejčastější způsob opravy spotřební elektroniky je výměna jednoho porouchaného bloku za jiný.

Pojmem rušení se rozumí elektromagnetická kompatibilita. Jedná se o to, že spínané zdroje vyzařují do sítě i do okolí velké množství harmonických signálů. Tyto signály jsou vyzařovány ze spínacího tranzistoru a vysokofrekvenčního transformátoru. Čím větší výkon ze sítě zdroj odebírá, tím více se rušivé harmonické signály dostávají do napájecí sítě a do okolí. Aby nedocházelo k rušení, musí být zdroj vybaven účinnými odrušovacími filtry, a případně nutnosti, se umístí uje do uzemněné kovové krabice.



*Obr. 37 deformace síťového napětí vlivem diodového usměrňovače a tyristorových měničů [11]*

### **3.8. Popis funkce obvodů pro spotřební elektroniku**

*Schémata zdrojů jsou v přílohách na straně I a II.*

#### **3.8.1. Zdroj z videorekordéru Samsung**

1. Síťové napětí vstupuje do zdroje přes pojistku 1,6A, přes filtr a přepětíové ochrany, pokračuje na diodový usměrňovací můstek, kde pokračuje přes filtrační kondenzátor do spínacího bloku.
2. Celé řízení spínaného zdroje zajišťuje integrovaný obvod KA1L0380. Tento obvod plní podobnou funkci jako obvody TOP switch, jen s tím rozdílem, že vývody nejsou 3, ale 4. Je vložen do pouzdra TO220F-4L. Obsahuje blok s pulzně šířkovou modulací, ochrany i spínací mosfet tranzistor.
3. Za sekundárním vinutím vysokofrekvenčního transformátoru se nachází pouze jednotlivé jednocestné usměrňovače, usměrňující jednotlivé odbočky z transformátoru.
4. V tomto bodě se odebírá výstupní napětí pro zpětnou vazbu. Jeho vydělená hodnota na rezistorech jde na optočlen, kde se opticky oddělí vstupní část zdroje od výstupní.
5. Zpětnovazební blok. Vyhodnocuje velikost vyděleného zpětnovazebního napětí a jeho upravenou hodnotu předává na pin č. 4 řídicího obvodu, který pak podle jeho velikosti řídí spínání a také spíná vysokofrekvenční transformátor.

