

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA MECHATRONIKY A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ

Studijní program: M 2612 – Elektronika a informatika
Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Analýza proudových kmitů v osvětlovacích sítích

Analysis of current oscillations in lighting network

Ondřej Czub

Vedoucí práce: Ing. Jan Václavík
Konzultant: Ing. Miroslav Novák, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran textu: 46

Počet obrázků: 23

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 2

Datum: 21.5.2004

P r o h l á š e n í

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 21.5.2004

Podpis

Ondřej Czub

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Václavíkovi konzultantu Ing. Miroslavu Novákovi, Ph.D. a celé katedře elektrotechniky za rady a připomínky a za celkový velmi kladný profesní i lidský přístup.

Dále bych rád poděkoval rodině za podporu.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je změřit a vyhodnotit proudové kmity, které vznikají mezi osvětlovací soustavou a napájecí sítí. Za předpokladu, že zářivky jsou ideální spotřebiče, nedochází k ovlivňování napájecí sítě. Protože jsou zářivky nelineární spotřebiče, dochází k oscilacím mezi spotřebičem a napájecí sítí.

Teoretická část popisuje vznik oscilací mezi napájecí sítí a osvětlovací soustavou. Dále jsou popsány normy, které se vztahují k problematice kvality sítě a vlastnosti nelineárních spotřebičů.

Praktická část řeší návrh a realizaci laboratorního přípravku pro měření výše zmíněných oscilací. Na vyrobeném přípravku byla provedena měření. V závěru byly všechny výsledky analyzovány.

Abstract

Purpose of this diploma work (DW) is measurement and evaluation of current oscillations, which are rise between lighting system and supply network. Providing that fluorescent tubes are essential appliances then do not happened to interactions in supply network. Oscillation between appliances and supply network happen because fluorescent tubes are non-linear appliance,

Teoretical part of DW describe inception of oscillation between supply network and illuminative system. Further ther is description of norms that are related to problems of supply network quality and non-linear appliances properties.

Practical part of DW solved design and realization of laboratory preparation for measuring of oscillation. On preparation had been done measurements. At the close were all records analysed.

Obsah

Přehled použitého značení.....	7
Úvod	9
1 Teoretická část	10
1.1 Definice základních pojmů	10
1.2 Vlastnosti nízkého napětí.....	12
2 Zářivka.....	17
2.1 Princip činnosti zářivky	17
2.2 Vlastnosti zářivky	17
2.3 Kompenzace účinníku.....	18
2.4 Ovlivňování spotřebičů.....	19
2.5 Nelineární chování zářivky.....	20
2.6 Vzájemné ovlivňování zářivkového svítidla a napájecí sítě.....	20
2.7 Vliv kompenzačního kondenzátoru na napájecí síť.....	21
3 Praktická část.....	25
3.1 Návrh aparatury	25
3.1.1 Návrh panelu.....	27
3.2 Popis konektorů	28
3.2.1 Konektor pro zapojení zářivky	28
3.2.2 Konektor pro zapojení více zářivek	30
3.2.3 Konektor pro propojení panelu se zářivkami.....	32
3.3 Popis jednotlivých dílů sestavy.....	33
4 Měření.....	34
4.1 Ethernetová multifunkční jednotka EMU-2	34
4.2 Měření na realizované soustavě.....	35
4.3 Klíč k určení zapojeného obvodu z názvu souboru	36
4.4 Zjištění rozptylové indukčnosti sítě.....	36
5 Diskuze výsledků.....	42
6 Závěr	43
7 Literatura	44
Seznam obrázků.....	45
Seznam tabulek	46
Příloha.....	47

Přehled použitého značení

Zkratky	Popis	Jednotka
a2, b3, b2, b1	konstanty zjištěné experimentálně	[-]
C	paralelní kondenzátor	[F]
C _C	celkový kondenzátor	[F]
C _k	kompensační kondenzátor	[F]
C _s	sériový kondenzátor	[F]
CF	vrcholový činitel	[1]
G _k	vodivost výboje lampy	[Ω ⁻¹]
i _k	proud tekoucí lampou	[A]
L	indukčnost	[H]
L'	parazitní indukčnost	[H]
L _o	indukčnost v napájecí cestě	[H]
L1	tlumivka kategorie B1	[-]
L2	tlumivka kategorie C	[-]
P	výkon	[W]
Plt	dlouhodobá intenzita flikru	[-]
Pst	krátkodobá intenzita flikru	[-]
Q	jalový výkon – příkon	[Var]
R	odpor	[Ω]
s	startér	[-]
S	zdánlivý výkon – příkon	[VA]
THD	celkové harmonické zkreslení	[-]
t _{max}	čas v maximální hodnotě periody kmitu	[s]
t _{min}	čas v minimální hodnotě periody kmitu	[s]
U	síťové napětí	[V]
U ₁	efektivní hodnota napětí první harmonické složky	[V]
U1	základní harmonické zkreslení	[V]
U _h	jednotlivé harmonické napětí	[V]
U _n	n-tá harmonická složka napětí	[V]
Z1	zářivka 1	[-]
Z2	zářivka 2	[-]

Z3	zářivka 3	[-]
Z4	zářivka 4	[-]
λ	účiník u neharmonických průběhů	[-]
φ	fázový posun bez kompenzace	[rad]
φ'	fázový posun s kompenzací	[rad]
ω	úhlová frekvence	[rad]

Úvod

Znečištění ovzduší, moří a toků jsou snadno viditelná a jejich zdroj lze často snadno určit. Jsou ale i jiné druhy znečištění, která viditelná nejsou a mohou být velmi škodlivá. Přestože symptomy jsou jasně viditelné, může být obtížné je diagnostikovat. Napájecí soustava není ideálního charakteru a proto je nutné veškeré jevy které ji poškozují minimalizovat, aby nedocházelo k ještě většímu zhoršení kvality elektrické energie.

Tato práce byla zadána, aby se zjistilo jakým způsobem je možno oscilace, které vznikají interakcí napájecí sítě a zářivkami osazenými elektromagnetickými předřadníky částečně eliminovat nebo odstranit. Při provozu výbojky v 50Hz síti dochází k výrazným periodickým změnám vodivosti a tím i k neharmonickému odběru proudu. Ačkoliv má proud do výboje téměř harmonický charakter, výrazné deformace vznikají při průchodu nulou. Tím se obsah vyšších harmonických složek zvýší a celkový deformační výkon dosahuje až 10 % celkového příkonu. Například v administrativní budově, kde mohou být instalovány stovky zářivkových trubec, jsou tyto deformační výkony až desítky kW a často jim nic nebrání v šíření celou sítí.

Proto měl být sestaven přípravek na kterém by bylo možné zkoumat vlivy zářivek na napájecí soustavu. Toto laboratorní zařízení má umožňovat různé varianty zapojení. Pomocí tohoto přípravku bude možné realizovat potřebné experimenty.

Na závěr budou naměřené výsledky porovnány s teoretickými předpoklady a z měření budou určena nejvhodnější zapojení, která nejméně ovlivňují napájecí síť.

1 Teoretická část

1.1 Definice základních pojmů

- **Frekvence napájecího napětí**

Počet opakování základních kmitů napájecího napětí, změřený za určitý časový interval [1].

- **Změny napětí**

Zvětšení nebo zmenšení efektivní hodnoty napětí způsobené změnou zátěže v distribuční síti nebo v části distribuční sítě [1].

- **Rychlé změny napětí**

Změny efektivní nebo vrcholové hodnoty napětí mezi dvěma hladinami napětí s určitým, ale ne pevně stanoveným trváním [1].

- **Kolísání napětí**

Sled změn napětí nebo periodických změn obalové napěťové křivky [1].

- **Flikr**

Výraz pro nestálost zrakového vjemu vyvolanou světelným drážděním, způsobenou kmitáním intenzity světla nebo spektrálního rozložení [1].

- **Intenzita flikru**

Intenzita rušivého působení flikru je určena měřicí metodou flikru a je vyjadřována těmito veličinami:

- Krátkodobá intenzita flikru (P_{st}) je vyšetřována každých 10 minut
- Dlouhodobá intenzita flikru (P_{lt}) je stanovována pro dvě hodiny každého dne měření ze 12 za sebou měřených hodnot P_{st} podle vztahu

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}}$$

- **Pokles napětí**

Náhlý pokles napětí na velikost mezi 1 % a 90 % jmenovité hodnoty s následujícím návratem v krátkém časovém intervalu. Trvání poklesu napětí se pohybuje mezi 10ms a 1 minutou. Hloubka poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi efektivní hodnotou napětí v průběhu poklesu a napětím jmenovitým. Změny napětí, při nichž napětí neklesne pod 90 % jmenovitého napětí, nejsou poklesy napětí [1].

- **Přerušení napětí**

Stav, při kterém je napětí na předávacím místě menší než 1 % jmenovitého napětí. Přerušení se dělí do dvou skupin:

- Přerušení plánovaná
- Přerušení náhodná
 - Dlouhodobá (delší než 3 minuty)
 - Krátkodobá (kratší než 3 minuty)

- **Dočasná přepětí**

Přepětí vztahující se k některému místu s poměrně dlouhou dobou trvání. Dočasná přepětí nejsou buď vůbec tlumena anebo jsou tlumena velmi málo [1].

- **Transientní přepětí**

Krátkodobá, zpravidla silně tlumená přepětí s dobou trvání několik milisekund nebo menší [1].

- **Napětí vyšší harmonické**

Napětí sinusového tvaru s frekvencí, která je celočíselným násobkem základní frekvence napájecího napětí.

Vyšší harmonická napětí mohou být vyjádřena:

- Společně, např. pomocí činitele tvarového zkreslení THD (Total Harmonic Distortion) podle vztahu

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} U_n^2}}{U_1}$$

- Jednotlivě prostřednictvím poměru napětí jednotlivých harmonických napětí U_h k napětí základní harmonické U_1 .

- **Meziharmonická napětí**

Napětí sinusového tvaru, jehož frekvence leží mezi jednotlivými harmonickými tj. není celočíselným násobkem kmitočtu síťového napětí [1].

- **Napět'ová nesymetrie**

Stav v trojfázové síti, při kterém efektivní hodnoty fázových napětí nebo fázové posuvy mezi následujícími fázemi nejsou stejné [1].

- **Signální napětí**

Signál superponovaný na síťovém napětí, který slouží k přenosu informace veřejnou energetickou sítí [1].

1.2 Vlastnosti nízkého napětí

V ideálním případě je dodávaná elektrická energie vždy dostupná, je vždy v předepsaném rozsahu napětí a kmitočtu a má čistě sinusový průběh. Jaké odchylky od ideálního stavu lze tolerovat, závisí na tom, jaké zařízení se používá a jaké má odběratel požadavky.

Zhoršení kvality elektrické energie – odchylky od ideálního stavu – lze rozdělit do několika kategorií.

Každý z níže uvedených jevů má jinou příčinu. Některé z nich jsou způsobeny společně používaným zařízením. Například porucha v síti může zapříčinit pokles napětí, který postihne některé odběratele, a čím vyšší je úroveň, ve které se porucha vyskytne, tím vyšší je i počet postižených, nebo porucha u jednoho odběratele může mít za následek vznik přechodného děje, který postihne všechny ostatní odběratele v dané části soustavy. Jiné problémy, například harmonické zkreslení, mají původ v samotném zařízení instalovaném u odběratele a mohou se šířit sítí a tak postihnout další odběratele.

- **Sít'ová frekvence**

Sít'ová frekvence napájecího napětí je 50 Hz, za normálních provozních podmínek má střední hodnota v 10-ti sekundových intervalech ležet v tomto rozsahu:

- Při připojení na napájecí síť
 - 50 Hz \pm 1 % v 95 % intervalů jednoho týdne
 - 50 Hz + 4 % / -6% ve 100 % intervalů jednoho týdne

- **Velikost napájecího napětí**

Normovaná hodnota napětí U_n pro veřejné sítě nízkého napětí je:

- V trojfázových sítích se třemi vodiči: $U_n = 400$ V mezi fázemi
- V trojfázových sítích se čtyřmi vodiči: $U_n = 230$ V mezi fází a nulovým vodičem

- **Pomalé změny napětí**

V normálních provozních podmínkách má 95 % 10 minutových průměrů efektivních hodnot napájecího napětí každého týdenního intervalu ležet v rozmezí $U_n \pm 10$ % [1].

