

MENSA GYMNÁZIUM, o.p.s.

ROČNÍKOVÁ PRÁCE

Spínané zdroje

Obor: Fyzika

Autor: Matyáš Kosík

Třída: septima

Školní rok: 2012/2013

Vedoucí práce: doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D.

Oponent:

Konzultant: Jan Sixta, student ČVUT, obor robotika

Rozsah práce (s.):

celkový (včetně této strany, vyjma titulní): 23

vlastní text: 17

přílohy: 0

vědecký aparát (poznámky, bibliografie aj.): 1

Formát elektronické podoby práce: pdf.

Poznámky (vyplývající ze specifik jednotlivých oborů):

Při obhajobě budou předvedeny vyrobené spínané zdroje.

ROČNÍKOVÁ PRÁCE

| | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANOTACE | Tato ročníková práce pojednává o spínaných zdrojích, které jsou všude kolem nás, i když si to často neuvědomujeme. Čtenáři má pomoci pochopit, k čemu v takovém zdroji dochází a má mu předložit použitelná schémata zapojení. |
| KLÍČOVÁ SLOVA | spínaný zdroj, napájení, napájecí zdroje, SMPS |
| ANOTACE (AJ) | This article deals with switched power sources. Such sources work all around us every day although mostly we are not aware of that. The article is meant to help the reader understand how these power sources work and to present him with efficient circuit diagrams. |
| KLÍČOVÁ SLOVA (AJ) | switched-mode power supply, power supply, power supply unit, SMPS |
| ANOTACE (FJ) | Cette thèse traite des ressources de commutation qui sont tout autour de nous, même si on ne les remarque pas souvent, elle a été écrite pour aider les lecteurs à comprendre ce qui se passe dans ces ressources et pour présenter des schémas de câblage applicables. |
| KLÍČOVÁ SLOVA (FJ) | alimentation à découpage, alimentation , bloc d'alimentation, SMPS |

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem pouze podklady (literaturu, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V dne podpis:

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. Úvod:..... | 5 |
| 2. Spínané zdroje - teorie: | 5 |
| 2.1. Co je spínaný zdroj a kdy se začal používat? | 5 |
| 2.2. Druhy spínaných zdrojů | 7 |
| 2.2.1. Jednočinný blokující zdroj | 7 |
| 2.2.2. Jednočinný propustný zdroj | 8 |
| 2.2.3. Dvojčinný zdroj..... | 9 |
| 3. Praktická část..... | 10 |
| 3.1. Jednoduchá plazmakoule..... | 10 |
| 3.2. ZVS | 13 |
| 3.3. Hrající oblouky..... | 14 |
| 3.4. Buzená plazmakoule | 15 |
| 3.5. Polomůstek | 17 |
| 3.6. Zdroj pro LED s TNY 266 | 18 |
| 3.7. Regulovaný zdroj 2,5-40 V (polomůstek) s bipoláry | 19 |
| 3.8. Stavba spínaného zdroje pro multimediální počítač | 20 |
| 4. Závěr..... | 22 |

1. Úvod:

Tuto ročníkovou práci jsem se rozhodl napsat proto, abych alespoň trochu objasnil funkci spínaných zdrojů a především proto, abych vytvořil několik funkčních zapojení a nějaké spínané zdroje vyrobil. Vyrobené spínané zdroje budou součástí prezentace při obhajobě mé práce.

Spínané zdroje nacházejí široké využití a jsou velmi rozšířené – od adaptéru k mobilu přes počítačový zdroj ke svářečimu invertoru. V oblasti spínaných zdrojů již dnes není snadné a snad ani nutné vymyslet zásadně nový postup, důležité je se v oblasti zorientovat a naučit se plně využít potenciál spínaných zdrojů.

2. Spínané zdroje - teorie:

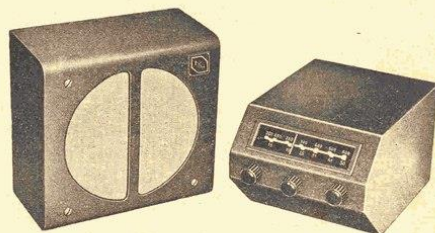
2.1. Co je spínaný zdroj a kdy se začal používat?

Je to přístroj, který mění napětí na jiné nebo napětí galvanicky odděluje za využití spínacího prvku. Spínacím prvkem dnes obvykle bývá polovodič, ale nebylo tomu tak vždy. Mezi spínací prvky můžeme totiž zařadit i vibrátory používané například v autorádiích již v první polovině minulého století. Ty dokonce ani nepracovaly na vysoké frekvenci jako tranzistory v dnešních zdrojích, ale na 50Hz a poháněly klasický těžký železný transformátor.



obr. č.1: Tento vynález můžeme označit za prapředka dnešních spínaných zdrojů ^[7]

Krátké vlny v automobilu



AUTOPŘIJMAČ 7447 A

Čtyřelektronkový superhet, sedm laděných okruhů,
krátké a střední vlny, účinné vyrovnávání úniku,
spotřeba cca 33 W, 5.5 A,

Ocelová skříň malých rozměrů, snadná montáž.

Osazení: ECH 21, EF 22, ECH 21, EBL 21

Cena včetně daně ze záření Kčs 6260⁻ (s výhradou schválení NÚC)

INSA **RADIO**
PRAHA - BUBENEČ
ČECHOVA 17 · TEL. 703-08

F. BERTKA PRAHA

obr. č. 2: Autorádio INSA^[7]

Později se začaly objevovat spínané zdroje s elektronkami - hlavně jako konstrukčně nenáročný zdroj vysokého napětí v televizích. Klasický transformátor by pro takové napětí musel mít neúnosný počet závitů a jeho použití by navíc bylo krajně nepraktické. Elektronky ovšem dokáží přenést jen relativně malý proud a nelze s nimi dosáhnout moc dobré účinnosti. Proto se spínané zdroje začaly masově rozšiřovat až s příchodem vyspělých tranzistorů v 80. letech. Tím se už dostáváme k moderním spínaným zdrojům a jejich výhodám oproti zdrojům klasickým.

Výhody:

1. cena – spínaný zdroj je dnes přes svou složitost levnější než klasický transformátor, který obsahuje mnoho cenné mědi a železa.
2. váha a velikost – spínaný zdroj je podstatně lehčí a i o něco menší.
3. možnost účinné regulace a zahrnutí různých ochranných prvků do obvodu – klasická regulace lineárním stabilizátorem je neúčinná a náročná na chlazení, naproti tomu spínaný zdroj je možno regulovat při zachování vysoké účinnosti, dnes často nad 80%. Ve spínaném zdroji navíc může být rychlá ochrana proti zkratu či přepětí.

Nevýhodou je naproti tomu nebezpečí vysílání rušení do sítě, které ovšem záleží na kvalitě provedení zdroje.

Spínaný zdroj s impulzním transformátorem pracuje takto: nejdříve se síťové napětí o frekvenci 50 Hz usměrní a nahrubo vyhladí filtračními kondenzátory. Poté se z něj spínacím tranzistorem/tranzistory udělá střídavé napětí s obdélníkovým průběhem o vysoké-nadzvukové frekvenci, následuje feritový transformátor, který je díky vysoké pracovní

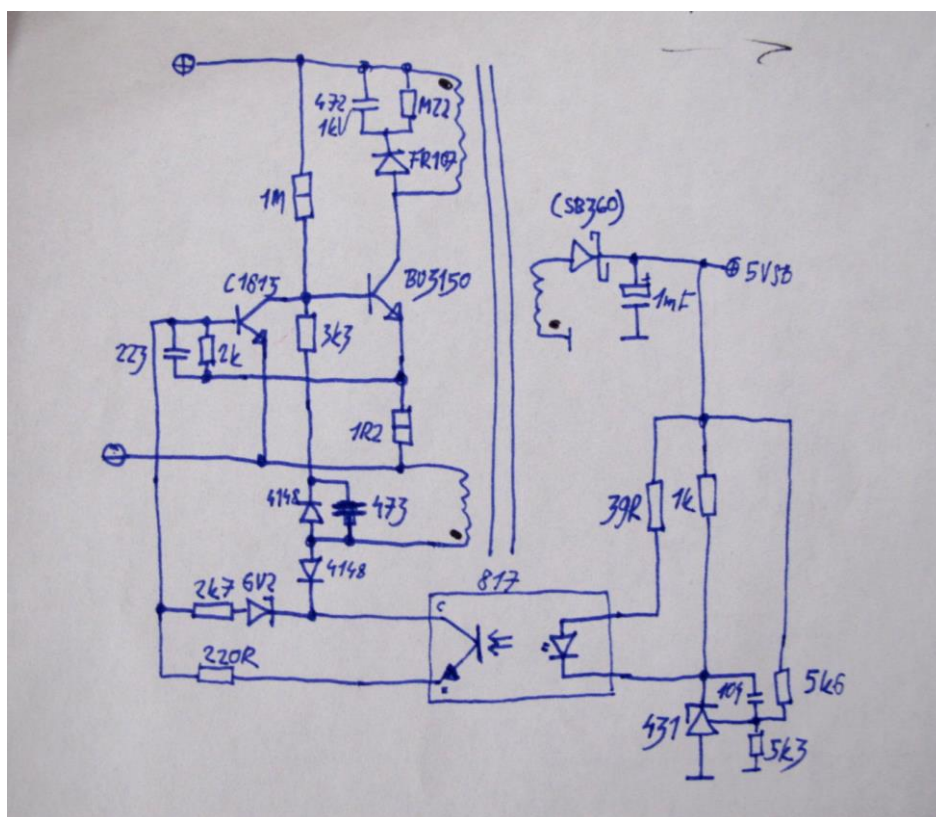
frekvenci zdroje mnohem menší a lehčí než železný transformátor určený pro síťových 50Hz, kterým se napětí změní na požadovanou hodnotu. Nakonec se usměrní a vyhladí. Zdroje existují buď jednoduché samokmitající nebo pokročilé s řídicím obvodem. Nejtypičtějším řídicím obvodem je u jednočinných zdrojů UC3842 až 3845, u dvojitých zdrojů TL494 a jeho čínské ekvivalenty (DBL 494, KA 7500...).

