

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

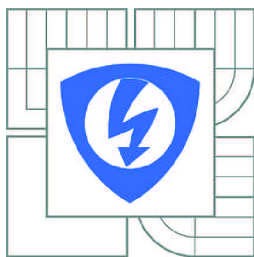
**VÝVOJ BEZELEKTRODOVÝCH ZÁŘIVEK
A JEJICH APLIKACE V OSVĚTLOVACÍ
TECHNICE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

TOMÁŠ ŠENK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Tomáš Šenk

ID: 136588

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Vývoj bezelektrokových zářivek a jejich aplikace v osvětlovací technice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Princip činnosti bezelektrokových zářivek.
2. Jedinečnost bezelektrokových zářivek, dosahované parametry a rozsah použitelnosti.
3. Napájecí zdroje, předřadné systémy.
4. Možné použití v extrémních podmínkách (nedostupná místa, tunely, osvětlování rostlin,...).
5. Praktická měření, ověřování teoretických předpokladů v laboratoři světelné techniky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Michal Krbal

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ŠENK, T. *Vývoj bezelektrodových zářivek a jejich aplikace v osvětlovací technice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Krbal.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

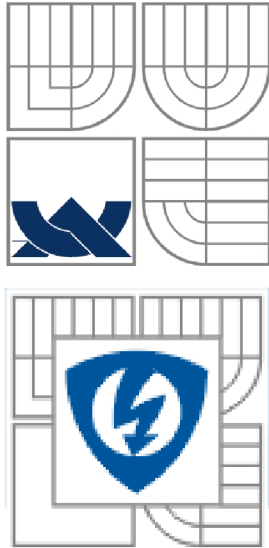
Vývoj bezelektrodových zářivek a jejich aplikace v osvětlovací technice

Tomáš Šenk

vedoucí: Ing. Michal Krbal

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

The development of electrodeless fluorescent and their applications in lighting

by

Tomáš Šenk

Supervisor: Ing. Michal Krbal

Brno University of Technology, 2013

Brno

ABSTRAKT

Cílem této práce je bližší seznámení se s bezelektrodovými zářivkami. V práci je na úvod uveden historický vývoj bezelektrodových zářivek, dále je objasněn jejich princip činnosti a stručně rozebrány tři základní konstrukce těchto světelných zdrojů. Následně jsou zmíněny některé jedinečné parametry bezelektrodových zářivek, kterými se odlišují od jiných běžně dostupných světelných zdrojů. Poté jsou vysvětleny některé světelně – technické veličiny. V práci je také uvedeno srovnání parametrů bezelektrodových zářivek s ostatními dostupnými světelnými zdroji. Dále jsou vypsány podrobněji parametry několika druhů sérií bezelektrodových zářivek dostupných v České republice. Následuje popis možné aplikace zářivek do různých typů svítidel. V další části je blokově popsán předřadný systém, nutný k napájení těchto světelných zdrojů. Následně je uvedeno a popsáno několik náběhových charakteristik světelného toku různých typů bezelektrodových zářivek a různé stupně kompenzace odebíraného proudu bezelektrodovými zářivkami. Jsou zde také uvedeny některé parametry dostupných předřadných systémů. Dále je uvedena možnost aplikace bezelektrodových zářivek v extrémních podmínkách. V závěru práce je uvedeno provedené měření křížových charakteristik několika bezelektrodových zářivek.

KLÍČOVÁ SLOVA: bezelektrodová zářivka, indukční výbojka, parametry bezelektrodových zářivek, předřadný systém, měření křížové charakteristiky

ABSTRACT

The aim of this thesis is more familiar with electrodeless fluorescent lamps. In work is on introduction to the historical development of electrodeless fluorescent lamps, as is explained by their principle of operation and briefly discussed three basic design of these light sources. Subsequently there is mentioned some unique characteristics of electrodeless fluorescent lamps, which are different from other commercially available light sources. After explaining some light - technical variables. The work also provides a comparison of the parameters electrodeless fluorescent lamps with other available light sources. Further there are listed detailed parameters of several types electrodeless fluorescent lamps available in the Czech Republic. A description of possible applications in various types of light fitting. The next section describes the ballast system needed to supply the light sources. Below it is shown and described several start-up characteristics of the luminous flux of different types of electrodeless fluorescent lamps and various levels of compensation current drawn by induction lamps. There are also some parameters of available ballasts systems. Furthermore, given the possibility of applying electrodeless fluorescent lamps in extreme conditions. The conclusion is stated measurements of several cross characteristics of electrodeless fluorescent lamps.

KEY WORDS: electrodeless fluorescent, induction lamps, parameters of electrodeless fluorescent, balast systém, measurement of cross-characteristics

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	13
2 PRINCIP ČINNOSTI BEZELEKTRODOVÝCH ZÁŘIVEK A JEJICH HISTORICKÝ VÝVOJ	14
2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	14
2.2 PRINCIP VZNIKU SVĚTLA V BEZELEKTRODOVÝCH ZÁŘIVKÁCH.....	14
2.3 INDUKČNÍ VÝBOJKA QL PHILIPS	16
2.4 INDUKČNÍ VÝBOJKA ENDURA OSRAM	16
2.5 INDUKČNÍ VÝBOJKA GENURA GE LIGHTING	17
2.6 OSTATNÍ VÝROBCI	18
3 JEDINEČNOST, DOSAHOVANÉ PARAMETRY A ROZSAH POUŽITELNOSTI	20
3.1 JEDINEČNOST	20
3.2 DOSAHOVANÉ PARAMETRY	20
3.2.1 SVĚTELNÝ TOK	20
3.2.2 MĚRNÝ VÝKON	20
3.2.3 ŽIVOT SVĚTELNÉHO ZDROJE	21
3.2.4 INDEX PODÁNÍ BAREV	21
3.2.5 NÁHRADNÍ TEPLOTA CHROMATIČNOSTI	21
3.2.6 POKLES SVĚTELNÉHO TOKU.....	22
3.2.7 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ S OSTATNÍMI SVĚTELNÝMI ZDROJI	23
3.2.8 PODROBNĚJŠÍ VÝPIS PARAMETRŮ NĚKTERÝCH SÉRIÍ ZÁŘIVEK DOSTUPNÝCH V ČR.....	24
3.3 ROZSAH POUŽITELNOSTI.....	25
3.3.1 HLUBOKOZÁŘIČE	25
3.3.2 TUNELOVÁ SVÍTIDLA	26
3.3.3 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ.....	26
3.3.4 PRŮMYSLOVÉ OSVĚTLENÍ	26
3.3.5 REFLEKTORY	26
3.3.6 STROPNÍ SVÍTIDLA	26
3.3.7 SADOVÁ SVÍTIDLA	26
3.4 APLIKACE BEZELEKTRODOVÝCH ZÁŘIVEK V ČR	27
4 NAPÁJECÍ ZDROJE, PŘEDŘADNÉ SYSTÉMY	28
4.1 NÁBĚH SVĚTELNÉHO ZDROJE	28
4.2 CHARAKTER ODEBÍRANÉHO PROUDU A DALŠÍ PARAMETRY	30
4.3 SVÍTIDLO S POUŽITOU BEZELEKTRODOVOU ZÁŘIVKOU	31
4.4 NĚKTERÉ PŘEDŘADNÉ SYSTÉMY DOSTUPNÉ V ČR.....	33
5 MOŽNÉ POUŽITÍ V EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH.....	34

6 MĚŘENÍ KŘÍŽOVÝCH CHARAKTERISTIK	35
6.1 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ	51
7 ZÁVĚR.....	52
POUŽITÁ LITERATURA	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Princip funkce indukčních zářivek s vnější cívkou [3]</i>	15
<i>Obr. 2-2 Princip funkce indukčních zářivek s vnitřní cívkou [4]</i>	15
<i>Obr. 2-3 Konstrukce indukční výbojky QL Philips [5]</i>	16
<i>Obr. 2-4 Konstrukce indukční výbojky Endura Osram [5]</i>	17
<i>Obr. 2-5 Konstrukce indukční výbojky Genura GE Lighting [7]</i>	18
<i>Obr. 2-6 Zářivky LVD Saturn a Smart Dragon [8]</i>	18
<i>Obr. 2-7 Zářivky LVD Venus a Saturn 2B (obě zakončené závitem E27/E40) [8]</i>	19
<i>Obr. 2-8 Zářivky SNYG 10 (20), SNYG 60 a E.F.Lamp20W [9]</i>	19
<i>Obr. 2-9 Zářivky SNPG-200 a 100W-03 [9]</i>	19
<i>Obr. 3-1 Znázornění spektra náhradní teploty chromatičnosti [11]</i>	22
<i>Obr. 3-2 Spektrum světla u bezlektrodových zářivek podle různých náhradních teplot chromatičnosti [9]</i>	22
<i>Obr. 3-3 Závislost poklesu světelného toku na čase [12]</i>	23
<i>Obr. 4-1 Blokové schéma předřadného systému pro bezelektrodové zářivky</i>	28
<i>Obr. 4-2 Náběh světelného toku zářivek plošného provedení 40 W [9]</i>	29
<i>Obr. 4-3 Náběh světelného toku bezlektrodových zářivek série SNYG [9]</i>	29
<i>Obr. 4-4 Náběh světelného toku zářivek SNPG 200 a L.F. Lamp 2700K [9]</i>	30
<i>Obr. 4-5 Náběh světelného toku zářivek 40 W, 150 W a BLJDY-135-220-L [9]</i>	30
<i>Obr. 4-6 Charakter odebíraného proudu bezelektrodových zářivek [9]</i>	31
<i>Obr. 4-7 Kolísání světelného toku u vybraných zářivek [9]</i>	31
<i>Obr. 4-8 Bezelektrodová zářivka 300W [9]</i>	32
<i>Obr. 4-9 Náběh světelného toku u svítidla s 300W zářivkou [9]</i>	32
<i>Obr. 4-10 Svítidlo s 300W bezelektrodovou zářivkou [9]</i>	32
<i>Obr. 6-1 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNYG 20</i>	38
<i>Obr. 6-2 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNYG 60</i>	41
<i>Obr. 6-3 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky E.F. Lamp 20 W</i>	44
<i>Obr. 6-4 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky S-40W RR 20110324</i>	47
<i>Obr. 6-5 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNPG 200</i>	50

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Příklady náhradních teplot chromatičnosti světelných zdrojů [11]</i>	22
<i>Tab. 3-2 Srovnání některých parametrů indukčních zářivek s ostatními používanými zdroji světla [13]</i>	23
<i>Tab. 3-3 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Smart Dragon [14]</i>	24
<i>Tab. 3-4 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Saturn [14]</i>	24
<i>Tab. 3-5 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Venus [8]</i>	24
<i>Tab. 3-6 Parametry bezelektrodových zářivek série Apolo [14]</i>	25
<i>Tab. 3-7 Parametry bezelektrodových zářivek dodávaných firmou NBB Bohemia série Square [15]</i>	25
<i>Tab. 3-8 Parametry bezelektrodových zářivek dodávaných firmou NBB Bohemia série Round [15]</i>	25
<i>Tab. 4-1 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou LVD [14]</i>	33
<i>Tab. 4-2 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou DreamTec [20]</i>	33
<i>Tab. 4-3 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou NBB Bohemia [15]</i>	33
<i>Tab. 6-1 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNYG 20</i>	36
<i>Tab. 6-2 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNYG 60</i>	39
<i>Tab. 6-3 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku E. F. Lamp 20 W.</i> ..	42
<i>Tab. 6-4 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku S-40W RR 20110324</i>	45
<i>Tab. 6-5 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNPG 200</i>	48

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Φ	světelný tok
M_Z	měrný výkon
P	příkon
R_a	index podání barev
<i>CRI</i>	Color Rendering Index (index podání barev)
<i>PFC</i>	Power Factor Correction (korekce účinníku odběru)
<i>THD</i>	Total Harmonic Distortion (celkové harmonické zkreslení sinusového signálu)
I	elektrický proud
S	zdánlivý příkon
λ	účinník
U	elektrické napětí
E	osvětlenost

1 ÚVOD

Oblast světelných zdrojů je v dnešní době jednou z nejdynamičtějších oblastí světelné techniky a významně ovlivňuje současnou situaci i na trhu svítidel. Poměrně novou výrobní technologií světelných zdrojů jsou nízkotlaké bezelektrodové výbojky. Tyto světelné zdroje charakterizuje zejména vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světlo, dlouhá životnost a stálost parametrů, což jsou ve své podstatě vlastnosti, na které je v posledních letech v osvětlovací technice kladen největší důraz.

Práce se zabývá historickým vývojem bezelektrodových zářivek, rozborem principu vzniku světla v těchto světelných zdrojích, definováním hlavních parametrů charakterizujících bezelektrodové zářivky, výpisem dostupných bezelektrodových zářivek v ČR. V bakalářské práci je dále uvedený rozsah použití indukčních výbojek, v jakých typech svítidel je možné využít tyto světelné zdroje, jaké jsou hlavní výhody při jejich použití a také některé konkrétní aplikace bezelektrodových zářivek v ČR a uvedení několika firem zabývajících se prodejem bezelektrodových zářivek a svítidel s nimi. Následuje kapitola o konstrukci předřadných systémů, která je dále věnována charakteristikám náběhu světelných zdrojů, charakteru odebíraného proudu, porovnáním rozdílného náběhu zdroje použitého v konkrétním svítidle a porovnáním parametrů některých předřadných systémů pro bezelektrodové zářivky, které jsou dostupné v ČR. Další kapitola je věnována výhodám spojeným s aplikací bezelektrodových zářivek v extrémních podmínkách. Na závěr bakalářské práce je provedeno měření křížových charakteristik několika bezelektrodových zářivek.

2 PRINCIP ČINNOSTI BEZELEKTRODOVÝCH ZÁŘIVEK A JEJICH HISTORICKÝ VÝVOJ

2.1 Historický vývoj

Již v dobách, kdy lidé osídlovali jeskyně, hledali a začali používat umělé zdroje osvětlení, které jim umožnilo usnadnit si život. Když ohně vydávaly více tepla, než světla, tehdejší lidé využili tohle osvětlení k vytvoření nejrůznějších podob umění a zaznamenali své zážitky a okolí na stěnách jeskyní, které obývali. Tyto malby dokazují důležitost umělého osvětlení na kulturu a gramotnost, neboť poskytlo člověku více času k rozvoji jeho schopností. [1]

Sir Humphry Davy v raném 19. století představil v Londýně v Královské Vědecké Společnosti první elektrické světlo. Použil dvě elektrody z dřevěného uhlí, umístěné 10 cm od sebe a baterii se dvěma tisíci články k vytvoření elektrického oblouku. Humphry upevnil elektrody vodorovně, vznikl výboj tvaru oblouku, jelikož byl nesen vzhůru proudem vzduchu ohřátého místě výboje. Humphry pojmenoval vynález oblouková lampa. [1]

Komerčně první úspěšný vynález elektrické lampy je připisován Thomasi Alva Edisonovi. V jeho práci stavěl hlavně na poznacích průkopníků v oblasti přeměny elektrické energie na světlo, jejichž objevy byly předvedeny v laboratořích. V roce 1874 požádali Kanadčané Henry Woodward a Matthew Evans o patent na žárovku s uhlíkovým vláknem v dusíkové atmosféře. Když se jim jejich vynález nepodařilo zpeněžit, ale Edisona zaujali natolik, že v roce 1875 zakoupil kanadský a americký patent na jejich objevy na tehdejší dobu za pět tisíc dolarů. Edison na jejich patentech pracoval a nahradil uhlíkové vlákno kovovým umístěným ve vakuu a v roce 1880 tak vytvořil první použitelnou a obchodně úspěšnou žárovku. [1]