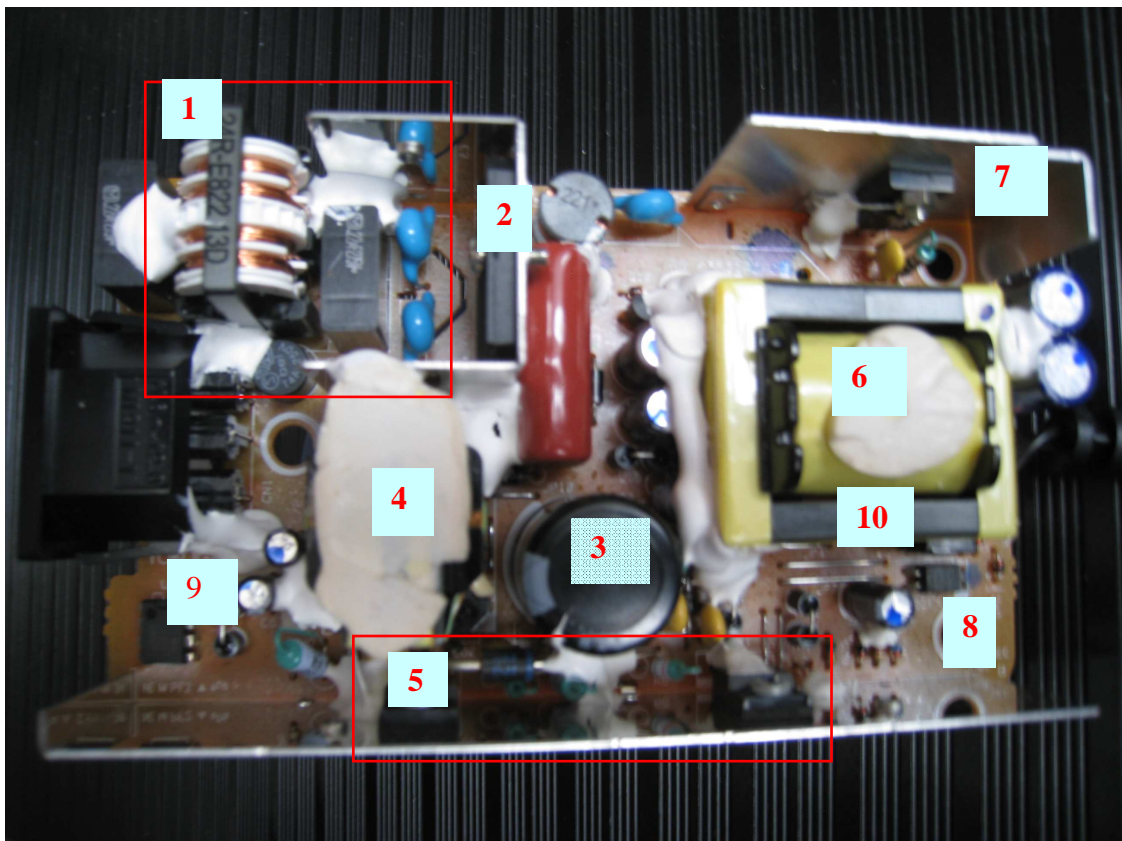
#### **3.8.2. Zdroj z videorekordéru Sanyo**

1. Zdroj je napájen síťovým napětím 220 – 240 V/50Hz přes pojistku o hodnotě 2A. Napětí po průchodu filtračními členy přechází na Graetzův můstek, kde je následně usměrněno a vyfiltrováno filtračním kondenzátorem.
2. Řídicí obvod s pulzně šířkovou modulací a se spínacím tranzistorem spínajícím vysokofrekvenční transformátor.
3. Vysokofrekvenční transformátor.
4. Jednocestné usměrňovače jednotlivých odboček z vysokofrekvenčního transformátoru.
5. Bod, ze kterého se odebírá referenční napětí pro zpětnou vazbu.
6. Zpětnovazební optočlen, na který je přivedeno již vydělené napětí z bodu (5). Z něj jde hodnota napětí do řídicího obvodu (2), kde je následně vyhodnocováno a regulováno spínání spínacího tranzistoru.

## 4. Měření volt-ampérové charakteristiky zdrojů pro spotřební elektroniku a srovnání výstupního zvlnění lineárního zdroje se spínaným

