

Elektrolytické kondenzátory

1. Obecně o elektrolytických kondenzátorech

Elektrolytické kondenzátory se vyskytují prakticky v každém elektronickém zařízení, včetně vybavení raketoplánu nebo splachovací automatiky pisoáru. Protože se jedná o pasivní součástku, jejíž vlastnosti jsou podmíněny jistými elektrochemickými procesy, lze považovat elektrolytický kondenzátor jako takový za díl s podstatně zvýšeným činitelem poruchovosti, daleko vyšším než např. v porovnání s rezistorem či síťovou zástrčkou. Spolehlivost a životnost tohoto druhu kondenzátorů je přímo podmíněna čistotou surovin použitých při výrobě a technologické kázní, nepřímo pak jejich pracovními podmínkami /teplota okolí, mechanické namáhání, elektrické zatížení/. Pracujeme s nimi poměrně často a tak neuškodí trocha teorie o jejich principech, provedení a správného používání. Vše, co v tomto článku bude uvedeno, se vztahuje pouze na hliníkové elektrolytické kondenzátory. Elektrolytické kondenzátory jiných provedení, např. tantalové nebo s polovodivým elektrolytem, pracují na odlišných principech, využívají jiných materiálů, mají odlišné vlastnosti i použití a budou popsány v samostatné stati.

2. Princip činnosti a provedení

Od jiných druhů nepolarizovaných kondenzátorů /keramických, sítových, slídových/ se klasický hliníkový elektrolytický kondenzátor liší tím, že jednu z elektrod - katodu - netvoří kovová elektroda, ale vodivý elektrolyt. Je to chemikálie, jejíž přesné složení každý výrobce poměrně úzce tají a tak o ní my, obyčejní smrtníci víme jen tolik, že je na vzduchu a k ostatním anorganickým i organickým látkám zvláště za horka poměrně žíravá, lepkavá, při případném výbuchu kondenzátoru a potřísnění oděvu smrdí tak neuvěřitelně, až v daném momentu člověku napadne, že skunk je vlastně proti němu navoněný elegán. Elektrolyt musí být co nejvíce elektricky vodivý, v rozsahu pracovních teplot kondenzátoru nesmí zamrznat ani vřít, z hlediska chemického nesmí reagovat s materiály uvnitř kondenzátoru - s vývody, s hliníkem, s Al_2O_3 , pryží, plasty a materiálem separátoru. Dále musí umožňovat elektrolytickou oxidaci hliníku. Elektrolyty bývají směsí vody, etylénglykolu, vyšších alkoholů, solí a různých aditiv, tzv. gelové elektrolyty obsahují obdobné složky. Protielektrodou - anodou - je hliníková fólie o čistotě 99,999 nebo lepší, která je pro zvětšení svého povrchu elektrochemicky naleptána a rovněž elektrochemickým způsobem vytvořena izolační vrstvička Al_2O_3 , která tvoří vlastní dielektrikum. Katodová fólie /hliníková nebo cínová/ tvoří jen velkoplošný přívod proudu pro elektrolyt, jenž je nasáknut ve speciálním papíru o velké nasákovatosti a tvoří tedy jakýsi zásobník, zabraňuje zkratu mezi fóliemi a navíc zajišťuje minimální napětovou bezpečnost kondenzátoru. Na čistotě materiálu kovových fólií, kvalitě nasákovacího separátoru a koneckonců i na kvalitě uzávěru kondenzátoru závisí jeho výsledná kvalita a hlavně životnost. Celek /obě fólie se separátorem/ je svinut do svitku a podmíněně neprodyšně uzavřen v hliníkovém, popř. i plastovém pouzdře. V pouzdře může být umístěno i několik svitků - vytváří se tak vícenásobný /vícekapacitní/ kondenzátor. Běžně se vyráběly sdružené dvou- až pětínásobné kondenzátory pro elektronkové přístroje, kde každý kondenzátor má různou kapacitu dle účelu použití, záporné póly všech jsou propojeny. Rovněž se vyrábí dvojité kondenzátory pro symetrické zdroje polovodičových zesilovačů, kde jsou svitky uvnitř již vhodně propojeny. Izolační vrstva Al_2O_3 na anodové fólii se tvoří ve výrobě procesem, zvaným formování kondenzátoru. V současnosti se používá tzv. předformovaná fólie, nový kondenzátor by tedy teoreticky nepotřeboval další formování. Při výrobě se používá oxidovaná fólie šířky, kterou si obvykle řeže výrobce kondenzátorů z širokých rolí. Hrany fólie ve svitku tedy oxidované nebývají a teprve při formování se na nich vytváří vrstva oxidu. Na automatické výrobní lince bývají kondenzátory rychle formovány a měřeny. V dřívějších výrobcích se ale i nové kondenzátory větších kapacit /nebo pro vyšší napětí/ dlouhodobě formovaly v tzv. formovacích stojanech po několika stovkách kusů. Bylo tak velmi snadné pouhou optickou kontrolou vyřadit vadný kus - každý kondenzátor měl ve stojanu svou dvojici svorek a svou kontrolní žárovku s číslem svorek. V dnešní době a při dnešních objemech výrob je něco podobného zcela vyloučeno a jen při výrobě nejdražších průmyslových kondenzátorů přebírají kusové měření a kontrolu automaty. Protože hliníková fólie obsahuje zbytky atomů cizích prvků a vrstvička Al_2O_3 rovněž není nikdy zcela homogenní, prochází kondenzátorem po připojení na jmenovité napětí malý proud, zvaný zbytkový nebo také svodový. Delším beznapětovým skladováním nebo odstavením přístroje z provozu na delší dobu dochází k rozpouštění izolační vrstvy Al_2O_3 , tzv. odformování. Takto odformovaný kondenzátor má značně sníženo jmenovité provozní napětí a značně vysoký zbytkový proud, rovnající se několikatisícinásobku zbytkového proudu, běžného pro dotýčný typ. Takto odformované kondenzátory velkých kapacit je velmi nebezpečné připojovat přímo ke "tvrdému" zdroji ss napětí, protože jednak mohou přílišným počátečním proudem zničit usměrňovače nebo jiné prvky v zařízení, jednak prudkým ohřevem kondenzátoru při novém formování hrozí exploze přetlakem uvnitř kondenzátoru. U kondenzátorů větších kapacit může dojít i k lokálnímu prudšímu ohřevu, a lokálnímu poškození varem elektrolytu. Postup formování elektrolytických kondenzátorů bude uveden v samostatné stati.

Elektrolytické kondenzátory jsou pro případ přepólování /viz dále/, případně velkého překročení jejich dovoleného pracovního napětí opatřeny přetlakovou pojistkou, z nichž některé druhy se chovají podobně jako zpětný ventil. Takový kondenzátor si v případě krátkodobého překročení dovolených hodnot pouze "upšoukne", ale není okamžitě vyřazen z činnosti. Toto vratné provedení přetlakové pojistky se vyskytuje pouze u průmyslových kondenzátorů s velkou kapacitou a životností. Většina ostatních variant přetlakových pojistek je nevratných a odsoudí kondenzátor k výměně, zvláště pak běžné radiální kondenzátory s drátovými vývody. U nich přetlaková pojistka není buď vůbec /častěji/, případně je vytvořena jen prolisy a místním zeslabením materiálu na dně kalíšku kondenzátoru.

U axiálních elektrolytických kondenzátorů Tesla řady TE9xx a TF0xx slouží gumová průchodka, kudy prochází kladný pól kondenzátoru současně jako přetlaková pojistka, průchodka a lemování pouzdra je tvarováno tak, aby ani při havárii nenatropil kondenzátor příliš velké škody. Radiální kondenzátory Tesla řady TC934-939 s pájecími oky, řady TC515-521 s centrálním šroubem mají přetlakovou pojistku řešenu pryžovou zátkou, u typů TE672-683 pryžovou membránou, které ovšem u starších kondenzátorů ztvrdnou a pojistka jako taková není schopna plnit svou funkci. Tyto starší kondenzátory - pokud je už musíte použít - je nutné z bezpečnostních důvodů provozovat při značně sníženém napětí. Velmi dobře řešenou přetlakovou pojistku mají radiální elektrolytické kondenzátory, vyráběné Teslou jako poslední, řady TE922-927.

Vyzkoušel jsem ji na jednom starším kusu TE924 4m7/40V - který se mi stejně nelíbil svým zvýšeným svodovým proudem - přiložením tvrdého napětí 40V, avšak v opačné polaritě. Až cca po 2 minutách se ozvalo plesknutí a pak zvuk podobný parní pišťale, jak plyn bezpečně unikal přetlakovým ventilem. Ono plesknutí bylo protřetí tenkého okraje gumové zátky pojistky. Pokud nový, moderní a levný čínský kondenzátor větší kapacity a rozměrů podobná opatření ve dně nebo víčku kondenzátoru postrádá, pak se máte rovněž nač těšit - výrobce totiž spoléhá na "vystřelení" těsnícího pryžového uzávěru, kudy procházejí vývody. Takový kondenzátor se v okamžiku exploze chová podobně, jako raketový motor a projektil současně - obrovský přetlak plynu uvnitř a povolující uzávěr jej ženou vpřed, přičemž kondenzátor během letu vyprazdňuje svůj obsah dovnitř přístroje, nejčastěji na desku, na které nám velmi záleží a která nám dala hodně práce....