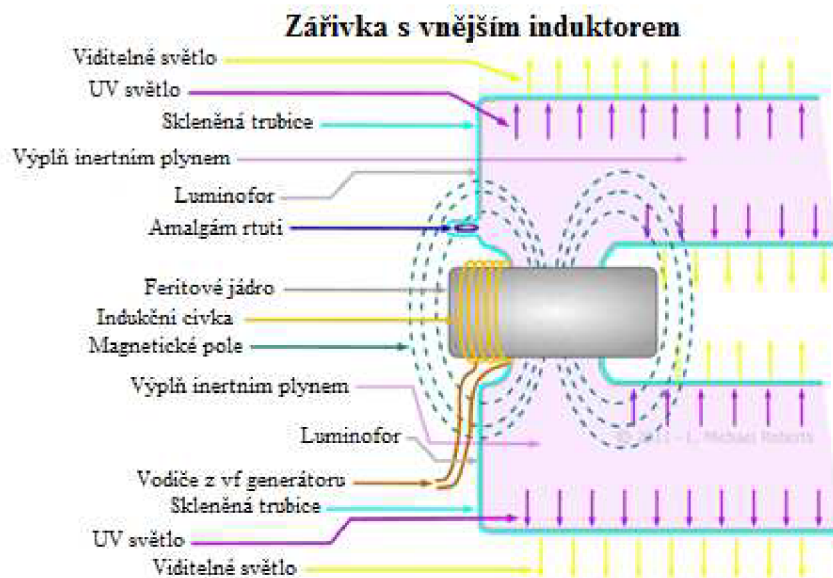
„V 90. letech 19. století předvedl Nikola Tesla přenos energie do bezelektrodových žárových a fluorescenčních lamp během svých přednášek a ve svých publikacích. 23. června 1891 byl Teslovi udělen patent na velmi raný druh indukční lampy. Když prozkoumáme Teslovi náčrtky z přednášek a patentů, je podobnost s moderními bezelektrodovými lampami až zarážející [1].“

John M. Anderson inženýr General Electric Company požádal v letech 1967 a 1968 o patenty na bezelektrodové lampy. Jako první uvedla firma Philips svou řadu indukčního osvětlení značenou QL roku 1990 na evropský trh a o dva roky později na trh americký. Jedná se o bezelektrodové zářivky s vnitřní indukční cívkou, která pracuje na frekvenci 2,65 MHz a jejich hlavní devizou je dlouhá životnost. V roce 1992 uvedla firma Matsushita indukční osvětlení na trh Asie a Japonska. První kompaktní, praktickou a supermoderní indukční lampu uvedla v dubnu roku 1994 firma General Electric Lighting, tehdy jeden z největších výrobců fluorescenčních trubec. Řadu E-lamp představili v dubnu na Hannoverském veletrhu a o měsíc později na veletrhu Světla v New Yorku. Pod obchodní označení Genura, původně E-lamp, se skrývá bezelektrodová lampa s vnitřním induktorem a integrovanou řídicí elektronikou, pracující na frekvenci 2,65 MHz. Roku 1996 firma Osram uvedla na trh indukční výbojku pod obchodním označením Endura, tato výbojka měla zcela odlišné konstrukční řešení. [1]

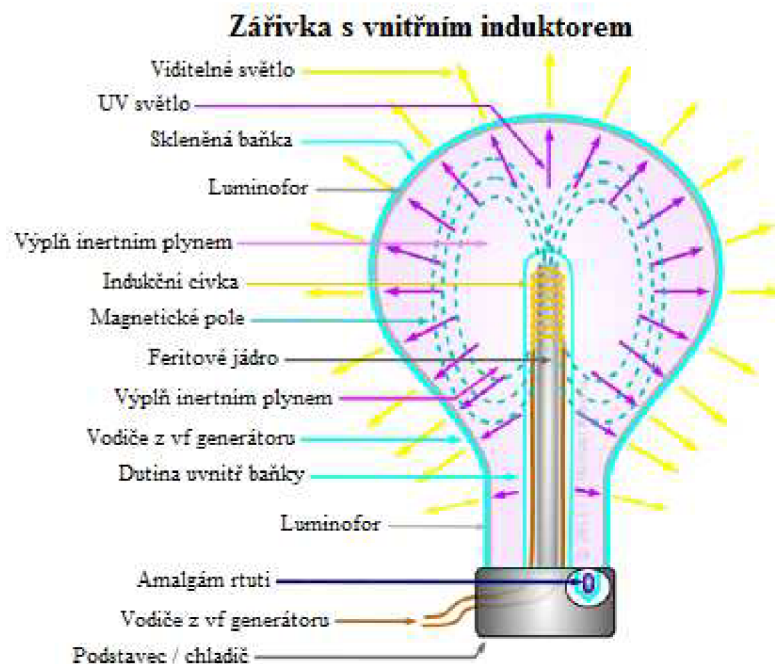
2.2 Princip vzniku světla v bezelektrodových zářivkách

Bezelektrodové zářivky jsou ve své podstatě fluorescenční lampy s indukčními cívkami kolem části trubice nebo s indukční cívkou ve výdutí výbojky. Indukční zářivky pracují na principu bezelektrodového výboje, který je zajištěn pomocí elektronického předřadníku,

zapalovacího plynu a amalgámu rtuti obsaženém v těle výbojky. Podobně jako u lineárních a kompaktních zářivek vzniká výboj v argonu a v parách rtuti, tento výboj je zdrojem intenzivního ultrafialového záření, kde jsou obsaženy dvě výrazné spektrální čáry o vlnové délce 185,4 a 253,7 nm. Ultrafialové záření je mimo oblast spektra pro člověka viditelného. Proto je na vnitřních stěnách výbojek nanášena vrstva luminoforu, která transformuje ultrafialové záření do viditelné oblasti spektra. Typ použitého luminoforu je prakticky totožný, jaký je používán u lineárních a kompaktních zářivek nejnovějších generací. Jedná se tedy o třípásmové luminofoxy na bázi hlinitanů nebo fosforečnanů aktivovaných prvky vzácných zemin. Vzájemným poměrem jednotlivých složek obsažených v luminoforu je určována barva světla, která je charakterizována jako náhradní teplota chromatičnosti. Náhradní teplota chromatičnosti bývá v rozmezí 2700 K až 6500 K. [2]



Obr. 2-1 Princip funkce indukčních zářivek s vnější cívkou [3]

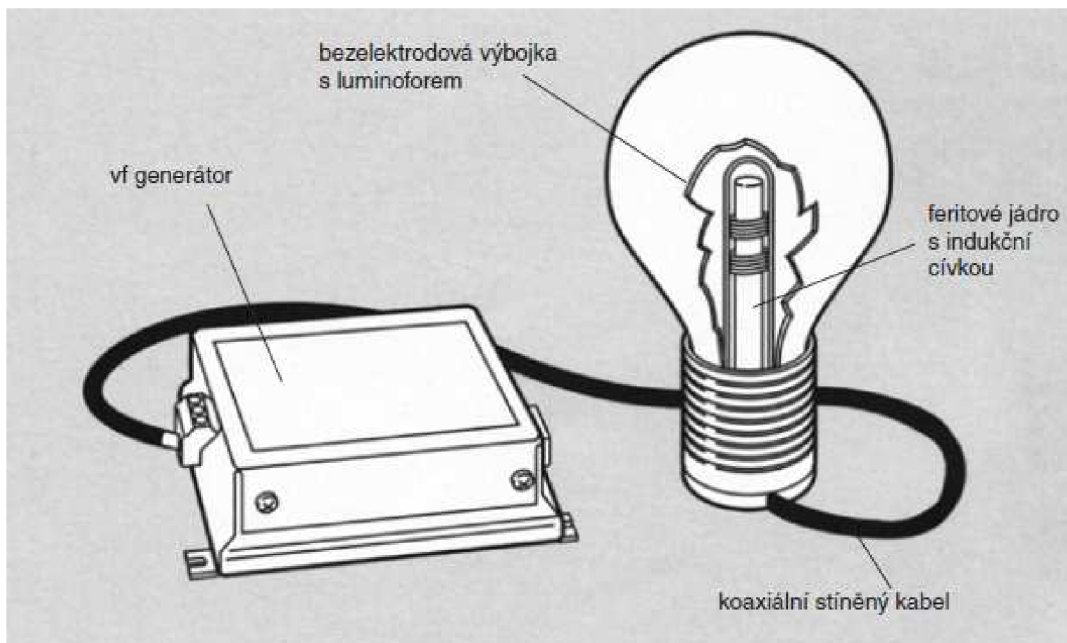


Obr. 2-2 Princip funkce indukčních zářivek s vnitřní cívkou [4]

2.3 Indukční výbojka QL Philips

Indukční výbojka QL od firmy Philips, je vůbec prvním typem bezelektrodových zářivek, který byl úspěšně uveden na trh v roce 1990. Jedná se nízkotlakou indukční výbojku.

Do baňky hruškovitého tvaru je z jedné strany zatavena otevřenou trubičkou tvaru zkumavky, do které je vkládáno feritové jádro s indukční cívkou, kterou napájí proud o frekvenci 2,65 MHz. Díky vnějšímu tvaru baňky podobnému kouli je usnadněno přerozdělení světelného toku optikou svítidla. Na vnějším povrchu baňky je kovová síťka potlačující záření, kterým by mohlo být rušen rádiový příjem. Zdroj je v podstatě vysokofrekvenční generátor, který je doplněn speciálním obvodem se schopností odpojit do 5 sekund vadnou výbojku. Oddělená výbojka od napájecího zdroje dává konstruktérům značnou výhodu a volnost při navrhování originálních tvarů svítidel tvořících osvětlovací soustavu. Výbojky jsou konstruovány na napětí 200 až 240 V. Opakovatelný znovuzápal výboje je možný již za 0,1 sekundy. Jmenovitá hodnota života je udávána až 100 tisíc hodin, avšak ekonomický život, tj. doba, po jejímž uplynutí zůstane funkčních ještě alespoň 80 procent výbojek, je podle údajů výrobců stanovena na 60 tisíc hodin. Drobnou nevýhodou těchto výbojek je, že teplo produkované indukční cívkou uvnitř těla je odváděno vedením na základnu výbojky a částečně vyzařováno přes skleněné stěny. To způsobuje větší provozní teploty, což vede ke kratší životnosti. Na druhou stranu tento typ výbojek se více podobá běžným žárovkám, díky tomu mohou být tyto zdroje více esteticky příjemné v některých aplikacích. [5]



Obr. 2-3 Konstrukce indukční výbojky QL Philips [5]

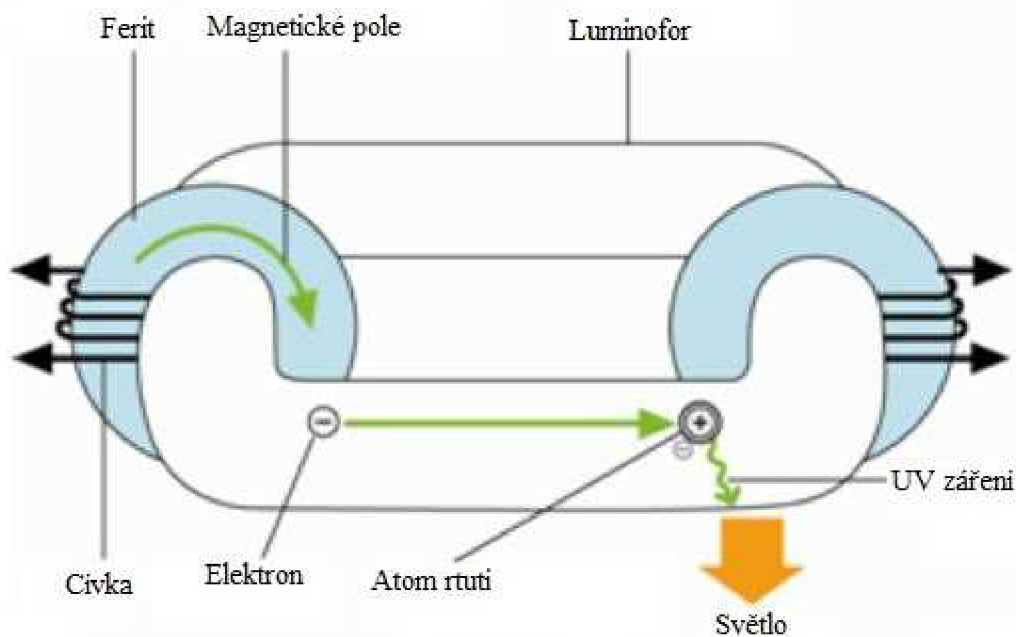
2.4 Indukční výbojka Endura Osram

Nízkotlaká indukční výbojka Endura vyvinutá firmou Osram, byla poprvé představena trhu v roce 1996. Jedná se o první představený typ bezelektrodové výbojky daného tvaru.

Výbojový prostor, jenž obsahuje páry rtuti (rtuť je vnášena ve formě vhodného amalgámu) a argon, představuje uzavřený závit kruhového průřezu, který je vytvarován do pravoúhlého půdorysu. Vznik bezelektrodového výboje je vyvoláván působením střídavého magnetického pole, které je vytvářeno pomocí dvou cívek, jejichž účinek je zesilován feritovými jádry,

na kterých jsou tyto cívky navinuty. Feritová jádra jsou umístěna na protilehlých stranách výbojové trubice a obklopují celý výbojový prostor. Tato soustava tedy pracuje jako transformátor, kde protilehlé cívky představují primární vinutí a plazma uvnitř výbojky sekundární vinutí. Výbojky Endura pracují na poměrně nízké frekvenci, 250 kHz, nicméně přednosti vysokofrekvenčního výboje jsou zachovány. Výsledná výbojka má velmi kvalitní podání barev a má vhodné geometrické parametry, které umožňují konstruovat zajímavá svítidla. [5]

Při větším příkonu je možné výbojky Endura velmi dobře uplatnit při konstrukci intenzivních zdrojů ultrafialového záření v oblasti C se zajímavými fotobiologickými účinky, které jsou využívány zejména ve zdravotnictví, potravinářském průmyslu aj. k dezinfekci vzduchu a vody. K uplatnění přichází především záření s vlnovou délkou 253,7 nm, které se nachází v blízkosti bakteriocidních účinků a záření o vlnové délce 185,4 nm, které vyvolává tvorbu ozonu se silnými oxidačními účinky. Jediným konstrukčním rozdílem mezi výbojkami je v materiálu, který je používán na vnější baňku, jenž je zhotovena z čirého křemenného skla vysoké čistoty bez luminoforu. Tyto výbojky převyšují dosud používané germicidní a baktericidní výbojky z hlediska účinnosti i dalších parametrů v oblasti ultrafialového záření, jejichž možnosti jsou z hlediska příkonu a rozměrů omezené. [5]

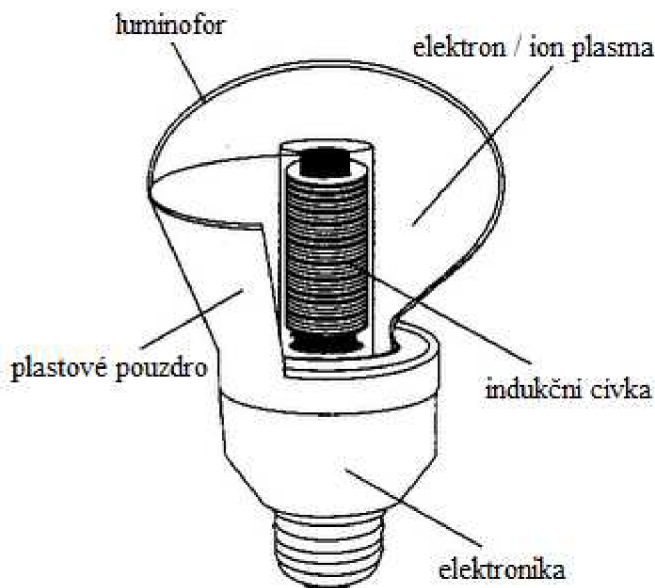


Obr. 2-4 Konstrukce indukční výbojky Endura Osram [5]

2.5 Indukční výbojka Genura GE Lighting

Indukční výbojka Genura od firmy General Electric Lighting je světově první komerční světelný zdroj, který kombinuje bezelektrodovou indukční zářivku a všechnu potřebnou elektroniku včetně předřadníku v jednotné kompaktní části. Principiálně vychází Genura z indukční výbojky od firmy Philips a její řady QL, ovšem výbojky QL vyžadují externí vysokofrekvenční předřadník, který má Genura už obsažen v konstrukci. Zářivka je zakončena standardní patičí E27. Lampa pracuje na frekvenci 2,5 MHz, podobně jako Philips QL pro optimální účinnost a na vlnové délce, která neruší domácí spotřebiče. Uprostřed ve výbojovém prostoru je dutina tvaru válce, ve které je umístěna indukční cívka navinutá na feritovém jádru.