### 4.1. Popis jednotlivých zdrojů

#### 4.1.1. Zdroj AT7002A



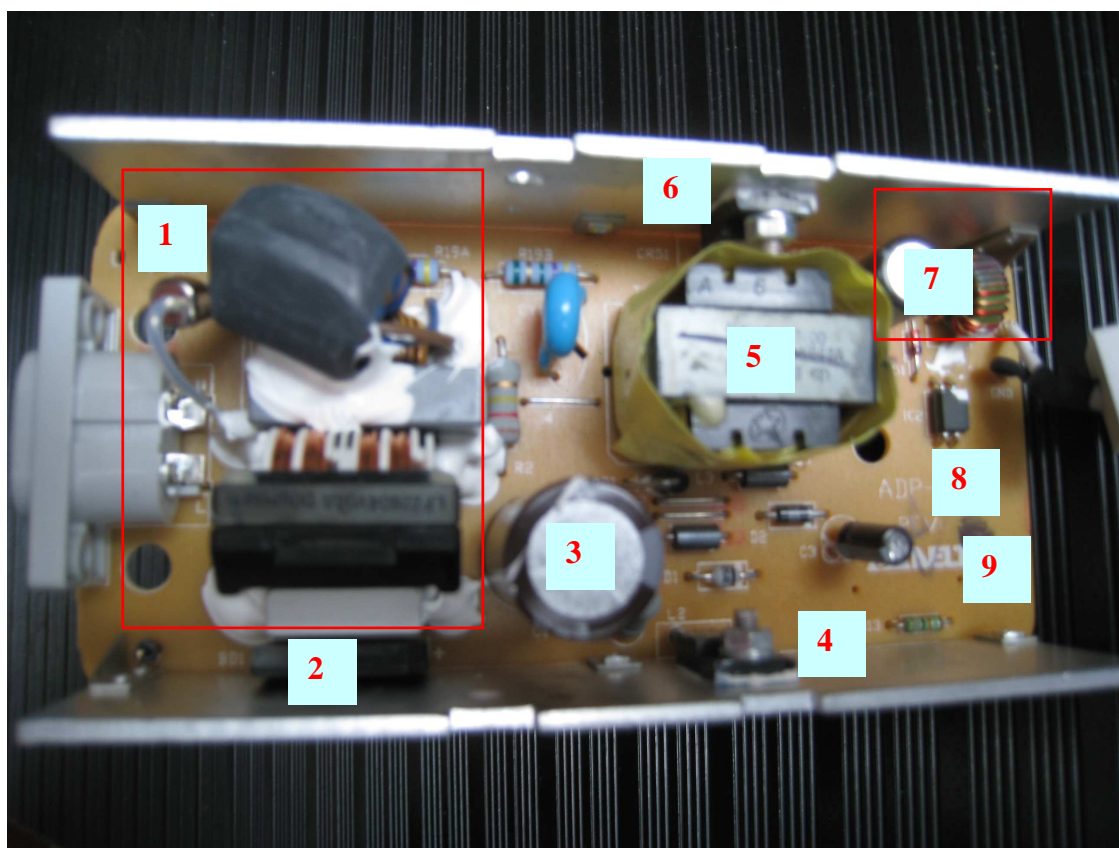
Tento zdroj je vyráběn pro tiskárny HP, přesněji pro model Business InkJet cp1160. Je zapojen jako dvojitý spínaný zdroj. Jeho výstupní napětí je 32V a dokáže dodat proud až 2200 mA.

- Popis:**
1. Vstupní obvody obsahující vstupní filtr a pojistku
  2. Usměrňovač (Graetzův můstek)
  3. Filtrační kondenzátor za můstkem
  4. Vysokofrekvenční transformátor napájející a spínající spínací tranzistory
  5. Spínací tranzistory
  6. Vysokofrekvenční transformátor spínaný tranzistory



7. Dvě diody zapojené proti sobě sloužící jako výstupní dvoucestný usměrňovač
8. Optočlen sloužící k optickému oddělení zpětné vazby
9. Řídicí obvod L6561. Řídí spínání vysokofrekvenčního transformátoru (4)
10. Řídicí obvod FA1843. Obvod se nachází 2x pod vysokofrekvenčním (vf) transformátorem (6) a není na snímku vidět. Přes optočlen (8) do něj vstupují signály zpětné vazby a řídí obvod L6561 (9), který podle toho reguluje napětí a řídí spínání vf transformátoru (4). Řídicí obvod obsahuje obvody s pulzně šířkovou modulací.