- **Rychlé změny napětí**

Rychlé změny napětí jsou způsobeny změnami zatížení spotřebičů nebo přepínáním v síti.

Za normálních provozních podmínek nepřekročí rychlé změny napětí 5 % jmenovitého napětí. Při mimořádných stavech mohou rychlé změny napětí dosáhnout krátkodobě velikosti do 10 % vícekrát denně [1].

- **Intenzita flikru**

Při normálních provozních podmínkách nesmí velikost koeficientu Plt překročit hodnotu 1,0 po 95 % času týdne [1].

- **Pokles napětí**

Krátkodobé poklesy napětí jsou způsobeny poruchami ve veřejné distribuční síti nebo v instalacích odběratelů. Jsou to nepředvídatelné, převážně náhodné jevy. Jejich četnost výskytu za rok se značně mění podle typu rozvodné sítě a místa sledování. Mimoto může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné. Za normálních

provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než jednu sekundu a hloubku poklesu menší než 60%.

Dlouhodobé poklesy napětí jsou obvykle způsobeny úmyslným snížením napětí buď dodavatelem z důvodu omezení zatížení v čase maximálního odběru, nebo měkkou sítí v závislosti na jejím zatížení [1].

- **Krátkodobá přerušení napětí**

Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70% krátkodobých přerušení bývá kratší než jedna sekunda. V distribučních sítích české energetiky se za krátkodobé přerušení nebo pokles napětí považuje událost s délkou trvání do 3 minut [1].

- **Dlouhodobá přerušení**

Poruchová přerušení napětí jsou obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým energetická společnost nemůže předcházet. Pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typické hodnoty. To je způsobeno velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sítí a rovněž nepředvídatelnými důsledky povětrnosti a vlivy třetích stran. Za normálních provozních podmínek může být roční četnost napětí delších než tři minuty menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50 [1].

- **Dočasná přepětí mezi fází a zemí**

Dočasná přepětí síťové frekvence vznikají zpravidla při poruchách ve veřejné síti nebo při poruchách spotřebičů. Tato přepětí zanikají, jestliže se porucha odstraní nebo odepne. V normálních provozních podmínkách mohou dosáhnout v důsledku posunu nulového bodu trojfázového systému hodnoty sdruženého napětí [1].

- **Napěťová nesymetrie**

Za normálních provozních podmínek nemá poměr 10ti minutové efektivní hodnoty zpětné složky napětí a odpovídající sousledné složky překročit velikost 2 % v 95 % případů měřících intervalů týdne. V okolí odběratelů připojených jednofázově nebo dvojfázově vzniká nesymetrie až 3 % [1].

- **Přerušení dodávky**

Porucha způsobená úplným přerušením dodávky nebo slabým elektrickým napětím může mít vážné následky. Elektrické spotřebitelé se rozdělují do kategorií s ohledem na spolehlivost napájení [1].

- **Napětí vyšších harmonických**

Za normálních provozních podmínek nemá překročit 95 % 10ti minutových průměrů efektivních hodnot jednotlivých harmonických v libovolném týdenním intervalu. Rezonance mohou způsobit překročení u jednotlivých harmonických. Činitel tvarového zkreslení THD napájecího napětí vypočtený ze všech harmonických do řadu 40 včetně, nesmí překročit hodnotu 8 %.

Harmonické frekvence jsou celé násobky základní harmonické napájecího napětí, tzn. při základní harmonické 50 Hz je třetí harmonická 150 Hz, pátá harmonická je 250 Hz atd.

Proud způsobuje vznik dalších harmonických proudů a je zdrojem většiny negativních vlivů na síť. Často se pro charakterizování obsahu harmonických používá činitel harmonického zkreslení (THD). Pokud se harmonické šíří distribučním systémem, šíří se jako harmonická napětí. Harmonické jsou generovány všemi nelineárními spotřebiči.

Problémy s harmonickými v elektroinstalacích

- problémy způsobené harmonickými proudy
 - přetížení středního vodiče
 - přehřátí transformátorů
 - rušení při spínání vypínačů
 - přetěžování kompenzačních kondenzátorů
 - skinefekt
- Problémy způsobené harmonickými napětími
 - Harmonické zkreslení napětí
 - Indukční motory
 - Poruchy při průchodu nulou
- Problémy způsobené harmonickými proudy v napájecí síti

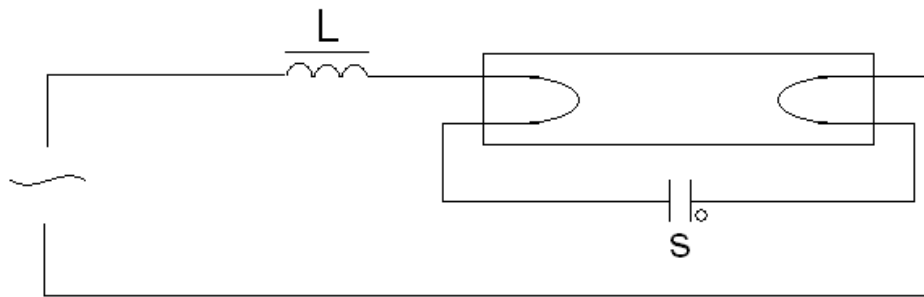
- **Meziharmonická napětí**

Z důvodu rozvoje frekvenčních měničů a podobných řízených zařízení vzrůstá hodnota meziharmonických složek v sítích. Pro nedostatek změřených hodnot není v současnosti dáno žádné ustanovení [1].

- **Signální napětí**

Vychází se z toho, že v některých zemích jsou veřejné distribuční sítě využívány pro přenos signálů. 99 % třísekundových průměrných hodnot signálních napětí, za 1 týden nesmí překročit dané hodnoty [1].

2 Zářivka



Obr. 1. Zapojení zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, v nichž se ultrafialové záření výboje mění na vrstvě luminoforu ve světlo.

Typická zářivka se žhavenými elektrodami se skládá ze skleněné trubice, která má vnitřní povrch pokryt vrstvou luminoforu. Trubice naplněná argonem (někdy směsí s neónem) na tlak přibližně $4 \cdot 10^{-2}$ Pa a rtuť, má na obou koncích wolframové elektrody pokryté emisní hmotou. Přítomnost vzácného plynu snižuje zápalné napětí a zabraňuje rozprašování materiálu elektrod.

2.1 Princip činnosti zářivky

Po připojení obvodu k síťovému napětí je na elektrody zapalovače přivedeno plné napětí, a protože jsou elektrody blízko sebe, dojde mezi nimi k doutnavému výboji. Tím se elektrody zahřejí a ohnou tak, až se navzájem dotknou, proud prochází elektrodami zářivky, zahřeje je, takže se kolem elektrod vytvoří oblak elektronů. Zatím se elektrody zapalovače ochladí a po několika sekundách se přeruší styk mezi nimi a elektrody odskočí. Jelikož je v sérii se zářivkou zapojena také tlumivka, způsobí přerušení obvodu napěťový indukční náraz na elektrodách zářivky a dojde k zapálení hlavního výboje. Pokud zářivka na poprvé nezapálí, celý postup se opakuje. [3]

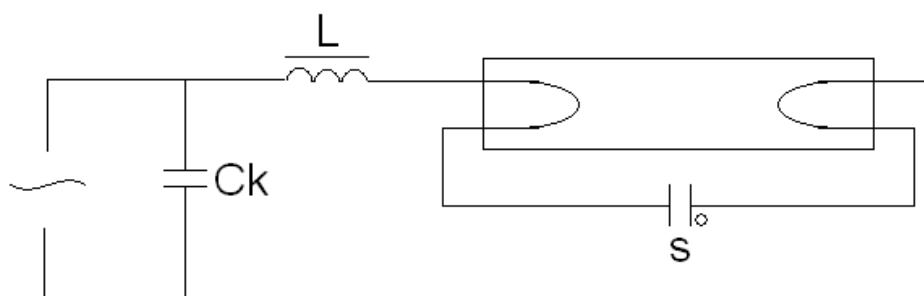
2.2 Vlastnosti zářivky

Zářivka se v obvodu se střídavým proudem chová jako nelineární kombinovaná zátěž typu R – L a to vlivem ionizačních pochodů [6]. Nelineární charakter zářivky způsobuje zkreslení procházejícího proudu. Zářivka pracuje v obvodu se střídavým proudem, takže výboj střídavě zhasíná a zapaluje s opačnou polaritou, přičemž se

vlivem ionizačních pochodů odebíraný proud opožďuje za napětím. Při průchodu proudem zářivky odporovým předřadníkem se spotřebuje určitý výkon. Ten se ve formě tepla rozptyluje a zmenšuje tak celkovou účinnost kombinace zářivka – předřadník. Proto se při střídavém provozu využívá možnosti předřadníku s imaginární impedancí, v němž se teoretický výkon neztrácí. Pro síťový kmitočet 50 Hz jsou výhodnější předřadníky indukční (tlumivky), pro vyšší kmitočty se uplatňují předřadníky kapacitní. Jak bylo výše řečeno, proud se opožďuje za napětím, a to o fázový úhel přibližně 60°. Tento fázový posun způsobuje malý účinník $\cos \varphi_1 = 0,5$, který způsobuje, že zdánlivý příkon je podstatně větší než činný příkon. Takováto zářivka odebírá ze sítě velký proud a pracuje s nízkým účinníkem.

2.3 Kompenzace účinníku

V současné době se u zářivkového osvětlení zvyšuje účinník kompenzačním kondenzátorem C_k , který je připojen paralelně k přívodu síťového napětí jak je ukázáno na obrázku č. 2.

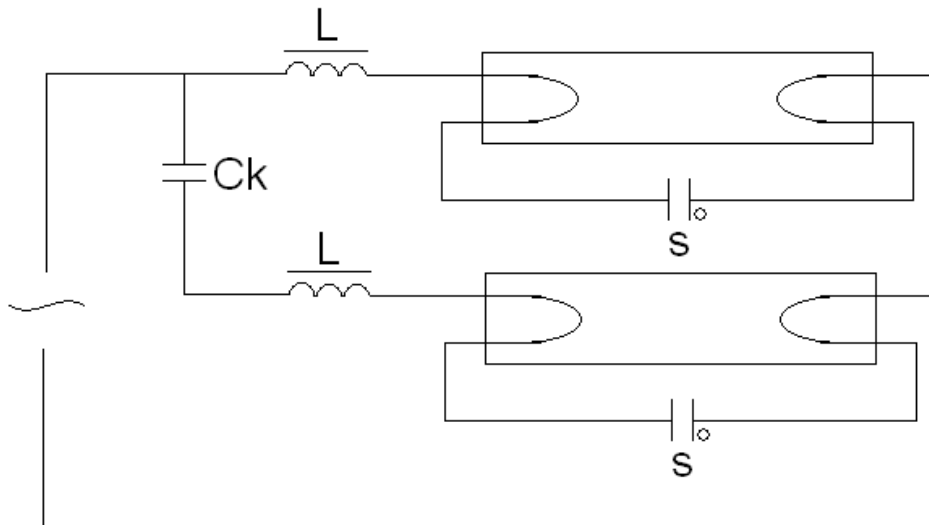


Obr. 2. Zapojení zářivky kompenzačním kondenzátorem

Kompenzační kondenzátor se volí tak, aby celkový proud odebíraný obvodem byl ve fázi se síťovým napětím. Potom $\varphi_1 = 0$ a $\cos \varphi_1 = 1$. Nevhodnou volbou velikosti kondenzátoru může být fázový posun nedekompenzovaný nebo dokonce překompenzovaný. Pro přesný výběr velikosti se použije vzorec (2.1), který je odvozen ze vztahu pro jednofázový výkon a z fázového diagramu zářivkového obvodu. Správně zvolený kondenzátor zlepšuje účinník a snižuje odběr činného proudu.[7]

$$C_k = \frac{P}{\omega \cdot U^2} \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_1) \quad (2.1)$$

Pokud kompenzační kondenzátor zapojíme do série s předřadnou tlumivkou, můžeme dosáhnout toho, že procházející proud síťové napětí o úhel 60° předbíhá. Uvedené možnosti je užito v zapojení pro dvě zářivky na obrázku č. 3.