2.2. Druhy spínaných zdrojů

Spínaných zdrojů je více druhů a provedení. U některých je výstupní napětí galvanicky oddělené (zdroje s transformátorem) – jejich typickou vlastností je napájení přímo ze síťového napětí. Dále existují zdroje bez transformátoru a oddělení výstupního napětí, jejichž typickým využitím je úprava napětí až uvnitř v přístroji. Poslední kategorií jsou nábojové pumpy, ve kterých není nejen transformátor, ale dokonce ani tlumivka a fungují na principu paralelního nabíjení a sériového vybíjení kondenzátorů – jde tedy vlastně o spínaný násobič napětí, jehož využití je omezeno na malé výkony. V této práci se budu zabývat zdroji s transformátorem.

2.2.1. Jednočinný blokující zdroj

Jednočinný blokující zdroj se používá pro nižší výkony, protože by při vyšších výkonech musel mít neúnosně veliký transformátor (ten zde slouží jako zásobárna energie). Jeho výhodou je jednoduchost. Setkáme se s ním např. v miniaturních adaptérech pro mobilní telefony a jiné přístroje. Můžeme se s ním setkat i v tiskárnách, monitorech a televizích (jak plochých, tak klasických), prodává se jako hotový modul pro napájení LED, V počítačových zdrojích zastává funkci pomocného „stand-by“ zdroje, atd.



obr. č.3: Jednočinný blokující zdroj (pomocný zdroj z ATX zdroje)

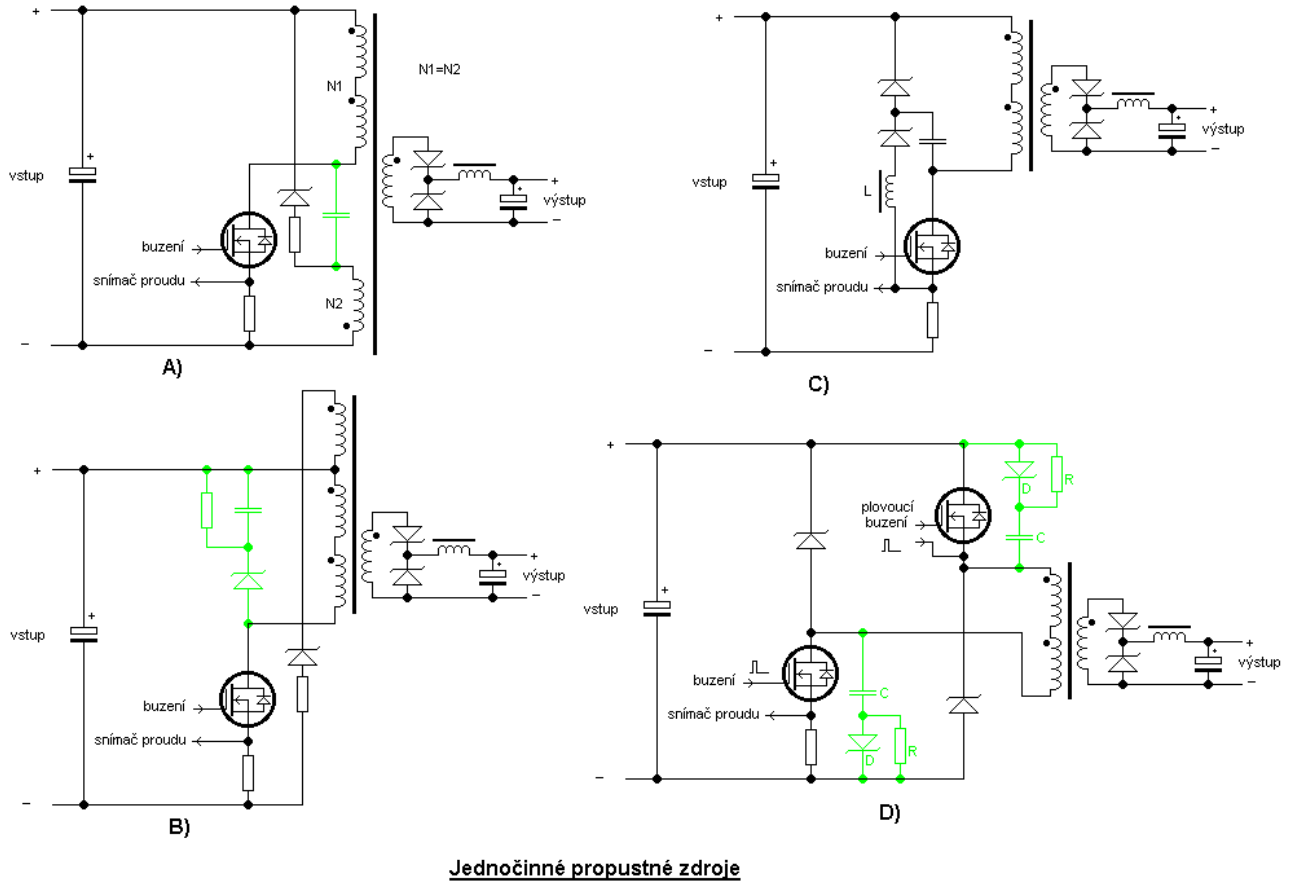
Na obrázku je kompletní zapojení jednoduchého spínaného zdroje. Popis funkce: přes odpor 1M začne do báze výkonového tranzistoru BU3150 téci proud. Tranzistor se začne pootvírat a zároveň začne procházet proud primárním vinutím transformátoru (na obr. č. 3 nahoře). Současně s tím začne téci proud zpětnovazebním vinutím (na obr. č. 3 dole), a to proud tolikrát větší, kolikrát je menší počet závitů oproti primárnímu vinutí. Sekundárním vinutím (na obr. č. 3 napravo) proud neprochází, protože mu stojí v cestě dioda v závěrném směru. Proudem ze zpětnovazebního vinutí procházejícím přes horní diodu 1N4148 a odpor 3k3 se rychle dootevře výkonový tranzistor. Na primárním vinutí začne růst proud, přičemž se nabíjí jádro transformátoru energií. Po určitém čase dosáhne proud hodnoty, která vytvoří na odporu 1R2 úbytek 0,65V (tj. asi 0,54A). Tím se začne přes odpor 2k otevírat pomocný tranzistor 2SC1815, který začne sbírat proud tekoucí do báze výkonového tranzistoru. Ten se začne přivírat (při konkrétním proudu tekoucím do báze je tranzistor schopen přenést jen určitý proud – $I_{c\ max} = \beta \times I_b$. $I_{c\ max}$ je největší proud kolektorem, který tranzistor za daných okolností propustí, β je zesílení tranzistoru a I_b je proud do báze.). Na primárním vinutí začne klesat proud, a proto se otočí napětí (na všech vinutích). Působením zpětnovazebního vinutí se výkonový tranzistor rychle douzavře a zároveň začne procházet proud diodou na sekundáru. Touto energií, vycházející z jádra transformátoru, se nabíjí výstupní kondenzátor 1000u. Když zanikne magnetické pole transformátoru (vyčerpá se energie), začíná proces nanovo. To se v jedné jedině vteřině stane asi 50 000x. Když výstupní napětí dosáhne požadované hodnoty (která je určena odpory 5k6 a 5k3 – ty jsou voleny tak, aby při požadovaném výstupním napětí bylo na vstupu integrovaného obvodu TL431 2,5V), začne procházet proud skrz infračervenou LED v optronu a IO TL431. Odpor 39R slouží k omezení proudu LED, odporem 1k prochází závěrný proud tekoucí skrz TL431 (proto, aby se jím nerozsvěcela LED) a kondenzátor 100n slouží ke zpomalení reakcí regulace, aby zdroj nekmital. Rozsvícená infračervená LED v optronu začne otevírat fototranzistor a skrze ten začne procházet ze zpětnovazebního vinutí transformátoru proud do báze pomocného tranzistoru. Ten se začne pootvírat a tlumit otevírání hlavního tranzistoru. Toto je standardní provoz, kdy se na výstupu udržuje požadované napětí. V případě zkratu na výstupu chrání zdroj zenerova dioda 6,2V v sérii s odporem, který omezuje proud jí procházející – v případě, že se na zpětnovazebním vinutí vytvoří napětí větší než úbytek diody 1N4148 a napětí zenerovy diody (tj. asi 6,9V), začne se opět otevírat pomocný tranzistor a začne tlumit tranzistor výkonový.