#### 4.1.2. Zdroj ADP-20HB

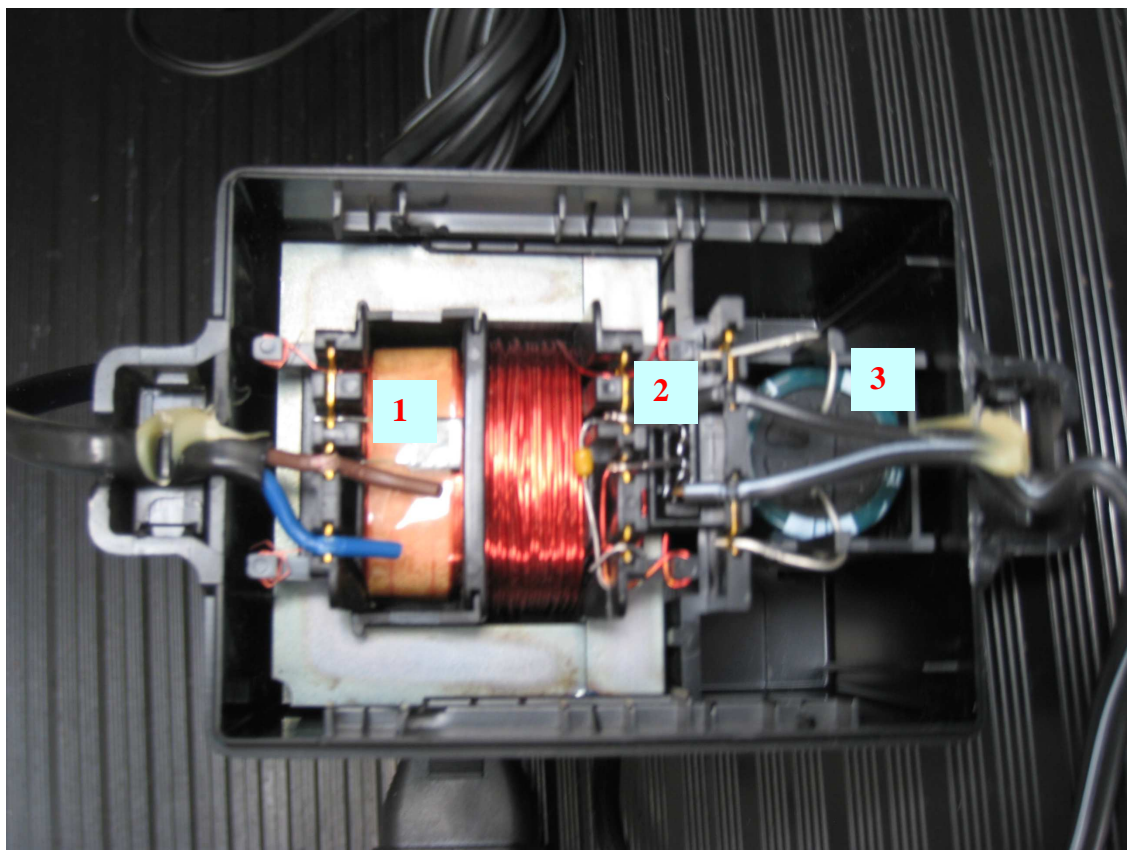


Tento zdroj je také vyráběn pro tiskárny značky HP. Jsou to inkoustové modely řady 700, 800 a 900. Jedná se o klasické jednočinné propustné zapojení. Výstupní napětí je 18V a proud 1,1 A.

- Popis:**
1. Vstupní obvody obsahující vstupní filtr a pojistku
  2. Usměrňovač (Graetzův můstek)
  3. Filtrační kondenzátor
  4. Spínací mosfet tranzistor, spínající vysokofrekvenční transformátor (5)
  5. Vysokofrekvenční transformátor
  6. Dvě diody zapojené proti sobě sloužící jako výstupní dvoucestný usměrňovač

7. Filtrační kondenzátor na výstupu ze zdroje s tlumivkou
8. Optočlen sloužící k optickému oddělení zpětné vazby
9. Obvod DAP001, který řídí chod celého spínaného zdroje. Na fotografii není vidět, jelikož je napájen zespod technologií SMD.