Ve výbojovém prostoru je dále amalgám rtuti. Na vnitřní straně je nanesena vrstva luminoforu a speciální protičernicí nátěr. Elektronický předřadník dodává energii na vysoké frekvenci do indukční cívky, což vede k ionizaci výbojového prostoru a vzniku výboje. Tyto kompaktní bezelektrodové zářivky mají jmenovitou životnost asi 10 tisíc hodin. [6]



Obr. 2-5 Konstrukce indukční výbojky Genura GE Lighting [7]

2.6 Ostatní výrobci

Výše zmínění výrobci přispěli hlavně ve vývoji bezelektrodoých zářivek. V dnešní době již existuje více výrobců bezelektrodoých zářivek. Jedná se především o výrobce z Číny. Je to například firma LVD, která vyrábí plošné bezelektrodové zářivky s externím induktorem, jsou to série Saturn a Smart Dragon znázorněny na obrázku 2-6, tyto dvě série se od sebe liší pouze tvarem skleněné trubice - série saturn je ve tvaru prstence a série Smart Dragon má tvar obdélníkový a série s integrovanými předřadníky, jsou to série Venus a série Saturn 2B znázorněny na obrázku 2-7.



Obr. 2-6 Zářivky LVD Saturn a Smart Dragon [8]



Obr. 2-7 Zářivky LVD Venus a Saturn 2B (obě zakončené závitem E27/E40) [8]

Zářivky vyrobené se standardní baňkou, kde je buzení zajištěno anténkou uvnitř baňky jsou ještě zatím ve fázi vývoje a jejich existence je zatím pouze ve formě prototypů čínských výrobců, které se zatím nedočkali umístění na trh. Zářivky s nižším výkonem a se závity patice E27 v menším provedení na obrázku 2-8. Výkonově vyšší varianty znázorněné na obrázku 2-9, světelný zdroj s odděleným předřadným systémem určený k použití do reflektorového svítidla model SNPG-200, společně s modelem 100W-3, který je opatřen závitem E40.



Obr. 2-8 Zářivky SNYG 10 (20), SNYG 60 a E.F.Lamp20W [9]



Obr. 2-9 Zářivky SNPG-200 a 100W-03 [9]

3 JEDINEČNOST, DOSAHOVANÉ PARAMETRY A ROZSAH POUŽITELNOSTI

3.1 Jedinečnost

Za jeden z nejvíce významných parametrů bezelektrodových zářivek můžeme jednoznačně označit jejich dosažovanou životnost. Bezelektrodové zářivky díky jejich použité technologii buzení světla, dosažují doby života až 100000 hodin. S takto dlouhou dobou života je spojeno i značné snížení nákladů na údržbu. [8]

Bezelektrodové zářivky mají poměrně vysokou účinnost převodu elektrické energie na světelnou. Zářivky nemají při zapnutí zvýšený odběr a po vypnutí je možné je okamžitě zapnout (nepotřebují vychladnout). Zajímavým parametrem je, že indukční výbojky dosažují poměrně nízké pracovní teploty (kolem 100°C), to vede k nižšímu zatížení pracoviště teplem a tím pádem úspoře na klimatizaci. To může znamenat jistou finanční úsporu například pro potravinářský průmysl. [8]

Bezelektrodové zářivky jsou jakožto světelné zdroje šetrnější k životnímu prostředí, díky velmi dobrému převodu elektrické energie na světlo, což má za následek snížení příkonu, při zachování dobrého osvětlení, to znamená snížení zatížení ovzduší spojeného s výrobou elektrické energie. Jelikož mají indukční výbojky dlouhou dobu života dochází k úspoře na odpadu vzniklého z nefunkčních výbojek. Přestože bezelektrodové zářivky obsahují rtuť, jedná se pouze o amalgám rtuti, který je netoxický a v pevné formě, takže i při rozbití zářivkového tělesa nedochází k úniku rtuti do životního prostředí. [8]

3.2 Dosažované parametry

3.2.1 Světelný tok

Světelný tok značíme řeckým písmenem Φ , jednotkou světelného toku je lumen (lm). Pod pojmem světelný tok si můžeme představit intenzitu zrakového vjemu oka, vyvolaného energií světelného záření, které prošlo za jednotku času danou plochou v prostoru, ve kterém se světlo šířilo. Dá se tedy říct, že světelný tok udávaný v lumenech bude odpovídat zářivému toku ve wattech, ovšem se zahrnutím úvahy citlivosti lidského oka na jednotlivá světla barevného spektra.

Světelný tok u bezelektrodových zářivek běžně dostupných na trhu dosažuje až desítky tisíc lumenů.

3.2.2 Měrný výkon

Měrný výkon můžeme v podstatě chápat jako účinnost zdroje světla. Měrný výkon udává jaké množství světelného toku v lumenech světelný zdroj vyzáří na jednotku elektrického příkonu ve wattech

$$M_z = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm/W}; \text{lm}, \text{W}), \quad (3.1)$$

kde Φ je světelný tok a P je elektrický příkon.

Světelné zdroje, které nevyžadují použití předřadníku, například žárovky, je výkon světelného zdroje stejný jako jeho příkon. Kdežto u světelných zdrojů s předřadníkem, jakými jsou například výbojové zdroje světla, je nutné přičíst příkon předřadného systému k příkonu světelného zdroje. Navýšením příkonu jsou pokryty ztráty v předřadníku. [10]

Bezelektrodové zářivky dosahují hodnot měrného výkonu mezi 70 – 90 lm/W.

3.2.3 Život světelného zdroje

Život světelného zdroje je taková doba funkce do okamžiku, kdy zdroj přestane splňovat stanovené parametry. Nejčastěji se vyjadřuje v hodinách. Během činnosti světelného zdroje v něm probíhají různé procesy, které mohou způsobit změnu parametrů, kterými je určena doba správné funkčnosti světelného zdroje. V této souvislosti se zavádí pojem užitečný a fyzický život. Hlavním ukazatelem je tzv. křivka úmrtnosti, která určuje kolik světelných zdrojů v časovém průběhu svítí až do 50% výpadků.

- **Užitečný život** je taková doba, kdy si během ní světelné zdroje zachovávají hodnoty parametrů v předem daných mezích. Například pro zářivky je doba užitečného života světelného zdroje definována jako doba, kdy nedojde k poklesu světelného toku pod 70% počáteční hodnoty.
- **Fyzický život** je definován jako celková doba svícení až do chvíle, kdy dojde k úplné ztrátě provozuschopnosti, například u žárovek do přerušení vlákna, u výbojek do ztráty schopnosti zapálení výboje.

Je zřejmé, že čím vyšší je doba života světelného zdroje, tím budou náklady na údržbu osvětlovacích soustav nižší. [10]

3.2.4 Index podání barev

Index podání barev značíme jako R_a , někdy bývá také označován jako *CRI* – color rendering index (česky index podání barev). Podle indexu podání barev se hodnotí věrnost barevného vjemu, který vzniká osvětlením z daného zdroje světla, v porovnání s jakým barevným vjemem by došlo ve světle od referenčního (ideálního) zdroje světla. Index podání barev R_a může dosahovat hodnot od 0 do 100. V případě, že je hodnota $R_a = 0$ znamená to, že při tomto osvětlení nelze barvy rozeznat. Naopak pokud je index podání barev $R_a = 100$ znamená, že se jedná o zdroj světla, při jehož osvětlení je podání barev naprosto přirozené. [10]

Většina bezelektrodových zářivek dostupných na trhu dosahuje hodnot indexu podání barev R_a mezi 80 a 90.

3.2.5 Náhradní teplota chromatičnosti

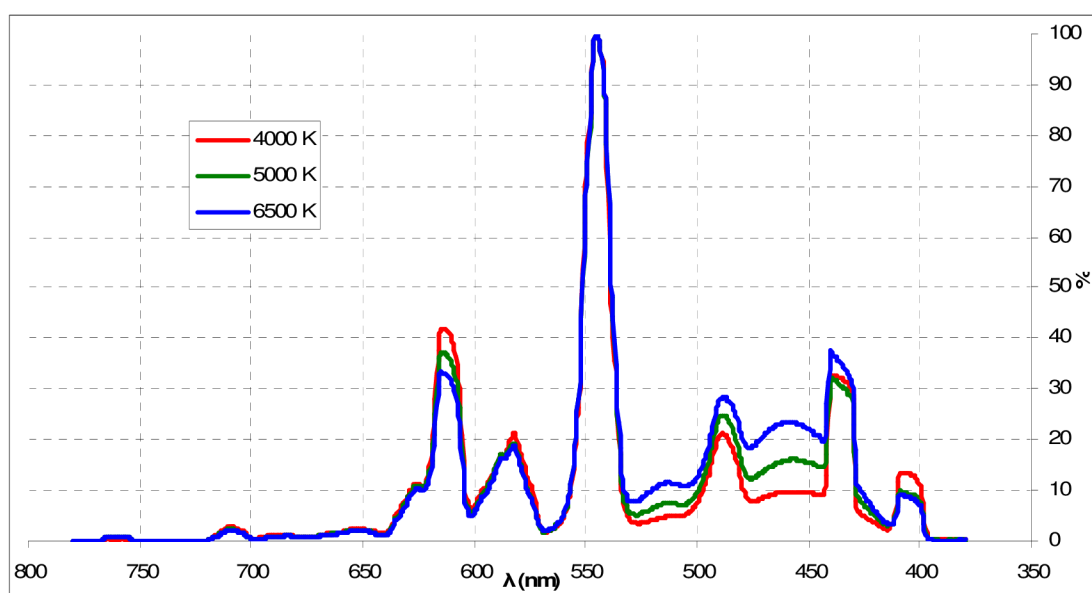
Náhradní teplota chromatičnosti bývá někdy označována také jako teplota barvy nebo barevný dojem. Náhradní teplotou chromatičnosti je charakterizováno spektrum bílého světla. Náhradní teplotou chromatičnosti světelného zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení těchto dvou zdrojů přibližně stejné. Pokud dojde ke zvýšení teploty absolutně černého tělesa, dojde ke zvýšení podílu modré části vyzařovaného spektra a sníží se červený podíl. Náhradní teplota chromatičnosti je vyjadřována v Kelvinech. [10]



Obr. 3-1 Znárodnění spektra náhradní teploty chromatičnosti [11]

Tab. 3-1 Příklady náhradních teplot chromatičnosti světelných zdrojů [11]

náhradní teplota chromatičnosti	světelný zdroj / barva světla
1200 K	svíčka
2800 K	žárovka, slunce při východu a západu
3000 K	teple bílá (studiové osvětlení)
4000 K	neutrálně bílá
5000 K	obvyklé denní světlo, zářivky
5500 K	fotografické blesky, výbojky
6000 K	jasné polední světlo
6500 K	chladně bílá, standardizované denní světlo
7000 K	lehce zamračená obloha
8000 K	oblačno, mlhavo (mraky zabarvují světlo do modra)
100000 K	silně zamračená obloha



Obr. 3-2 Spektrum světla u bezlektrodových zářivek podle různých náhradních teplot chromatičnosti [9]

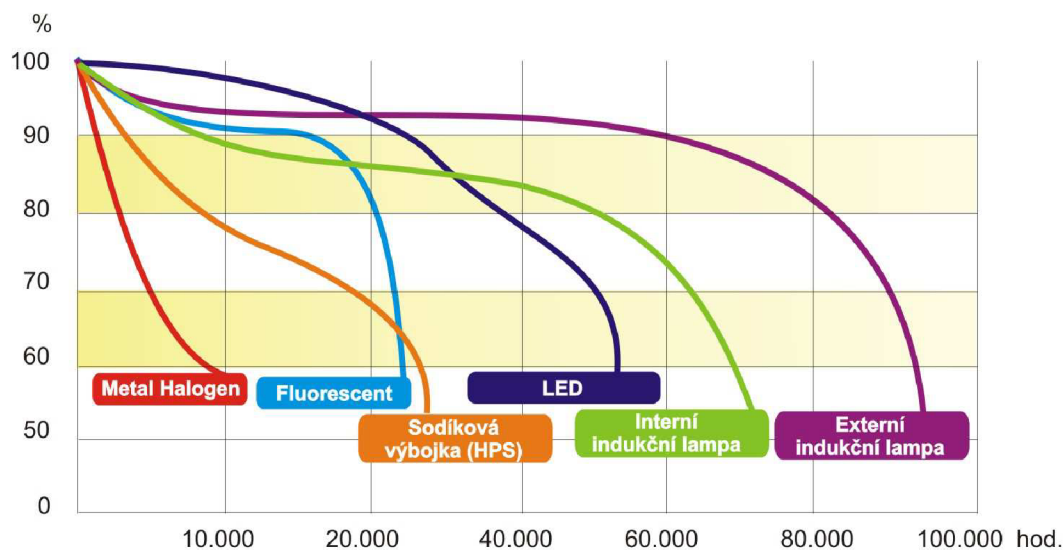
Bezelektrodové zářivky je možné pořídit s náhradní teplotou chromatičnosti, která se běžně pohybuje od 2700 do 6500 K.

3.2.6 Pokles světelného toku

Rychlost jakou dochází ke snižování svítivosti světelného zdroje v závislosti na čase, nazýváme pokles světelného toku. Tento parametr je důležitým faktorem při navrhování osvětlovacích soustav. V průběhu používání světelného zdroje dochází ke snižování množství

produkovaného světla a s tím související pokles účinnosti přeměny elektrické energie na světlo. Snižování světelného toku může být způsobeno hned řadou faktorů, jako například odpařováním materiálu vlákna a elektrod důsledkem vysokých žhavicích teplot, degradací atmosféry ve světelném zdroji postupnou absorpcí molekul plynů, až po změny tlaku v tělesech světelných zdrojů.

Následující graf znázorňuje předpokládanou životnost a postupný pokles světelného toku pro různé světelné zdroje včetně bezelektrodoých zářivek. Indukční výbojky dosahují nejmenšího poklesu světelného toku díky vzduchotěsné konstrukci a absenci elektrod.



Obr. 3-3 Závislost poklesu světelného toku na čase [12]

3.2.7 Porovnání parametrů s ostatními světelnými zdroji

Tab. 3-2 Srovnání některých parametrů indukčních zářivek s ostatními používanými zdroji světla [13]

Technologie	Měrný výkon (lm/W)	Životnost (hodin)	Náhradní teplota chromatičnosti	Index podání barev (Ra)
Indukční zářivky	70 - 90 lm/W	60000 - 100000	2700 - 6500 K	80 - 90
Keramické Metalhalogenidové výbojky	50 - 94 lm/W	2000 - 25000	2700 - 6500 K	60 - 90
T5 zářivkové řešení	65 - 90 lm/W	15000 - 25000	2700 - 6500 K	60-90
T5vT8 hybridní zářivkový systém EkoTube	90 - 105 lm/W	18000 / 36000	2700 - 6500 K	> 85
T8 zářivkový systém	60 - 80 lm/W	8000 - 15000	2700 - 6500 K	60 - 90
Vysokotlaké sodíkové výbojky	50 - 140 lm/W	10000 - 60000	2000 - 2700 K	25
Vysokotlaké plazmové výbojky	80 - 100 lm/W	25000 - 60000	5000 - 8500 K	80 - 90
Vysokosvítivá řešení LED	30 - 130 lm/W	15000 - 50000	2700 - 10000 K	60 - 90
Klasické žárovky (E27/E14)	5 - 15 lm/W	1000	2400 - 3000 K	100

3.2.8 Podrobnější výpis parametrů některých sérií zářivek dostupných v ČR

Tab. 3-3 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Smart Dragon [14]

zářivka	Smart Dragon							
výkon [W]	40	50	80	100	120	150	200	300
životnost [hodin]	100000							
světelný tok [lm]	2800	3500	6400	8000	9600	12000	16000	24000
barva světla [K]	2700, 4000, 5000, 6500							
napájecí napětí [V]	100 - 277							
budící kmitočet [kHz]	210							
účinník	0,98							
index podání barev	80							
pracovní teplota [°C]	-35 až +50							
teplota zářivky [°C]	75 - 105	85 - 115	90 - 120				95 - 125	
patice	-							
předřadný systém	externí							

Tab. 3-4 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Saturn [14]

zářivka	Saturn kompaktní	Saturn							
výkon [W]	40	40	50	80	100	120	150	200	300
životnost [hodin]	60000	100000							
světelný tok [lm]	3200	2800	3500	6400	8000	9600	12000	16000	24000
barva světla [K]	2700, 4000, 5000, 6500								
napájecí napětí [V]	100 - 277								
budící kmitočet [kHz]	210								
účinník	0,98								
index podání barev	80								
pracovní teplota [°C]	-35 až +50								
teplota zářivky [°C]	75 - 105			85 - 115	90 - 120			95 - 125	
patice	E27 / E40		-						
předřadný systém	integrováný		externí						