3. Parametry uváděné u kondenzátorů

- **jmenovitá kapacita** (uvedena přímo na pouzdře) a její tolerance – vzhledem k tolerancím při výrobě se kondenzátory vyrábějí s dosti velkou tolerancí, obvykle $\pm 20\%$ a více, nejsou výjimky ani -30 $+50\%$. Kdysi dávno ve výrobě Tesly řady TE98x byla zaručena tolerance přímo z linky -5 až $+95\%$. O trochu větší střední kapacitou z výroby si slušný výrobce ponechává rezervu na stárnutí, doformování v provozu apod.

- **pracovní napětí**, někdy se udávají 2 hodnoty – jmenovité a maximální (bývá přímo na pouzdře) – je to napětí, obvykle součet ss a střídavé složky, které nesmí být v provozu překročeno. Jsou-li uváděny 2 údaje – třeba 400/450V, bývá vyšší hodnota uváděna pro specifické podmínky, a je definována v katalogovém listu. Obvykle se jedná o krátkodobý provoz, přepětí při náběhu zdroje, součet určitého typu zvlnění apod. V data-sheetech výrobců bývá tato špičková, krátkodobá hodnota definována časem, hodnotou a výrazem „surge voltage“.

- **pracovní rozsah teplot** (uveden na pouzdře, většinou jen horní mez) – teplota okolí, v jejímž rozmezí je dovoleno kondenzátor používat a ve kterém zůstávají všechny parametry kondenzátoru v mezích, stanovených katalogovým listem. Při velmi nízkých teplotách se snižuje kapacita a zvyšuje vnitřní odpor (elektrolyt mrzne), při provozu nad dovolenou teplotou dochází k vysychání elektrolytu a prudkému zkrácení životnosti. Mezi výrobky renomovaných značek lze vždy nalézt alespoň jednu speciální řadu, schopnou pracovat i při velmi nízkých teplotách.

Seriózní výrobce udává velké množství údajů ke každému typu, mnohé údaje jsou vyjádřeny za určitých podmínek měření a jejich definice bývá výrobcem přesně specifikována. Další údaje bývají :

- **maximální dovolený proud zvlnění** - v závislosti na kmitočtu je u každého konkrétního typu dovolena max. velikost střídavého proudu, který může kondenzátorem protékat. U levných velkokapacitních kondenzátorů může být tento proud nečekaně malý. Překračování tohoto proudu má značný vliv na životnost, protože vlivem ztrát dochází k nadměrnému vnitřnímu ohřevu kondenzátoru. Rovněž vlivy častého nabíjení a vybíjení jsou velmi podstatné u kondenzátorů v měničích, výkonových zdrojích a v zábleskových zařízeních. Odolnost proti častému nabíjení a vybíjení bývá slušnými výrobci rovněž přesně specifikována.

- **ekvivalentní sériový odpor (ESR)** - je závislý na teplotě a kmitočtu, nad určitou teplotu a kmitočet bývá téměř konstantní. Zjednodušeně řečeno, představuje nám hodnotu vnitřního odporu, jakoby zapojeného do série s ideálním kondenzátorem. Velmi důležitý údaj u kondenzátorů pro impulsní zdroje a měniče. Velký ESR znamená velké přídavné ztráty, zvýšené oteplení a malou životnost.

- **ztrátový činitel tg δ** , někdy zkráceně D - poměr reálné (ztrátové) složky a reaktance kondenzátoru, při malých teplotách výrazně stoupá, rychle roste s kmitočtem. $1/D = Q$, což je nám známý činitel jakosti.

- **zbytkový proud** - je závislý na okamžitém napětí a teplotě. Bezprostředně po připojení kondenzátoru na napětí bývá vyšší a během krátkého času klesá na předepsanou, nebo nižší hodnotu.

- **životnost** - obvykle se udává při horní mezní teplotě okolí, při jmenovitém napětí a max. dovolené střídavé složce proudu.

4. Použití

Elektrolytické kondenzátory je nutno provozovat vždy při stejnosměrném napětí a s vyznačenou polaritou. Kondenzátorem může procházet střídavý proud jisté velikosti /např. při filtraci zvlnění ve zdrojích, výkonové vazební kondenzátory/, definuje jej výrobce v katalogovém listu, který je ke každému serióznímu výrobku dostupný. Součet pracovního ss napětí a superponovaného střídavého napětí za žádných okolností nesmí překročit jmenovité provozní napětí kondenzátoru. Zvláště dobrý pozor je třeba dávat u kondenzátorů v usměrňovačích na sekundární straně měničů, pracujících na vysokých kmitočtech a kde se na výstupu objevují při činnosti měniče napěťové špičky. Ty totiž velmi často svou velikostí několikanásobně přesahují povolené napětí kondenzátoru, kondenzátory se /nejen z napěťových důvodů/ velmi zahřívají, klesá jejich pracovní napětí a nezřídka při odlehčeném měniči vybuchují, zdánlivě bez příčiny. Je nutno ale poznamenat, že tyto a další podobné nežádoucí projevy elektrolytických kondenzátorů se vyskytují převážně jen u hloupě navržené, z mizerného a levného materiálu vyrobené čínské elektroniky.

Důležitou podmínkou správné a dlouhodobé činnosti elektrolytického kondenzátoru je okolní teplota. Dá se říci, že ze všech ostatních pracovních podmínek /jmenovité napětí, proud zvlnění, kmitočet procházejícího střídavého proudu a mech. namáhání/ má na spolehlivost a životnost kondenzátoru největší vliv. Nebudeme se zde zabývat složitými výpočty životnosti, uvedme jen, že při každém snížení pracovní teploty kondenzátoru o 7- 10°C stoupá jeho životnost přibližně na dvojnásobek. Je proto velmi vhodné kondenzátory montovat na takové místo a takovým způsobem, aby nemohlo dojít k jeho zbytečnému ohřívání. Pokud montujeme kondenzátory na desku plošných spojů, pak tedy co nejdále od chladičů polovodičů, výkonových odporů a dalších teplo produkujících prvků. Při montáži velkých průmyslových kondenzátorů na šasi zesilovače /např. plechovými sponami a pásky/ je podložíme jakýmkoli dostupným izolačním materiálem, špatně vedoucím teplo. To je důležité zvláště tehdy, jsou-li k šasi přístroje přišroubovány i chladiče výkonových polovodičových prvků, případně i výkonový transformátor. Při upevňování je třeba pamatovat na to, že kovový obal je buď spojen s elektrolytem, nebo se záporným pólem, jen výjimečně bývá kovové pouzdro od svítku zcela izolováno. Většina moderních kondenzátorů je opatřena povrchovou izolací ze smršťovací fólie - při upevňování větších kondenzátorů plechovými sponami a přichytkami je nutno zkontrolovat, zda upevňovací prvek neprořezal některou ostrou hranou povrchovou izolaci. Kondenzátor musí být umístěn tak, aby nebyla narušena funkce tlakové pojistky, dobrý konstruktér jej umístí tak, aby případná havárie nezpůsobila v přístroji větší škody. Je třeba si uvědomit, že při narušení těsnosti /aktivace přetlakové pojistky/ uniká z kondenzátoru velmi dobře vodivá, někdy vroucí kapalina, která způsobuje svody a zkraty na deskách plošných spojů. Nejsou-li učiněna dostatečná konstrukční opatření, dokáže tekutina např. v miniaturizovaných spínaných zdrojích spolehlivě přemostit bezpečnostní zónu mezi primární /síťovou/ a sekundární částí.

Kondenzátory bývají z provozu obvykle vyřazovány pro některé typické závady. Mezi ně patří zkraty – průrazem dielektrika apod., přerušení – často způsobené nekvalitním spojením elektrod s vývody, poklesem kapacity pod použitelnou mez (o čemž bude pojednáno dále), zhoršení ESR či tgD – často vlivem vysychání. Obvyklé je zvláště u mizerných výrobků s nekvalitním těsněním pouzdra postupný únik elektrolytu a samozřejmě ztráta kapacity. Mnohé nekvalitní kondenzátory jsou vyráběny jednak v záporné toleranci kapacity, jednak s dosti špatným /vysokým/ ESR. Vlivem stárnutí

se rychle – během jednoho roku - dostávají za obvyklou mez použitelnosti, která u značkových a kvalitních výrobků činí i 5 a více let. Další vadou, většinou vratnou, je odformování kondenzátorů při dlouhodobé nečinnosti.