### 4.1.3. Zdroj C2176A



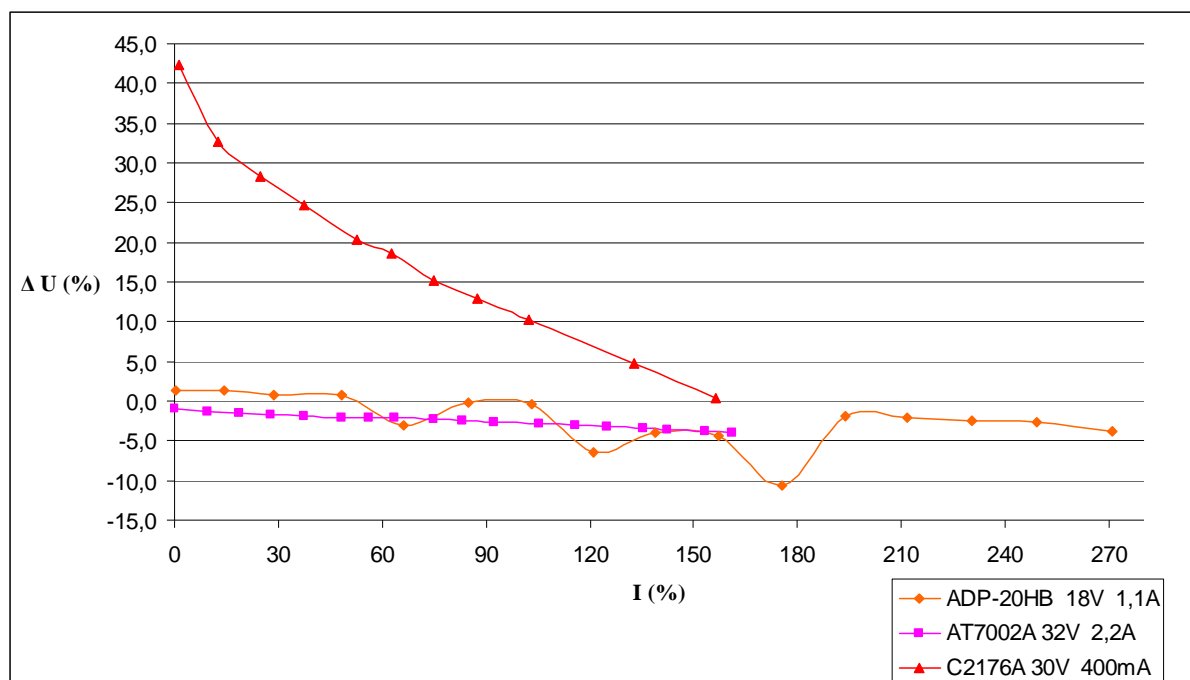
Rovněž tento zdroj je vyráběn pro produkty firmy HP, inkoustové tiskárny řady 200, 400, 500 a 600. Na rozdíl od předchozích zdrojů je tento zdroj pouze klasický lineární. Šítková hodnota výstupního napětí je 30 V a proudu 400 mA. Zdroj v sobě ukrývá jen transformátor, diodový můstek a filtrační kondenzátor o hodnotě 4700  $\mu\text{F}$ / 50V.

- Popis:**
1. Transformátor 230/ 30V 400mA
  2. Usměrňovač (Graetzův můstek)
  3. Filtrační kondenzátor

## 4.2. Výsledky měření V-A charakteristik

Tab. 1 změřené a vypočtené hodnoty napětí a proudu při měření VA charakteristik zdrojů