Obr. 3. Zapojení dvou zářivek

Fázové posuvy v obvodech obou zářivek se navzájem vyruší, takže výsledný účinník je roven jedné. Proudy obou zářivek jsou navzájem posunuty o přibližně 120° , což má příznivý účinek ve zmenšení celkové pulsace světelného toku svítidla.[6]

2.4 Ovlivňování spotřebičů

Jestliže je zářivkové osvětlení nainstalováno v laboratorních nebo jiných zařízeních, kde pracují citlivé elektronické přístroje, projevují se zářivky jako zdroj širokopásmového vysokofrekvenčního rušení. Stejně tak mohou zářivky rušit příjem rozhlasu nebo televize. Na vytváření rušivých signálů se podílejí hlavně

- nelinearita výboje, způsobující při provozu na střídavé napětí vznik harmonických kmitočtů základního síťového kmitočtu 50Hz
- nestabilita a oscilace výboje v okamžiku jeho zanikání ke konci každé půlperiody síťového kmitočtu
- zachycování iontů v potenciálním minimu u katody, spojené se vznikem oscilací na kmitočtu kolem 100KHz
- oscilace výboje u anody na kmitočtu 10kHz
- šumy vlastního výboje, které vznikají při ionizačních pochodech

Mimoto vzniká při zapínání zářivek nepravidelné rušení způsobené činností zapalovačů.

2.5 Nelineární chování zářivky

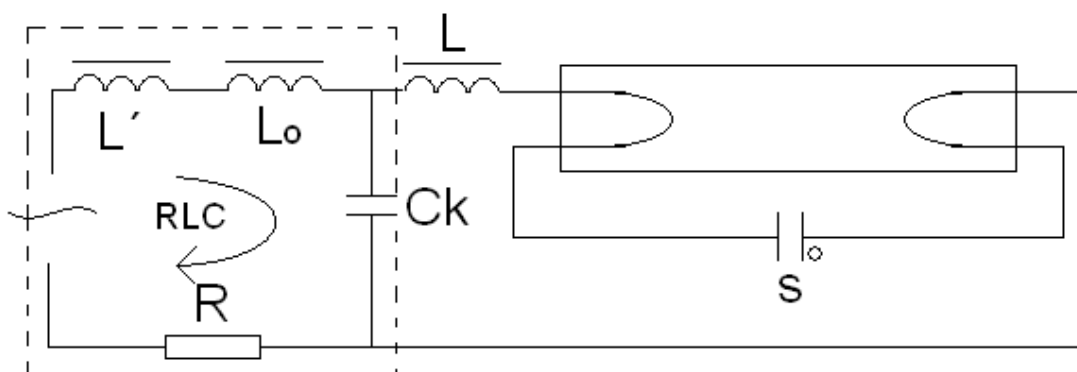
Podstatou nelineárního chování zářivky je vlastní nízkotlaký výboj uvnitř výbojové trubice. Napájením výboje střídavým proudem dochází při přechodu nulou k zhasnutí výboje a opětovnému zapálení v opačném směru. Je to doprovázeno výraznými změnami vodivosti zářivkové trubice. A právě měnící se vodivost způsobuje nelineární odběr proudu ze sítě. Zjednodušeně je možno změny vodivosti popsat diferenciální rovnicí (2.2), převzaté z literatury [4].

$$\frac{dG_k}{dt} = a_2 \cdot i_k^2 - [b_3 \cdot G_k^3 + b_2 \cdot G_k^2 + b_1 \cdot G_k] \quad (2.2)$$

Kde značí :	G_k	vodivost výboje lampy
	a_2, b_3, b_2, b_1	konstanty zjištěné experimentálně
	i_k	proud tekoucí lampou

2.6 Vzájemné ovlivňování zářivkového svítidla a napájecí sítě

Reálná napájecí síť má z pohledu zkoumání nelinearit nezanedbatelnou vlastní impedanci a lze ji zjednodušeně nahradit sériovým RL obvodem. Připojením zářivkového tělesa se zářivkovou trubicí a s obvyklým kompenzačním kondenzátorem dojde k vytvoření sériového RLC obvodu, který je rozkmitáván změnami vodivosti zářivky na obrázku č. 4.



Obr. 4. Náhradní obvod napájecího vedení ve formě RLC obvodu

RLC obvod je tvořen kompenzačním kondenzátorem C_k , součtem všech parazitních indukčností napájecího vedení L' a dále všemi indukčnostmi v napájecí cestě L_0 a celkovým činným odporem smyčky R na obrázku č.2. Odvodit průběh

oscilací tohoto obvodu je možno za předpokladu, že jsou superponovány na proud odebíraný výbojkou. Z toho lze určit parametry obvodu a ověřit původ oscilací.

Úhlová frekvence kmitů tohoto tlumeného obvodu je vyjádřena rovnicí

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C_K} - \left(\frac{R}{2 \cdot L}\right)^2} \quad (2.3)$$

S ohledem na to, že jsme pro simulaci vedení používali syntetické indukčnosti s velkou jakostí ($L \gg R$), je druhý člen pod odmocninou zanedbatelný a výraz (2.3) přechází do formy známé pro netlumený LC oscilátor. Vzhledem k tomu, že napájecí síť v naší laboratoři není prostá vlastních parazitních rozptylových reaktancí, je třeba L ve výrazu (2.3) nahradit součtem vložené L_0 a rozptylové L' . Rezonanční frekvenci pak udává rovnice (2.4).

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C_K}} \quad (2.4)$$

Periodu kmitu obvodu určíme z naměřených časových průběhů, jako dvounásobek vzdálenosti nejbližšího minima a maxima superponovaných kmitů. Při znalosti periody kmitu určíme rezonanční frekvenci.

$$\omega_0 = \frac{\pi}{|t_{\min} - t_{\max}|} \quad (2.5)$$

Dosazením (2.5) do (2.4) dostaneme konečnou rovnici pro indukčnost v obvodu.[5]

$$L_0 + L' = \frac{|t_{\min} - t_{\max}|}{\pi^2 \cdot C_K} \quad (2.6)$$

2.7 Vliv kompenzačního kondenzátoru na napájecí síť

Na zářivce byly naměřeny hodnoty jednotlivých parametrů na vstupních svorkách celého svítidla, které je kompletně zapojeno s předřadníkem a s kompenzačním kondenzátorem. Přehled všech naměřených veličin pro různé hodnoty kompenzačních kondenzátorů je v následující tabulce 1. Svítidlo je napájeno z jednofázové střídavé soustavy, která je poměrně tvrdá a proto zde není uváděno harmonické zkreslení. [8]

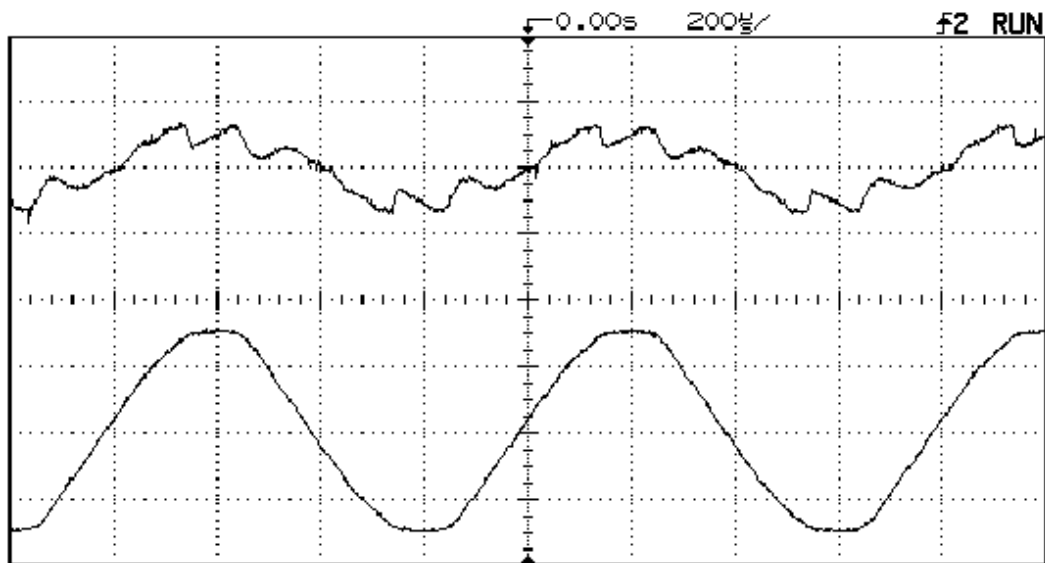
Síťové napětí : $U = 219 \text{ V}$

kondenzátor [μF]	0	2	3	4,5	5	7
I [A]	0,362	0,254	0,210	0,189	0,199	0,249
S [VA]	78,90	54,77	45,79	40,97	41,94	54,76
Q [Var]	68,68	38,83	24,20	12,79	17,38	38,78
P [W]	38,63	38,74	38,88	38,86	38,73	38,83
$\cos \varphi_1$	0,547	0,788	0,850	0,940	0,956	0,970
λ	0,49	0,703	0,849	0,948	0,921	0,712
THD A [%]	11,15	16,20	22,05	31,74	33,30	35,18
CF	1,563	1,517	1,463	1,734	1,814	1,683

kondenzátor [μF]	8	9	12	14	16
I [A]	0,313	0,357	0,565	0,673	0,782
S [VA]	68,46	77,71	121,68	146,32	170,95
Q [Var]	56,33	67,49	115,44	140,76	166,41
P [W]	38,97	38,95	38,36	38,90	39,25
$\cos \varphi_1$	0,530	-	-	-	-
λ	0,572	0,501	0,314	0,266	0,229
THD A [%]	32,57	29,85	24,02	24,35	25,68
CF	1,601	1,585	1,487	1,459	1,465

Tabulka 1 : Základní elektrické veličiny při různé velikosti kompenzačního kondenzátoru

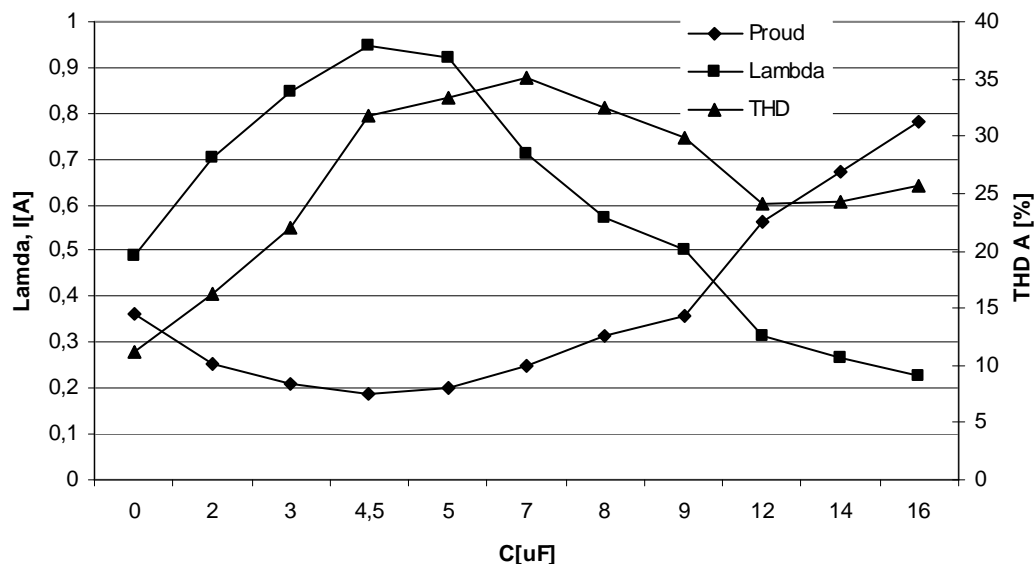
Z uvedených dat vyplývá, že při optimální hodnotě kompenzačního kondenzátoru (4,5 μF) je činitel výkonu λ maximální, ale nedosahuje hodnoty 1 ideální kompenzace, přitom fázový posuv $\cos \varphi_1$ mezi napájecím napětím a první harmonickou složkou proudu není ještě vyrovnán. Zvyšováním hodnoty kompenzačního kondenzátoru sice zmenšujeme tento fázový posuv, ale spolu s dalšími parazitními vlivy se tento obvodový prvek podílí na deformaci proudu, jak je možné vidět z časových průběhů proudů na obrázku č. 5.