2.2.2. Jednočinný propustný zdroj

Jednočinný propustný zdroj nebýval tolik rozšířen a až v posledních letech ovládl především oblast počítačových zdrojů. Používá se pro vyšší výkony, dle mého odhadu se vyplatí zhruba od 50W. S verzemi A-C (viz. obr.4) se setkáme v počítačových zdrojích a to především ve značkových zdrojích., často atypických rozměrů (ASTEK pro firmy Dell a IBM, COMPAQ apod.). S verzí D se setkáme v novějších lepších počítačových zdrojích s aktivním PFC (kde se využívá pro výhodnost kombinace řídicího obvodu PFC a řídicího obvodu pro jednočinný zdroj v jednom pouzdře – kdyby se kombinovalo řízení PFC s buzením dvojitelného zdroje, musel by mít integrovaný obvod více vývodů a celkově by provedení bylo mnohem složitější, kombinace by se pravděpodobně ani nevyplatila). S verzí D se setkáme též ve svářecích invertorech, především pro jednoduchost provedení.

Na rozdíl od blokujícího zdroje se se v tomto typu v záporné půlperiodě proud vrací do zdroje. Transformátor zde tedy neslouží jako zásobárna energie, proto může být menší. Zdroj

však stále dodává do výstupu výkon jen necelou polovinu doby, takže musí být tlumivka na výstupu větší než u dvojitinného zdroje, který je schopen dodávat výkon téměř nepřetržitě. Jak je z předchozího patrné, transformátor zde nefunguje jako tlumivka a tím pádem je zde nutná také již zmiňovaná tlumivka na výstupu. Na té se teprve vytváří výstupní napětí z pulzů, které do ní přichází.



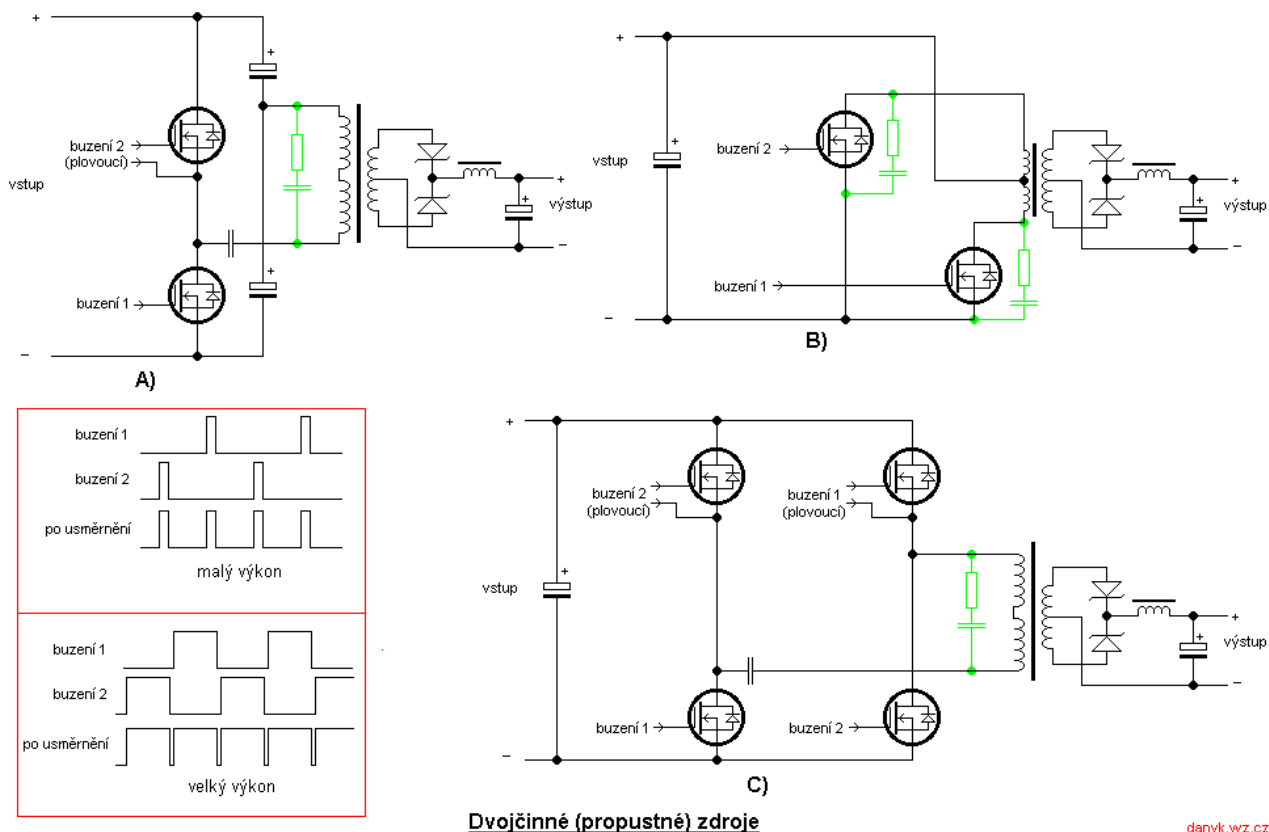
Jednočinné propustné zdroje

obr.č.4: Zjednodušená zapojení jednočinných propustných zdrojů^[6]

danvk.wz.cz

2.2.3. Dvojitinný zdroj

Dvojitinný zdroj je vhodný zvláště pro velké výkony. Jeho zapojení je ze všech tří typů nejsložitější, ale je-li zvládnuto, je tento zdroj konstrukčně výhodný. Nejsou do něj totiž potřeba nákladné tranzistory na 800 a více V jako u topologií A-C u předchozího typu a na výstupu stačí při stejném výkonu menší tlumivka a menší výstupní kondenzátor - zdroj totiž může dodávat energii téměř nepřetržitě, narozdíl od jednočinných propustných zdrojů, které mohou dodávat energii maximálně polovinu doby. Právě u tohoto typu se také, při snaze o maximální účinnost, nejvíce vyplácí synchronní usměrňovač se dvěma MOSFETy a jednou diodou, který je v závislosti na proudu a použitých součástkách zhruba o třetinu úspornější než klasická dvojdioda. S topologií A se setkáme v naprosté většině počítačových zdrojů od konce 80.tých let do současnosti. Topologie B se používá hlavně pro nízká vstupní napětí (různé měniče do auta apod.), s topologií C se setkáme jen při ovládání největších výkonů, protože potřebuje ještě složitější buzení než všechny předchozí.



danek.vwz.cz

obr. č. 5: Zjednodušená zapojení dvojčinných (propustných) zdrojů^[6]

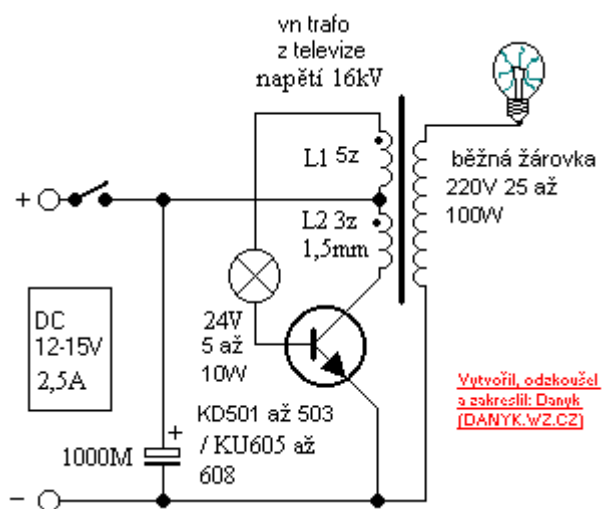
3. Praktická část

První spínaný zdroj, co jsem vyrobil, byla plazmakoule, kterou jsem si chtěl udělat pro zábavu. Schéma jsem si našel na internetu ^[6]. Tuto velmi jednoduchou plazmakouli jsem úspěšně sestavil (viz. níže). Postupně jsem začal stavět i složitější spínané zdroje, přes občasné potíže většinou úspěšně. Nejprve jsem je používal na pokusy s vysokým napětím – např. na hrací oblouky atd. Potom jsem začal spínané zdroje využívat i k napájení různých věcí – např. LED či jiných spínaných zdrojů. Zároveň jsem začal zkoumat zapojení továrně vyrobených počítačových zdrojů a překreslovat a zkoumat jejich schémata. Nakonec jsem se rozhodl postavit si vlastní počítačový zdroj, u kterého bude hleděno především na kvalitu a nikoliv na výrobní náklady, protože v domácích podmínkách je rozdíl mezi cenou kvalitních a nekvalitních součástek nepatrný. Důvodem bylo především to, že standardní vyráběné zdroje jsou příliš hlučné a ruší při poslechu tiché hudby.

3.1. Jednoduchá plazmakoule

První spínaný zdroj, který jsem sestavil, byla jednoduchá plazmakoule se 4 součástkami – tranzistorem, VN transformátorem, žárovkou a elektrolytickým kondenzátorem (který dokonce není úplně nutný, zdroj by fungoval i bez něj).