ADP-20HB 18V 1,1A				AT7002A 32V 2,2A				C2176A 30V 400mA			
U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (A)	ΔU (%)	I (%)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (A)	ΔU (%)	I (%)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (A)	ΔU (%)	I (%)
18,25	0,003	1,4	0,3	31,67	0,002	-1,0	0,1	42,7	0,005	42,3	1,3
18,23	0,158	1,3	14,4	31,57	0,212	-1,3	9,6	39,8	0,05	32,7	12,5
18,13	0,317	0,7	28,8	31,51	0,41	-1,5	18,6	38,5	0,1	28,3	25,0
18,12	0,531	0,7	48,3	31,46	0,614	-1,7	27,9	37,38	0,15	24,6	37,5
17,44	0,73	-3,1	66,4	31,4	0,822	-1,9	37,4	36,1	0,21	20,3	52,5
17,98	0,936	-0,1	85,1	31,36	1,061	-2,0	48,2	35,61	0,25	18,7	62,5
17,92	1,135	-0,4	103,2	31,32	1,238	-2,1	56,3	34,54	0,3	15,1	75,0
16,84	1,33	-6,4	120,9	31,31	1,402	-2,2	63,7	33,9	0,35	13,0	87,5
17,28	1,527	-4,0	138,8	31,25	1,645	-2,3	74,8	33,1	0,41	10,3	102,5
17,22	1,73	-4,3	157,3	31,21	1,833	-2,5	83,3	31,4	0,531	4,7	132,8
16,1	1,93	-10,6	175,5	31,17	2,032	-2,6	92,4	30,1	0,625	0,3	156,3
17,67	2,13	-1,8	193,6	31,07	2,323	-2,9	105,6				
17,62	2,33	-2,1	211,8	31,01	2,55	-3,1	115,9				
17,56	2,535	-2,4	230,5	30,94	2,75	-3,3	125,0				
17,52	2,74	-2,7	249,1	30,9	2,98	-3,4	135,5				
17,3	2,98	-3,9	270,9	30,86	3,13	-3,6	142,3				
				30,8	3,37	-3,8	153,2				
				30,75	3,54	-3,9	160,9				



Obr. 38 volt-ampérové charakteristiky měřených zdrojů

## Postup a vyhodnocení měření:

- Jednotlivé zdroje byly zapojeny na zátěž a při zatěžování byly postupně měřeny jednotlivé veličiny.
- Zdroj ADP-20HB 18V/1,1A bylo možné přetížít až na hodnotu 270 % štítkového proudu, což je 2,98 A. Zdroj se sice více zahříval, ale neměl problém toto přetížení vydržet. V grafu lze vidět, že na oranžové křivce jsou velké poklesy napětí (úbytek více jak 10 % štítkového napětí). V těchto fázích měření se zdroj zřejmě dostal do rezonance se zátěží. Zátěž nebyla čistě odporová, proto zdroj se zátěží mohl v určitých fázích měření rezonovat. Celkově hodnota poklesu napětí nepřekročila 5 %.
- Spínaný zdroj AT7002A 32V/2,2A byl přetížen maximálně do hodnoty 160 % štítkové hodnoty proudu. Je to proto, že ve zdroji vybavila ochranná pojistka, která zajišťuje ochranu zdroje před přetížením a následnou destrukcí. Po vybavení pojistky bylo třeba zdroj odpojit od síťového napětí a poté znovu zapnout, aby byl opět funkční.
- Lineární zdroj C2176A 30V/400mA měl po celou dobu měření vyšší napětí než štítkové. Naprázdno byla tato hodnota o 45 % vyšší. Štítkové hodnoty napětí bylo dosaženo až po jeho přetížení na 156 % štítkové hodnoty proudu, což je proud 625 mA. Zdroj byl zatížen jen chvíli, protože při delším zatížení by mohla vybavit tepelná pojistka na transformátoru. Důvodem vysokého výstupního napětí byl chybějící stabilizátor na výstupu.