Obr. 5 Průběh odebíraného proudu s kompenzací 4,5 μF (nahoře) a síťového napětí (dole)

Činitel výkonu λ bude v praxi vždy menší než $\cos \varphi_1$ protože případ, kdy je proud a napětí čistě harmonický, je nereálný. Vytvoříme-li z hodnot v tabulce grafy, získáme komplexní pohled na fyzikální podstatu problému.

Z hlediska účinnosti elektrického zařízení je rozhodující nejen minimální efektivní hodnota proudu, ale také vzájemný vztah průběhu proudu a napětí.



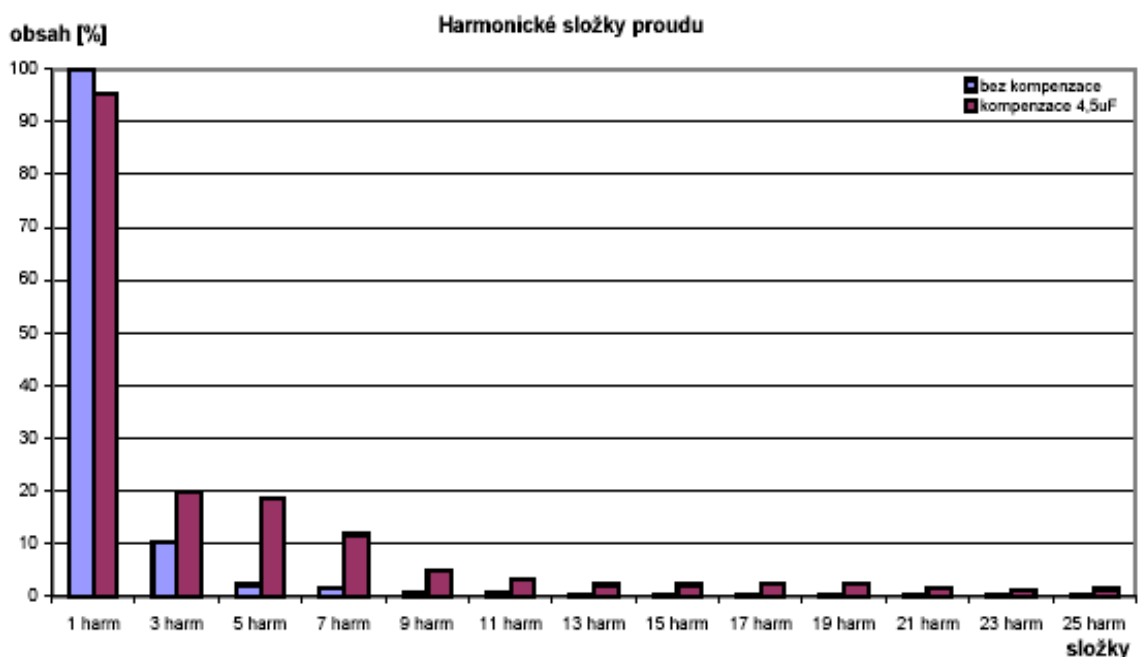
Obr. 6. Proud, THD a λ v závislosti na různé kompenzaci

Kompenzační kondenzátor způsobuje deformaci odebíraného proudu. To má za následek produkování vyšších harmonických [2].

Maximální deformace průběhu proudu je v okamžiku, kdy je nulový fázový posuv mezi napětím a první harmonickou složkou. Až do tohoto okamžiku převládá induktivní charakter zátěže (zářivkového svítidla) a dalším zvětšováním hodnoty kondenzátoru se dostáváme do oblasti kapacitní zátěže. Harmonické zkreslení proudu se snižuje [7].

V tabulce 1. je uváděn i činitel výkonu $\lambda = 0,78$, který byl naměřen na trubici. V tomto případě je však napětí značně deformované, kdežto proud tekoucí tímto výbojem je zkreslen minimálně. Magnetický předřadník bez kompenzačního kondenzátoru se chová jako akumulátor elektrické energie a to se projeví tím, že způsobí především fázový posuv proudu. Takže činitel výkonu celého tělesa bez kompenzace je nižší, přibližně $\lambda = \cos \varphi_1 = 0,5$. Z toho plyne, že předřadník se nejen podílí na zhoršení energetické bilance zářivkových svítidel, ale navíc zhoršuje i celkový činitel výkonu.

Tyto skutečnosti jsou také znatelné z poměru amplitud jednotlivých harmonických složek na obrázku č.. 7. Změny jsou patrné u 3., 5. a 7. amplitudy harmonické složky.



Obr.7. Harmonické složky odebíraného proudu bez kompenzace a s kompenzací 4,5 μ F

Optimální kompenzace nutně nemusí být při minimálním obsahu vyšších harmonických složek proudu a napětí.

3 Praktická část

V posledních letech dochází ke značnému zvyšování spotřeby energie. Na tomto zvyšování se podstatně podílí energie na umělé osvětlení. V naší republice to je 5 až 10 % z celkového množství elektrické energie vyrobené za rok.

Nejen snaha snižovat nárůst spotřeby energie, ale také potřeba získávání přesnějších informací o vlastnostech osvětlovací sítě s elektromagnetickými předřadníky a o jejich vlivu na napájecí soustavu, je diskutovaným problémem.

V současné době jsou místa, kde se zářivky objevují ve velkém množství. Jsou to administrativní budovy, školy, atd. V těchto místech může osvětlovací soustava způsobovat značné problémy. Ať už to je flickr, proudové oscilace, nebo dodávání harmonických zpět do sítě. Proto bylo jedním z cílů diplomové práce navrhnout a realizovat aparaturu pro měření oscilací, které tam vznikají.

Aby bylo možno simulovat reálnou osvětlovací soustavu muselo být použito většího množství zářivek. Proto jsem použil šest standardně vyráběných osvětlovacích těles se čtyřmi zářivkami. To znamená, že na soustavě je umístěno 24 zářivek. Protože je potřeba, aby bylo možno provádět měření při různém zapojení zářivek, například se sériovou nebo paralelní kompenzací a podobně, byly všechny komponenty potřebné pro správný chod zářivek umístěny na samostatný panel, a to pro každé osvětlovací těleso. Dále bylo potřeba navrhnout jakým způsobem bude prováděna změna zapojení. Z tohoto důvodu jsem použil konektory, které mají dvě části. Jednu lze připevnit k panelu, druhá je snadno měnitelná a je na ní možno vytvářet propojení.

3.1 Návrh aparatury

Zářivky bylo třeba umístit tak, aby k nim byl v případě potřeby snadný přístup, ale také tak, aby svým zářením příliš nerušily okolí. Proto byl zkonstruován železný stojan. Toto zařízení je dostatečně robustní, aby bylo schopno vydržet celkové zatížení. Do vnitřní části byly umístěny osvětlovací tělesa a na vnější stranu byly připevněny panely, na kterých jsou umístěny všechny nezbytné součástky.



Obr. 8. Sestrojená aparatura

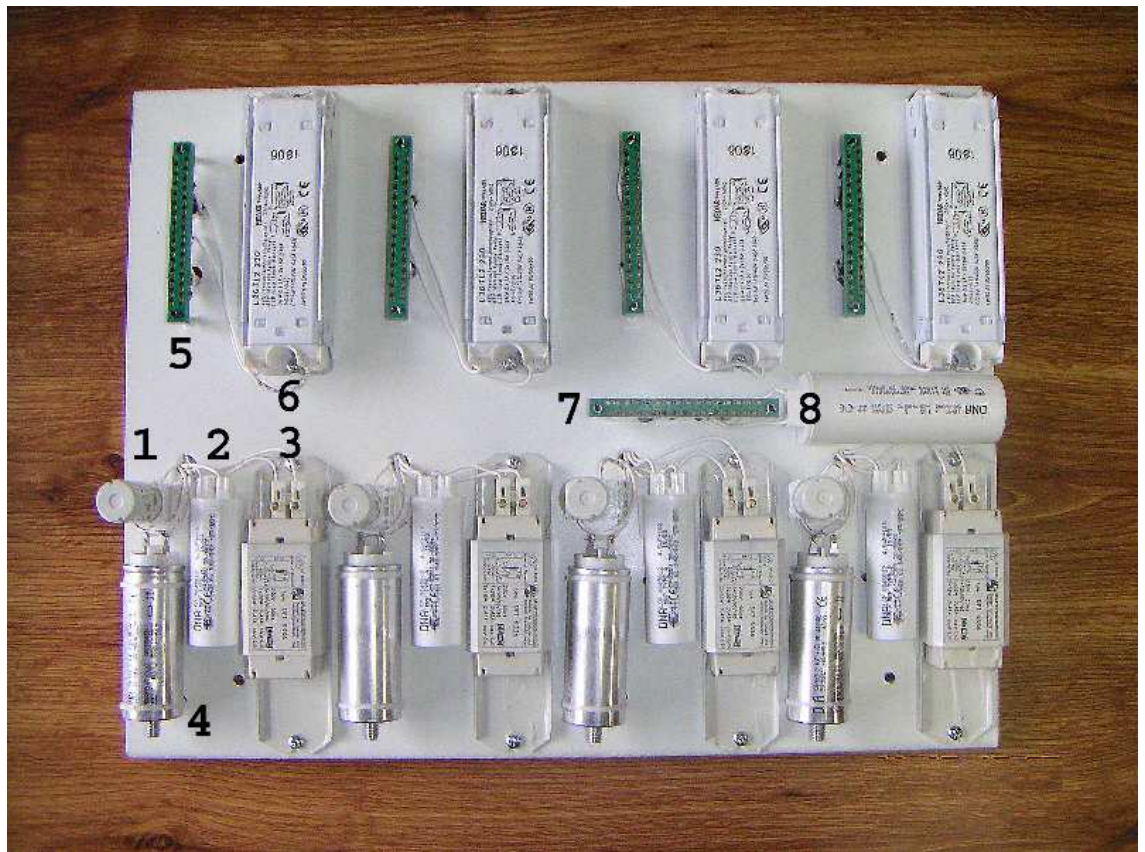
Popis aparatury:

1. Panel
2. Osvětlovací těleso se čtyřmi zářivkami
3. Stojan

3.1.1 Návrh panelu

Pro každé osvětlovací těleso byl sestaven panel, který je osazen potřebnými součástkami a dvěma konektory. První konektor slouží pro zapojení samotné zářivky. Druhý je tu pro to, aby bylo možno na panelu rozsvítit jednu, dvě, tři, nebo dokonce všechny čtyři zářivky. Na panely bylo třeba vyvrtat díry pro uchycení všech součástí. Technický popis panelu je umístěn v příloze 1.

Pro správný chod zářivek bylo třeba vypočítat velikost paralelního kondenzátoru. Tomuto výpočtu se budu věnovat v další kapitole.



Obr. 9. Panel

Popis panelu:

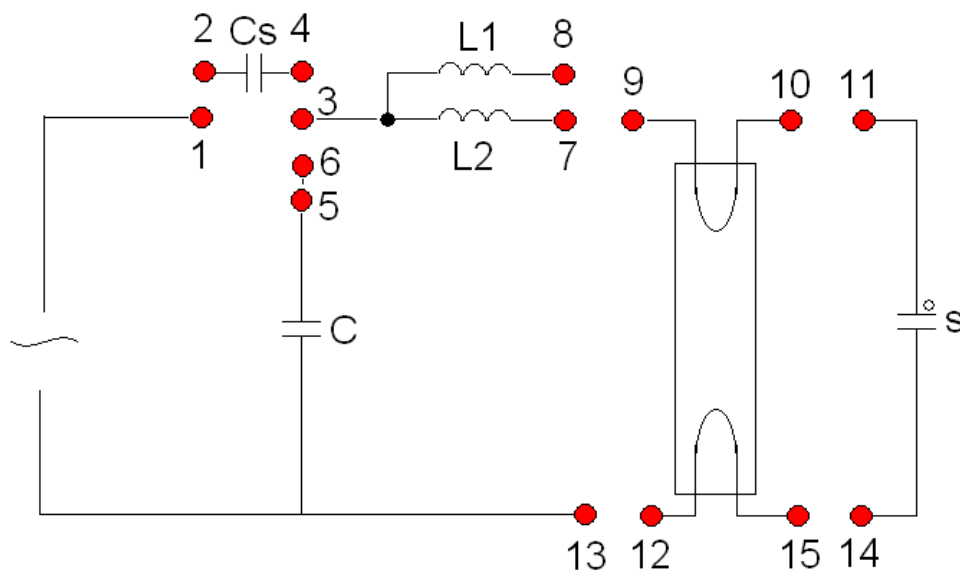
1. startér,
2. paralelní kondenzátor,
3. tlumivka kategorie C,
4. sériový kondenzátor,
5. konektor pro zapojení zářivky,
6. tlumivka kategorie B1,
7. konektor pro zapojení jedné až čtyř zářivek,
8. kondenzátor pro celou soustavu.