5. Formování - Nové elektrolytické kondenzátory

Nové elektrolytické kondenzátory /případně skladované několik měsíců/ není třeba formovat vůbec. Je ale velmi vhodné přiložením jmenovitého pracovního napětí zkontrolovat jejich svodový proud, zvláště u typů s větší kapacitou a podezřelého původu. Několika minutami měření se tak dá vyhnout nepříjemným překvapením v hotovém přístroji, případně nečekané havárii. K výrobkům seriálních značek jsou k dispozici katalogové listy, kde je kromě hlavních parametrů uvedena také maximální velikost zbytkového proudu při jmenovitém provozním napětí. U dlouhodobě skladovaných značkových a kvalitních kondenzátorů se může projevit poněkud vyšší zbytkový proud, který ovšem po několika desítkách minut přiloženého jmenovitého napětí klesne na předepsanou mez. Při měření zbytkového proudu nových kondenzátorů, určených na napětí vyšší, než cca 160V lze zjistit poněkud vyšší zbytkové proudy, než u nízkonapěťových typů se shodnou kapacitou. Je to zcela normální jev, který přímo souvisí s konstrukcí kondenzátoru /tlustší dielektrická vrstva a separátor/. Maximální velikost je u solidních výrobků v katalogovém listu udávána. Při měření kondenzátorů stejné kapacity a napěťové třídy, ale neznámého původu tak lze získat vodítko k přibližnému určení maximální velikosti zbytkového proudu. Pokud měřením neznačkového výrobku zjistíme např. dvojnásobnou velikost zbytkového proudu, než by měl mít značkový výrobek shodné kapacity a napěťové třídy, je v konečném efektu lepší a dokonce levnější takový kondenzátor rovnou vyhodit a použít jiný, třeba i dražší značkový výrobek. Onen neznámý kondenzátor svým dvojnásobným či vyšším zbytkovým proudem už sám naznačuje, že jeho kvalita není nejlepší, životnost nebude vysoká, časem a teplem se totiž zbytkový proud zvětšuje a k havárii kondenzátoru tak dojde mnohem dříve. Rovněž je třeba posoudit, zda taková havárie a všechny nepříjemnosti s ní spojené vůbec stojí za nižší cenu neznačkového kondenzátoru, případně jaké destruktivní důsledky na přístroj taková havárie může mít.

V tomto odstavci si autor dovolí toto malé exposé:

Převážná většina v současnosti vyráběných běžných a levných typů elektrolytických kondenzátorů je určena pro aplikace v běžné spotřební elektronice, jejíž inovační cyklus se již blíží inovačním cyklům výpočetní techniky. Ten je shodný, nebo jen velmi málo přesahuje zákonnou záruční dobu, tj. dva roky. Životnost těchto levných kondenzátorů je tak "napasována" právě na tento inovační cyklus nebo je dokonce záměrně kratší, výrobci kondenzátorů i spotřební elektroniky s ní víceméně počítají. S čím výrobci ale naopak nepočítají, jsou opravy této levné spotřební elektroniky a její prodejní cena proto může být až neskutečně nízká. Směrem na západ od našich hranic si kupující běžně uvědomují, že nákup této levné elektroniky s sebou nese nutnost při první poruše přístroj vyhodit a ani se nepokoušet o opravu - vzhledem k hodinovým sazbám kvalifikovaných servisních techniků se to nevyplácí. Bohužel u nás doma-po čtyřiceti letech socialismu-není zákazník zvyklý a připraven i takovýto levný přístroj jen tak vyhodit. Byli jsme totiž z dřívějšíka zvyklí, že nějaký přístroj musel běžně vydržet fungovat 5-10 i více let a tento pocit bohužel pořád přetrvává, hlavně díky poměrně nízké kupní síle našeho obyvatelstva. Pokud budete např. měřit nový kondenzátor Jamicon 100u/35V, naměříte jen o málo více, např. 102u, neznačkové a neznámé kondenzátory mívají téměř pravidelně kapacitu nižší. Zcela jiná situace je při měření elektrolytických kondenzátorů Tesla, vyrobených před patnácti a více lety. Je u nich po nutném zformování možno naměřit kapacitu až o 80% vyšší a to i po takto dlouhém skladování. Je tedy zcela jasné, že s takto vyrobenými kondenzátory Tesla /pokud nenastala jiná porucha/ mohl přístroj skutečně fungovat velmi dlouho, často i více, než 30 let. Například měřicí technika z Tesly Brno, osazená vcelku běžnými kondenzátory tuzemské výroby spolehlivě funguje i po více než dvaceti letech, procento poruchovosti kondenzátorů v elektronice Tesly Vráble je i přes tepelné namáhání velmi nízké. Naopak - měřením asijských kondenzátorů Yageo a N.A., kterými byl osazen nijak tepelně namáhaný amatérský koncový zesilovač 2x40W s TDA1514, byl zjištěn téměř 50% úbytek kapacity po 1 roce provozu cca 4 hodiny denně! Levné kondenzátory, vyráběné v současnosti v Asii přísně podléhají filozofii "dostaneš, co si zaplatíš" a jejich životnost tomu také odpovídá. To je hlavním důvodem mé téměř zuřivé propagace používání značkových a seriálních výrobků známých a osvědčených firem, přestože jejich cena je mnohdy proti neznačkovým několikanásobná. Použití kvalitních a značkových součástek významně ovlivňuje celkovou životnost i amatérského přístroje. Velká servisní centra spotřební elektroniky, ale i některé malé firmy s oblibou tento neznačkový materiál při opravách používají - jednak je velmi levný a jednak díky jeho krátké životnosti má servis opět postaráno o práci...V amatérské praxi je zbytečné si zcela vědomě přidělovat práci a problémy používáním tohoto materiálu, byť velmi levného. Nestavíme přece za nemalého úsilí amatérský přístroj /který nám má spolehlivě a bezpečně sloužit/ proto, abychom jej za dva roky museli pracně opravovat či vyhodit kvůli mizernému materiálu a několika desítkám ušetřených korun.

6. Formování - Starší elektrolytické kondenzátory

Jak již bylo uvedeno, při dlouhodobém beznapěťovém skladování, případně dlouhé odstávce přístroje dochází v elektrolytickém kondenzátoru k částečnému rozpuštění dielektrické vrstvy Al₂O₃, tzv. odformování. Takto odformovaný kondenzátor je nutno před aplikací, nebo zapnutím dlouho odstaveného přístroje /několik let/ znovu naformovat. K tomuto procesu je zapotřebí regulovatelný zdroj napětí až do výše maximálního provozního napětí kondenzátoru, který formujeme a zdroj musí obsahovat i proudové omezení, aby přílišným proudem do odformovaného kondenzátoru nedošlo k jeho ohřevu nebo destrukci. Zdroj musí být bezpodmínečně vybaven ampérmetrem s rozsahy např. 200uA-2mA-20mA-200mA pro neustálou kontrolu proudu, který při formování do kondenzátoru teče. Vhodný je samozřejmě i voltmetr, připojený paralelně k formovanému kondenzátoru pro kontrolu napětí na kondenzátoru. Vhodný zdroj lze realizovat několika způsoby, zdroje budou popsány v samostatné stati. Kondenzátor připojíme ve správné polaritě k regulovatelnému zdroji a za neustálé kontroly procházejícího proudu pomalu zvyšujeme napětí až ke jmenovité hodnotě. Procházející proud by u kondenzátorů do 10.000uF a 100V provozního napětí neměl v celém průběhu formování překročit cca 15mA, u kondenzátorů na napětí 160-450V pak maximálně 5mA. Výjimkou jsou průmyslové kondenzátory velkých kapacit, na vyšší napětí a se šroubovými přívody, kde lze na počátku formovacího procesu připustit procházející proud i 30mA. Lze samozřejmě nastavit i vyšší proud, ovšem velmi vzrůstá riziko ohřevu a následné reakce přetlakové pojistky, po jejíž aktivaci je běžný kondenzátor většinou již k ničemu. Procházející proud postupně klesá s formováním dielektrické vrstvy, kondenzátor za stálé kontroly proudu necháme připojen na jmenovité napětí tak dlouho, dokud zbytkový proud neklesne na hodnotu, danou katalogovým listem. Tento proces může u starších kondenzátorů trvat velmi dlouho, i několik hodin. Zde je na místě trpělivost, některé starší kondenzátory se formovacímu procesu jakoby "brání" tím, že při najíždění napětí neklesá procházející proud, nebo jen velmi pomalu, nebo se na určité hodnotě napětí jakoby "zaseknou". V těchto případech je nutné vyčkat, až proud klesne např. na polovinu, znovu opatrně přidat napětí a opět vyčkat na pokles proudu atd. Tímto postupem se dá 95% kondenzátorů přinutit k normální funkci a se jmenovitou či vyšší kapacitou. Tomuto postupu vzdoruje jen malé procento některých velmi starých /30 a více let/ vysokonapěťových kondenzátorů s centrální maticí, případně starých vysokokapacitních typů na nízké napětí. Tyto kondenzátory mají chemickým procesem nevratně poškozeny elektrody a nezbyvá, než se s nimi u kontejneru důstojně rozloučit.

Při formování sledujeme nárůst napětí a kontrolujeme případné oteplení (u velkých kapacit), oteplení musí být velmi malé, max. do 35°C. Ke konci formování protéká jen velmi malý ustálený proud, přesto je vhodné nechat ještě určitý čas kondenzátor pod napětím. Po skončení formování velkých kondenzátorů je vhodné změřit zbytkový proud, není-li výrazně vyšší, než uvádí výrobce. Dvojnásobek jmenovitého zbytkového proudu u značkových typů ještě neznamená nic dramatického, jedná-li se ovšem např. o pětinasobek, je nutné takový kondenzátor vyřadit, případně použít v nenáročném zařízení a při značně nižším napětí.