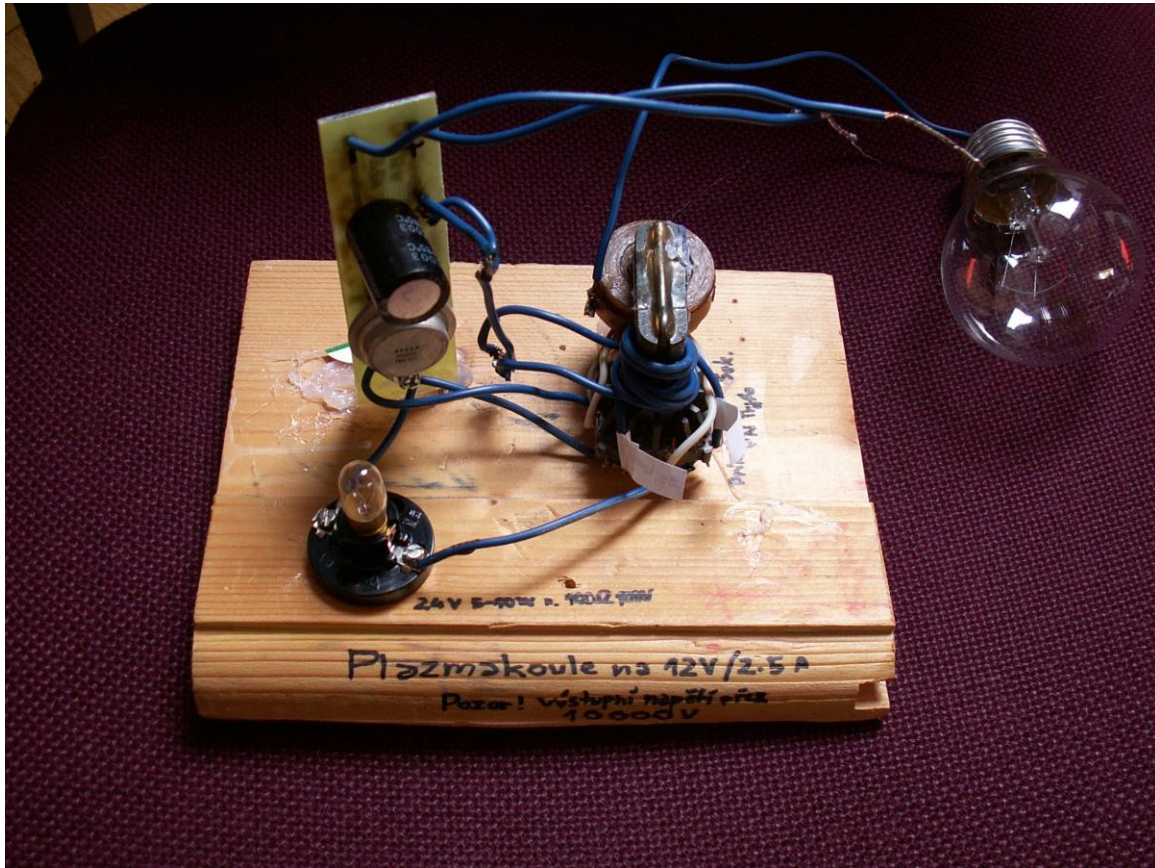
Popis funkce: přes vinutí 5z. a žárovku začne téci proud do báze tranzistoru, tranzistor se otevře a podobně jako bylo popsáno v kapitole 2.2.1., proud procházející vinutím 3z. vyvolá odpovídající proud na vinutí 5z., čímž se tranzistor uzavře.



obr. č. 7: schéma nejjednodušší plazmakoule ^[6]



obr. č. 8: obrázek fungující plazmakoule



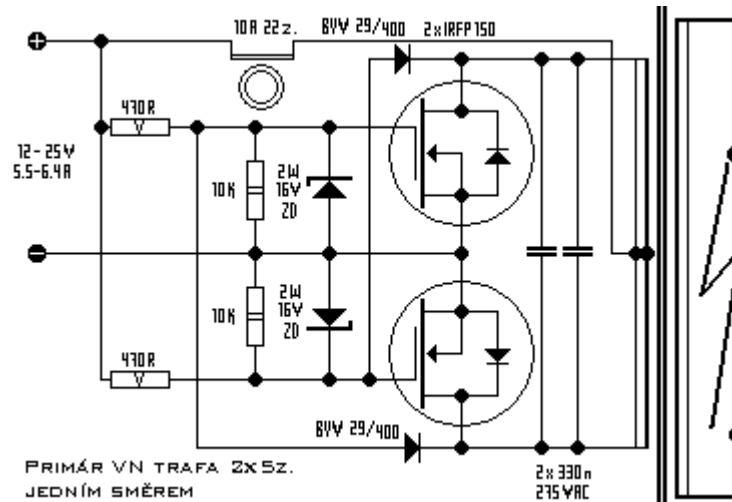
obr. č. 9: Jednoduchá plazmakoule



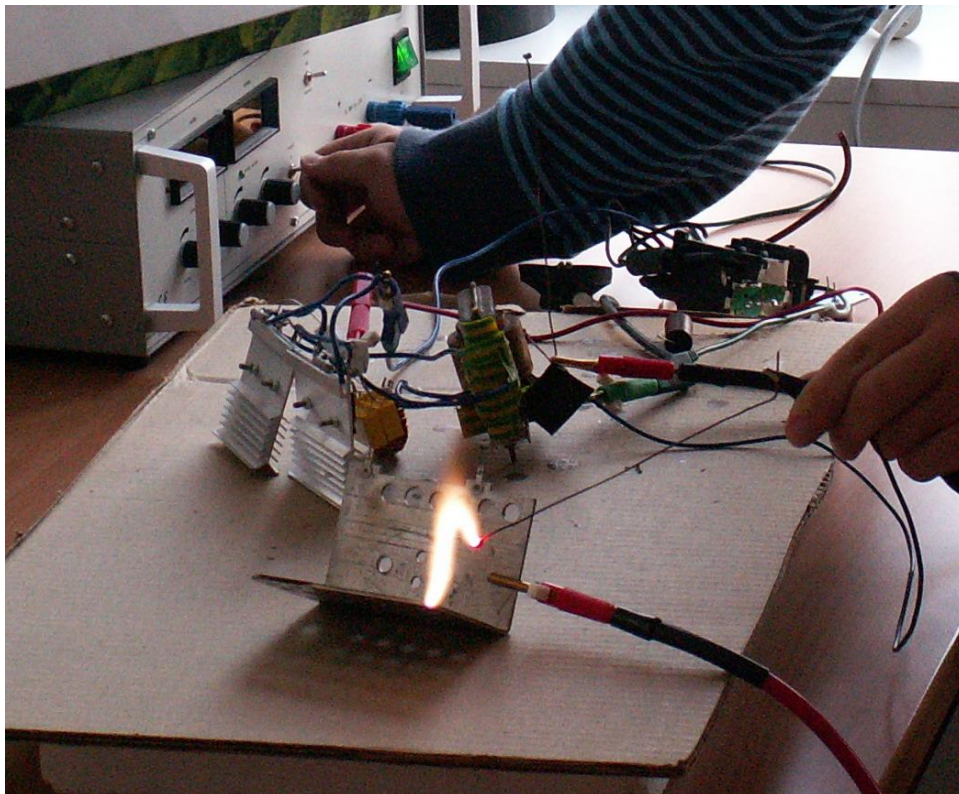
obr. č. 10: Příklad zábavného využití – oblouk v injekční stříkačce za sníženého tlaku.

3.2. ZVS

ZVS je zkratka anglického „Zero Voltage Switching“, neboli spínání při nulovém napětí. Tranzistor zde spíná v okamžiku, kdy je na něm nulové napětí, takže nedochází ke spínacím ztrátám. Celkové ztrátové teplo je velmi malé, i pro výkony kolem 1kW stačí menší pasivní chladič.