3.2 Popis konektorů

Pro naše potřeby byly použity konektory číslo TX 525311557 a TY 517311157, které se jeví jako nejvhodnější.

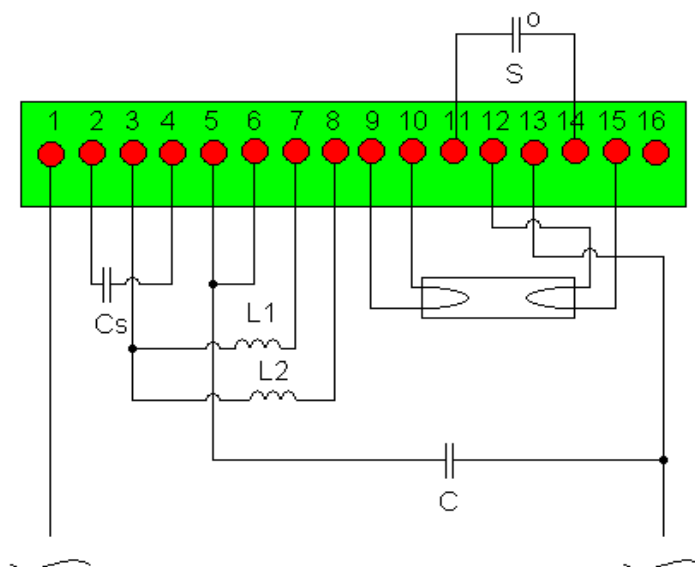
3.2.1 Konektor pro zapojení zářivky

Tento konektor slouží pro propojení požadovaného obvodu. Na piny spodní části jsou připojeny všechny součástky obrázek 10. Druhá, odnímatelná část, plní hlavní funkci. Propojením pinů na této části je možno sestavit námi požadovaný obvod.



Obr.10. Připojení součástek ke konektoru

Kde značí: C	paralelní kondenzátor,
Cs	sériový kondenzátor,
L1	tlumivka kategorie B1,
L2	tlumivka kategorie C,
s	startér.



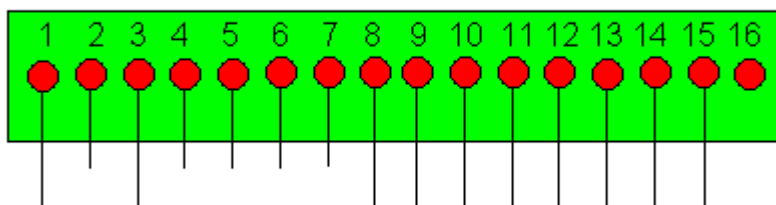
Obr. 11. Zapojení pinů spodní části konektoru

U tohoto konektoru jsem navrhl šest zapojení.

1. Zapojení s tlumivkou kategorie C bez kompenzace
2. Zapojení s tlumivkou kategorie B1 bez kompenzace
3. Zapojení s tlumivkou kategorie C s paralelním kondenzátorem
4. Zapojení s tlumivkou kategorie B1 s paralelním kondenzátorem
5. Zapojení s tlumivkou kategorie C se sériovým kondenzátorem
6. Zapojení s tlumivkou kategorie B1 se sériovým kondenzátorem

Jako ukázkou zapojení zde uvedu pouze dva příklady.

Zapojení zářivky bez sériového i bez paralelního kondenzátoru s velkou cívkou

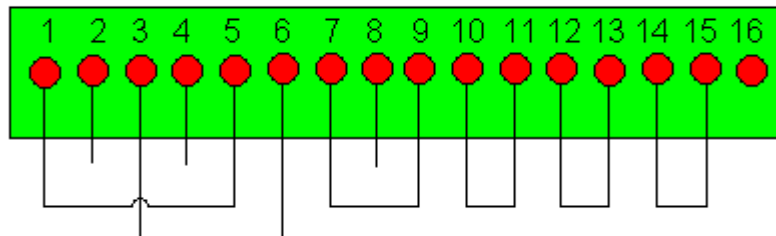


Obr.12.Zapojení konektoru

V tomto případě se proud opoždíuje za napětím, a to o fázový úhel přibližně 60°. Tento fázový posun způsobuje malý účinník $\cos \varphi_1 = 0,5$, který způsobuje, že

zdánlivý příkon je podstatně větší než činný příkon. Takováto zářivka odebírá ze sítě velký proud a pracuje s nízkým účínkem.

Zapojení s předřadnou tlumivkou a s paralelním kondenzátorem



Obr. 13. Zapojení s paralelním kondenzátorem

V tomto zapojení se kompenzační kondenzátor volí tak, aby celkový proud odebíraný obvodem, byl ve fázi se síťovým napětím. Potom $\varphi_1 = 0$ a $\cos \varphi_1 = 1$. Nevhodnou volbou velikosti kondenzátoru může být fázový posun nedokompenzovaný nebo dokonce překompenzovaný. Pro přesný výběr velikosti se použije vzorec (3.1)

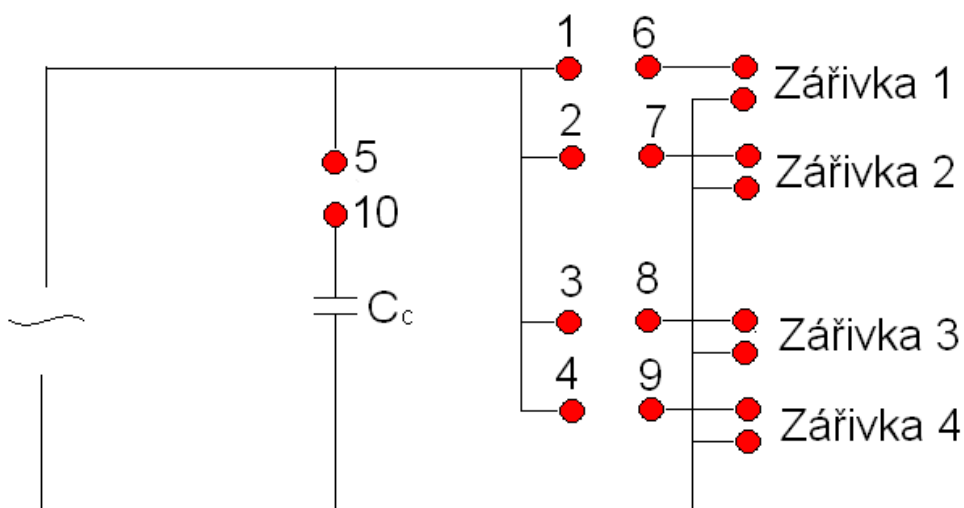
$$C_k = \frac{P}{\omega \cdot U^2} \cdot (tg \varphi - tg \varphi'). \quad (3.1)$$

Kde značí: C_k	kompenzační kapacita,
ω	úhlová rychlost,
P	výkon,
U	síťové napětí,
φ	fázový posuv bez kompenzace,
φ'	fázový posun s kompenzací,

který je odvozen ze vztahu pro jednofázový výkon a z fázového diagramu zářivkového obvodu. Správně zvolený kondenzátor zlepšuje účíník a snižuje odběr činného proudu.[7]

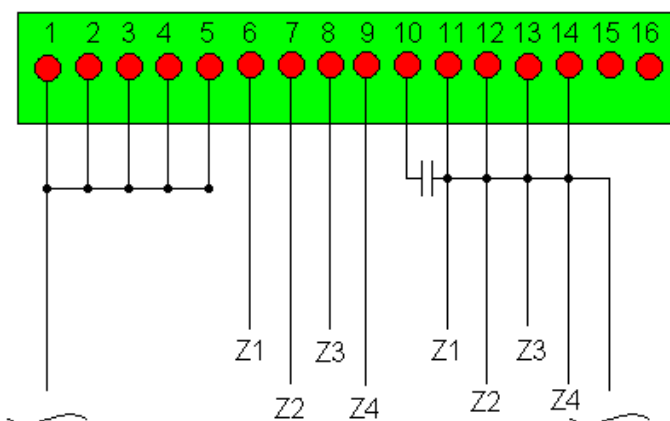
3.2.2 Konektor pro zapojení více zářivek

Tento konektor slouží pro zapojení jedné až čtyř zářivek. Dále je zde také možnost připojit kondenzátor k celému obvodu. Na piny spodní části jsou připojeny zářivky. Horní odnímatelný kus má opět funkci hlavní. Propojením vhodných pinů je možno sestavit požadovaný obvod.



Obr. 14. Připojení zářivek ke konektoru

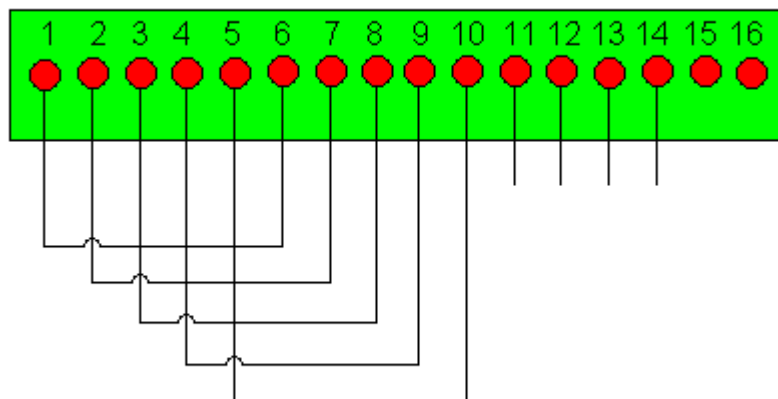
- Kde značí: C_C celkový kondenzátor,
- Zářivka 1 napájení pro první zářivku,
- Zářivka 2 napájení pro druhou zářivku,
- Zářivka 3 napájení pro třetí zářivku,
- Zářivka 4 napájení pro čtvrtou zářivku,



Obr. 15. Zapojení pinů spodní části konektoru

- Kde značí: Z1 Připojení zářivky 1,
- Z2 Připojení zářivky 2,
- Z3 Připojení zářivky 3,
- Z4 Připojení zářivky 4,

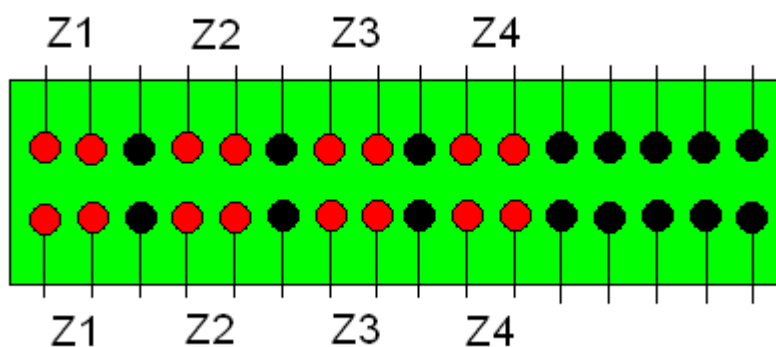
Jak je vidět z přiloženého obrázku č. 15, i u tohoto konektoru lze snadno vytvořit jakékoliv zapojení. V tomto příkladě bych uvedl zapojení všech čtyř zářivek i s celkovou kompenzací.