V historických zařízeních lze občas potkat kondenzátory velmi starého provedení s pevnými elektrodami a tekutým elektrolytem, jejichž kapacity bývají cca do 20uF. Tyto typy mají dovolenu pouze svislou pracovní polohu, elektrolyt jinak nezaplavuje elektrody. U nich je třeba formovat zvláště opatrně a velmi malým proudem, jinak dojde ke zničení /většinou k explozi a zkorodování vnitřku přístroje/. Někdy je nutné napřed kondenzátor velmi opatrně a trpělivě rozebrat, doplnit zčásti vyschlý tekutý elektrolyt do předepsané výšky destilovanou vodou a případně vyměnit zpuchřelou gumovou přetlakovou pojistku. Je nutné pracovat velmi opatrně a s nejvyšší čistotou, protože molekuly cizorodých prvků, které se do roztoku elektrolytu nebo na elektrody dostanou, zbytečně zvyšují svodový proud - mimoto je vlastní elektrolyt velmi silná žíravina. Nej kvalitnější výrobky tohoto druhu, z nichž mnohé jsou i po cca 70 letech funkční a těsné, produkovala holandská firma Philips a česká Elektrotechna /jako příklad mohou uvést několik plně funkčních kondenzátorů tohoto typu v rovněž funkčních rozhlasových přijímačích Philips a Telefunken z roku 1931 a 1935/.

6. Měření kapacity elektrolytických kondenzátorů

Elektrolytické kondenzátory se již kvůli jejich principu činnosti měří dosti obtížně. Na závadu měření je jejich nezanedbatelný svodový proud, vysoký ztrátový činitel a také to, že k měření nelze použít příliš vysoké střídavé napětí - kondenzátory zejména vyšších kapacit a na nižší provozní napětí se jím mohou snadno poškodit. Velmi hrubou informací o stavu kondenzátorů do kapacity asi 200uF lze získat i běžnými digitálními multimetry na rozsahu měření kapacit. Na polaritě připojeného kondenzátoru přitom nezáleží, kondenzátor je bezpodmínečně nutné před měřením důkladně vybit a nechat několik sekund zkratovaným, jinak velmi pravděpodobně dojde k poškození příslušného rozsahu multimetru. Záměrně píším "velmi hrubou informací", protože lze získat pouze údaj o stavu kondenzátoru a jeho přibližnou kapacitu, tedy víceméně rozlišit stavy "jakási kapacita - proražený - přerušovaný - vyschlý". Tyto multimetry měří kapacitu buď běžnou můstkovou metodou, kdy kondenzátorem prochází nepatrný proud řádu desítek mikroampér, srovnatelný mnohdy s velikostí svodového proudu, nebo je použit jako kapacita v RC oscilátoru, obvykle s obvodem řady 555. Zde je onen první háček : měřený kondenzátor, který bude mít skutečnou kapacitu o mnoho nižší proti štítkové, ale zato vysoký svodový proud, se ukáže v prvním případě na multimetru jako dobrý, dokonce s rezervou kapacity, ve druhém případě ho vůbec nebude možné změřit, nebo přístroj bude opět ukazovat údaj s velkou chybou. Kondenzátory vyšších kapacit běžnými přístroji nelze měřit vůbec, výjimkou jsou některé dražší digitální multimetry, měřící až do 1000uF, ovšem stejnou metodou a zatíženou stejnou chybou. V amatérských časopisech bylo uveřejněno mnoho různých přípravků k měření elektrolytických kondenzátorů a zvláště vyšších kapacit, ovšem ne všechny podávaly pravdivou informaci o stavu kondenzátoru a jeho použitelnosti.

Naštěstí existuje poměrně jednoduchá metoda, jak toho zjistit o dotyčném kondenzátoru poměrně hodně. Jsme bastlíři a proto nebudeme dělat věci složitější, než doopravdy jsou - přípravek je skutečně velmi jednoduchý. Využijeme známé vlastnosti kondenzátoru, tzv. kapacitní reaktance - kondenzátor klade střídavému proudu určitý odpor, prakticky přímo úměrný kmitočtu a kapacitě. Pokud použijeme známý kmitočet - v tomto případě 50Hz ze sítě - a šikovně zvolíme konstantní měřicí napětí tohoto přípravku, lze úspěšně měřit elektrolytické kondenzátory až do kapacity cca 15.000uF. Potřebujeme k tomu jen jakýkoli síťový transformátor o výkonu cca 100VA, například bezpečnostní transformátor 230/24V z rozvaděče nn, používaný k napájení přenosných svítilen bezpečným napětím. Musí to být transformátor schopný bezbolestného rozebrání, protože sekundár o napětí 24V je třeba odvinout. Před úpravou změříme skutečné sekundární napětí. Při odvíjení je třeba pečlivě spočítat původní počet závitů, pak dělit původním sekundárním napětím a dostaneme počet závitů na 1V napětí. Pak co nejtlustším vodičem /průměr 2-3mm, nebo izolovaný měděný pásek např. 5x1,5mm/ navineme takový počet závitů, aby sekundár dával napětí 3,2V s max. 5% tolerancí. K navinutí lze použít i běžný elektroinstalační vodič o průřezu 4-6 mm² s plastovou izolací, případně i lanko stejného průřezu - místa bude v cívce víc než dost a ohřev vinutí nehrozí, měříme jen krátce. Takto velký průřez je nutný - sekundární napětí musí při zatížení co nejméně klesat, aby nebylo měření zatěžováno příliš velkou chybou. Pak na toto sekundární vinutí přes ampérmetr /s vhodným rozsahem-viz dále/ připojíme měřený kondenzátor. Napětí 3,2V je zvoleno z několika důvodů : 1. takto nízké měřicí napětí nevadí ani elektrolytickým kondenzátorům na nízké napětí, 2. při tomto napětí /přesněji 3,18V/ a kmitočtu 50Hz teče měřeným kondenzátorem **na každý mikrofarad kapacity 1 mA proudu**. Dobrým /novým/ elektrolytickým kondenzátorem 2200uF tedy poteče proud kolem 2,2A, ale spíše o něco více při měření elektrolytických kondenzátorů výroby Tesla, které byly vyráběny s velkou kladnou tolerancí kapacity. Tímto měřením jsme se zároveň přesvědčili o vyhovujícím stavu vnitřních přívodů ke svitku kondenzátoru. Ty jsou totiž tvořeny buď hliníkovými fóliemi, nebo hliníkovými vodiči, které elektrolyt postupem času chemicky napadá. Pokud se Vám při takovém měření /a zvláště starších kondenzátorů vyšších kapacit/ stane, že proud kondenzátorem prochází jen chvíli, je nižší, než by přibližně odpovídalo kapacitě a po chvíli spadne na nulu, pak vnitřní přívody kondenzátoru uhořely. Vy teď můžete být jen rádi, že se to stalo při měření na stole, nikoli až v hotovém přístroji. Tam totiž taková havárie kondenzátoru může mít fatální následky např. pro zesilovač i pro připojenou zátěž. Kondenzátor s "načatými" vnitřními přívody by totiž stejně dlouho nepřežil velké nárazové proudy při zapínání přístroje. Situace je o to zrádnější, že při měření na jiném typu měřiče /podle napěťového poklesu či časového měření na konstantní zátěži/ by kondenzátor ukázal správnou kapacitu. Pouze při tomto měření velkým proudem, kdy dojde na nahnilých vnitřních přívodech k velkému úbytku napětí a tím i poklesu proudu kondenzátorem, lze zjistit téměř pravdu /do kondenzátoru a ženy nevidíš../ Je také faktem, že profesionálové používají tovární měřiče, kterými lze změřit na tomto typu kondenzátorů prakticky vše. Díky jejich ceně jsou ale bastlířům a amatérům v podstatě nedostupné. Pro naše účely /filtrace v zesilovačích a dílenských zdrojích, větší vazební kapacity/ tento improvizovaný způsob měření naprosto vyhovuje. Jiná situace je u elektrolytických kondenzátorů, určených pro spínané zdroje. Zde již záleží nejen na jmenovité kapacitě a svodovém proudu, ale také na velikosti ztrátového úhlu a ekvivalentního sériového odporu /ESR/. Podle mých vlastních zkušeností jsou na kvalitu elektrolytických kondenzátorů - zvláště blokovacích - přímo dramaticky citlivé koncové zesilovače ve třídě T s obvody Tripath. Podrobnější vysvětlení přesahuje rámec tohoto článku.

Je vhodné, aby i před tímto měřením byl kondenzátor zformován na své jmenovité pracovní napětí - měření se tím dosti zpřesní. Pokud se Vám podaří sekundární napětí "strefit" kolem 3,2V a při zatížení poklesne toto napětí na 3,17-3,18V, tak měříme prakticky jen s chybou, danou pouze třídou přesnosti použitého ampérmetru. Varuji před použitím jakéhokoli jistění sekundárního vinutí transformátoru - při proudu, který jím může téci, vznikne na jakékoli pojistce a jejím držáku takový úbytek napětí, že i přibližná přesnost tohoto měření jde do háje. Pokud nepoužijete analogový-ručkový měřicí přístroj, pak připomínám, že při použití digitálního multimetru je třeba zvolit druh, označený "TRUE RMS". Tento typ multimetru měří na střídavých rozsazích skutečnou efektivní hodnotu střídavého proudu či napětí. S běžnými digitálními multimetry bez tohoto označení naměříte naprosté hlouposti, v lepším případě obdržíte údaj zatížený chybou cca 15%.