Tab. 3-5 Parametry bezelektrodových zářivek výrobce LVD série Venus [8]

zářivka	Venus		
výkon [W]	15	23	40
životnost [hodin]	60000		
světelný tok [lm]	1200	1800	3100
barva světla [K]	2700, 3500, 4000, 5000, 6500		
napájecí napětí [V]	100 - 277		
budící kmitočet [kHz]	210		
účinník	0,98		
index podání barev	80		
pracovní teplota [°C]	-30 až +50		
teplota zářivky [°C]	35 - 65	60 - 90	85 - 155
patice	E27		E27 / E40
předřadný systém	interní		

Tab. 3-6 Parametry bezelektrodových zářivek série Apolo [14]

zářivka	Apolo 1			Apolo 2 a 3			
výkon [W]	20	30	40	60	85	125	200
životnost [hodin]	60000			60000			
světelný tok [lm]	1260	2260	2470	4110	5510	8460	15000
barva světla [K]	2700, 5000			2700, 5000			
napájecí napětí [V]	180 - 265			150 - 265			
budící kmitočet [kHz]	210			210			
účinnost	0,808	0,822	0,888	0,990	0,988	0,990	0,980
index podání barev	81	79	81	81			
pracovní teplota [°C]	-35 až +50			-35 až +50			
teplota zářivky [°C]	60 - 75	65 - 80		70 - 90		75 - 105	
patice	E27 / E40			E40			
předřadný systém	integrováný			externí			

Tab. 3-7 Parametry bezelektrodových zářivek dodávaných firmou NBB Bohemia série Square [15]

zářivka	Square Tubular				
výkon [W]	80	120	150	200	300
životnost [hodin]	60000				
světelný tok [lm]	6400	8600	12000	16000	24000
barva světla [K]	2700, 3500, 5000				
budící kmitočet [kHz]	210				
měrný výkon [lm/W]	70 - 75	75 - 80	75 - 80	80 - 85	85 - 90
index podání barev	82				
teplota zářivky [°C]	65				
patice	-				
předřadný systém	externí				

Tab. 3-8 Parametry bezelektrodových zářivek dodávaných firmou NBB Bohemia série Round [15]

zářivka	Round Tubular				
výkon [W]	80	120	150	200	300
životnost [hodin]	60000				
světelný tok [lm]	6400	8600	12000	16000	24000
barva světla [K]	2700, 3500, 5000				
budící kmitočet [kHz]	210				
měrný výkon [lm/W]	70 - 75	75 - 80	75 - 80	80 - 85	85 - 90
index podání barev	82				
teplota zářivky [°C]	65				
patice	-				
předřadný systém	externí				

3.3 Rozsah použitelnosti

3.3.1 Hlubokozářiče

Hlubokozářiče s indukčními zářivkami jsou běžně používány do závěsných výšek nad 12 m, kde nelze jiná indukční průmyslová svítidla použít. Údržba svítidel ve výškách nad 12 m je již

spojena s poměrně značnými náklady. Tato údržba může často znamenat odstavení provozu nebo nutnost použití jeřábu, respektive vysokých plošin. V případě použití indukčních výbojek v těchto svítidlech je ovšem údržba minimalizována díky vysoké době životnosti těchto světelných zdrojů, což může znamenat při nepřetržitém provozu a předpokládané životnosti až 100 000 hodin zhruba 11 let provozu. [16]

3.3.2 Tunelová svítidla

Další oblastí použití bezelektrodových zářivek je ve svítidlech určených pro tunely nebo podchody, kde je nejvýznamnějším parametrem proč použít právě indukční zářivky jejich dlouhá životnost, ale i možnost provozu za velmi nízkých provozních teplot až do -35°C . [16]

3.3.3 Veřejné osvětlení

Jednou z hlavních předností veřejného osvětlení indukčními výbojkami patří barva jejich světla, na kterou lidský zrak reaguje nejlépe. Další výhodou bezelektrodových zářivek je opět jejich dosahovaná doba života, která je až 100 000 hodin. Dále díky nízkému poklesu svítivosti bezelektrodových zářivek, což může znamenat velmi dlouhou dobu používání až kolem 20 let. [16]

3.3.4 Průmyslové osvětlení

Dalším druhem svítidel, kde je jednoznačně výhodné použít bezelektrodové zářivky jsou svítidla průmyslová. Díky jejich vysoké svítivosti, nízkým nákladům na údržbu, vysoké budící frekvenci nedochází k problikávání svítidel, dále je zde pozitivní fakt možného okamžitého zapnutí po vypnutí, ke kterému mohlo dojít náhlým výpadkem elektrické energie. Ve výsledku se tyto výhody promítnou do značných finančních úspor. Oblast použití je od skladů, výrobních prostor až po hypermarkety. [16]

3.3.5 Reflektory

V nabídce prodejců můžeme nalézt i reflektory s indukčními zářivkami, reflektory symetrické i asymetrické. Tyto nabízená svítidla jsou povětšinou určena k venkovnímu použití, například k osvětlení kulturních památek, stadionů. Zde je opět výhodným faktorem životnost a snížení nákladů na údržbu a provoz. [16]

3.3.6 Stropní svítidla

Bezelektrodové zářivky se používají i do svítidel pro komerční využití, kde se určitě docení jejich menší spotřeba při stejné kvalitě osvětlení, jako jsou například kanceláře, obchody, sklady, ale je jich možno také využít na chodbách, sociální zařízení apod. Svítidla mohou být upevněna buď přímo na stěnách nebo v podhledech. [16]

3.3.7 Sadová svítidla

Jelikož bezelektrodové zářivky produkují kvalitní bílé světlo, je možné jejich využití i ve svítidlech pro osvětlení sadů nebo parků, kde díky nim mohou vzniknout pěkné scenérie. [16]

3.4 Aplikace bezelektrodových zářivek v ČR

Osteos service je jednou z firem, která se zabývá jak prodejem bezelektrodových zářivek, tak i řešením projektů s aplikací svítidel s indukčními výbojkami v ČR. Tato firma již realizovala několik aplikací s bezelektrodovými zářivkami, konkrétně to jsou:

- osvětlení odstavné plochy nadměrné dopravy společnosti Nosreti a. s. v Brně a Ostravě
- osvětlení instalované ve společnosti Třinecké Železářny a. s.
- osvětlení v nadnárodní korporaci TRW Automotive Czech s. r. o.
- osvětlení instalované ve společnosti ArcelorMittal Tubular Products Karviná a. s. [17]

Další firma zabývající se prodejem a aplikací bezelektrodových zářivek je firma LVD ekosvětlo, jejich realizované aplikace jsou:

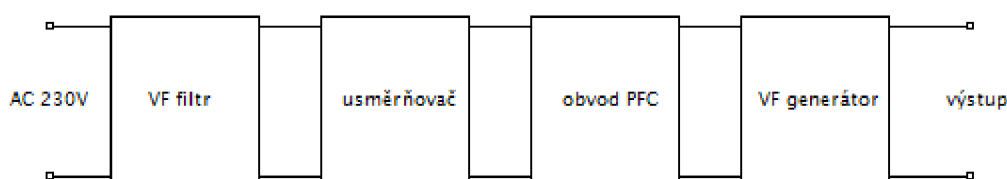
- osvětlení v průmyslové hale DOKA Praha
- pouliční osvětlení v obci Tlučeň [18]

Firmy prodávající bezelektrodové zářivky a svítidla s nimi:

- ACword
- Ekosvětlo
- Indukční lampy Fedatex
- LVD osvětlení
- Universelite

4 NAPÁJECÍ ZDROJE, PŘEDŘADNÉ SYSTÉMY

Předřadné systémy pro napájení bezelektrodových zářivek se příliš neliší od běžných spínaných zdrojů. Hlavním rozdílem je, že na výstupu předřadného systému je vysokofrekvenční proud. Na vstupu předřadného systému je vysokofrekvenční širokopásmový filtr, kterým je zajišťováno odrušení systému od sítě i zpětné rušení do sítě. Následuje obvod pro usměrnění a vyhlazení signálu. Dále může být součástí předřadného systému obvod PFC (Power Factor Correction), který slouží ke korekci celkového účinníku odebíraného proudu, což ve své podstatě znamená, že proud bude odebírán rovnoměrně po celou dobu trvání periody napětí. PFC obvody jsou pasivní a nebo aktivní. Aktivního PFC se spíše používá u předřadných systémů pro vyšší výkony zářivek. Nakonec je v předřadném systému vysokofrekvenční generátor, ze kterého jsou napájeny cívky, které dodávají vysokofrekvenční pole do trubice zářivky.



Obr. 4-1 Blokové schéma předřadného systému pro bezelektrodové zářivky

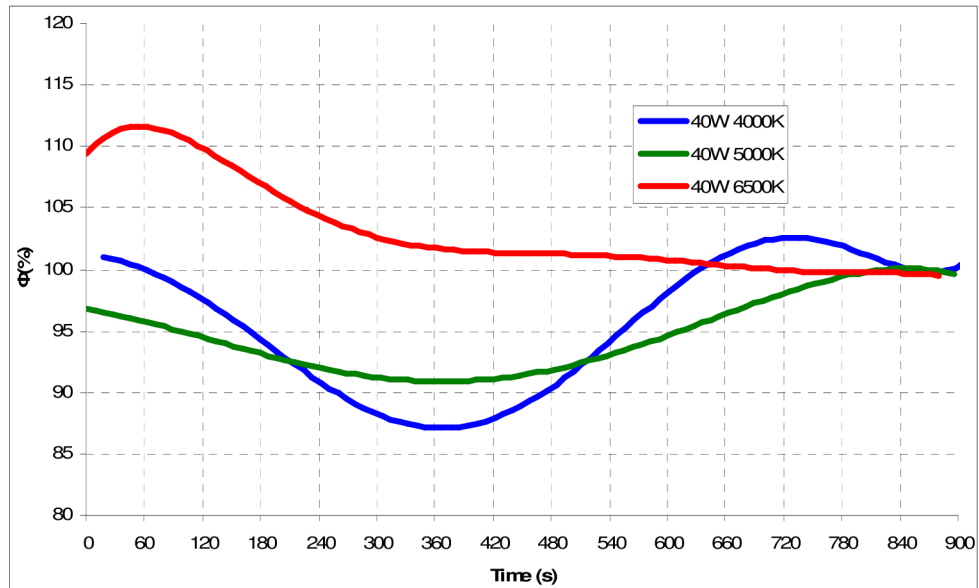
4.1 Náběh světelného zdroje

Při nahrazování různých světelných zdrojů indukčními výbojkami nesmí být opomenuta skutečnost, že světelný tok bezelektrodových zářivek nedosahuje na počátku jejich startu ustálené hodnoty, jako je tomu například u klasických žárovek. Tento fakt je třeba respektovat zejména při aplikaci bezelektrodových zářivek v místech, kde je vyžadováno svícení jen na krátký časový interval. Ustálená hodnota světelného toku těchto světelných zdrojů je dosažena až za několik minut od jejich zapnutí, následkem čehož by bylo svítidlo s bezelektrodovou zářivkou v těchto prostorech využíváno neefektivně. [19]

Doba náběhu je nejčastěji závislá na teplotě trubice, respektive baňky, s čímž souvisí časový interval od předešlého zapnutí, kdy byl zdroj světla zahřátý během jeho provozu, tím pádem dojde ke zkrácení doby náběhu. Rychlost ochlazování světelného zdroje je závislá na teplotě okolí a charakteristice okolního prostředí. Další parametry ovlivňující náběh světelného toku jsou pracovní poloha světelného zdroje, jeho stáří a další. Náběh světelného zdroje také možné značně ovlivnit návrhem předřadného systému. [19]

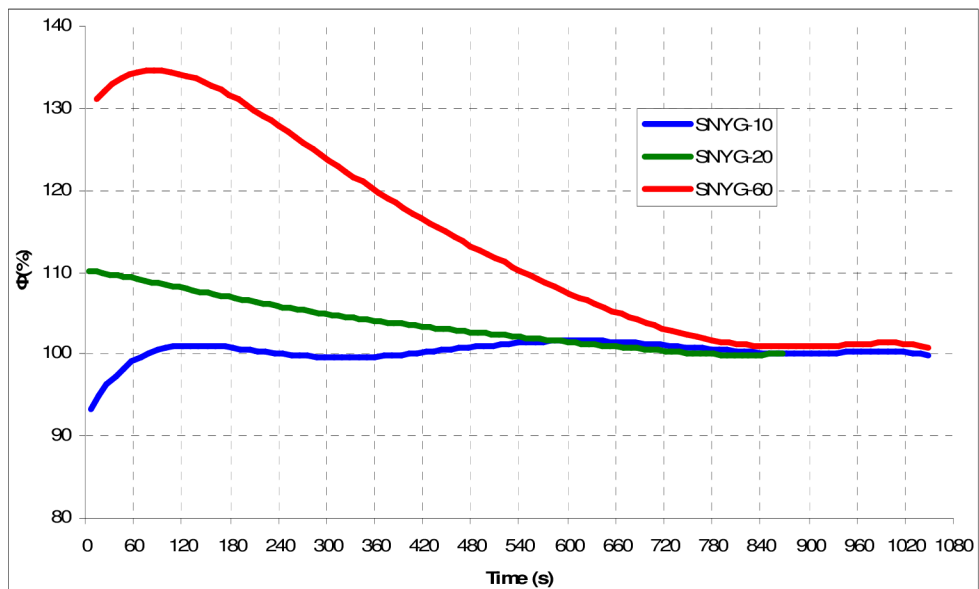
Pro přesný návrh světelného zdroje (soustavy) [9] je důležité znát jak se bude chovat od startu až do ustálení světelného toku na konstantní hodnotu. U některých typů bezelektrodových zářivek může dosahovat světelný tok při startu až 200%, než při ustáleném stavu a následně rychle klesnout. Na druhou stranu jiné typy mají vykompenzovaný předřadný systém tepelně, což znamená, že po úbytku světelného toku na startu, který je způsoben zahřáním baňky je tento deficit schopen kompenzovat a za určitou dobu světelný tok dosáhne své konstantní hodnoty.

Obrázek 4-2 znázorňuje náběh světelných toků bezelektrodových zářivek plošného provedení s příkonem 40 W s různou náhradní teplotou chromatičnosti.