Obr. 16. Zapojení konektoru

3.2.3 Konektor pro propojení panelu se zářivkami

Tento konektor nemá žádná jiná možná zapojení než to, které je uvedeno na obrázku č. 17. Toto propojení slouží pouze k propojení konektorů na panelu přímo se zářivkami.



Obr. 17. Propojení panelu a zářivek

3.3 Popis jednotlivých dílů sestavy

Startér	Philips S10 24 Ks
Paralelní kompenzátor	DNA LCP 0045015 4, 5 μ F \pm 10% 24 Ks
Tlumivka kategorie C	Elektrovina Balast for tubular and compact fluorecent lamp Type DFT 5336 24 Ks
Sériový kondenzátor	DNA CA/440 3,4 μ F \pm 5% 24 Ks
Konektor	TX 525311557 30 Ks
Konektor	TY 517311157 156 Ks
Tlumivka kategorie B1	Helvar Finland L36TL2 230 24 Ks
Celkový kondenzátor	DNA EN 61048 18 μ F \pm 10% 6 Ks
Trubice	Philips Master LTD 36W/840 24 Ks
Osvětlovací těleso	ZCN 436/3 ZK modifikovaná tělesa bez montážních dílů 6 Ks

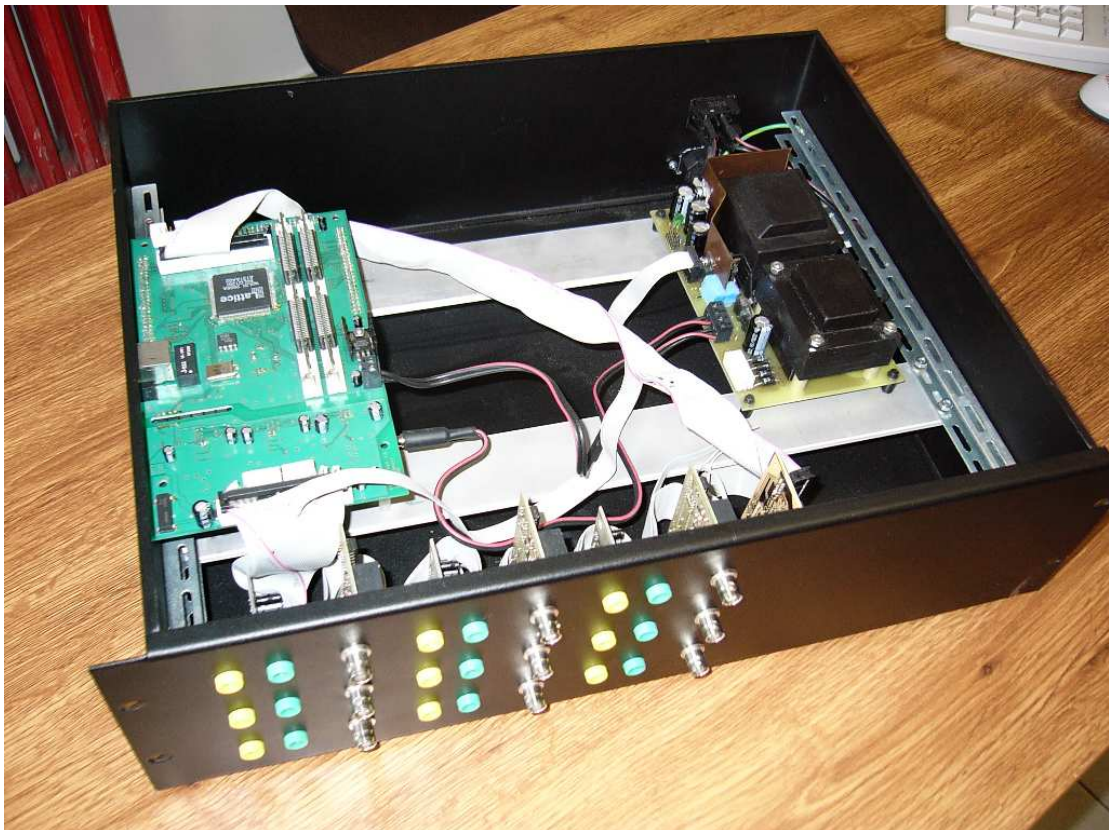
4 Měření

Měření elektrických veličin na sestavené soustavě byla prováděna v laboratoři katedry elektrotechniky.

K měření bylo použito EMU-2 Ethernetová multifunkční jednotka. Tento přístroj byl vyvinut na katedře elektrotechniky v rámci disertační práce. Dále byly použity dvě proudové sondy PR 30 (měřící kleště) s rozsahem 30A, 10mV.

4.1 Ethernetová multifunkční jednotka EMU-2

System byl nejprve navržen pro měření na třífázových transformátorech, proto disponuje značným počtem paralelních analogových kanálů. Každý má oddělenou signálovou trasu a vlastní 16-ti bitový AD převodník Σ - Δ . Tyto převodníky jsou synchronizovány a dovolují záznam průběhů až do rychlosti 12kS/s na každém kanále.



Obr. 18. Systém EMU-2

Protože je systémem možno měřit značné množství dat, tak je vybaven standardním ethernetovým rozhraním. Z tohoto důvodu je schopen komunikovat s nadřazeným počítačem rychlostí až 10Mb/s.

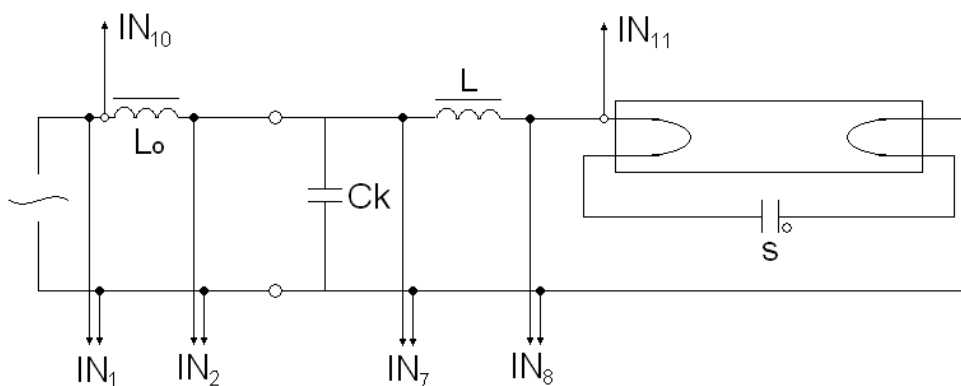
Systém EMU-2 se ovládá klientským programem z prostředí MS Windows, kterým je realizováno ovládání a ukládání naměřených dat.

Měřicí systém je vybaven 16-ti analogovými vstupy. Devět z nich jsou nízkonapěťové vstupy, které mají obdobné vlastnosti jako vstup osciloskopu. Proto je možné připojit sem sondy nebo přípravky určené pro práci s osciloskopem. Zbýlých devět vstupů jsou vysokonapěťové diferenciální sondy. S nimi je možno měřit napětí do velikosti 750V.

4.2 Měření na realizované soustavě

Vliv napájecí sítě na provoz zářivkového tělesa byl simulován vloženou indukčností L_0 , představující rozptylovou indukčnost napájecí sítě na obrázku č. 5. Pro měření byly použity čtyři velikosti cívek (0,82 mH; 2,86 mH; 5,32 mH a 15,72 mH). Poslední sada měření byla provedena bez této cívky. Velikost cívek byla změřena RLC metrem.

Schéma zapojení naší osvětlovací soustavy a měřících zařízení je na obrázku č. 19. Pro zpracování naměřených hodnot byly použity soubory z programu MatLab 6.1. Tyto soubory zpracovávají naměřené hodnoty, vytvářejí z nich grafy, a dalším výstupem jsou námi požadované hodnoty elektrických veličin energetické sítě.



Legenda: IN jsou vstupy do měřícího zařízení EMU-2

IN₁...měření napětí sítě

IN₁₀...měření proudu do soustavy

IN₂...měření napětí na soustavě

IN₁₁...měření proudu do tělesa

IN₇...měření napětí na tělese

IN₈...měření napětí na trubici

Obr. 19. Schéma zapojení osvětlovací soustavy a měřících zařízení

Protože na soustavě bylo provedeno velké množství měření, bylo by velmi rozsáhlé uvádět všechna měření s jejich výsledky, proto jsou zde uvedeny pouze nejzajímavější data. Popisy naměřených dat jsou uvedeny níže.

4.3 Klíč k určení zapojeného obvodu z názvu souboru

Z názvu souboru uloženého pomocí EMU-2 lze snadno určit jaké zapojení bylo měřeno. Zde je klíč pro jeho určení.

In_LnetUUU_VVkratLWXXX_VVkrat_LWXXX_ZkratCteleso1800.dat

- Kde:** **UUU** zapojení obvodu s vloženou indukčností nebo bez ní, může nabývat hodnoty (0,00 mH; 0,82 mH; 2,86 mH; 5,32 mH a 15,72 mH)
- VV** počet zapojených zářivek 1 až 24
- W** zapojení tlumivky L1 nebo L2
- XXX** zapojení s paralelní kompenzací (Cp470) se sériovou kompenzací (Cs340) nebo bez kompenzace (bezC)
- Z** počet zapojených celkových kompenzátorů

4.4 Zjištění rozptylové indukčnosti sítě

Lze ji stanovit pouze z měření, kde nebyla vložena přídatná indukčnost L_0 a také pouze z těch měření, kde je v obvodu zapojen kompenzační kondenzátor. V ostatních případech v obvodu nevznikají kmity.

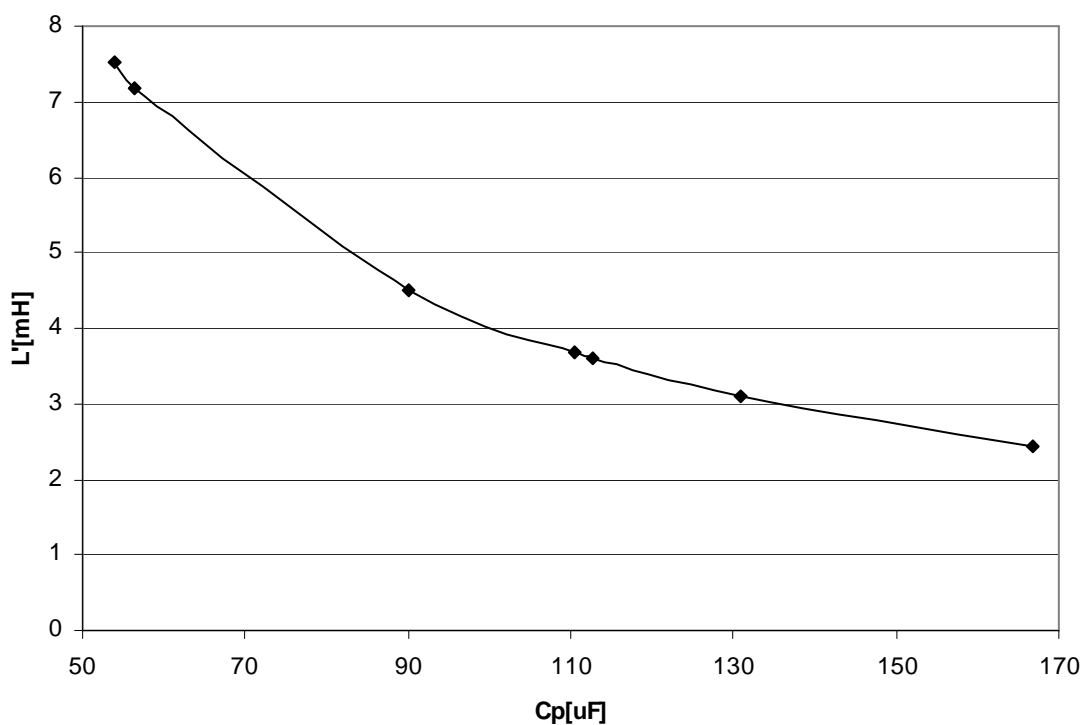
Frekvence kmitu je odvozena z rovnice (2.5) a rozptylová indukčnost sítě ze

vztahu
$$L' = \frac{1}{C_K} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_R} \right)^2$$

Z analyzovaných průběhů měření jsme zjistili frekvenci oscilací a dosadili ji do příslušných rovnic.