## **4.3. Srovnání výstupních zvlnění měřených zdrojů**

### **4.3.1. Výpočet zvlnění spínaného zdroje AT7002A 32V/2,2A**

*Oscilogramy tohoto zdroje jsou v přílohách na straně III.*

Výpočet zvlnění při zatížení 100% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{ss}}{U_0} \cdot 100 = \frac{0,37}{31,29} \cdot 100 = \underline{\underline{1,18 \%}}$$

Výpočet zvlnění při zatížení 150% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{ss}}{U_0} \cdot 100 = \frac{0,0446}{30,12} \cdot 100 = \underline{\underline{0,148 \%}}$$

Výpočet frekvence zvlnění:

*Doba jedné periody: 11,7μs.*

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{11,7 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{85,47 \text{ kHz}}}$$

#### **4.3.2. Výpočet zvlnění spínaného zdroje ADP-20HB 18V/1,1A**

*Oscilogramy tohoto zdroje jsou v přílohách na straně IV.*

Výpočet zvlnění při zatížení 100% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{\text{ss}}}{U_0} \cdot 100 = \frac{0,045}{17,5225} \cdot 100 = \underline{\underline{0,257 \%}}$$

Výpočet zvlnění při zatížení 150% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{\text{ss}}}{U_0} \cdot 100 = \frac{0,049}{15,125} \cdot 100 = \underline{\underline{0,323 \%}}$$

Výpočet frekvence zvlnění:

*Doba jedné periody: 14,625μs.*

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{14,625 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{68,376 \text{ kHz}}}$$

#### **4.3.3. Výpočet zvlnění lineárního zdroje C2176A 30V/400mA**

*Oscilogramy tohoto zdroje jsou v přílohách na straně V.*

Výpočet zvlnění při zatížení 100% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{\text{ss}}}{U_0} \cdot 100 = \frac{1,07}{26,177} \cdot 100 = \underline{\underline{4,08 \%}}$$

Výpočet zvlnění při zatížení 150% štítkové hodnoty:

$$p = \frac{U_{ss}}{U_0} \cdot 100 = \frac{1,39}{20,695} \cdot 100 = \underline{\underline{6,71\%}}$$

Výpočet frekvence zvlnění:

*Doba jedné periody: 10 ms.*

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,01} = \underline{\underline{100\text{ Hz}}}$$

Z výsledků výpočtů zvlnění lze říci, že nejmenšího zvlnění dosáhl spínaný zdroj AT7002A 32V/2,2A, a to 0,148 %. Nejhorší zvlnění měl lineární zdroj C2176A 30V/400mA, jehož hodnota je 6,71 %. Tento výsledek byl očekáván, jelikož spínané zdroje mají zvlnění velmi malé. Lineární zdroje jsou stavěny tak, aby jejich výstupní zvlnění bylo do 10 %. Zvlnění bylo měřeno pomocí TiePie USB Handyscope HS3.

Z oscilogramů jednotlivých zdrojů byla zjištěna frekvence výstupního zvlnění:

- AT7002A 32V/2,2A 85,47 kHz
- ADP-20HB 18V/1,1A 68,376 kHz
- C2176A 30V/400mA 100 Hz

## 5. Závěr

Spínané zdroje jsou a budou v zařízeních čím dál více používány. Jejich vlastnosti jsou mnohem lepší a jejich velikost je mnohem menší než u zdrojů lineárních. Přesvědčilo mě o tom měření V-A charakteristik a zvlnění. V-A charakteristika lineárního zdroje klesá od napětí naprázdno (142 % štítkového napětí) ke štítkové hodnotě napětí až po přetížení 150 % hodnoty štítkového výstupního proudu. Spínané zdroje měly odchylku skutečného napětí naprázdno od štítkového napětí pouze  $\pm 1,5$  %. Při zatěžování klesala hodnota úbytku napětí jen pozvolna, a pokud zanedbáme zákmity zdroje ADP-20HB, tak nepřesáhla 4 % štítkového napětí. Zvlnění spínaných zdrojů bylo dle očekávání minimální (nejvýše 1,18 %, jinak do 0,323 %). Maximální zvlnění lineárního zdroje dosáhlo hodnoty 6,71 %. Je to z toho důvodu, že lineární zdroje jsou konstruovány tak, aby jejich výstupní zvlnění nepřesáhlo 10 %. Měřením se dále ověřila správnost údajů o frekvenci, na jaké zdroje pracují. Spínané zdroje měly výstupní frekvenci zvlnění 85 kHz a 68 kHz. Zvlnění lineárního zdroje mělo frekvenci 100 Hz. Tato frekvence zvlnění je správná, jelikož ve zdroji je Graetzův můstek.