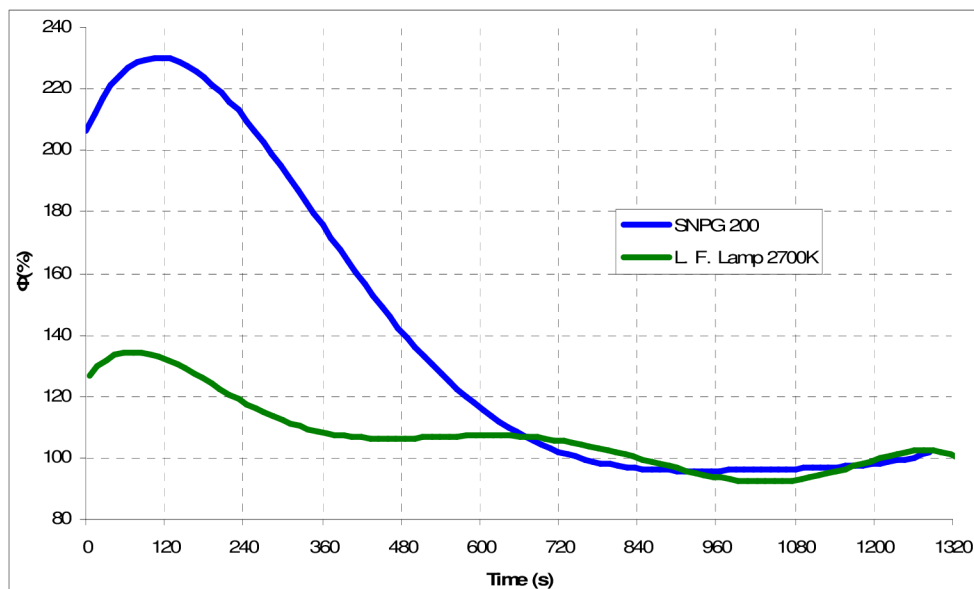
Obr. 4-2 Náběh světelného toku zářivek plošného provedení 40 W [9]

Všechny zářivky jsou napájeny ze stejného předřadného systému a jsou provozovány ve stejné poloze. Z průběhů jsou vidět značné změny v chování těchto zdrojů při startu, které jsou způsobené odlišným chemickým složením luminoforů a jejich účinností transformace generovaného UV záření na světlo. [9]



Obr. 4-3 Náběh světelného toku bezelektrodevých zářivek série SNYG [9]

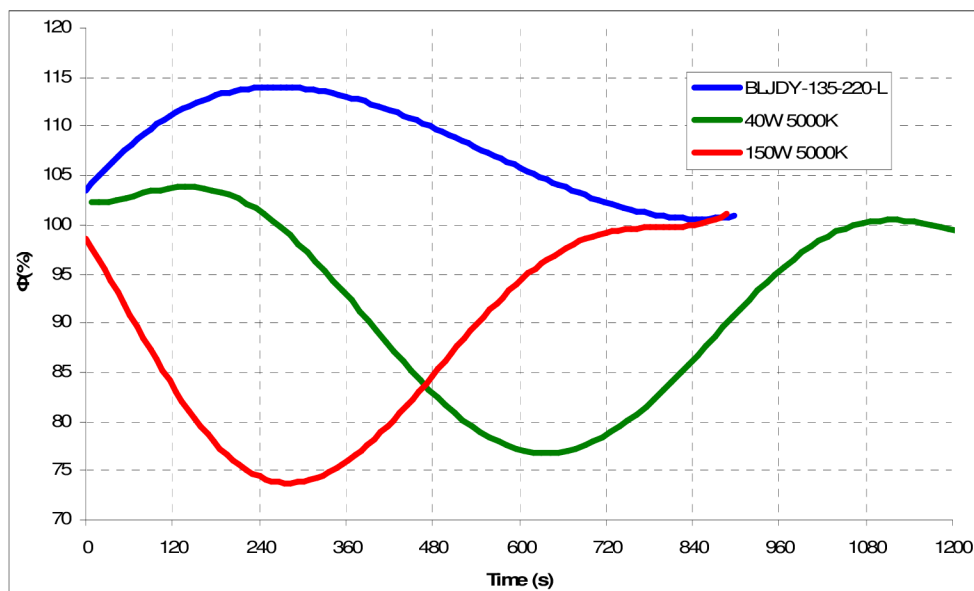
Obrázek 4-3 znázorňuje náběh světelného toku u bezelektrodevých zářivek série SNYG, jednotlivé světelné zdroje se od sebe liší příkonem a náhradní teplotou chromatičnosti.



Obr. 4-4 Náběh světelného toku zářivek SNPG 200 a L.F. Lamp 2700K [9]

Na obrázku 4-4 je znázorněn průběh náběhu světelného toku. U bezelektrodové zářivky SNPG 200 je vidět značný nárůst světelného toku při zapnutí a k ustálení světelného toku na konstantní hodnotu došlo zhruba po 15 minutách.

Z obrázku 4-5 můžeme vidět, že bezelektrodové zářivky plošného provedení 40 a 150 W jsou napájeny z tepelně vykompenzovaného předřadného systému, který je umístěn mimo zářivku. Systémem je kompenzován počáteční úbytek světelného toku při startu zářivek.

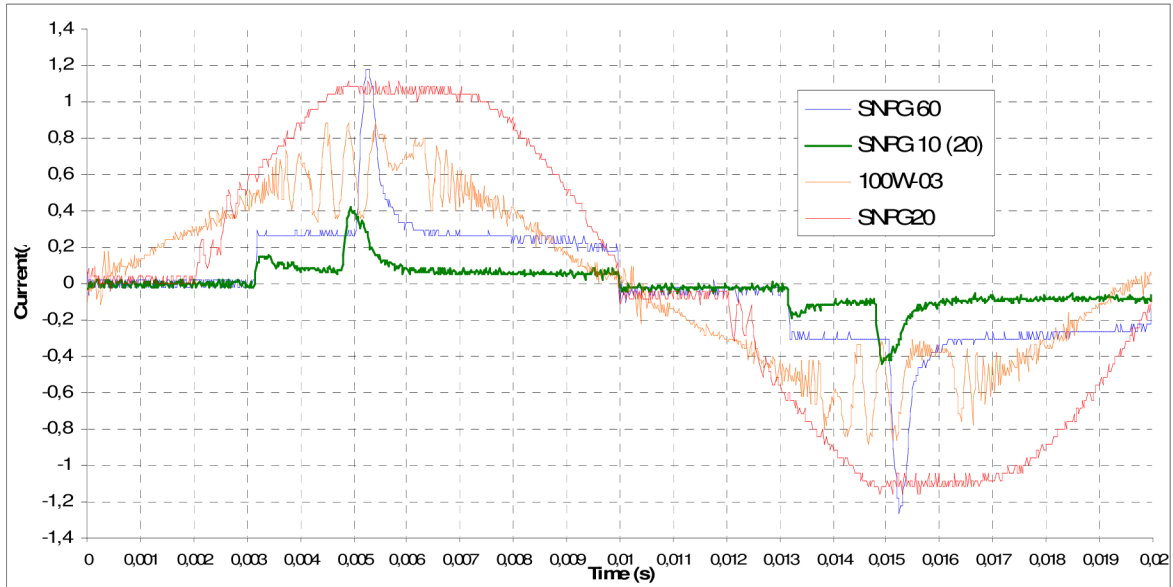


Obr. 4-5 Náběh světelného toku zářivek 40 W, 150 W a BLJDY-135-220-L [9]

4.2 Charakter odebíraného proudu a další parametry

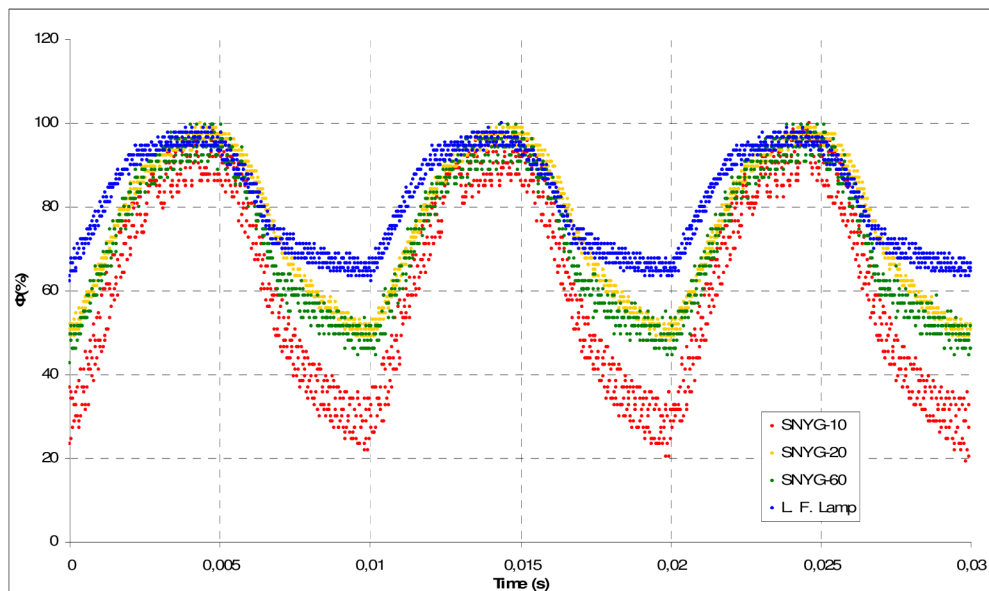
Obrázek 4-6 znázorňuje odebíraný proud bezelektrodovými zářivkami různých příkonů. Z obrázku je vidět, že bezelektrodové zářivky dosahují různého stupně kompenzace účinníku a filtrace vyšších harmonických. Z průběhů odebíraného proudu zářivkami SNPG 60 a 10 (20) lze usoudit, že zde nedochází k téměř žádné kompenzaci, je vidět jasný a zřetelný peak proudu.

U zářivky SNPG20 je pravděpodobně použito pasivní filtrace, průběh odebíraného proudu je už více rozložen po celé periodě. Pro zářivku 100W-30 je pravděpodobně použito aktivní filtrace, čemuž odpovídá průběh odebíraného proudu, který se téměř blíží sinusovému průběhu. Je tedy patrné, že aktivní filtrace se vyplatí použít pouze u větších výkonů. [9]



Obr. 4-6 Charakter odebíraného proudu bezelektrodových zářivek [9]

Obrázek 4-7 znázorňuje kolísání světelného toku. Průběhy kolísání světelného toku jednotlivých bezelektrodových zářivek odráží vlastnosti použitého luminoforu, jeho setrvačnost a kvalitu použitého předřadného systému.



Obr. 4-7 Kolísání světelného toku u vybraných zářivek [9]

4.3 Svítidlo s použitou bezelektrodovou zářivkou

Bezelektrodové zářivky dosahují i velkých příkonů, které jsou srovnatelné s menšími vysokotlakými výbojkami. Příkladem může být zářivka s příkonem 300 W, která je spolu

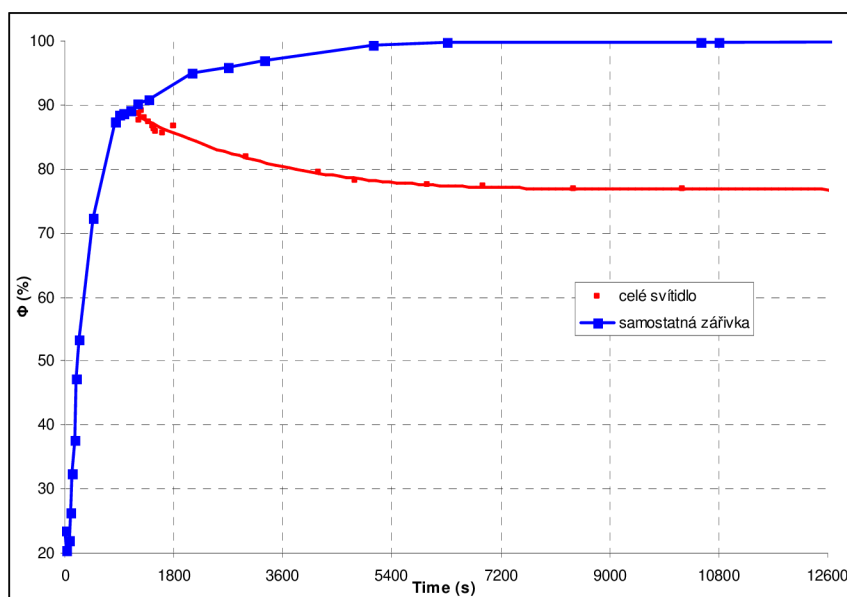
s předřadným systémem vsazena do svítidla. Zářivka je v plošném provedení a její fotografie je uvedena na obrázku 4-8, její délka přesahuje 500 mm. [9]



Obr. 4-8 Bezelektrodová zářivka 300W [9]

Podle průběhů na obrázku 4-9 lze usoudit, že náběh světelného toku je závislý na více aspektech. Jako první aspekt je samotné uložení zdroje světla. Důležitý je také odvod tepla ze světelného zdroje, kde jsou hlavním zdrojem odpadního tepla budící cívky a odvod tepla vzniklého v předřadném systému. Dalším aspektem může být vzájemné ovlivňování tělesa zářivky a předřadníku a další komponenty, které souvisejí s chodem svítidla. [9]

Na Obrázku 4-10 je zobrazeno závěsné reflektorové svítidlo, jenž je osazeno 300 W bezelektrodovou zářivkou. K vzájemnému ovlivňování zářivky a předřadného systému vzniklým teplem dochází minimálně, díky mechanickému oddělení jednotlivých součástí svítidla.



Obr. 4-9 Náběh světelného toku u svítidla s 300W zářivkou [9]



Obr. 4-10 Svítidlo s 300W bezelektrodovou zářivkou [9]

4.4 Některé předřadné systémy dostupné v ČR

Tab. 4-1 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou LVD [14]

Předřadné systémy firmy LVD						
výkon [W]	Napájecí napětí předřadníku					
	120V AC	220V AC	277V AC	347V AC	12V DC	24V DC
23	-	-	-	-	*	*
40	*	*	*	*	*	*
50	-	*	*	*	-	-
80	*	*	*	*	-	-
120	*	*	*	*	-	-
150	*	*	*	*	-	-
200	*	*	*	*	-	-
250	-	*	-	-	-	-
300	-	*	-	-	-	-

* je dostupné pro dané napětí

- není dostupné pro dané napětí

Tab. 4-2 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou DreamTec [20]

Předřadné systémy nabízené firmou DreamTec							
příkon [W]	napětí [V]	proud [A]	napájecí frekvence [Hz]	účinnost	THD [%]	skutečný příkon [W]	provozní teplota [°C]
40	110 - 277	0,38 - 0,15	50 / 60	0,98	10	42	-35 až +50
50		0,50 - 0,20				55	
80		0,77 - 0,31				85	
100		0,95 - 0,38				105	
120		1,14 - 0,45				125	
150		1,41 - 0,56				155	
200		1,91 - 0,76				210	
250		2,40 - 0,95				264	
300		2,86 - 1,14				315	

Tab. 4-3 Parametry předřadných systémů dodávaných firmou NBB Bohemia [15]

Předřadné systémy nabízené firmou NBB Bohemia					
příkon [W]	napětí [V]	proud [A]	napájecí frekvence [Hz]	účinnost	THD [%]
80	165 - 265	0,32	50 / 60	0,98	10
120		0,48			
150		0,60			
200		0,80			
250		1,14			
300		1,36			

5 MOŽNÉ POUŽITÍ V EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH

Bezelektrodové zářivky jsou charakteristické svou extrémně dlouhou dobou života, která se pohybuje kolem hranice až 60000 hodin. Díky tomuto parametru jsou bezelektrodové zářivky předurčeny hlavně pro aplikaci v náročných podmínkách, jakými jsou například těžce přístupná místa nebo místa, kde není možné provádět časté údržbové práce.

Bezelektrodové zářivky je možné použít například ve svítidlech pro tunely, kde v kombinaci s kvalitně navrženým svítidlem, u kterého bude vhodně zvolen stupněm krytí proti vniknutí cizích částic, případně i vody, je možné dosáhnou absolutně bezúdržbového svítidla po dobu až několika let nepřetržitého provozu, díky čemuž může vzniknout nemalá úspora nákladů na čištění, výměnu světelného zdroje nebo celého svítidla.

Stejných výhod, které jsou zmíněny v předchozím odstavci, je dosahováno i u aplikací bezelektrodových zářivek ve svítidlech určených pro veřejné osvětlení, kde je už ovšem bezpodmínečně nutné navrhovat svítidla se stupněm krytí proti vniknutí vody.

Další z výhodných aplikací bezelektrodových zářivek jsou svítidla do vysokých výrobních hal, skladů a nákupních center, kde by častá údržba svítidel mohla způsobit nemalé ztráty na ziscích, které by mohly být způsobeny například nutnou odstávkou výroby nebo prodeje.

Výhoda bezelektrodových zářivek je v jejich stálosti parametrů i při velmi nízkých teplotách, u většiny dostupných zářivek je uváděna provozní teplota již od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Díky této skutečnosti se nabízí využití bezelektrodových zářivek ve svítidlech pro potravinářský průmysl například v mrazárnách.

6 MĚŘENÍ KŘÍŽOVÝCH CHARAKTERISTIK

Provozní vlastnosti světelných zdrojů jsou určeny souborem elektrických a světelně technických parametrů a jejich závislostmi na dalších parametrech, které jsou z pohledu vlastního provozu zdrojů světla proměnné, a je-li to možné nezávislé. Jsou to například parametry – U (napětí na svorkách světelného zdroje), t (doba svícení od zapnutí), poloha světelného zdroje v prostoru, T (teplota okolí), počet spínacích cyklů za určité období a další. Závislými parametry potom jsou kvalitativní a kvantitativní ukazatelé provozu zdroje za stanovených podmínek. [21]

Provozní vlastnosti světelných zdrojů jsou tedy velmi rozsáhlým pojmem a hned na počátku je potřeba zvolit náležitý přístup k popisu a zejména rozdělení. Například světelné zdroje teplotní a výbojové, s předřadnými systémy nebo bez nich. [21]

K nejvíce rozšířeným charakteristikám z pohledu všech typů zdrojů světla, které popisují jejich provozní vlastnosti, se řadí závislosti zvolených parametrů na svorkovém napájecím napětí. Takovéto charakteristiky nazýváme křížové charakteristiky, jež udávají velikost změny zobrazených ustálených elektrických a světelně technických veličin na velikosti odchylky napájecího napětí od jmenovité hodnoty, kde osy se uvádějí v procentech. [21]

Výběr parametrů pro křížovou charakteristiku závisí na typu světelného zdroje a jeho elektrickém obvodu. Pro zvolené zářivky jsem zvolil tyto parametry:

- celkový proud odebíraný světelným zdrojem I
- činný příkon P odebíraný zdrojem a předřadným systémem
- zdánlivý příkon S odebíraný zdrojem a předřadným systémem
- skutečný účinník λ vyjadřující jaká část zdánlivého příkonu je odebíraný činný příkon
- světelný tok Φ
- měrný výkon světelného zdroje M_Z

V souhrnu jsou to tedy funkční závislosti $I = f(U)$, $P = f(U)$, $S = f(U)$, $\lambda = f(U)$, $\Phi = f(U)$, $M_Z = f(U)$.