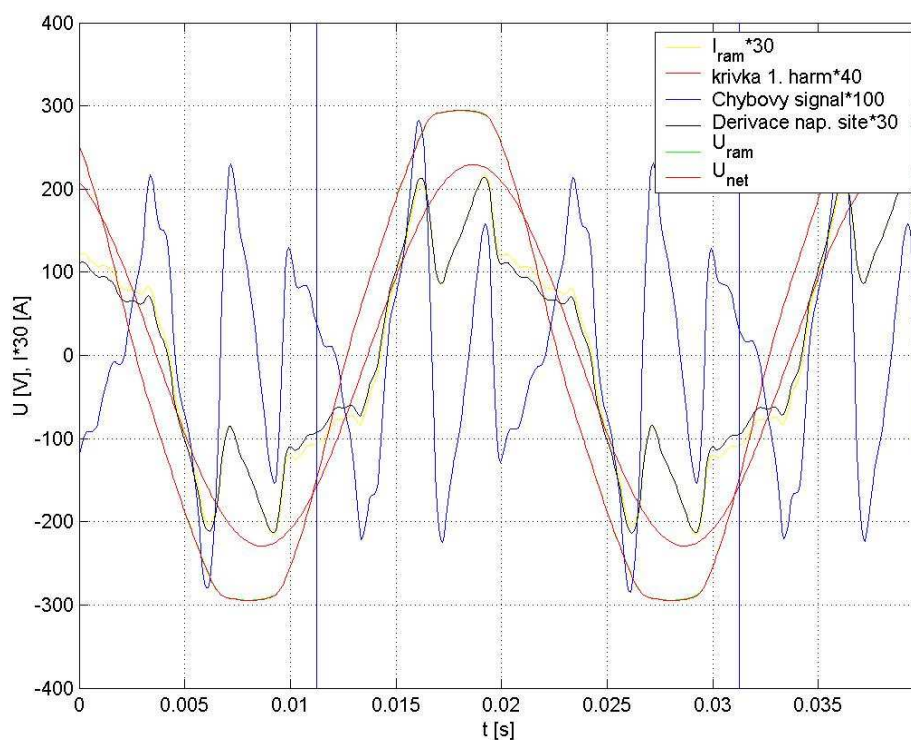
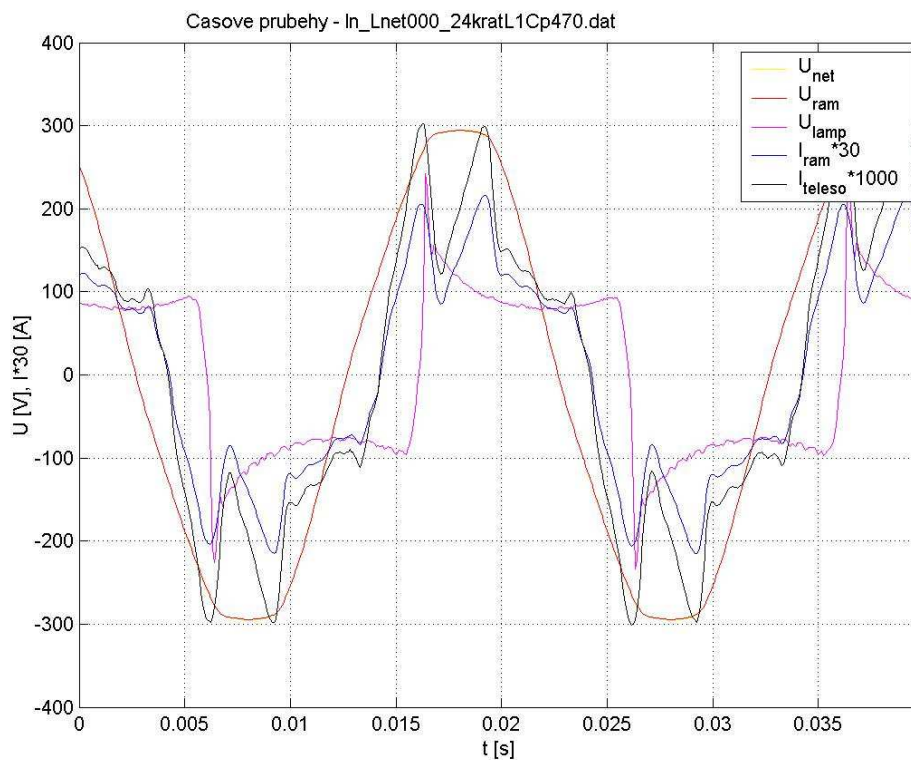
Název souboru	Frekvence kmitu[Hz]	L' [mH]
In_Lnet000_24kratL1bezC_3kratCteleso1800.dat	250	7,51
In_Lnet000_12kratL1Cp470_12kratL1bezC.dat	250	7,19
In_Lnet000_24kratL1bezC_5kratCteleso1800.dat	250	4,5
In_Lnet000_12kratL1Cp470_12kratL1bezC_3kratCteleso1800.dat	250	3,67
In_Lnet000_24kratL1Cp470.dat	250	3,59
In_Lnet000_24kratL2Cp470.dat	250	3,59
In_Lnet000_24kratL1Cp470_1kratCteleso1800.dat	250	3,1
In_Lnet000_24kratL1Cp470_3kratCteleso1800.dat	250	2,43

Tabulka 2. Určování impedance napájecí sítě podle součtu velikostí všech paralelních kondenzátorů



Obr.20. Závislost vypočtené impedance sítě na součtu velikostí všech paralelních kondenzátorů

Z grafu je patrné, že vypočtená indukčnost sítě L', je značně závislá na součtu velikostí všech vložených paralelních kompenzátorů.



Obr.21. Časový průběh proudu a napětí v souboru

ln_Lnet000_24kratL1Cp470.dat

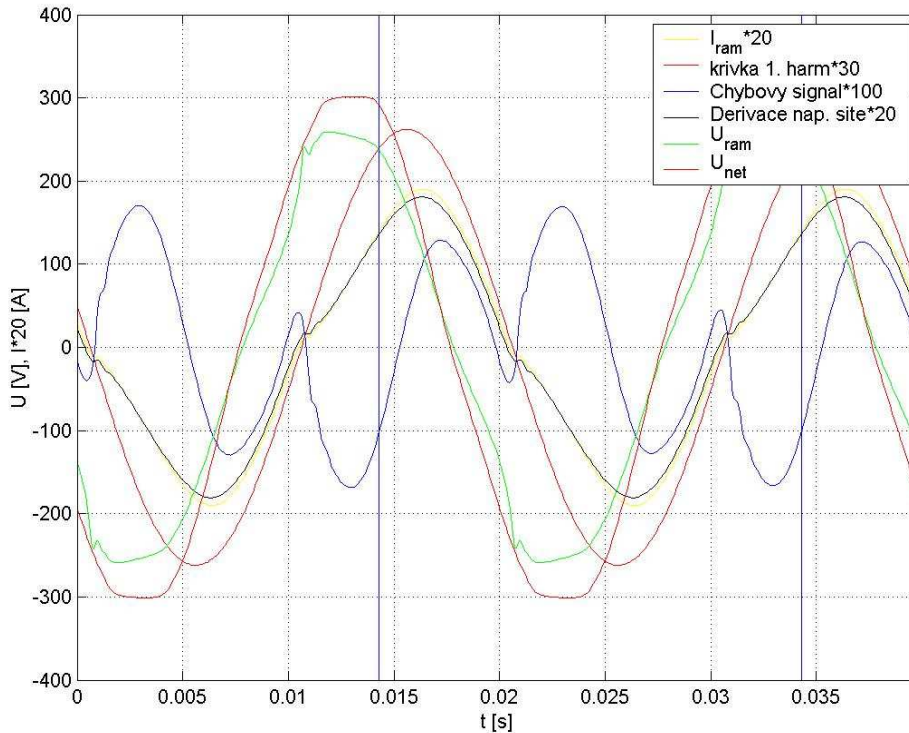
$L=0$ mH; $C_p=24 * 4,7$ μ F; $C_s=0$ μ F; $C_c=0$ μ F

Nyní bychom měli dokázat, že kmity v těchto měřeních jsou způsobeny kmitáním sériového LRC obvodu. K tomu použijeme měření, kde byla uměle zvětšena rozptylová indukčnost sítě L' přidáním další indukčnosti L_0 . Indukčnost této cívky pak bude dána vztahem (2.6).

Název souboru	Frekvence [Hz]	L_0 [mH]	L_0 [mH]skut
<i>In_Lnet082_12kratL1Cp470_12kratL1bezC.dat</i>	800	0,7	0,82
<i>In_Lnet082_12kratL2Cp470_12kratL2bezC.dat</i>	650	1,1	0,82
<i>In_Lnet082_24kratL1bezC_5kratCteleso1800.dat</i>	650	0,67	0,82
<i>In_Lnet082_24kratL1Cp470.dat</i>	450	1,1	0,82
<i>In_Lnet082_24kratL2Cp470.dat</i>	400	1,4	0,82
<i>In_Lnet286_12kratL1Cp470_12kratL1bezC.dat</i>	350	3,67	2,86
<i>In_Lnet286_12kratL1Cp470_12kratL1bezC_3kratCteleso1800.dat</i>	250	3,67	2,86
<i>In_Lnet286_24kratL1Cp470.dat</i>	250	3,59	2,86
<i>In_Lnet286_24kratL2Cp470.dat</i>	250	3,59	2,86
<i>In_Lnet532_12kratL1Cp470_12kratL1bezC_3kratCteleso1800.dat</i>	250	3,6	5,32
<i>In_Lnet532_12kratL2Cp470_12kratL2bezC.dat</i>	350	3,67	5,32
<i>In_Lnet532_24kratL1Cp470.dat</i>	250	3,59	5,32
<i>In_Lnet532_24kratL2Cp470.dat</i>	250	3,59	5,32
<i>In_Lnet1573_12kratL2Cp470_12kratL2bezC.dat</i>	200	11,23	15,73
<i>In_Lnet1573_12kratL1Cp470_12kratL1bezC.dat</i>	200	11,2	15,73
<i>In_Lnet1573_12kratL1Cp470_12kratL1bezC_3kratCteleso1800.dat</i>	150	10,1	15,73
<i>In_Lnet1573_24kratL1Cp470.dat</i>	150	9,98	15,73
<i>In_Lnet1573_24kratL2Cp470.dat</i>	150	9,98	15,73

Tabulka 3. Výpočet vložené impedance

Z uvedených výsledků je patrné, že kmity jsou pravděpodobně opravdu vybuzeny sériovým RLC obvodem. Indukčnost sítě však není možno zahrnout do výpočtu, což je asi způsobeno tím, že ji nelze nahradit prostou indukčností, čili náhradním obvodem se soustředěnými parametry. Pro přesnější výsledky je nutné nahradit síť modelem s rozprostřenými parametry.