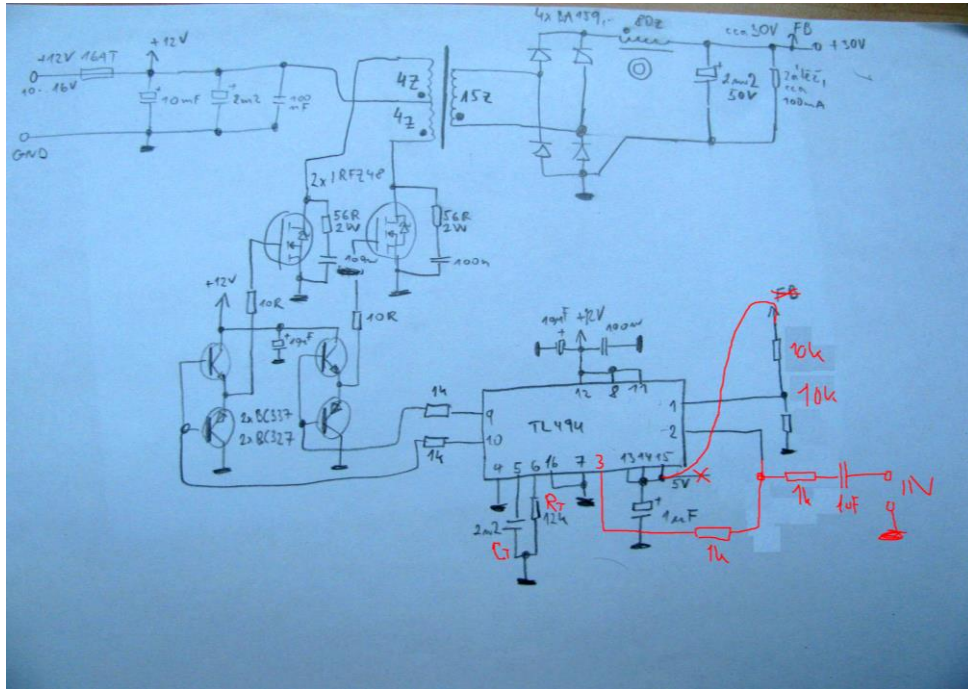
obr.č. 11 Schéma ZVS



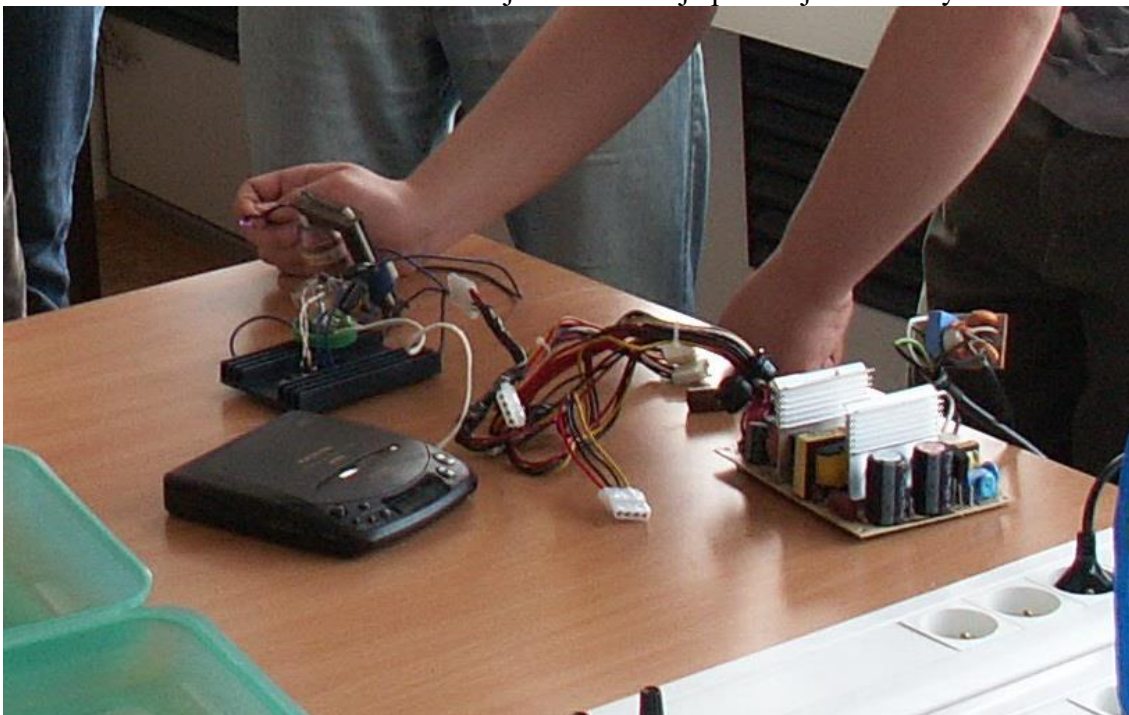
obr. č. 12: Oblouk ze ZVS

3.3. Hrající oblouky

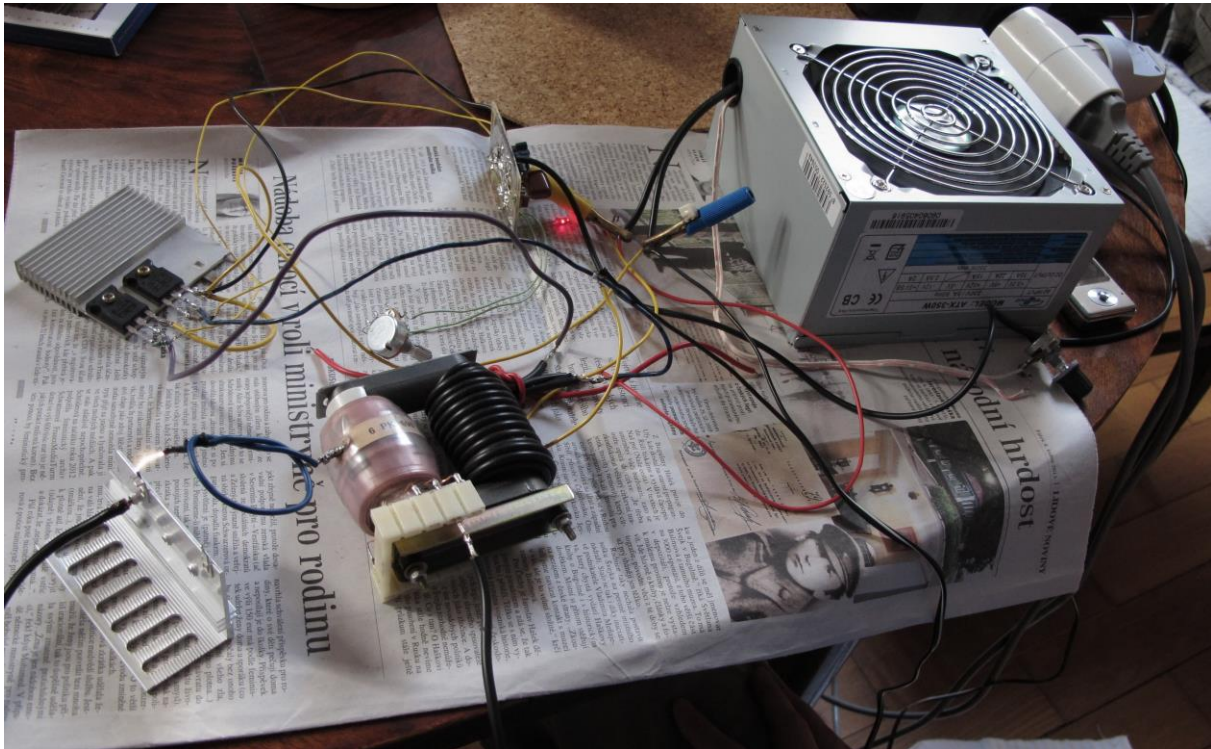
Jde o zdroj vysokého napětí řízený zvukem. Zvukový signál zde ovládá střidu buzení. Měnící se střída ovlivňuje výstupní výkon a výstupní výkon ovlivňuje sílu oblouku. Měnící se oblouk rozechvívá vzduch, čímž vzniká zvuk.



Obr. č. 12: Schéma dvojčinného zdroje pro hrající oblouky



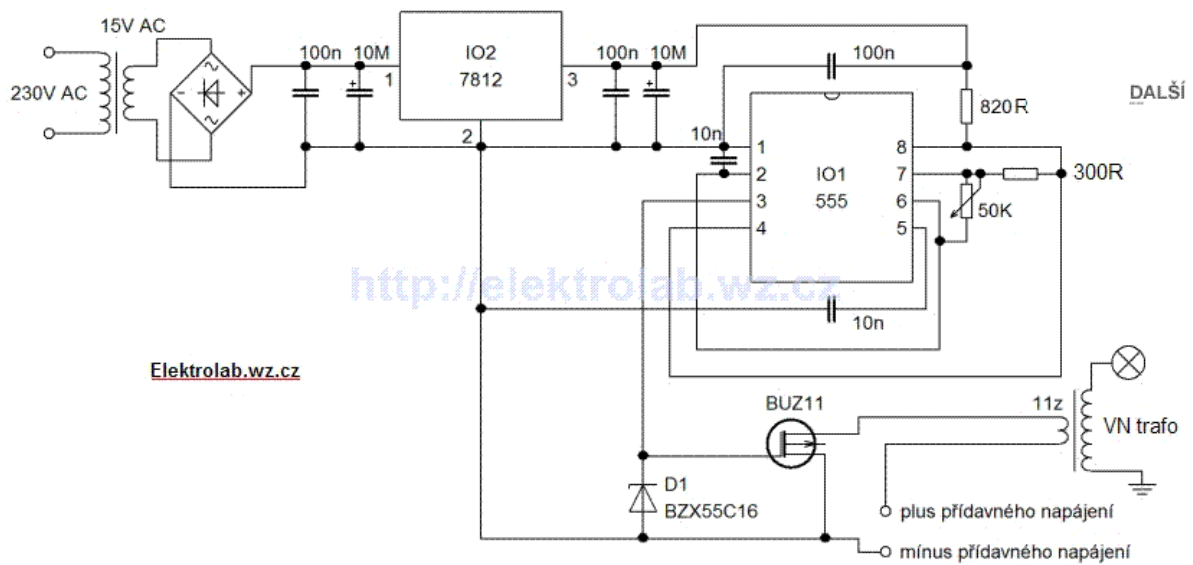
obr. č. 12: První – jednočinná verze hrajících oblouků.



obr. č. 13: Druhá, výkonnější (dvojitá) verze hrajících obkrouků – v přehledu typů dvojitých zdrojů jde o typologii B neboli push-pull. Zdroj je zde napájen regulovaným zdrojem mé vlastní výroby.