Měřené zářivky:

- SNYG 20, s vnitřním induktorem, integrovaný předřadný systém v těle zářivky, patice E27 (viz Obr. 2-8)
- SNYG 60, s vnitřním induktorem, integrovaný předřadný systém v těle zářivky, patice E27 (viz Obr. 2-8)
- E. F. Lamp 20 W / 240 V / 60 Hz, náhradní teplota chromatičnosti 2700 K, s vnitřním induktorem, integrovaný předřadný systém v těle zářivky, patice E27 (viz Obr. 2-8)
- S – 40 W / RR / 20110324, s vnějším induktorem, napájeno z předřadného systému LVD – WJ220 / 50 – 40 DJF, parametry předřadného systému – $U_n = 200 \div 240V$, $f = 50 \div 60$ Hz, $\lambda = 0,98$, $U_{out} = 500$ V, provozní teplota $-50 \div +70$ °C
- SNPG 200, s vnitřním induktorem, napájeno z předřadného systému SN – 200, $P = 200$ W, $U_n = 165 \div 265$ V, $f = 2,65$ MHz, $\lambda > 0,98$, průměrná životnost 60000 hodin, provozní teplota $-30 \div +50$ °C

Tab. 6-1 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNYG 20

U		I		P		S		λ		E ~ Φ		M _Z	
V	%	mA	%	W	%	VA	%	-	%	lux	%	relativní	%
100	43,5	144	160,0	14	62,5	14,6	61,1	0,96	102,1	70	3,1	0,223	5,0
105	45,7	142	157,8	14,4	64,3	15,1	63,2	0,95	101,1	173	7,7	0,536	12,0
110	47,8	134	148,9	14,2	63,4	15,2	63,6	0,93	98,9	334	14,9	1,050	23,5
115	50,0	120	133,3	13,1	58,5	14,2	59,4	0,92	97,9	507	22,6	1,728	38,7
120	52,2	105	116,7	12	53,6	12,7	53,1	0,94	100,0	720	32,1	2,679	60,0
125	54,3	96	106,7	11,9	53,1	12,6	52,7	0,94	100,0	831	37,1	3,117	69,8
130	56,5	93	103,3	12,2	54,5	12,9	54,0	0,95	101,1	915	40,8	3,348	75,0
135	58,7	92	102,2	12,5	55,8	13,2	55,2	0,95	101,1	990	44,2	3,536	79,2
140	60,9	91	101,1	13	58,0	13,7	57,3	0,95	101,1	1062	47,4	3,647	81,7
145	63,0	90	100,0	13,3	59,4	14,1	59,0	0,94	100,0	1136	50,7	3,813	85,4
150	65,2	89	98,9	13,6	60,7	14,4	60,3	0,94	100,0	1194	53,3	3,919	87,8
155	67,4	88	97,8	14	62,5	14,9	62,3	0,94	100,0	1266	56,5	4,037	90,4
160	69,6	88	97,8	14,4	64,3	15,3	64,0	0,94	100,0	1320	58,9	4,092	91,7
165	71,7	87	96,7	14,8	66,1	15,7	65,7	0,94	100,0	1388	62,0	4,187	93,8
170	73,9	86,5	96,1	15,3	68,3	16,3	68,2	0,94	100,0	1446	64,6	4,219	94,5
175	76,1	86	95,6	15,7	70,1	16,4	68,6	0,96	102,1	1486	66,3	4,225	94,7
180	78,3	84	93,3	15,8	70,5	16,8	70,3	0,94	100,0	1543	68,9	4,360	97,7
185	80,4	83	92,2	16,2	72,3	17,2	72,0	0,94	100,0	1595	71,2	4,395	98,5
190	82,6	83	92,2	16,6	74,1	17,7	74,1	0,94	100,0	1645	73,4	4,424	99,1
195	84,8	82	91,1	17	75,9	18,1	75,7	0,94	100,0	1690	75,4	4,438	99,4
200	87,0	81	90,0	17,2	76,8	18,3	76,6	0,94	100,0	1722	76,9	4,469	100,1
205	89,1	80	88,9	17,4	77,7	18,6	77,8	0,94	100,0	1755	78,3	4,503	100,9
210	91,3	79	87,8	17,9	79,9	19,2	80,3	0,93	98,9	1813	80,9	4,522	101,3
215	93,5	82	91,1	18,4	82,1	19,7	82,4	0,93	98,9	1950	87,1	4,731	106,0
220	95,7	85	94,4	20,8	92,9	22,2	92,9	0,94	100,0	2090	93,3	4,486	100,5
225	97,8	90	100,0	21,7	96,9	23,1	96,7	0,94	100,0	2170	96,9	4,464	100,0
230	100,0	90	100,0	22,4	100,0	23,9	100,0	0,94	100,0	2240	100,0	4,464	100,0
235	102,2	90,5	100,6	22,9	102,2	24,5	102,5	0,93	98,9	2300	102,7	4,484	100,4
240	104,3	90,5	100,6	23,4	104,5	25,1	105,0	0,93	98,9	2360	105,4	4,502	100,9
245	106,5	91	101,1	22,1	98,7	24	100,4	0,92	97,9	2400	107,1	4,848	108,6
250	108,7	91	101,1	22,5	100,4	24,4	102,1	0,92	97,9	2450	109,4	4,861	108,9
255	110,9	90	100,0	22,9	102,2	24,8	103,8	0,92	97,9	2500	111,6	4,874	109,2
260	113,0	90	100,0	23,4	104,5	25,3	105,9	0,92	97,9	2560	114,3	4,884	109,4

Příklad výpočtu pro 1. řádek tabulky

$$U_{(\%) } = \frac{U}{U_{100\%}} \cdot 100 = \frac{100}{230} \cdot 100 = 43,5\%$$

$$I_{(\%) } = \frac{I}{I_{100\%}} \cdot 100 = \frac{144}{90} \cdot 100 = 160,0\%$$

$$P_{(\%) } = \frac{P}{P_{100\%}} \cdot 100 = \frac{14}{22,4} \cdot 100 = 62,5\%$$

$$S_{(\%) } = \frac{S}{S_{100\%}} \cdot 100 = \frac{14,6}{23,9} \cdot 100 = 61,1\%$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{14}{14,6} = 0,96$$

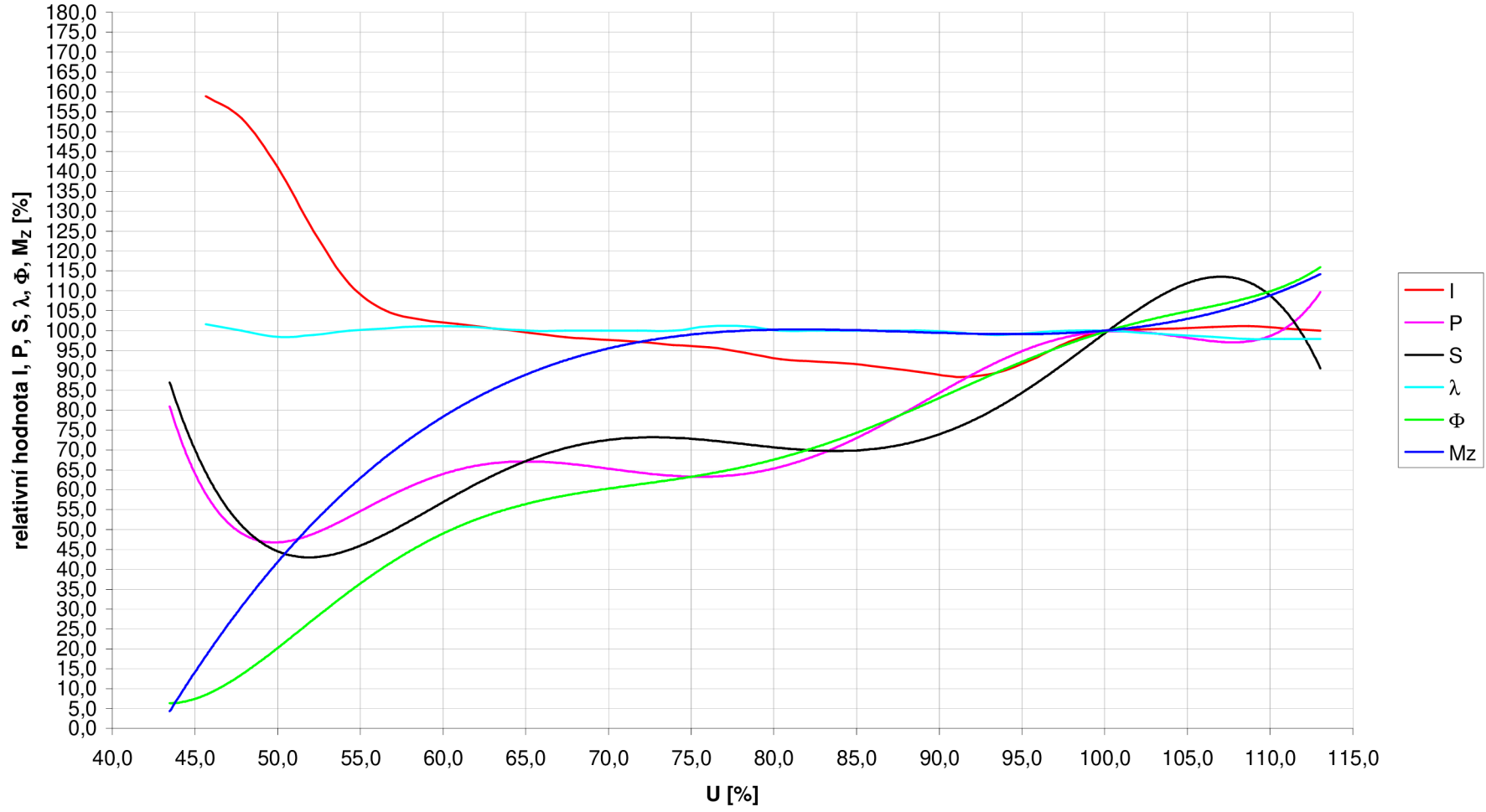
$$\lambda_{(\%)} = \frac{\lambda}{\lambda_{100\%}} \cdot 100 = \frac{0,96}{0,94} \cdot 100 = 102,1\%$$

$$\Phi_{(\%)} = \frac{E}{E_{100\%}} \cdot 100 = \frac{70}{2240} \cdot 100 = 3,1\%$$

$$M_{Z \text{ relativní}} = \frac{\Phi_{\%}}{P} = \frac{3,1}{14} = 0,223$$

$$M_{Z(\%)} = \frac{M_{Z \text{ relativní}}}{M_{Z100\%}} \cdot 100 = \frac{0,223}{4,464} \cdot 100 = 5,0\%$$

Křížová charakteristika pro bezelektrodovou zářivku SNYG 20



Obr. 6-1 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNYG 20

Tab. 6-2 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNYG 60

U		I		P		S		λ		E ~ Φ		M _Z	
V	%	mA	%	W	%	VA	%	-	%	lux	%	relativní	%
110	47,8	330	132,0	32,7	60,6	37,3	60,3	0,88	101,1	1145	49,1	1,503	81,1
115	50,0	320	128,0	32,6	60,4	36,3	58,6	0,90	103,4	1290	55,4	1,698	91,7
120	52,2	305	122,0	34,3	63,5	38	61,4	0,90	103,4	1433	61,5	1,793	96,8
125	54,3	310	124,0	35,5	65,7	39,5	63,8	0,90	103,4	1570	67,4	1,898	102,5
130	56,5	300	120,0	36,3	67,2	40,6	65,6	0,89	102,3	1666	71,5	1,970	106,4
135	58,7	300	120,0	37,2	68,9	41,7	67,4	0,89	102,3	1759	75,5	2,029	109,6
140	60,9	285	114,0	36,6	67,8	41,3	66,7	0,89	102,3	1766	75,8	2,071	111,8
145	63,0	275	110,0	36,9	68,3	41,7	67,4	0,88	101,1	1805	77,5	2,099	113,4
150	65,2	270	108,0	37,4	69,3	42,3	68,3	0,88	101,1	1835	78,8	2,106	113,7
155	67,4	265	106,0	38,3	70,9	43,3	70,0	0,88	101,1	1880	80,7	2,107	113,8
160	69,6	260	104,0	39,1	72,4	44,2	71,4	0,88	101,1	1920	82,4	2,108	113,8
165	71,7	260	104,0	39,9	73,9	45,3	73,2	0,88	101,1	1960	84,1	2,108	113,8
170	73,9	260	104,0	40,9	75,7	46,5	75,1	0,88	101,1	1990	85,4	2,088	112,8
175	76,1	255	102,0	41,7	77,2	47,4	76,6	0,88	101,1	2010	86,3	2,069	111,7
180	78,3	255	102,0	43	79,6	48,9	79,0	0,88	101,1	2060	88,4	2,056	111,0
185	80,4	253	101,2	44	81,5	49,9	80,6	0,88	101,1	2090	89,7	2,039	110,1
190	82,6	250	100,0	45	83,3	51,5	83,2	0,87	100,0	2130	91,4	2,031	109,7
195	84,8	250	100,0	46,2	85,6	52,6	85,0	0,88	101,1	2150	92,3	1,997	107,8
200	87,0	250	100,0	47,1	87,2	53,9	87,1	0,87	100,0	2180	93,6	1,986	107,3
205	89,1	247	98,8	47,9	88,7	54,6	88,2	0,88	101,1	2180	93,6	1,953	105,5
210	91,3	250	100,0	49	90,7	56	90,5	0,88	101,1	2210	94,8	1,936	104,5
215	93,5	250	100,0	50,3	93,1	57,7	93,2	0,87	100,0	2250	96,6	1,920	103,7
220	95,7	250	100,0	51,3	95,0	58,7	94,8	0,87	100,0	2270	97,4	1,899	102,5
225	97,8	250	100,0	52,7	97,6	60,4	97,6	0,87	100,0	2290	98,3	1,865	100,7
230	100,0	250	100,0	54	100,0	61,9	100,0	0,87	100,0	2330	100,0	1,852	100,0
235	102,2	250	100,0	55	101,9	62,9	101,6	0,87	100,0	2350	100,9	1,834	99,0
240	104,3	248	99,2	56,2	104,1	64,7	104,5	0,87	100,0	2370	101,7	1,810	97,7
245	106,5	245	98,0	54,9	101,7	63,4	102,4	0,87	100,0	2350	100,9	1,837	99,2
250	108,7	245	98,0	56,4	104,4	65,3	105,5	0,86	98,9	2400	103,0	1,826	98,6
255	110,9	245	98,0	57,1	105,7	65,9	106,5	0,87	100,0	2410	103,4	1,811	97,8
260	113,0	245	98,0	58,7	108,7	67,8	109,5	0,87	100,0	2480	106,4	1,813	97,9

Příklad výpočtu pro 1. řádek tabulky

$$U_{(\%) } = \frac{U}{U_{100\%}} \cdot 100 = \frac{110}{230} \cdot 100 = 47,8\%$$

$$I_{(\%) } = \frac{I}{I_{100\%}} \cdot 100 = \frac{330}{250} \cdot 100 = 132,0\%$$

$$P_{(\%) } = \frac{P}{P_{100\%}} \cdot 100 = \frac{32,7}{54} \cdot 100 = 60,6\%$$

$$S_{(\%) } = \frac{S}{S_{100\%}} \cdot 100 = \frac{37,3}{61,9} \cdot 100 = 60,3\%$$