Obr. 22. Časový průběh proudu a napětí v souboru

ln_Lnet1573_24kratL2bezC.dat

L=15,73 mH;Cp=0 μF;Cs=0 μF;Cc=0 μF

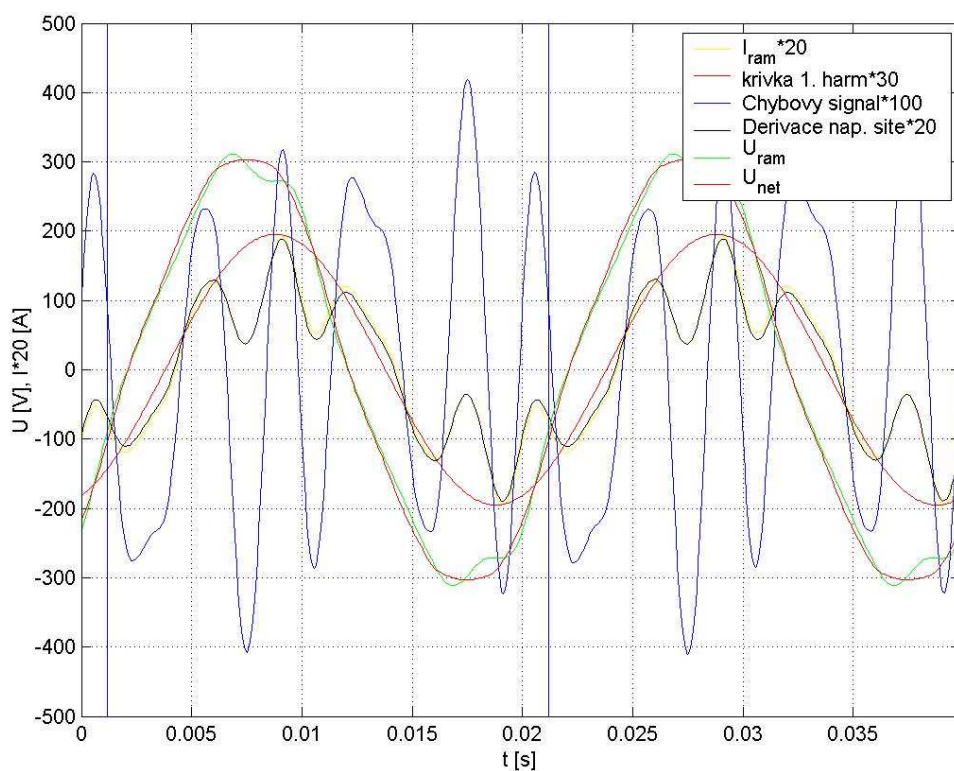
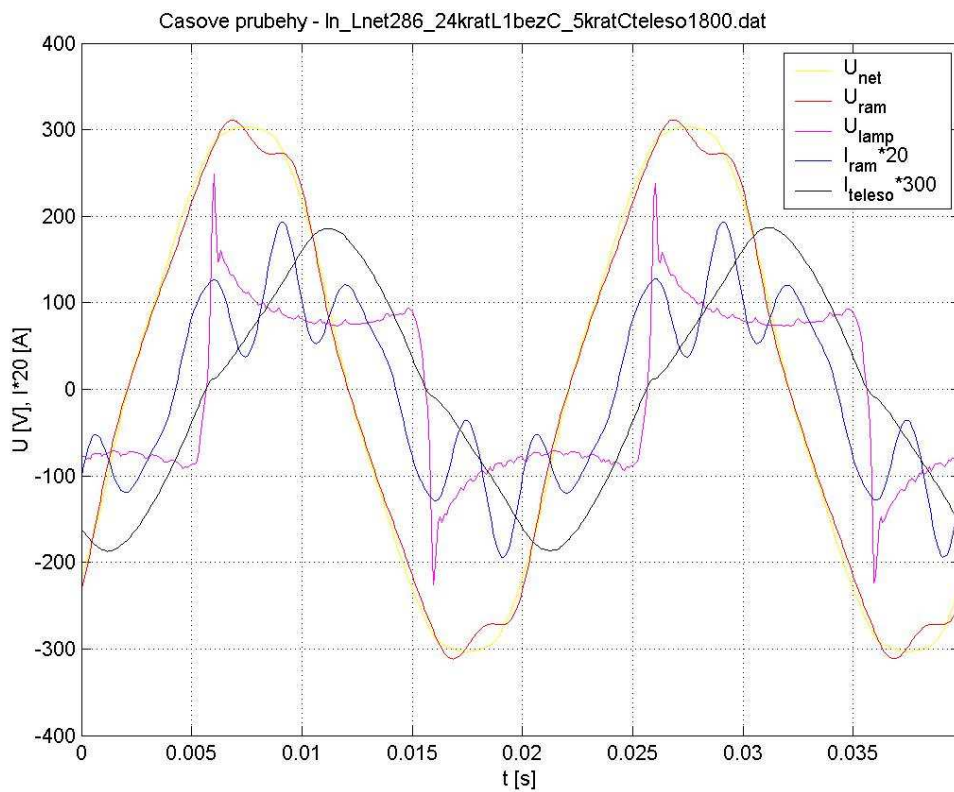
Z obrázku č. 22. je patrné, že pokud v obvodu není zapojen paralelní kondenzátor, obvod neosciluje.

Výkonové hodnoty v souboru *ln_Lnet286_24kratL1bezC_5kratCteleso1800.dat*

L=2,86 mH;Cp=0 μF;Cs=0 μF;Cc=90 μF

	Síť	Rám	Lampa
U_{ef} [V]	220.8	215.9	96.0
I_{ef} [A]	-	5.1	0.39
P [W]	847.2	830.6	34.4
S [VA]	1126.4	1101.6	86.2
Q [VAr]	742.3	723.6	79.0
THD I	-	0.47	-
λ	-	0.753	-

Tabulka 4. Výkonové hodnoty



**Obr. 23. Časový průběh proudu a napětí v souboru
ln_Lnet286_24kratL1bezC_5kratCteleso1800.dat
 $L=2,86 \text{ mH}; C_p=0 \text{ } \mu\text{F}; C_s=0 \text{ } \mu\text{F}; C_c=90 \text{ } \mu\text{F}$**

5 Diskuze výsledků

Sestavené zařízení obsahuje 6 panelů a na každý je možno připojit 4 zářivky. Výsledná aparatura je popsána na obr. 8. Dále je zde možno vytvořit nezměrné množství zapojení s různou kompenzací, na kterých byla provedena měření.

Při měřeních se ověřilo, že topologie sestavy byla navržena správně. Vyvedení komponentů na konektory umožňuje rychlou a pružnou změnu zapojení. Díky tomu je možné měřit různé typy kompenzace za téměř shodných podmínek v napájecí síti.

V další části diplomové práce byly provedeny pokusy na sestaveném laboratorním zařízení. Navzdory velkému počtu provedených měření, není možné stanovit jednoznačný závěr. Bylo zjištěno, že metody analýzy, které byly převzaty z literatury, nejsou zcela přesné a vhodné na vyhodnocení tohoto problému, který se ukázal podstatně složitější než se předpokládalo. Problémy je možno zahrnout do několika částí:

- Není jednoduché zjistit přesný model sítě. Vlivem velkého zarušení sítě není možné určit co je vlastní rezonanční jev osvětlovací soustavy a jak je tento rušivý signál superponován s vnějším rušením.
- Problém s odečítáním frekvence kmitu. Vzhledem k neperiodicitě signálu a jeho oscilačnímu charakteru nebylo v řadě případů zcela možné zjistit jeho přesnou frekvenci.

Vyhodnocení výsledků bude vyžadovat precizní analýzu signálů a pravděpodobně i referenční měření napájecí sítě v jiném uzlu sítě. Při vlastním měření jsme nemohli použít síťových filtrů v napájecí síti, neboť ty by pochopitelně eliminovaly i rezonační jevy svítidel.

6 Závěr

Úkolem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat zařízení pro měření oscilací mezi napájecí sítí a zářivkovými tělesy. Bylo sestaveno laboratorní zařízení, které umožňuje různá měření. Na této soustavě je umístěno 24 zářivek. Dále je zde 6 panelů na nichž jsou umístěny všechny součástky potřebné pro chod zářivek. Na panelech jsou umístěny dva typy konektorů. Prvními konektory se nastavuje zapínání jedné či více trubic, druhý typ slouží k připínání kompenzace různého typu a jedné ze dvou tlumivek.

Na tomto zařízení byla provedena měření při různém zapojení, která byla později analyzována. Výsledky byly zpracovány v tabulce 2, ve které je počítána indukčnost sítě a tabulce 3, kde je z kmitů obvodu spočtena vložená indukčnost.

Dále zde bylo poukázáno na problém kvality odběru elektrické energie zářivkových svítidel s elektromagnetickými předřadníky. Taková svítidla, hlavně díky výrazné nelinearitě výboje, nejenže bývají zdrojem neharmonického proudu, ale mohou indukovat proudové oscilace v napájecím vedení a celé napájecí síti až k distribučnímu transformátoru, které jsou schopny způsobit nefunkčnost některých zařízení, a působí ztráty v prvcích takové napájecí sítě.

7 Literatura

- [1] EGÚ Brno: Monitor kvality napětí [online], EGÚ Brno [cit. duben 2004]. Dostupné na internetu:
[http://www.egubrno.cz/cz/sekce5/produkty/dokumenty/QN%20\(cz\).pdf](http://www.egubrno.cz/cz/sekce5/produkty/dokumenty/QN%20(cz).pdf)
- [2] Richter,A.,Konečná,E.: Vliv kompenzovaného zářivkového osvětlení s indukčními předřadníky na napájecí síť, časopis Světlo, vydavatelství FCC public, číslo 4, 1998, str. 8-10, ISSN 1212-0812
- [3] Niesig P.: Zářivky [online]. Turnov [cit. květen 2004]. Dostupné na internetu:
<http://www.elkovo-cepelik.cz/teorie/>
- [4] Zissis G., Aubes M., Sewraj N., Stambouli M., Elleuch N., Annabi M. Simulation d'une installation d'éclairage utilisant des lampes á décharge dans la vapeur de mercure HP, alimentée par un transformateur triphase. Extraits de la Revue générale de l'Electricité, Jan. 1992, no 1.
- [5] Václavík J.: Výbojová svítidla a napájecí síť, sborník z konference EPVE 2003, VUT, FEI, Brno, 12.-13. 11. 2003, (ISBN 80214-2246-7)
- [6] Miškařík,S.: Moderní zdroje světla, SNTL, Praha 1979
- [7] Zahálka M. Optimalizace příkonu magnetických zářivkových předřadníků. [Diplomová práce]. Liberec: TU, 2000. 56 s.
- [8] Richter,A.,Konečná,E.: Harmonické zkreslení napájecí sítě, jeho definice, měření a praxe [online]. Liberec: TU, 2004 [cit. květen 2004]. Dostupné na internetu:
<http://www.fm.vslib.cz/~kel/subjects/rac/pr01.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1. Zapojení zářivky	17
Obr. 2. Zapojení zářivky kompenzačním kondenzátorem	18
Obr. 3. Zapojení dvou zářivek	19
Obr. 4. Náhradní obvod napájecího vedení ve formě RLC obvodu	20
Obr. 5 Průběh odebíraného proudu s kompenzací 4,5 μF (nahoře) a síťového napětí (dole)	23
Obr. 6. Proud, THD a λ v závislosti na různé kompenzaci	23
Obr. 7. Harmonické složky odebíraného proudu bez kompenzace a s kompenzací 4,5 μF	24
Obr. 8. Sestrojená aparatura	26
Obr. 9. Panel	27
Obr. 10. Připojení součástek ke konektoru	28
Obr. 11. Zapojení pinů spodní části konektoru	29
Obr. 12. Zapojení konektoru	29
Obr. 13. Zapojení s paralelním kondenzátorem	30
Obr. 14. Připojení zářivek ke konektoru	31
Obr. 15. Zapojení pinů spodní části konektoru	31
Obr. 16. Zapojení konektoru	32
Obr. 17. Propojení panelu a zářivek	32
Obr. 18. Systém EMU-2	34
Obr. 19. Schéma zapojení osvětlovací soustavy a měřicích zařízení	35
Obr. 20. Závislost vypočtené impedance sítě na součtu velikostí všech paralelních kompenzátorů	37
Obr. 21. Časový průběh proudu a napětí v souboru ln_Lnet000_24kratL1Cp470.dat L=0 mH;Cp=24 * 4,7 μF	38
Obr. 22. Časový průběh proudu a napětí v souboru ln_Lnet1573_24kratL2bezC.dat L=15,73 mH;Cp=0 μF	40
Obr. 23. Časový průběh proudu a napětí v souboru ln_Lnet286_24kratL1bezC_5kratCteleso1800.dat L=2,86 mH; Cc=90 μF	41

Seznam tabulek

Tabulka 1. Základní elektrické veličiny při různé velikosti kompenzačního kondenzátoru	22
Tabulka 2. Určování impedance napájecí sítě podle součtu velikostí všech paralelních kondenzátorů	37
Tabulka 3. Výpočet vložené impedance	39
Tabulka 4. Výkonové hodnoty	40

Příloha

Příloha 1: Grafy vybraných měření

CD-ROM

Adresář:

Diplomová práce -obsahuje diplomovou práci v elektronické podobě

Měření -obsahuje naměřená data a soubory v programu MatLab 6.1

Panel -obsahuje výkres panelu