3.4. Buzená plazmakoule

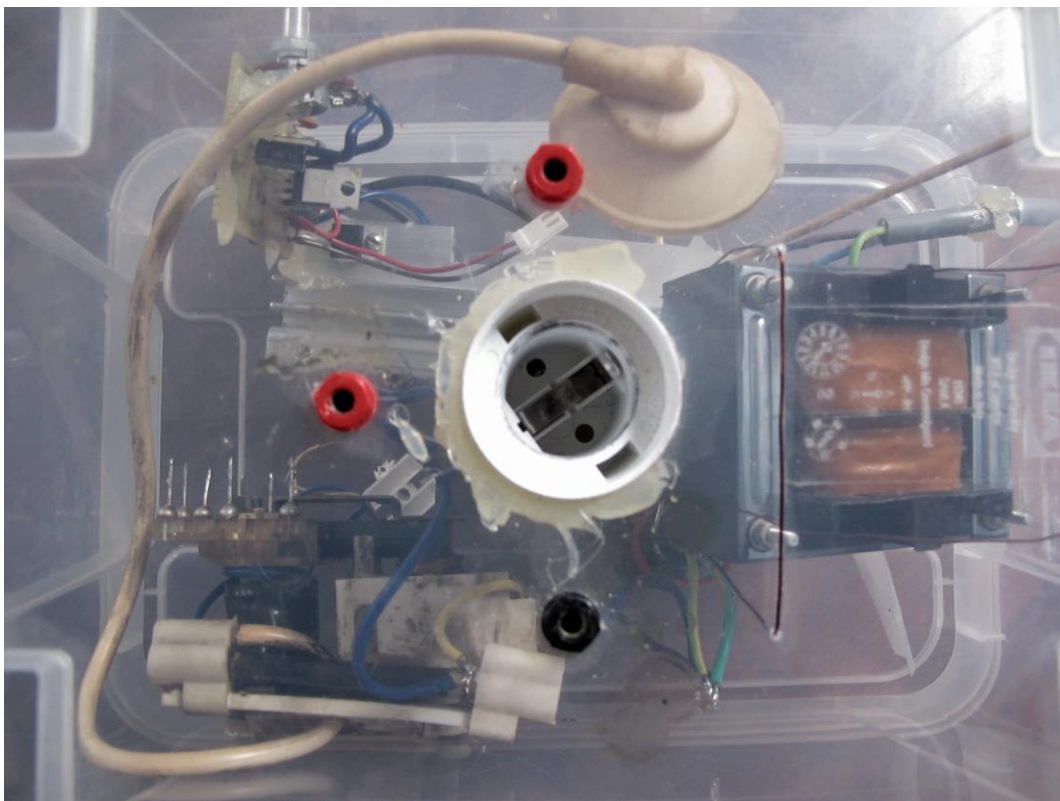
Jde o naprosto jednoduché schéma využívající oblíbený časovač 555.



obr.č.14: Buzená plazmakoule – schéma^[9]



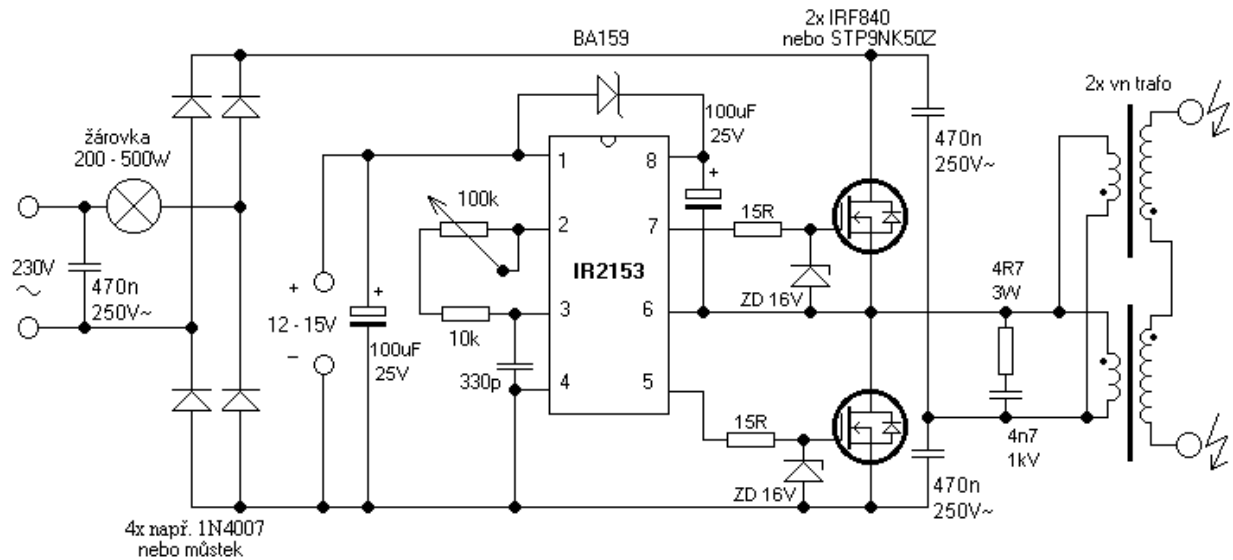
obr.č.15: Buzená plazmakoule



obr.č. 16: Buzená plazmakoule

3.5. Polomůstek

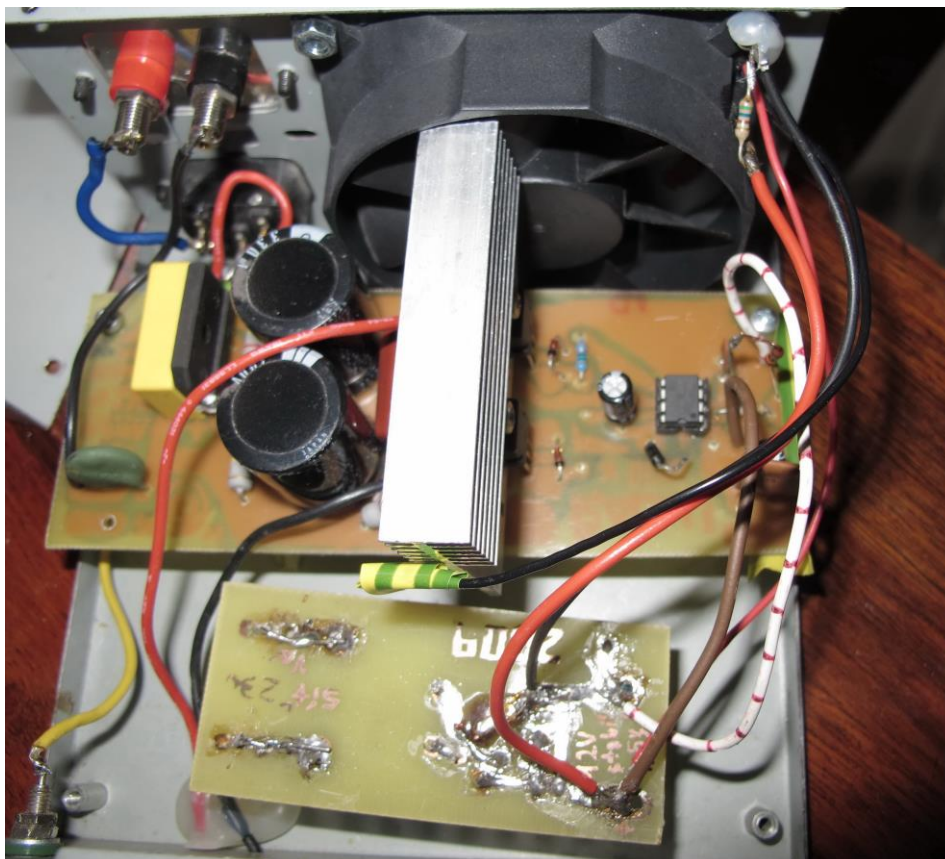
Z internetu stažené schéma^[6] jsem upravil – místo dvou kondenzátorů 470n jsem použil elektrolytické kondenzátory 330u, k nimž je transformátor připojen přes svitkový kondenzátor 1u a tlumivku. Vypustil jsem žárovku. Pro absenci proudové ochrany mi tento zdroj již několikrát vyhořel a chci jej nahradit vyspělejším typem.



Zdroj vysokého napětí (nejen) pro Jakubův žebřík

Vytvořil, odzkoušel a eskretil: Danek (DANYK.W2.CZ)

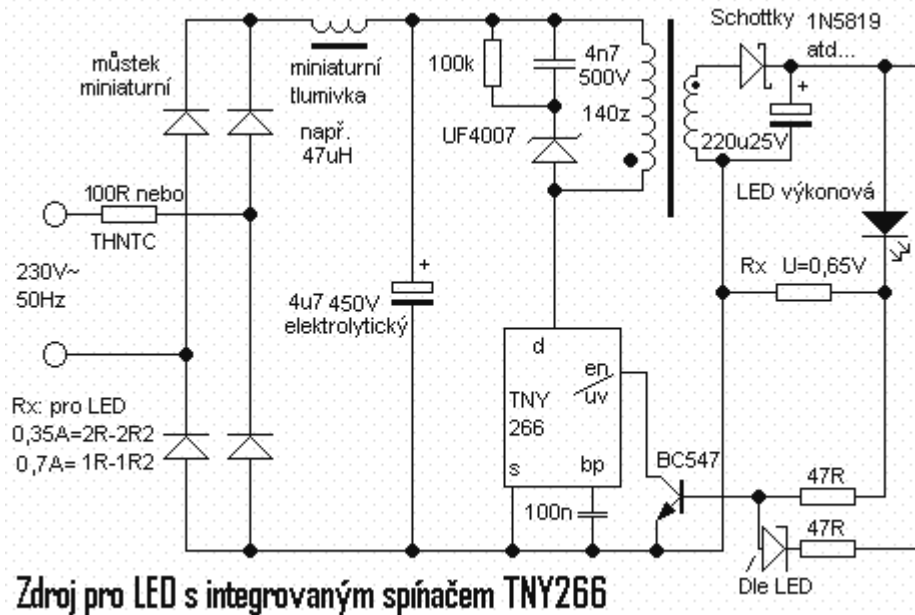
obr. č. 17: Schéma polomůstku^[6]



obr. č. 18: Vyrobený polomůstek.