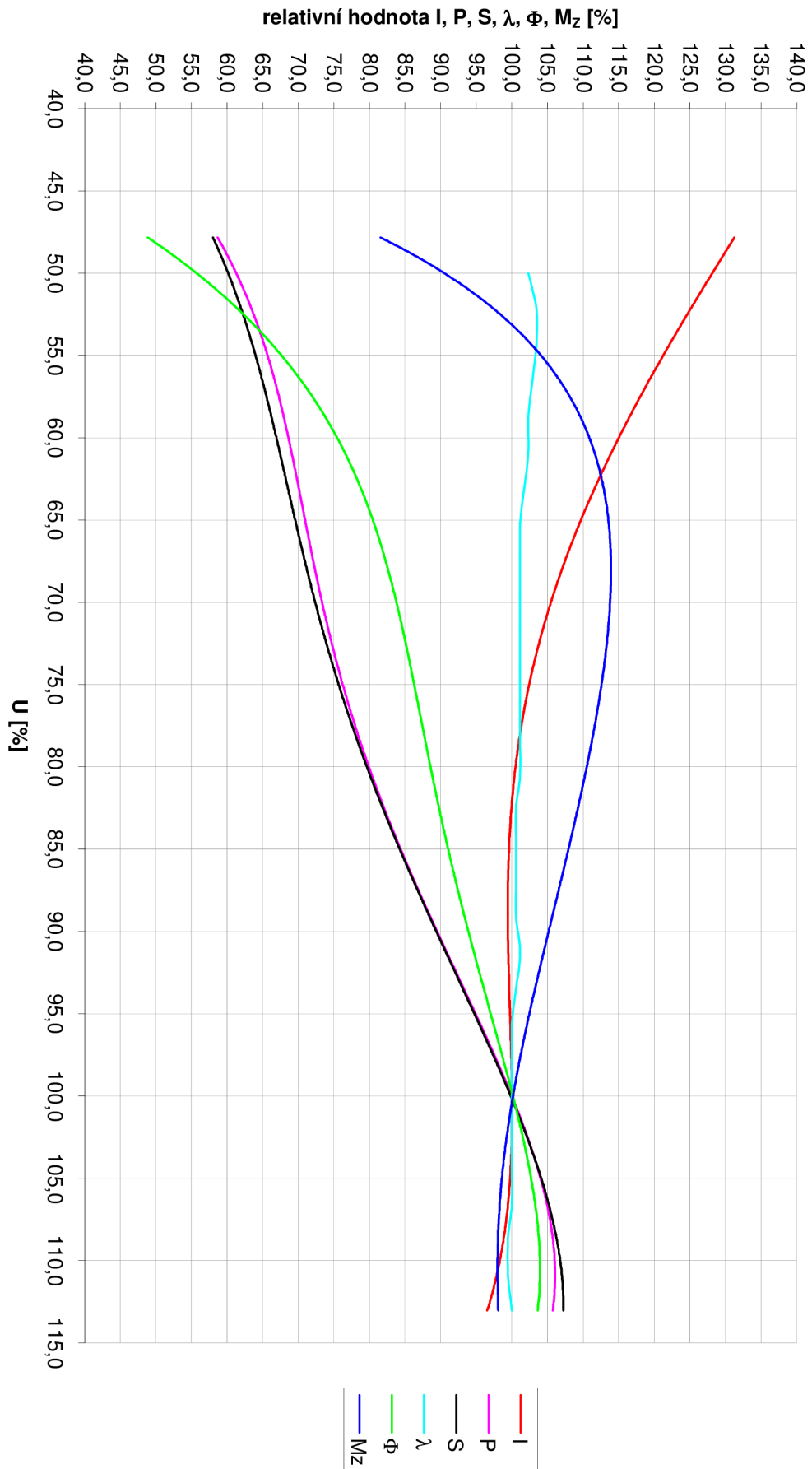
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{32,7}{37,3} = 0,88$$

$$\lambda_{(\%) } = \frac{\lambda}{\lambda_{100\%}} \cdot 100 = \frac{0,88}{0,87} \cdot 100 = 101,1\%$$

$$\Phi_{(\%) } = \frac{E}{E_{100\%}} \cdot 100 = \frac{1145}{2330} \cdot 100 = 49,1\%$$

$$M_{Z \text{ relativní}} = \frac{\Phi_{\%}}{P} = \frac{49,1}{32,7} = 1,503$$

$$M_{Z(\%) } = \frac{M_{Z \text{ relativní}}}{M_{Z100\%}} \cdot 100 = \frac{1,503}{1,852} \cdot 100 = 81,1\%$$



Křížová charakteristika pro bezelektrodovou zářivku SNYG 60

Obr. 6-2 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNYG 60

Tab. 6-3 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku E. F. Lamp 20 W

U		I		P		S		λ		E ~ Φ		M _z	
V	%	mA	%	W	%	VA	%	-	%	lux	%	relativní	%
100	43,5	167	172,2	16	67,8	16,9	66,5	0,95	102,2	1477	69,0	4,314	101,8
105	45,7	162,5	167,5	16,5	69,9	17,3	68,1	0,95	102,2	1582	73,9	4,480	105,7
110	47,8	155	159,8	16,7	70,8	17,6	69,3	0,95	102,2	1662	77,7	4,651	109,8
115	50,0	148	152,6	16,8	71,2	17,7	69,7	0,95	102,2	1735	81,1	4,826	113,9
120	52,2	138	142,3	16,5	69,9	17,4	68,5	0,95	102,2	1735	81,1	4,914	116,0
125	54,3	130	134,0	16,4	69,5	17,3	68,1	0,95	102,2	1740	81,3	4,958	117,0
130	56,5	124	127,8	16,2	68,6	17,2	67,7	0,94	101,1	1740	81,3	5,019	118,5
135	58,7	121	124,7	16,3	69,1	17,2	67,7	0,95	102,2	1744	81,5	5,000	118,0
140	60,9	118	121,6	16,6	70,3	17,7	69,7	0,94	101,1	1765	82,5	4,968	117,3
145	63,0	116	119,6	16,9	71,6	18	70,9	0,94	101,1	1790	83,6	4,949	116,8
150	65,2	114	117,5	17,3	73,3	18,4	72,4	0,94	101,1	1820	85,0	4,916	116,0
155	67,4	112	115,5	17,7	75,0	18,8	74,0	0,94	101,1	1850	86,4	4,884	115,3
160	69,6	110	113,4	18,1	76,7	19,3	76,0	0,94	101,1	1890	88,3	4,879	115,2
165	71,7	109	112,4	18,3	77,5	19,6	77,2	0,93	100,0	1900	88,8	4,852	114,5
170	73,9	108	111,3	18,9	80,1	20,2	79,5	0,94	101,1	1940	90,7	4,797	113,2
175	76,1	106	109,3	19,1	80,9	20,4	80,3	0,94	101,1	1950	91,1	4,771	112,6
180	78,3	105	108,2	19,6	83,1	21	82,7	0,93	100,0	1980	92,5	4,721	111,4
185	80,4	104	107,2	19,8	83,9	21,2	83,5	0,93	100,0	1990	93,0	4,696	110,8
190	82,6	102	105,2	20,2	85,6	21,6	85,0	0,94	101,1	1990	93,0	4,603	108,6
195	84,8	101	104,1	20,6	87,3	22	86,6	0,94	101,1	2000	93,5	4,537	107,1
200	87,0	101	104,1	21,1	89,4	22,6	89,0	0,93	100,0	2030	94,9	4,496	106,1
205	89,1	100	103,1	21,4	90,7	23	90,6	0,93	100,0	2040	95,3	4,455	105,1
210	91,3	99	102,1	21,9	92,8	23,5	92,5	0,93	100,0	2070	96,7	4,417	104,2
215	93,5	99	102,1	22,3	94,5	24	94,5	0,93	100,0	2080	97,2	4,359	102,9
220	95,7	98	101,0	22,8	96,6	24,4	96,1	0,93	100,0	2100	98,1	4,304	101,6
225	97,8	98	101,0	23,2	98,3	24,9	98,0	0,93	100,0	2120	99,1	4,270	100,8
230	100,0	97	100,0	23,6	100,0	25,4	100,0	0,93	100,0	2140	100,0	4,237	100,0
235	102,2	96	99,0	23,9	101,3	25,7	101,2	0,93	100,0	2100	98,1	4,106	96,9
240	104,3	96	99,0	24,4	103,4	26,2	103,1	0,93	100,0	2120	99,1	4,060	95,8
245	106,5	95	97,9	23,2	98,3	25,3	99,6	0,92	98,9	2140	100,0	4,310	101,7
250	108,7	95	97,9	23,5	99,6	25,5	100,4	0,92	98,9	2150	100,5	4,275	100,9
255	110,9	95	97,9	24	101,7	26,1	102,8	0,92	98,9	2180	101,9	4,245	100,2
260	113,0	95	97,9	24,4	103,4	26,8	105,5	0,91	97,8	2180	101,9	4,175	98,5

Příklad výpočtu pro 1. řádek tabulky

$$U_{(\%) } = \frac{U}{U_{100\%}} \cdot 100 = \frac{100}{230} \cdot 100 = 43,5\%$$

$$I_{(\%) } = \frac{I}{I_{100\%}} \cdot 100 = \frac{167}{97} \cdot 100 = 172,2\%$$

$$P_{(\%) } = \frac{P}{P_{100\%}} \cdot 100 = \frac{16}{23,6} \cdot 100 = 67,8\%$$

$$S_{(\%) } = \frac{S}{S_{100\%}} \cdot 100 = \frac{16,6}{25,4} \cdot 100 = 66,5\%$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{16}{16,6} = 0,95$$

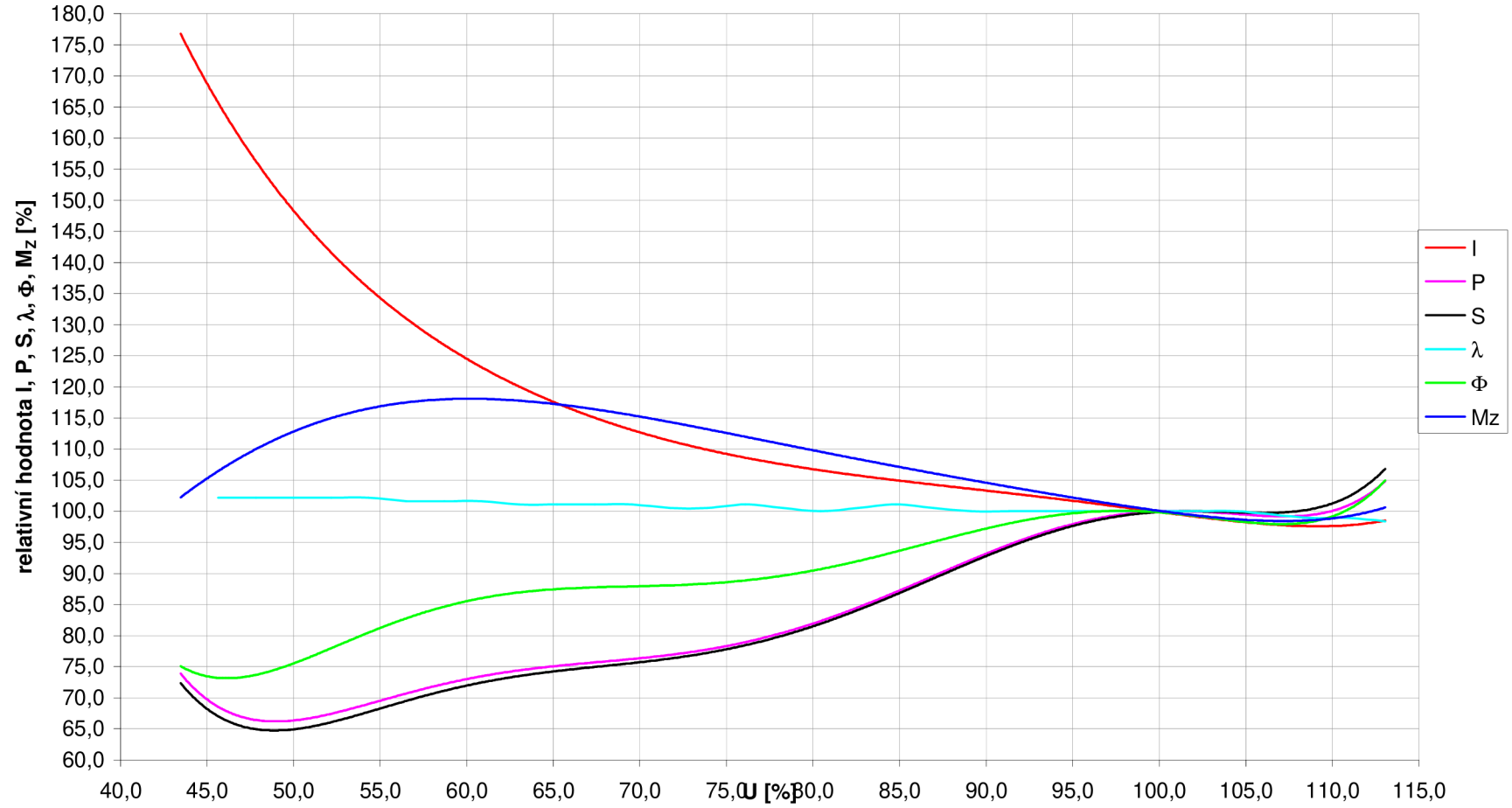
$$\lambda_{(\%)} = \frac{\lambda}{\lambda_{100\%}} \cdot 100 = \frac{0,95}{0,93} \cdot 100 = 102,2\%$$

$$\Phi_{(\%)} = \frac{E}{E_{100\%}} \cdot 100 = \frac{1477}{2140} \cdot 100 = 69,0\%$$

$$M_{Z \text{ relativní}} = \frac{\Phi_{\%}}{P} = \frac{69,0}{16} = 4,314$$

$$M_{Z(\%)} = \frac{M_{Z \text{ relativní}}}{M_{Z100\%}} \cdot 100 = \frac{4,314}{4,237} \cdot 100 = 101,8\%$$

Křížová charakteristika pro bezelektrodovou zářivku E.F.Lamp 20W



Obr. 6-3 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky E.F. Lamp 20 W

Tab. 6-4 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku S-40W RR 20110324

U		I		P		S		λ		E ~ Φ		M _Z	
V	%	mA	%	W	%	VA	%	-	%	lux	%	relativní	%
100	43,5	370	189,7	37,2	80,3	37,3	78,0	0,997	102,9	5620	90,2	2,425	112,3
105	45,7	380	194,9	40,2	86,8	40,3	84,3	0,998	103,0	5950	95,5	2,376	110,0
110	47,8	390	200,0	43	92,9	43,1	90,2	0,998	103,0	6210	99,7	2,318	107,3
115	50,0	395	202,6	45,3	97,8	45,4	95,0	0,998	103,0	6300	101,1	2,232	103,3
120	52,2	370	189,7	44,9	97,0	45	94,1	0,998	103,0	6240	100,2	2,231	103,3
125	54,3	350	179,5	44,7	96,5	44,8	93,7	0,998	103,0	6260	100,5	2,248	104,1
130	56,5	335	171,8	44,5	96,1	44,6	93,3	0,998	103,0	6230	100,0	2,247	104,0
135	58,7	325	166,7	44,4	95,9	44,6	93,3	0,996	102,8	6190	99,4	2,238	103,6
140	60,9	310	159,0	44,4	95,9	44,5	93,1	0,998	103,0	6170	99,0	2,231	103,3
145	63,0	300	153,8	44,4	95,9	44,5	93,1	0,998	103,0	6160	98,9	2,227	103,1
150	65,2	290	148,7	44,4	95,9	44,6	93,3	0,996	102,8	6170	99,0	2,231	103,3
155	67,4	280	143,6	44,5	96,1	44,7	93,5	0,996	102,8	6160	98,9	2,222	102,9
160	69,6	270	138,5	44,5	96,1	44,8	93,7	0,993	102,5	6140	98,6	2,215	102,5
165	71,7	260	133,3	44,5	96,1	44,9	93,9	0,991	102,3	6130	98,4	2,211	102,4
170	73,9	255	130,8	44,7	96,5	45,1	94,4	0,991	102,3	6160	98,9	2,212	102,4
175	76,1	250	128,2	44,8	96,8	45,2	94,6	0,991	102,3	6160	98,9	2,207	102,2
180	78,3	240	123,1	44,8	96,8	45,3	94,8	0,989	102,1	6150	98,7	2,203	102,0
185	80,4	235	120,5	45	97,2	45,5	95,2	0,989	102,1	6160	98,9	2,197	101,7
190	82,6	230	117,9	45,1	97,4	45,7	95,6	0,987	101,9	6160	98,9	2,192	101,5
195	84,8	225	115,4	45,2	97,6	45,9	96,0	0,985	101,7	6170	99,0	2,191	101,4
200	87,0	220	112,8	45,4	98,1	46,1	96,4	0,985	101,7	6180	99,2	2,185	101,2
205	89,1	215	110,3	45,5	98,3	46,5	97,3	0,978	100,9	6190	99,4	2,184	101,1
210	91,3	210	107,7	45,7	98,7	46,7	97,7	0,979	101,0	6210	99,7	2,181	101,0
215	93,5	210	107,7	45,9	99,1	47	98,3	0,977	100,8	6220	99,8	2,175	100,7
220	95,7	200	102,6	46	99,4	47,3	99,0	0,973	100,4	6220	99,8	2,170	100,5
225	97,8	200	102,6	46,1	99,6	47,5	99,4	0,971	100,2	6220	99,8	2,166	100,3
230	100,0	195	100,0	46,3	100,0	47,8	100,0	0,969	100,0	6230	100,0	2,160	100,0
235	102,2	190	97,4	46,6	100,6	48,2	100,8	0,967	99,8	6250	100,3	2,153	99,7
240	104,3	190	97,4	46,8	101,1	48,6	101,7	0,963	99,4	6270	100,6	2,150	99,6
245	106,5	185	94,9	45,1	97,4	47,2	98,7	0,956	98,7	6260	100,5	2,228	103,1
250	108,7	185	94,9	45,1	97,4	47,2	98,7	0,956	98,7	6250	100,3	2,224	103,0
255	110,9	180	92,3	45,3	97,8	47,7	99,8	0,950	98,0	6260	100,5	2,218	102,7
260	113,0	180	92,3	45,5	98,3	48,1	100,6	0,946	97,6	6290	101,0	2,219	102,7