Jedinými nevýhodami spínaných zdrojů je vyšší cena a elektromagnetické rušení. Tyto problémy se již v dnešní době odstranily. Ceny součástek i nadále klesají, a na způsoby, jak vyřešit rušení ze strany zdrojů, se již také přišlo.

Porovnáme-li spínané zdroje pro spotřební elektrotechniku se zdroji pro průmyslovou elektrotechniku, musíme pohlížet na výsledky ze dvou stran. Spínané zdroje pro spotřební elektrotechniku jsou stavěny na krátký a ne příliš těžký provoz. Jejich provedení není robustní a není vhodné je přetěžovat. Nepříliš dobré vlastnosti spínaných zdrojů pro spotřební elektrotechniku jsou proto kompenzovány jejich nízkou cenou. U spínaných zdrojů pro průmyslovou elektrotechniku se klade velký důraz na nároky spojené se spolehlivostí a dlouhodobým chodem. Jsou stavěny na výdrž dlouhodobého přetížení. Průmyslové spínané zdroje jsou vyráběny tak, aby měly pokud možno co nejlepší vlastnosti. Od toho se odráží také jejich cena. Celkově můžeme říci, že kvalita i cena spínaných zdrojů závisí na použitých součástkách.

Bakalářská práce přehledným způsobem shrnuje základní teorii napájecích zdrojů v lineárním a spínaném provedení a srovnává jejich vlastnosti. Práci je možno použít jako doplňkový učební text či literární pramen při výuce nebo jako teoretický základ pro budoucí práce řešící tuto nebo příbuznou tematiku.

## 6. Použitá literatura

- [1] Krejčířík A.: Napájecí zdroje 1, BEN – technická literatura, Praha 1996
- [2] Krejčířík A.: Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch, BEN – technická literatura, Praha 2002
- [3] [www.gme.cz](http://www.gme.cz)
- [4] katalog GM electronics – Součástky pro elektroniku 2005
- [5] [http://www.balluff.cz/Download/katalogy/BAE/bae\\_cz.pdf](http://www.balluff.cz/Download/katalogy/BAE/bae_cz.pdf)  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [6] <http://podpora.lovato.cz/save.php?kid=210>  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [7] <http://www.automatizace.cz/article.php?a=157>  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [8] [http://www.pewatron.com/typo3conf/ext/pewatron\\_products/pi1/popup.image.php?image=uploads/tx\\_pewatronproducts/1e3ef45e261ccb6cffcc240902fead50\\_b.jpg&imageW=300&imageH=224](http://www.pewatron.com/typo3conf/ext/pewatron_products/pi1/popup.image.php?image=uploads/tx_pewatronproducts/1e3ef45e261ccb6cffcc240902fead50_b.jpg&imageW=300&imageH=224)  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [9] [http://www.pewatron.com/typo3conf/ext/pewatron\\_products/pi1/popup.image.php?image=uploads/tx\\_pewatronproducts/a4ae2e14f9b8076f78540eaa8b392a8e\\_b.jpg&imageW=300&imageH=203](http://www.pewatron.com/typo3conf/ext/pewatron_products/pi1/popup.image.php?image=uploads/tx_pewatronproducts/a4ae2e14f9b8076f78540eaa8b392a8e_b.jpg&imageW=300&imageH=203)  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [10] <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/node8.html>  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*
- [11] <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=encyclopedia>  
*Naposledy navštíveno 21.4.2010*