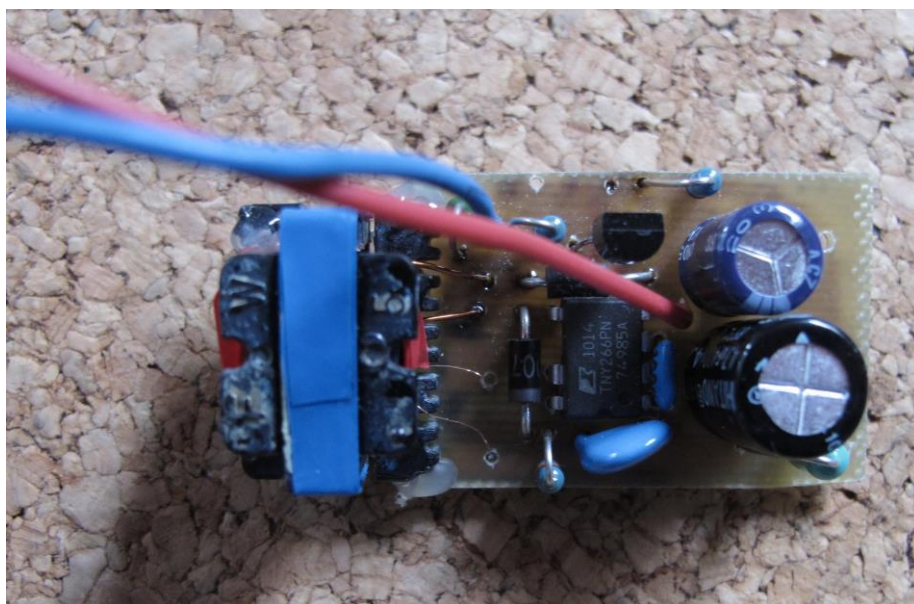
3.6. Zdroj pro LED s TNY 266

Velmi jednoduchý zdroj pro výkonovou LED. V zájmu miniaturizace a jednoduchosti jsem dokonce vypustil optron, takže je LED galvanicky spojena se sítí. V uzavřených svítidlech to ovšem nepředstavuje žádný problém. Zdroj pracuje v proudovém režimu – řídí se úbytkem napětí na odporu Rx tak, aby LED tekla požadovaný proud. Pokud dojde k poruše LED, zenerova dioda zajistí to, že napětí na výstupu nepřesáhne určitou hodnotu. Ze zdroje by ji bylo možno vypustit, pak by ale hrozilo jeho zničení při odpojení LED. Dále by bylo možno vypustit miniaturní tlumivku.

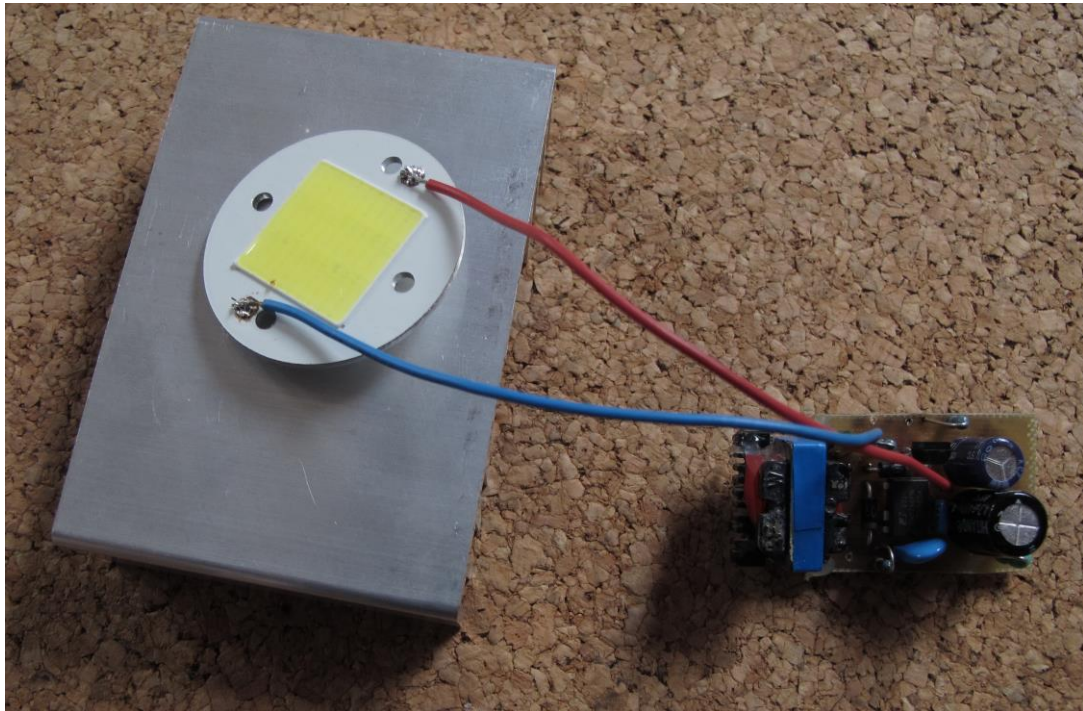


Zdroj pro LED s integrovaným spínačem TNY266

obr.č. 19: Schéma zdroje pro LED s integrovaným spínačem TNY266



obr.č. 20: Zdroj pro LED s TNY 266

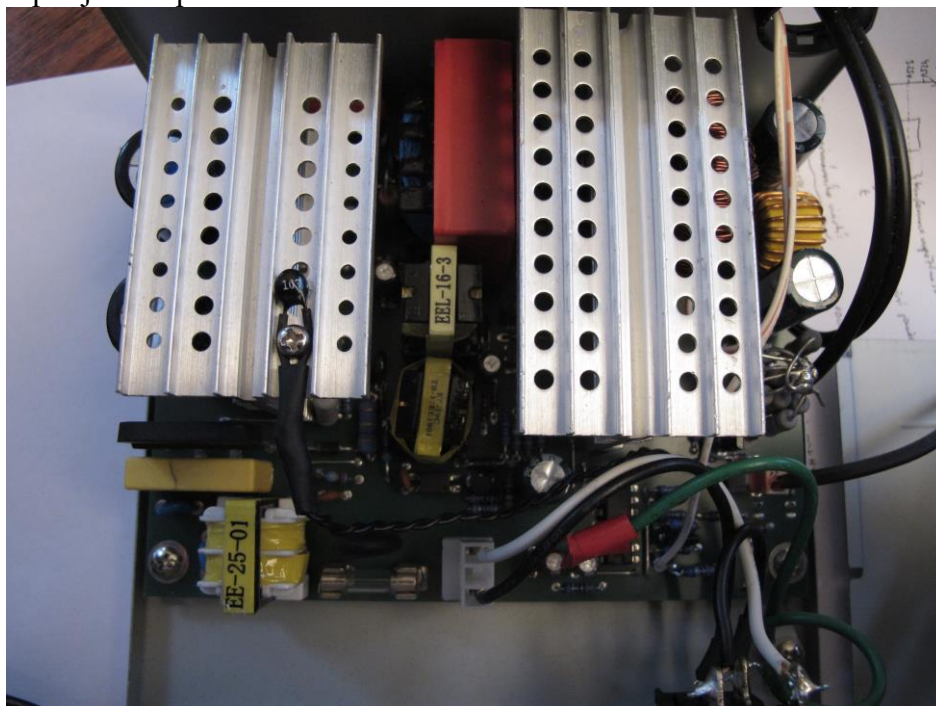


obr.č. 21: Zdroj pro LED s TNY 266

3.7. Regulovatelný zdroj 2,5-40 V (polomůstek) s bipoláry

Nefunguje zcela tak, jak jsem si představoval, proudová ochrana nefunguje a zvlnění výstupního napětí je větší, než by mělo být. Přesto dokáže zdroj být užitečný – jeho výstupní napětí je tvrdší než z klasického transformátoru (to znamená, že při zátěži tolik neklesá jako u klasického transformátoru).