7. Další typy elektrolytických kondenzátorů

Předchozí pojednání se týkalo pouze polarizovaných hliníkových elektrolytických kondenzátorů s kapalným elektrolytem, které jsou nejrozšířenější. Vyrábějí se i s gelovým elektrolytem a byly vyvinuty i s tuhým elektrolytem, pokud je mi známo, vyrábějí se pouze pro zvláštní účely. Hliníkové kondenzátory se vyrábějí i v nepolarizované podobě – označují se jako bipolární kondenzátory. U nich jsou obě elektrody tvořeny oxidovanou fólií, takže vzniká konstrukce kov-dielektrikum-elektrolyt-dielektrikum-kov. Vyrábějí se jak malé hodnoty pro vazební účely (část výrobců je odlišuje žlutým nebo oranžovým přebalem pouzdra), tak větší hodnoty – zvláště pro reproduktorové výhybky a reaktanční obvody TV přijímačů a CRT monitorů. U těchto použití je bezpodmínečně nutné kontrolovat velikost a frekvenci procházejících proudů a oteplení, jinak bude docházet k velké poruchovosti. Bipolární elektrolytický kondenzátor je zcela zásadně určen pro střídavý proud a napětí. Zcela běžný je tento jev u reproduktorových výhybek, pokud jsou těmito kondenzátory osazeny a dojde k jejich silnému dlouhodobému přetížení. Kromě spálených cívek reproduktorů najdete ve výhybce soustavy - pokud jsou v ní použity - i doslova roztrhané bipolární kondenzátory, jejich vnitřnosti jsou rozmetány po vnitřních stěnách soustavy. Dlužno podotknout, že bipolární elektrolytické kondenzátory se používají pouze ve výhybkách soustav nejnižší a nižší střední třídy, solidní výrobce, který myslí konstrukci soustavy vážně a také si váží zákazníka, tento druh kondenzátorů zásadně nepoužívá. Rovněž v PA reproduktorových soustavách seriálních výrobců bipolární kondenzátory nenajdete. Bipolární kondenzátory mají totiž přibližně dvojnásobný ztrátový činitel, při velkých průchozích proudech /výkonech/ se prudce zahřívají a to vede k jejich destrukci.

Odlisným typem jsou tantalové elektrolytické kondenzátory. Rozeznáváme dva druhy těchto kondenzátorů. První typ je vinutý kondenzátor s tekutým elektrolytem, druhý typ se sintrovanou anodou a kapalným nebo tuhým elektrolytem. U tantalových kondenzátorů se sintrovanou anodou /spékaná a oksyčlená tableta z tantalového prášku/ tvoří dielektrikum vrstvička kysličníku tantalického. Katodou je velmi vodivá kyselina, nejčastěji kyselina sírová. Toto provedení se uzavíralo do válcových pouzder ze stříbra, které tvoří zároveň záporný vývod (např. řada Tesla TE150 nebo TE190). U tantalového kondenzátoru s pevným elektrolytem je katoda tvořena polovodivým kysličníkem kovu /nejčastěji kysličník manganický/, naneseným na kysličníkovou vrstvu anody. Přívod proudu představuje grafitová a stříbrná vrstvička na polovodivé vrstvě. Takovéto kondenzátory mohou být velmi malé, vyrábějí se v kapkovém provedení a v současnosti i v SMD pouzdrech.

Jistou nevýhodou tantalových kondenzátorů je poněkud vyšší cena, daná cenou použitých surovin a náročnou technologií výroby. Vyrábějí se jen do menších napětí /max. do 100V-TE198/ a menších kapacitách, od 0,1 μ F do několika stovek μ F. Jsou velmi citlivé na napěťové přetěžování, několikaminutové přepólování tantalového kondenzátoru většinou znamená nevratné zvýšení jeho zbytkového proudu, při déletrvajícím přepólování napětím vyšším, než cca 1,5V se kondenzátor zcela zničí. Výhodami těchto kondenzátorů jsou až o dva řády nižší hodnoty zbytkových proudů /zvláště typy s tekutým elektrolytem a sintrovanou anodou/, nižší ESR, nižší parazitní indukčnost, časová stálost kapacity a dlouhá životnost /oproti běžným hliníkovým typům až desetinásobná/. Tantalové elektrolytické kondenzátory nevyžadují formování a to ani po dlouholetém skladování. Často se používají v průmyslových zařízeních s dlouhou předpokládanou životností a na místech zapojení, kde by svodový proud běžných kondenzátorů mohl ovlivnit např. nastavení pracovního bodu. Díky podstatně nižšímu ESR /ve srovnání s běžným kondenzátorem srovnatelné kapacity/ a nízké parazitní indukčnosti se často tento typ kondenzátorů používá jako dokonalé blokování napájecích větví. Rozsah provozních teplot je standardně -55 až +85°C, některé typy mohou pracovat i při teplotách do 125°C, přičemž je jejich kapacita po celou dobu předpokládané životnosti stabilní. Jejich velkou nevýhodou je problematická ekologická likvidace.

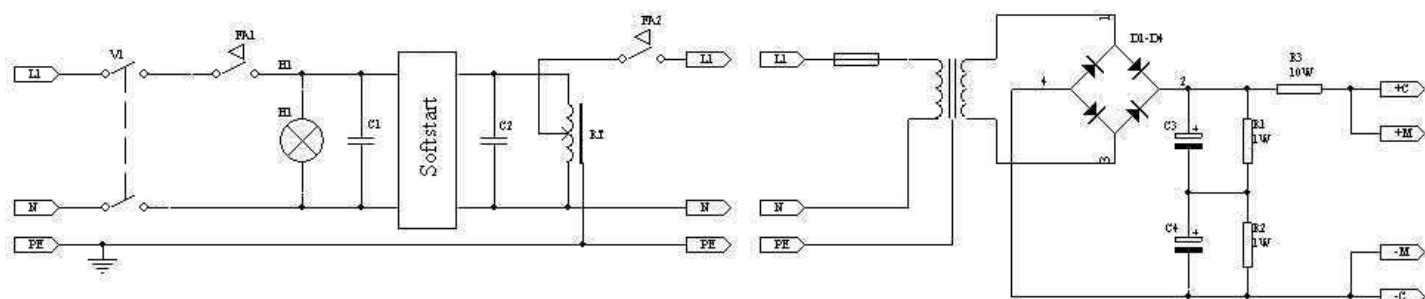
U malých asynchronních elektromotorků se často lze setkat i s tzv. rozběhovými elektrolytickými kondenzátory. Je ovšem třeba rozlišovat tzv. **běhové kondenzátory**, které jsou určeny k trvalému zapojení na zvláštní vinutí motoru a tzv. **rozběhové kondenzátory**, které se k motoru připojují jen na dobu, nezbytně nutnou k rozběhu motoru. Zatímco běhové kondenzátory jsou zásadně nepolarizované, klasického svitkového provedení s papírovým/MP/ či plastovým dielektrikem /MKP/, **kondenzátory rozběhové jsou vlastně bipolární elektrolytické kondenzátory na střídavé napětí 250-300V**. Odstředivý spínač v motoru nebo časové relé po rozběhu motoru kondenzátor od pomocného vinutí odpojí. Rozběhové kondenzátory nejsou určeny na trvalý provoz, porucha odpojovacího zařízení většinou znamená i destrukci kondenzátoru. Setkal jsem se ovšem i s případem, kdy majitel potřeboval na jednofázovou síť připojit malý třífázový motorek asi 120W a při nedostatku vhodného běhového kondenzátoru použil dva bipolárně sériově zapojené /kladnými póly k sobě/ filtrační elektrolyty Tesla TC521a 32 μ F/450V. Pokud je mi známo, motorek /malá stolní bruska/ s těmito kondenzátory už běží přibližně dvacet let při téměř denním používání. Tento případ budiž odstrašujícím případem, jak nepoužívat elektrolytické kondenzátory...

8. Zdroje formovacího napětí

Nejjednodušším zdrojem formovacího napětí by byla tato soustava : regulační autotransformátor 0-250V - síťový transformátor se sekundárem 250V/100mA - můstkový usměrňovač - filtrační kondenzátor 100 μ F/450V - ochranný odpor 1k Ω /10-15W. Regulační autotransformátor je sice velký, těžký, neskladný, ale je-li vestavěn v samostatné skříňce /např. spolu s oddělovacím transformátorem 230-230V/, je snesitelný a rozhodně by měl patřit k základnímu vybavení bastlířské nebo servisní dílny. S jeho pomocí lze totiž síťové napětí regulovat v rozsahu 0-250V při odběru 5-16A, bez deformace průběhu střídavého proudu a jeho předřazením před opravovaný nebo oživaný přístroj lze zabránit neplánovaným ohňostrojům při chybě v zapojení nebo nekorektním chování přístroje. Opatrným najížděním síťového napětí při současném měření napěťových a proudových poměrů dalšími měřicími přístroji lze vysledovat chování přístroje, při podstatně sníženém napájecím napětí je také značně sníženo riziko poškození drahých výkonových polovodičů. Dále pak lze regulačním transformátorem snadno simulovat chování přístroje při mezních stavech v napájecí síti, tj. podpětí např. 180V a přepětí např. 250V. Vhodným druhem do domácí dílny je jakýkoliv regulační autotransformátor, umožňující odebírat z běžce proud alespoň 5A. Mohou to být např. typy z řady ESS110 a další odvozené modely, lišící se jen hodnotou max. odebíraného proudu z produkce bývalé východoněmecké firmy RFT, případně i osvědčené starší české výrobky Křížík, Metra a ZPA. V bazarech nebo výprodejích měřicí techniky se tyto regulační transformátory vyskytují většinou ve výborném stavu a v cenách do 1000Kč, tedy poměrně směřných vzhledem k jejich užité hodnotě. Pokud se elektronikou hodláte zabývat soustavně, je to velmi vhodná a výhodná investice. Regulačním autotransformátorem je vhodné předřadit nějaký jednoduchý obvod pro omezení nárazového proudu při zapínání /"softstart"/ - zvláště dobře to znají šťastní majitelé novějších toroidních zalitých typů RFT-ESS. Tyto autotransformátory díky velkému proudovému nárazu při zapnutí snadno "shodí" i 16A zásuvkový jistič staršího typu IJV nebo i novější 16A jističe s charakteristikou B.