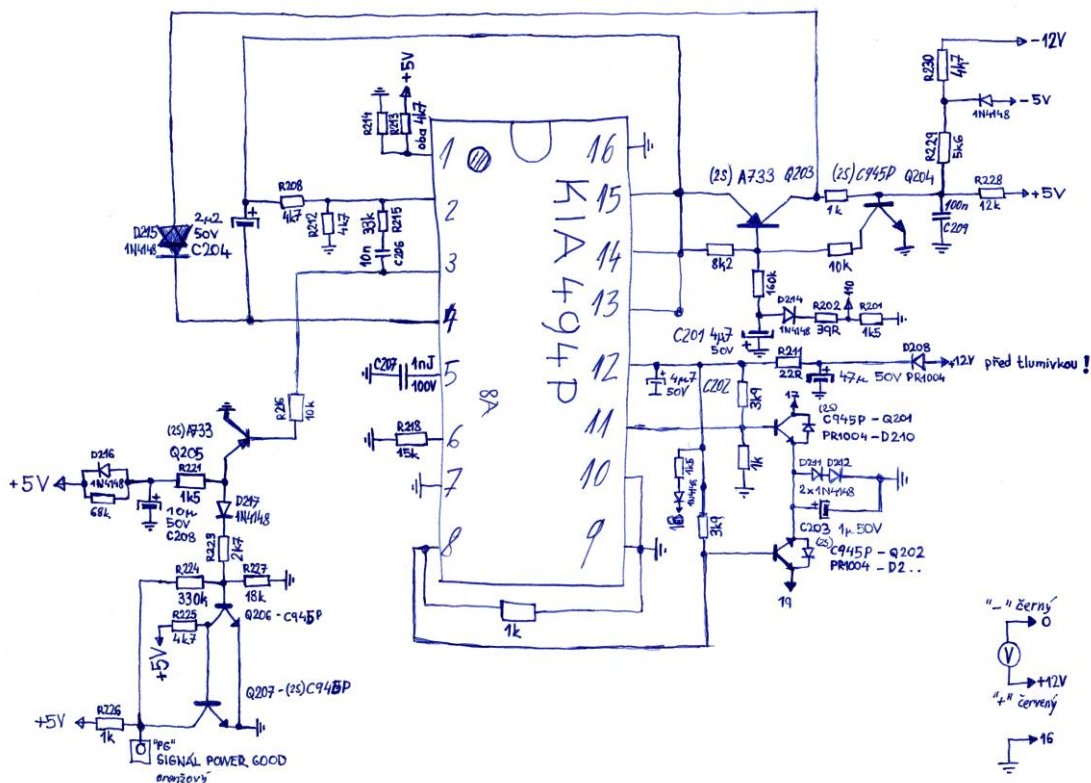
Schéma zde pro jeho nepřehlednost a nedokonalost nebudu uvádět.



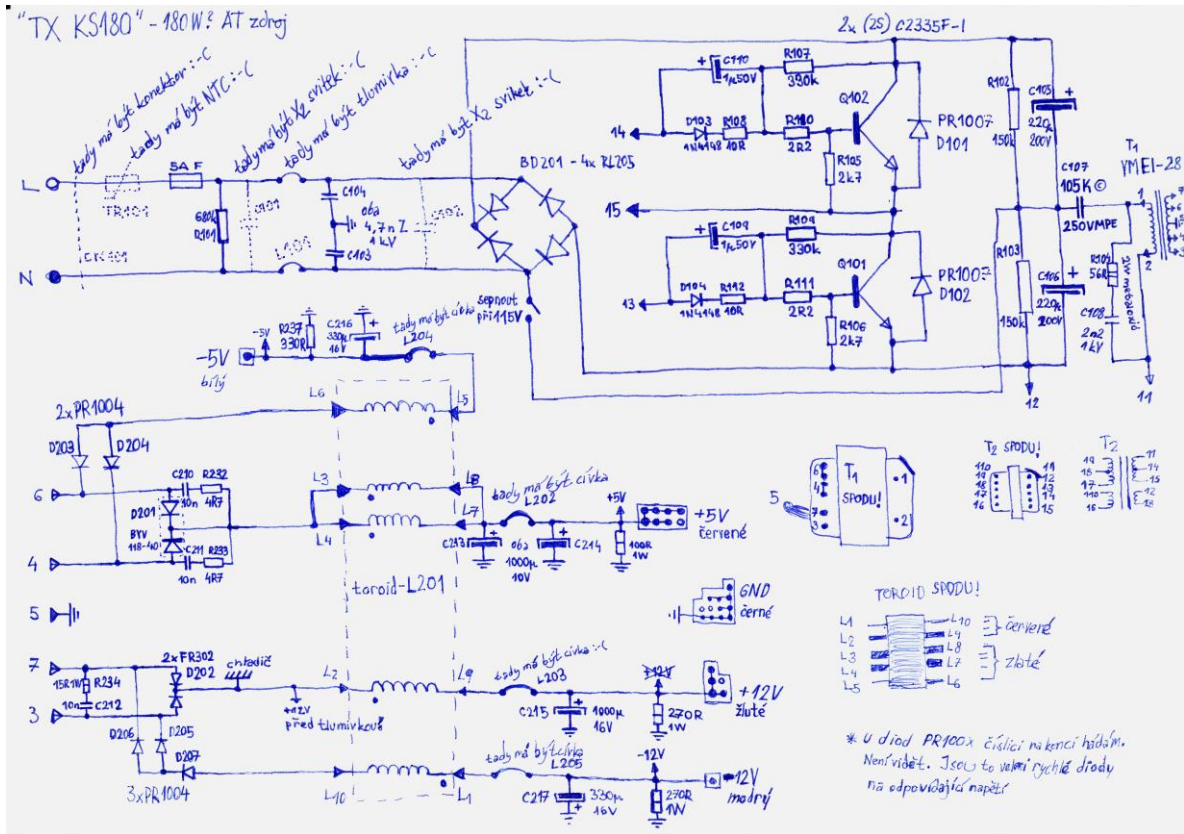
obr.č. 22: regulovatelný zdroj

3.8. Stavba spínaného zdroje pro multimediální počítač

Zjistil jsem, že ve své podstatě počítačový zdroj nemusí být složitý a použití budícího integrovaného obvodu SG3525 jej dále zjednodušuje. Ještě musím dorešit protizkratovou ochranu a odladit zdroj tak, aby nezakmitával a měl co nejmenší výstupní zvlnění – proto jsem tento zdroj ještě nedostavěl. Při práci jsem využil i dále uvedená schémata počítačových zdrojů. Doufám, že zdroj budu moci předložit již při obhajobě své práce.

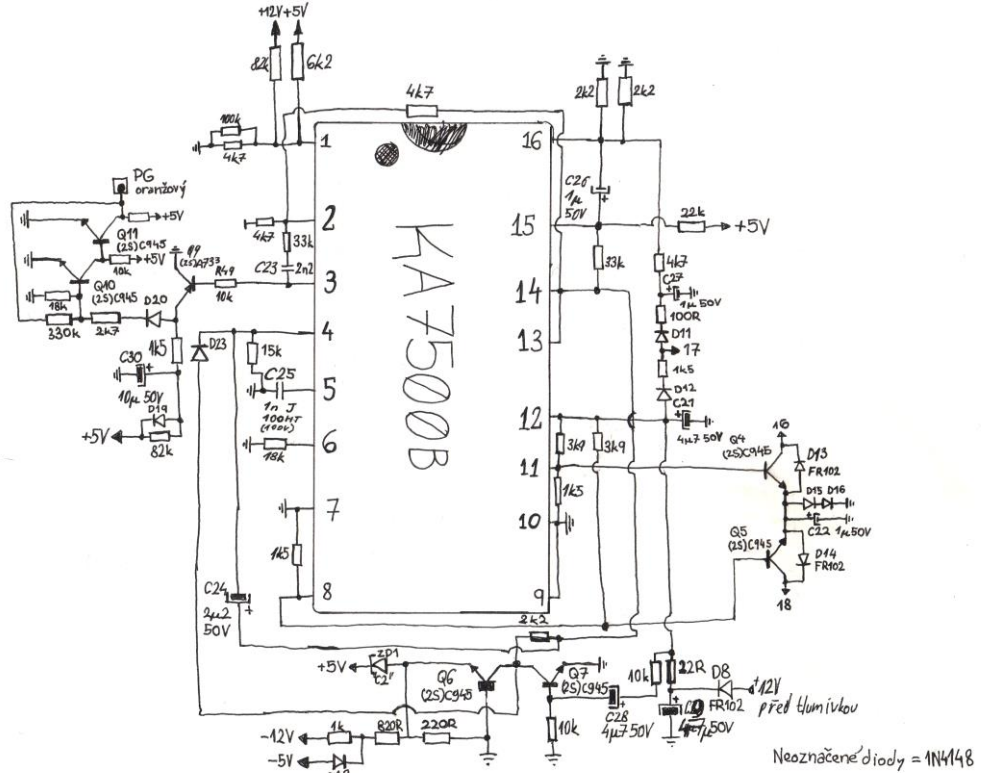


obr.č. 23: Schéma řídicí části AT zdroje TX KS-180



obr.č. 24 Schéma výkonové části AT zdroje TX KS-180.

Codegen U200CE
bwin



obr.č. 25 Schéma řídicí části AT zdroje Codegen U200CE.

Použitá literatura:

- [1] KREJČIŘÍK, A. *Napájecí zdroje I.*, dotisk 2.vydání, Praha: BEN, 2000. ISBN 80-86056-02-3
- [2] KREJČIŘÍK, A. *Spínané a napájecí zdroje s obvody TOPSwitch*, 1. vyd. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-7300-031-8
- [3] HUSÁK, M., JIRÁSEK, L., KREJČIŘÍK, A. *Návrh napájecích zdrojů pro elektroniku - cvičení*, 1. vyd., Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006.
- [4] HUSÁK, M. *Návrh napájecích zdrojů pro elektroniku – přednášky*, 1. vyd., Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006.
- [5] HUSÁK, M. *Napájecí zdroje v elektronice*, 1. vyd., Praha: Ediční středisko ČVUT, 1998.

Internetové zdroje:

- [6] <http://danyk.wz.cz/>
- [7] <http://www.radiohistoria.sk/Oldradio/main.nsf/wdocu/0000019>
- [8] <http://schmidt-walter.eit.h-da.de/smpe/smpe.html#Hdw>
- [9] <http://elektrolab.wz.cz/>