Ovšem ne každý si může regulační autotransformátor dovolit, případně jej nesežene a tak může být pro účely formování elektrolytických kondenzátorů vhodnou náhradkou zdroj ss napětí cca 300-400V, vytvořený např. z vykuchaného síťového transformátoru elektronkového radiopřijímače s anodovým sekundárem cca 230-250V, usměrňovače z diod 1N4007/KY132-1000, 1N5408/ a filtračního kondenzátoru opět

100 μ F/450V. Na výstup takto vytvořeného ss zdroje /který bude mít napětí naprázdno 320-350V/ zapojíme drátový potenciometr pro zatížení nejméně 5W, lépe 10W o hodnotě cca 27-47k Ω , do výstupu z běžce zapojíme opět ochranný odpor 1k Ω /10-15W. Drátové potenciometry na podobné zatížení a těchto hodnot jsou ovšem velmi vzácné, vyrábí se sice a dodává je několik firem /např. Alfatronic, SOS Electronic, RS Components/ až do 100k Ω a do 50W, ale jejich cena je značná. Výrobky Tesla i jiné se vyskytovaly ve starších průmyslových zařízeních, po dohodě s majiteli se lze porozhlédnout i na pohřebištích elektroniky či u likvidačních firem. Československé drátové potenciometry Tesla pro zatížení 5W, do hodnoty 22k Ω a s izolovanou hřídelí měly označení WN69010. Pro tento typ potenciometru a hodnotu 22k Ω může být maximální ss napětí zdroje 300V. Není ale třeba házet flintu do žita, drahý a nedostupný drátový potenciometr si my, bastlíři poměrně jednoduše nahradíme tranzistorovým regulátorem. Zní to možná trochu odvážně, ale skutečně je při současném stavu polovodičové techniky možné poměrně jednoduše řídit napětí v rozsahu 0-400V. Nejprve tedy zapojení pro šťastné majitele regulačních autotransfornátorů a výkonných drátových potenciometrů, obr. 1 a 2.



Obr. 1 - zapojení formovacího zdroje s regulačním autotransfornátorem

Legenda k obr. 1 :

L1,N,PE - třívodičový přívod síťového napětí 230V

V1 - dvupólový síťový vypínač 16A/250V

FA1 - jednopólový jistič s charakteristikou C, dimenzovaný podle max. "primárního" proudu autotransfornátoru

H1 - kontrolní LED na 230V, doutnavka, žárovka ap., signalizující zapnutí přístroje, příp. výpadek jističe FA1

C1,C2 - svitkové kondenzátory na síťové napětí /CFAC/ 330-470n/275V AC

SOFTSTART - obvod pro omezení značného zapínacího nárazového proudu regulačních autotransfornátorů

RT - regulační autotransfornátor 0-250V

FA2 - jednopólový jistič s charakteristikou C, dimenzovaný podle max. proudu sběrače, příp. max. odebíraného proudu z autotransfornátoru

Z1 - výstupní síťová zásuvka autotransfornátoru, je-li vestavěn v samostatné skříňce

FU1 - zpožděná /T/ tavná pojistka v dobře izolovaném pojistkovém pouzdře, dimenzovaná podle velikosti transformátoru. Rozsah pojistek pro transformátory z rozhlasových přijímačů je od T160mA do T400mA, při zkratu na anodovém sekundárním vinutí se pojistka musí bezpečně přetavit. Nesmí ovšem vypadávat při zapínání transformátoru s usměrňovačem a filtr. kondenzátorem přímo na síť.

TR - síťový transformátor se sekundárním napětím 230-280V/60-100mA, např. "resuscitovaný" síťový transformátor z elektronkového rozhl. přijímače

D1-D4 - diody 1N4007, lépe 1N5408, KY132/900-1000, jakékoli diody min. 1A/900V nebo dobrý kompaktní můstkový usměrňovač 1-3A/600-800V

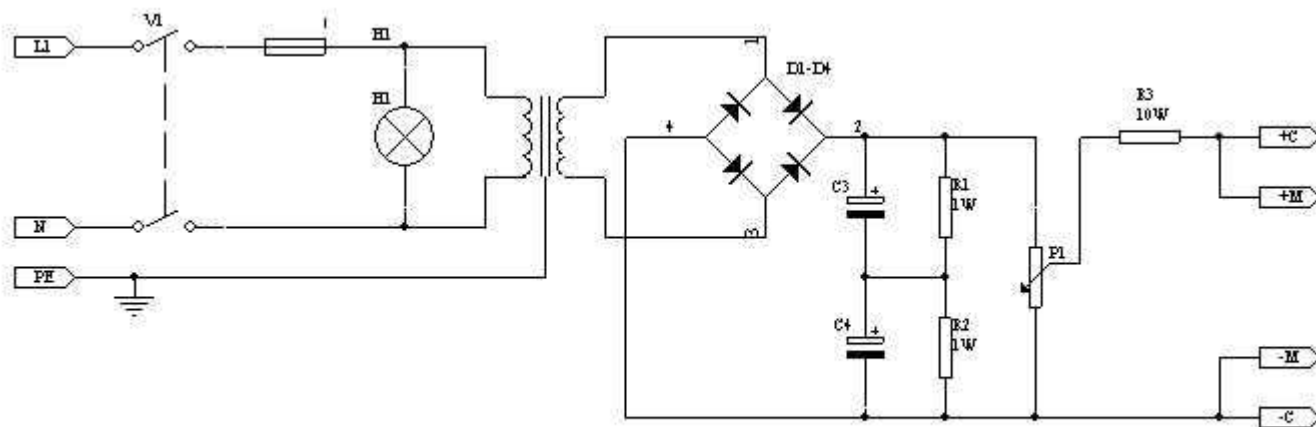
C3-C4 - elektrolyt. kondenzátory 220-330 μ F/200V z dobrého PC zdroje /změřit/, případně i jeden značkový kondenzátor 47-100 μ F/450-500V

R1-R2 - odpory 220k Ω /1-2W, rozdělují napětí na sériově spojených kondenzátorech a zároveň zajišťují jejich vybití po vypnutí přístroje do 1min. Zapojte jeden odpor 220k Ω i v případě použití jediného kondenzátoru 450-500V. Dovolené provozní napětí odporů musí být min. 350V.

R3 - ochranný odpor 1k Ω /10-15W, dovolené provozní napětí min. 350V

+C,-C - dobře izolované přístrojové svorky pro formovaný kondenzátor

+M,-M - dobře izolované přístrojové svorky nebo zdičky k pohodlnému připojení multimetru ke sledování napětí na formovaném kondenzátoru



Obr. 2 - zapojení zdroje formovacího napětí s regulačním drátovým potenciometrem

Legenda k obr. 2 :

Vše jako na obr. 1 od výstupu z reg. transformátoru vpravo, kromě :

P1 - drátový potenciometr 22-47k Ω /5-10W s dobře izolovanou hřídelí, příp. plastovým ovládacím knoflíkem bez "červíka".

Základní postup při "resuscitaci" síťového transformátoru z vyřazeného elektronkového radiopřijímače je asi následující :

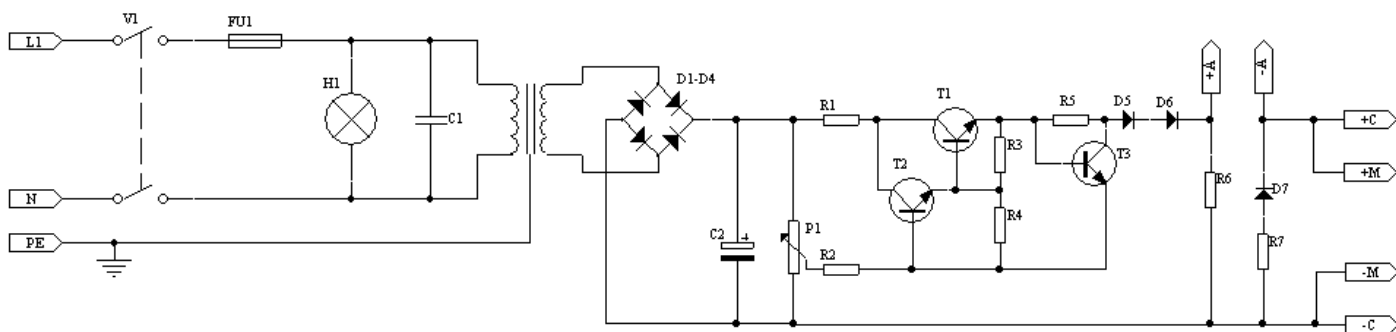
Přijímač ze zadu odkrytujeme, vyženeme všechny myši a pavouky, vyhodíme jejich hnízdo a zkontrolujeme, co všechno stihli nezvaní návštěvníci sežrat. Pokud se nepustili do přečnávajících okrajů prokladové izolace transformátoru, je to dobré znamení. Pak ještě zkontrolujeme, zda vinutí transformátoru není zčernalé, případně na něm nevisí krápníky vyteklé impregnační hmoty voskového charakteru. To by totiž znamenalo, že transformátor dostal před definitivním odložením přijímače pořádně zabrat a při jeho následném zkoušení musíte být ještě dvakrát opatrnější. Po odpojení reproduktoru, příp. magického oka a přepínačů či knoflíků na skříně vyjmeme celé šasi přijímače ven vyšroubováním čtyř až šesti šroubů na dně skříně. Sledujeme cestu síťového napětí počínaje síťovou šňůrou, přes doteky klávesových přepínačů /nebo vypínače na potenciometru hlasitosti/, až vystoupíme primár transformátoru. Pokud přístroj obsahuje volič síťového napětí, je situace o malinko složitější - zde pomůže ohmmetr či jakákoliv zkoušečka celistvosti obvodů a jistě se podaří po chvíli primární vinutí pro 220V vystopovat, případně i určit, která vinutí mají být mezi sebou sériově propojena. Pečlivě si poznačíme primár transformátoru, všechny vodiče od ostatních vinutí odpojíme z pájecích oček nebo uvnitř šasi. Pokud je vodičů, vedoucích k transformátoru podezřele mnoho, pak pomůže schéma zapojení, které se dá najít v knihách pana Kottka "Československé rozhlasové a televizní přijímače I-IV", případně na www.oldradio.cz nebo www.radiojournal.cz v sekci rozhlasových přijímačů. Transformátor očistíme od padesátiletých nánosů prachu, podložíme jej kusem izolační hmoty /sklotextit, texgumoid, novodur/ a přes zpožděnou pojistku cca 200mA jej připojíme pouze dvěma vodiči /fáze a nulový vodič, ochranný zatím nepřipojujeme/ správnými svorkami na síť. Zatím se transformátoru nedotýkáme. Pokud pojistka zůstala neporušená, není cítit puch pálící se izolace či se z trafa nekouří, tak doutnavkovou zkoušečkou /fázovkou/ zkusíme, zda je jádro transformátoru "čisté". Jestliže fázovka trvale silně svítí, je třeba transformátor vypnout a odnést do kontejneru ke zbytku přijímače. Pokud fázovka nesvítí či jen krátce zableskne, je vinutí transformátoru mírně zvlhlé a necháme jej proto cca 2 hodiny připojen na síť, po půlhodinách **při vypnutém přívodu** kontrolujeme teplotu vinutí i jádra, která nesmí překročit 40°C. **Je třeba zajistit, aby se nikdo nepovolaný nemohl transformátoru dotknout, rozhodně jej nenecháme bez dozoru.** Pokud se po 2 hodinách provozu teplota transformátoru nezvýší nad uvedenou hodnotu, znovu fázovkou zkontrolujeme izolační stav vinutí proti jádru. Tentokrát už fázovka nesmí ani zablesknout. Transformátor odpojíme od sítě, připojíme třetí, ochranný žlutozelený vodič ze síťové šňůry na kostru transformátoru, opět zapojíme do sítě a při zachování co nejvyšší opatrnosti změříme postupně napětí všech sekundárních vinutí. Po identifikaci všech vinutí zbývá poslední kontrola. O tu požádáme někoho, kdo vlastní měřicí přístroj pro kontrolu izolace /některý z revizních přístrojů nebo např. Megmet 500-1000V, PU310 apod./ a necháme změřit izolační odpor jednotlivých vinutí proti sobě i proti jádru. Ten by měl být co nejvyšší, rozhodně ne pod 20M Ω . Pokud náš známý vlastní i vn zkoušeč izolace, uděláme pochopitelně i tuto zkoušku. Transformátor musí snést zkušební napětí 2,5kV jak primár proti kterémukoli sekundáru, tak kterékoli vinutí proti kostře. Pokud se námi vyhlédnutý transformátor při této zkoušce prorazí, smůla... Teprve po úspěšném absolvování všech těchto zkoušek můžeme transformátor pokládat za provozně bezpečný.

Tlustými vodiči průměru 0,8-1,5mm bývají vyvedena žhavicí vinutí 6,3V, případně se u starších typů vyskytuje ještě samostatné žhavicí vinutí o napětí 4V pro přímožhavenou usměrňovací elektronku AZ. Vinutí s vyšším sekundárním napětím bývají vždy vyvedena slabším vodičem v izolační trubičce. Pozor na multimetr a ruce, na krajích anodového sekundárního vinutí s vyvedeným středem se může vyskytovat napětí až 650V.

Základními předpoklady bezpečné práce s těmito napěťovými úrovněmi jsou opatrnost, nepoškozené měřicí šňůry, dobrý multimetr a v neposlední řadě také nula promile alkoholu v krvi. Znovu připomínám, že je třeba měřit buď ručkovým měřicím přístrojem, případně digitálním multimetrem typu TRUE RMS, které měří efektivní hodnotu střídavého napětí. Při použití levných multimetrů se při měření střídavých napětí a proudů dopustíte chyby až 15-20%.

Ze sekundárních vinutí 230-250V lze u tohoto druhu transformátorů odebírat trvale proud 60-100mA, podle velikosti transformátoru a počtu osazených elektronek v přijímači. Žhavicí vinutí 6,3V lze trvale zatížit v každém případě proudem min. 3A, u větších typů až 4,5A. Žhavicí vinutí 4V pro usměrňovací elektronku AZ1 nebo AZ11 bývá dimenzováno na trvalý proud cca 1,2A, pokud byly v přijímači použity usměrňovačky AZ4 nebo AZ12, lze toto žhavicí vinutí zatížit proudem cca 2,2A. Vyskytují se i další pomocná vinutí 6,3-12,6V, většinou dimenzovaná na odběr do 0,5A. U menších přijímačů, vyrobených kolem r. 1960 již nenajdete transformátor s anodovým vinutím a s vyvedeným středem - tyto přijímače bývaly osazeny selenovým můstkovým usměrňovačem B250C75 nebo PM28RA a vinutí pro napájení těchto usměrňovačů dává optimálních 230-240V. I primární vinutí těchto novějších transformátorů je jednodušší, bývá určeno jen pro 120 a 220V, nízkonapěťové sekundární vinutí 6,3V/3,5A pro žhavení elektronek je zpravidla jen jedno, vyvedené přímo z cívky transformátoru tlustším vodičem. Z těchto přijímačů většinou lze použít do našeho formovacího zdroje i dvojitý filtrační kondenzátor 50+50 μ F/350-385V, který je samozřejmě nutné před použitím změřit, zda není proražený. Společný záporný pól obou sekcí je na plášti kondenzátoru, kladné póly jednotlivých sekcí na pájecích očkách. Použijeme jen jednu sekci.

Druhou, pohodlnější, ale podstatně dražší možností je nechat si příslušný transformátor vyrobit u některé z firem, které se touto činností zabývají. Z nejnámějších je to asi Tronic Praha, TBP Transformátory Blatná, Eximet Jevišovice, JK ELTRA Heřmanův Městec a další. Připomínám jen, že - pokud už si transformátor budete nechávat vyrábět na zakázku - je možno nechat na jeden transformátor navinout „měřicí“ vinutí 3,2V/10-15A a „formovací“ vinutí 250V/0,1A a spojit tak oba přístroje v jeden účelný celek. Vzhledem k tomu, že „měřicí“ napětí 3,2V by mělo být co nejtvrdší /nejmenší pokles napětí při zatížení/, je vhodnou volbou toroidní provedení transformátoru. Podotýkám, že transformátor bude mít v tomto případě primární příkon okolo 120 - 200VA a jeho cena přesáhne 500Kč.



Obr. 3 – zapojení tranzistorového regulátoru 0 – 400V/50mA

Zapojení tranzistorového regulátoru je na obr.3. Původně jsem pátral na Internetu po jednoduchém a snadno realizovatelném zapojení lineárního regulátoru, protože jen velmi nerad „vymýšlím“ již dávno vymyšlené věci. Moje pátrání bylo /až na výjimky značně složitých či spínaných zapojení stabilizátorů/ bohužel neúspěšné, patrně si nikdo s těmito napěťovými hladinami nechce „pálit prsty“ a to i doslova. Zapojení je tak jednoduché, že vynechání byť jen jediné součástky by ohrozilo jeho provozní bezpečnost nebo základní funkci, tj. regulaci napětí při současném omezení proudu. Jde o téměř školní zapojení z tzv. šuplíkových součástek, doplněné pouze ochranou proti proudovému přetížení, přičemž je také zajištěna maximální hodnota proudu do připojeného formovaného kondenzátoru. Hodnotu maximálního proudu, při kterém proudová ochrana začíná působit, určuje odpor R7, jeho velikost je možno určit ze vztahu $R7 = 500 / I_{max}$ (Ω , mA), je tedy při velikosti odporu $R7 = 10\Omega$ nastaveno proudové omezení na 50mA. Toto nastavení bohatě vyhovuje jednak z hlediska bezpečnosti výkonového tranzistoru a transformátoru při zkratu na výstupu, jednak také s ohledem na zamýšlené použití, tj. formování kondenzátorů pro vyšší napětí. Případně použité „přijímačové“ transformátory stejně nedovolují na svém anodovém vinutí výrazně vyšší proudový odběr, než zmíněných 50mA. Použijete-li výkonnější transformátor, je možno použitím odporu $R7=4,7\Omega$ posunout hranici proudového omezení až na cca 100mA. Vyšší odebíraný proud nedoporučuji nastavovat vzhledem k vlastnostem použitého výkonového Darlingtonu.

Diody D5 a D6 jsou nutné k bezpečné funkci proudového jističe a také chrání regulátor proti připojení kondenzátoru, nabitého na vyšší napětí, než na jaké je regulátor momentálně nastaven. Diody D7 spolu s odporem R7 zajišťuje rychlé vybití kondenzátoru, připojeného omylem v opačné polaritě.

Legenda k obr. 3 :

- V1 - dvoupólový síťový vypínač
- FU1 - pojistkové pouzdro s pojistkou T200-500mA
- H1 - kontrolní LED na 230V, žárovka, doutnavka signalizující zapnutí přístroje, příp. výpadek pojistky FU1
- C1 - fóliový kondenzátor pro síť. napětí /CFAC/, 68-100n/275V AC
- TR - síťový transformátor dle předchozího popisu, sekundár 250V/50-100mA
- D1-6 - dioda 1N4007, 1N5408 ap., 1-3A/800-1000V
- D7 - dioda 1N5408 příp. jiný typ min. 3A/800V
- C2 - elektrolyt. kondenzátor 47-100uF/450V
- P1 - TP195-199 470-680k, viz text
- R1 - odpor 68-100 Ω /2-6W, ochranný, min. 500V, viz text
- R2 - odpor 220k Ω /0,5-2W/ min. 500V, viz text
- R3 - odpor 10k Ω /1-2W/ min. 500V, viz text
- R4 - odpor 100k Ω /0,5-2W/ min. 500V, viz text
- R5 - odpor 10 Ω /1-2W/ min. 500V, viz text
- R6 - odpor 470k Ω /2W/ min. 500V, viz text
- R7 - odpor 33-47 Ω /10-15W, drátový
- T1 - BU931
- T2-3 - BF259, BF469, KF469 viz text

Poznámky k použitým součástkám :

Při použití transformátoru s dvojitým sekundárním vinutím např. 2x250V je nutno zapojit usměrňovací část dvoucestně se dvěma diodami, aby byl využit plný výkon celého tohoto vinutí. Pokud máte k dispozici transformátor s jedním sekundárním vinutím cca 110-140V a dovoleným proudem asi 200mA, je možno zapojit usměrňovací část jako zdvojovač.

Diody použijte 1N4007 nebo 1N5408 od dobrého obchodníka, případně typy Tesla KY132/900, KY132/1000 nebo i KY276, KY265, KY258.

Kapacita filtračního kondenzátoru není kritická a je možno ji volit v rozmezí 47-100 μ F. Větší pozornost věnujte jeho kvalitě a maximálnímu provoznímu napětí, které by nemělo být nižší, než cca 400V, lépe 450V. Kondenzátory ROE, RIFA, Nippon Chemi-Con, ELNA, Siemens, Mallory a dalších renomovaných značek jsou téměř vždy použitelné i v případě, že je v potřebné kapacitě a provozním napětí získáte demontáží z nějakého staršího průmyslového zařízení. Naopak je třeba zdaleka se vyhnout podezřelým a relativně malým kondenzátorům-viz odstavec 5. Odpor R1, označený vykřičníkem, by měl být tzv. bezpečnostního typu, případně tuzemský keramický typ s tavnou tepelnou pojistkou řady WK, jaké se používaly ve zdrojových částech televizorů. Dovolené zatížení bezpečnostního typu by mělo být min. 2W, keramické typy WK s pojistkou mají zatížení 6W.

Potenciometr P1 je nezbytně nutné použít typu Tesla /ES Ostrava/ TP195, TP196 nebo TP199. Tyto potenciometry jako jediné běžně dostupné typy vyhovují svým dovoleným provozním napětím 600V, výkonovým zatížením 1-2W a při tomto dovoleném napětí mají zajištěnu i příslušnou izolaci vývodů i dráhy proti kostře. Vyskytují se pouze s lineárním průběhem cermetové odporové dráhy, lze je relativně levně koupit u různých doprodejců součástek Tesla, případně /ze současné produkce/ je objednat u jejich výrobce, firmy ES Ostrava. Vhodná hodnota je 470-680kΩ.

Tranzistor T1 je výkonový vysokonapěťový Darlington BU931 v pouzdře TO3 a je jedinou „speciálnější“ součástkou, lze jej ovšem vcelku běžně zakoupit např. u firmy EZK Rožnov a dalších. Pravděpodobně by bylo možno jej nahradit i jiným vhodným typem podobných vlastností, náhrada ale zkoušena nebyla. Tento tranzistor je třeba velmi dobře izolovaně upevnit na chladič, který je schopen při okolní teplotě do 40°C odvést cca 20W ztrátového výkonu. Tento výkon se na tranzistoru ztrácí v případě nasazení proudového omezení, např. při nastaveném polovičním výstupním napětí. Tento chladič je rovněž z bezpečnostních důvodů třeba velmi dobře izolovaně upevnit ve skřínce přístroje, např. prostřednictvím destičky ze sklolaminátu /cuprextit bez fólie/.

Tranzistory T2-T3 jsou vcelku běžné npn „video-televizní“ typy. Možné osazení je kterýmkoli npn typem z řad BF4xx /např. BF459, BF469, KF469/, 2SC3503 a další typy podobných vlastností. Při ověřování byly použity „šuplíkové“ použité kusy z nějaké desky videozesilovačů TV, rumunská pomsta výroby RIZ typu BF259, se změřeným Uce max = 430V a proudovým zesilovacím činitelem H21e cca 80.

Všechny odpory by měly mít dovolené provozní napětí alespoň 350, lépe 500V. Pokud nemáte možnost použít odpory, které jsou na uvedené napětí konstruovány, složte každou hodnotu ze dvou sériově spojených běžných odporů pro příslušné zatížení. Tolerance do 10% zde nehraje žádnou roli. Kromě R1 a R7 stačí na zatížení 0,5-1W.

Při zapojování všech uvedených zdrojů a následném zkoušení doporučuji maximální pozornost a opatrnost jednak ohledně vlastní bezpečnosti, jednak také s ohledem na správné zapojení jednotlivých, dobře prověřených součástek. Jakýkoli zkrat či přehození vývodů znamená při těchto napětích téměř jistou likvidaci celého obvodu, případně nepříjemné otisky vybuchlých kondenzátorů na čele. Pokud použijete elektrolytické kondenzátory z PC zdrojů, vybírejte značkové typy s přetlakovou pojistkou ve formě zeslabených míst /prolisů/ na horní ploše kalíšku kondenzátoru. Kondenzátorům, které takovéto jištění nemají se raději vyhněte – stávají se v případě destrukce velmi nebezpečnou municí. Nejlépe ovšem bude, použijete-li kondenzátory nové. V napěťové řadě 200V bývají dosti levné i značkové typy, jsou často používány právě v „lepších“ PC zdrojích.

Pro všechna popisovaná zapojení je vcelku zbytečné navrhovat desky plošných spojů, lze je realizovat jednoduše i s pomocí sklolaminátových destiček, několika nýtovacích pájecích oček nebo pájecích lišt. Pokud se už přece jen někdo rozhodnete realizovat zapojení z obr.3 na desce plošných spojů, pak prosím přijměte několik dobrých rad:

Je nutno používat bezpečnostní mezery mezi spoji min. 5mm, po obvodu desky je vhodné vytvořit odleptáním širší „beznapěťové pásmo“, kterým budou procházet upevňovací šrouby. Spoje si nechte při zakázkové výrobě pocínovat, pokud budete desku vyrábět sami, pocínujte spoje tenkou vrstvičkou cínu, po zapájení součástek desku ze strany spojů důkladně umyjte čistým acetonem **a zásadně ničím nelakujte**. Spojovací vodiče -přestože jimi tečou zanedbatelné proudy- použijte minimálního průřezu 0,5mm², které již mají dostatečnou tloušťku izolace. Přesto doporučuji vodiče, mezi kterými bude až 400V ss, opatřit přídatnou izolací protažením bužírkou. Výstupní, dobře izolované svorky je nutné použít takového typu, aby nebylo možno se jejich vodivých částí dotknout prstem /IP20/. Panel s výstupními a měřicími svorkami, pojistkou, spínačem a potenciometrem je též vhodné zhotovit z izolačního materiálu.

Důrazně upozorňuji na nutnost dodržování všech možných bezpečnostních opatření. Autor těchto textů, schémat a ani majitel webových stránek, na kterých budou zveřejněny, nenese a vylučuje jakoukoli odpovědnost za škody na zdraví či majetku, způsobené nesprávným použitím, nezalostí osob nebo nedbalým provedením přístrojů.

Při použití transformátoru ze staršího elektronkového rozhlasového přijímače, osazeného usměrňovací elektronikou a s dvojitým sekundárním vinutím se mezi krajními vývody tohoto vinutí vyskytuje střídavé napětí až 650V naprázdno při schopnosti krátkodobě dodat proud až 300mA. To jsou hodnoty, zcela postačující k bezpečnému usmrcení kterékoli osoby či zvířete, včetně manželky nebo tchyně, ať se Vám zdají jakkoli odolné.