Příklad výpočtu pro 1. řádek tabulky

$$U_{(\%)} = \frac{U}{U_{100\%}} \cdot 100 = \frac{100}{230} \cdot 100 = 43,5\%$$

$$I_{(\%)} = \frac{I}{I_{100\%}} \cdot 100 = \frac{370}{195} \cdot 100 = 189,7\%$$

$$P_{(\%)} = \frac{P}{P_{100\%}} \cdot 100 = \frac{37,2}{46,3} \cdot 100 = 80,3\%$$

$$S_{(\%)} = \frac{S}{S_{100\%}} \cdot 100 = \frac{37,3}{47,8} \cdot 100 = 78,0\%$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{37,2}{37,3} = 0,997$$

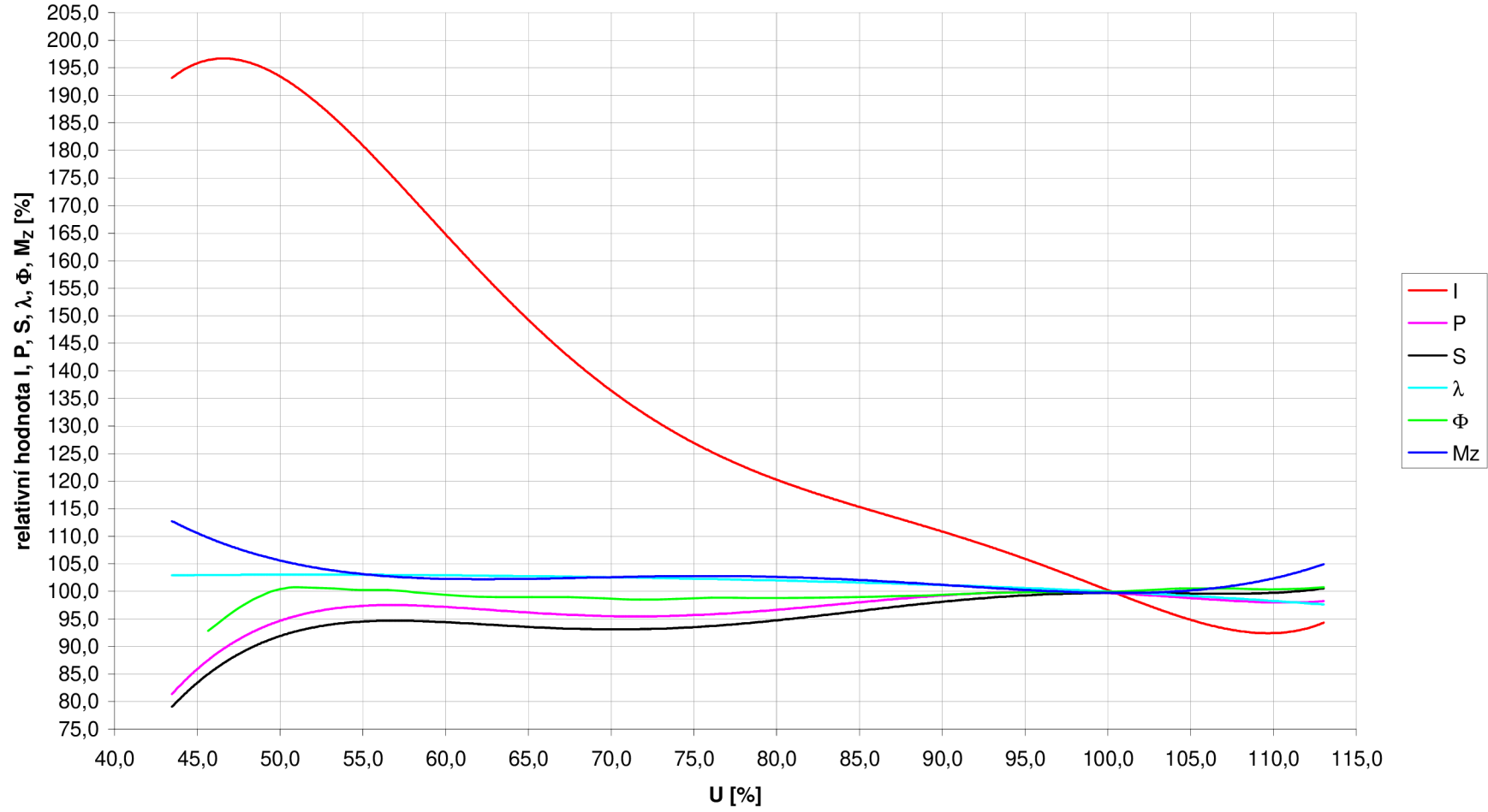
$$\lambda_{(\%)} = \frac{\lambda}{\lambda_{100\%}} \cdot 100 = \frac{0,997}{0,969} \cdot 100 = 102,9\%$$

$$\Phi_{(\%)} = \frac{E}{E_{100\%}} \cdot 100 = \frac{5620}{6230} \cdot 100 = 90,2\%$$

$$M_{Z \text{ relativní}} = \frac{\Phi_{\%}}{P} = \frac{90,2}{37,2} = 2,425$$

$$M_{Z(\%)} = \frac{M_{Z \text{ relativní}}}{M_{Z100\%}} \cdot 100 = \frac{2,425}{2,160} \cdot 100 = 112,3\%$$

Křížová charakteristika pro bezelektrodovou zářivku S-40W RR 20110324



Obr. 6-4 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky S-40W RR 20110324

Tab. 6-5 Naměřené a vypočtené hodnoty křížové charakteristiky pro zářivku SNPG 200

U		I		P		S		λ		E ~ Φ		M _z	
V	%	mA	%	W	%	VA	%	-	%	lux	%	relativní	%
125	54,3	1100	154,9	138,6	83,9	138,7	82,8	0,999	101,4	5800	134,3	0,969	159,8
130	56,5	1150	162,0	149,4	90,5	149,5	89,2	0,999	101,4	6210	143,8	0,962	158,8
135	58,7	1180	166,2	159	96,3	159,2	95,0	0,999	101,4	6520	150,9	0,949	156,6
140	60,9	1210	170,4	169,2	102,5	170	101,4	0,995	101,0	6660	154,2	0,911	150,4
145	63,0	1250	176,1	182,2	110,4	182,7	109,0	0,997	101,2	6730	155,8	0,855	141,1
150	65,2	1200	169,0	183	110,8	183,2	109,3	0,999	101,4	6550	151,6	0,829	136,7
155	67,4	1100	154,9	174,6	105,8	175	104,4	0,998	101,3	6000	138,9	0,795	131,3
160	69,6	1050	147,9	171	103,6	171,5	102,3	0,997	101,2	5700	131,9	0,772	127,3
165	71,7	1000	140,8	167,3	101,3	168	100,2	0,996	101,1	5350	123,8	0,740	122,2
170	73,9	980	138,0	165,6	100,3	165,7	98,9	0,999	101,4	5100	118,1	0,713	117,6
175	76,1	920	129,6	163,4	99,0	164,4	98,1	0,994	100,9	4840	112,0	0,686	113,1
180	78,3	890	125,4	162,7	98,5	163,8	97,7	0,993	100,8	4580	106,0	0,652	107,5
185	80,4	870	122,5	162,8	98,6	164	97,9	0,993	100,8	4510	104,4	0,641	105,8
190	82,6	845	119,0	162,9	98,7	164,2	98,0	0,992	100,7	4440	102,8	0,631	104,1
195	84,8	820	115,5	162,9	98,7	164,3	98,0	0,991	100,6	4340	100,5	0,617	101,8
200	87,0	810	114,1	162,9	98,7	164,5	98,2	0,990	100,5	4250	98,4	0,604	99,7
205	89,1	790	111,3	163,1	98,8	164,9	98,4	0,989	100,4	4180	96,8	0,593	97,9
210	91,3	770	108,5	163,4	99,0	165,3	98,6	0,989	100,4	4140	95,8	0,586	96,8
215	93,5	755	106,3	163,7	99,2	165,8	98,9	0,987	100,2	4120	95,4	0,583	96,1
220	95,7	740	104,2	164,3	99,5	166,6	99,4	0,986	100,1	4210	97,5	0,593	97,9
225	97,8	725	102,1	164,5	99,6	167	99,6	0,985	100,0	4260	98,6	0,599	98,9
230	100,0	710	100,0	165,1	100,0	167,6	100,0	0,985	100,0	4320	100,0	0,606	100,0
235	102,2	705	99,3	165,4	100,2	168,1	100,3	0,984	99,9	4360	100,9	0,610	100,7
240	104,3	690	97,2	165,7	100,4	168,7	100,7	0,982	99,7	4420	102,3	0,617	101,9
245	106,5	680	95,8	164,4	99,6	167,7	100,1	0,980	99,5	4480	103,7	0,631	104,1
250	108,7	670	94,4	164,9	99,9	168,7	100,7	0,977	99,2	4540	105,1	0,637	105,2
255	110,9	660	93,0	165,1	100,0	169,4	101,1	0,975	99,0	4580	106,0	0,642	106,0
260	113,0	650	91,5	165,6	100,3	170	101,4	0,974	98,9	4640	107,4	0,649	107,0
265	115,2	640	90,1	165,7	100,4	170,5	101,7	0,972	98,7	4690	108,6	0,655	108,1
270	117,4	660	93,0	166,5	100,8	171	102,0	0,974	98,9	4780	110,6	0,665	109,7

Příklad výpočtu pro 1. řádek tabulky

$$U_{(\%)} = \frac{U}{U_{100\%}} \cdot 100 = \frac{125}{230} \cdot 100 = 54,3\%$$

$$I_{(\%)} = \frac{I}{I_{100\%}} \cdot 100 = \frac{1100}{710} \cdot 100 = 154,9\%$$

$$P_{(\%)} = \frac{P}{P_{100\%}} \cdot 100 = \frac{138,6}{165,1} \cdot 100 = 83,9\%$$

$$S_{(\%)} = \frac{S}{S_{100\%}} \cdot 100 = \frac{138,7}{167,6} \cdot 100 = 82,8\%$$

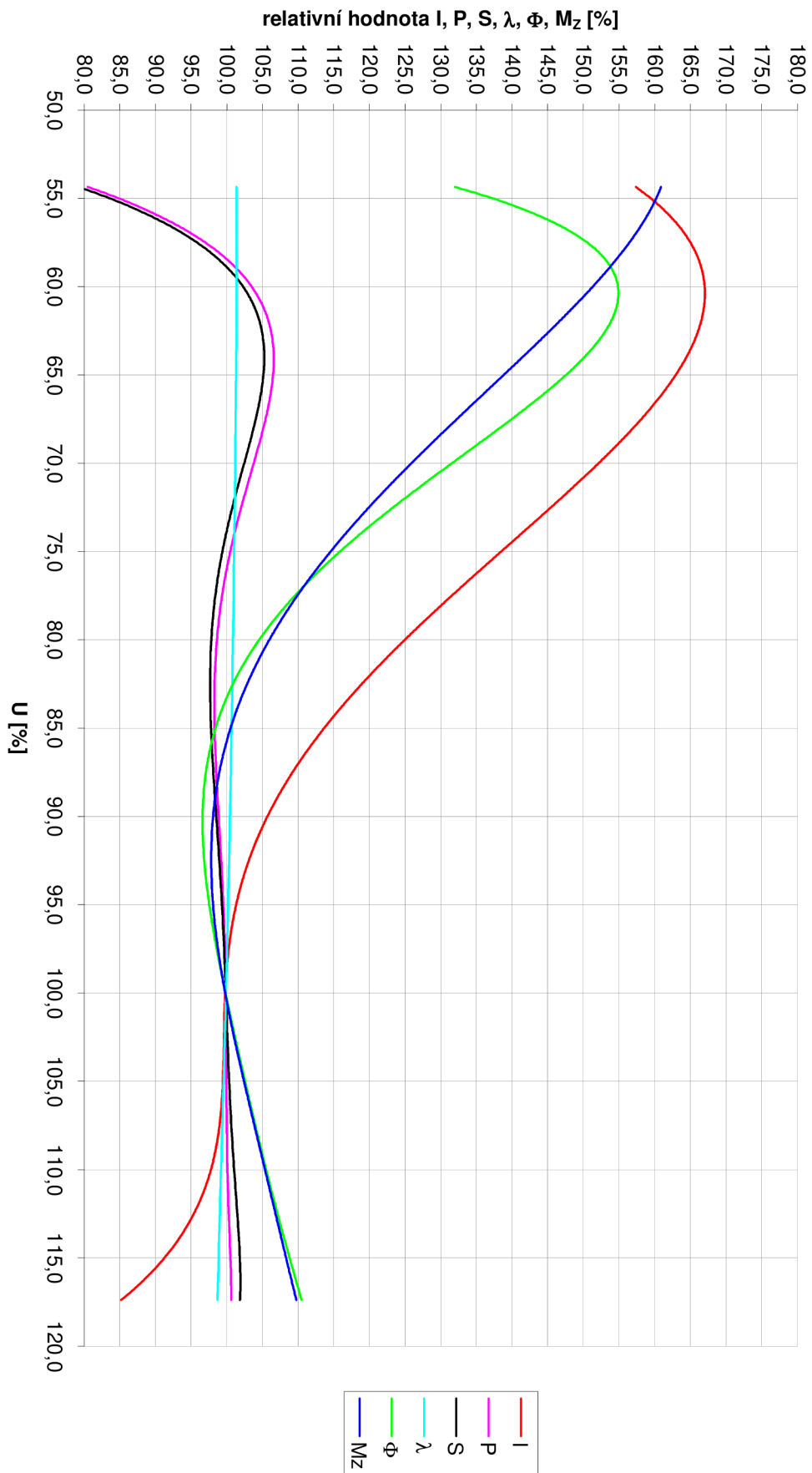
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{138,6}{138,7} = 0,999$$

$$\lambda_{(\%) } = \frac{\lambda}{\lambda_{100\%}} \cdot 100 = \frac{0,999}{0,985} \cdot 100 = 101,4\%$$

$$\Phi_{(\%) } = \frac{E}{E_{100\%}} \cdot 100 = \frac{5800}{4320} \cdot 100 = 134,3\%$$

$$M_{Z \text{ relativní}} = \frac{\Phi_{\%}}{P} = \frac{134,3}{138,6} = 0,969$$

$$M_{Z(\%) } = \frac{M_{Z \text{ relativní}}}{M_{Z100\%}} \cdot 100 = \frac{0,969}{0,606} \cdot 100 = 159,8\%$$



Křížová charakteristika pro bezelektrodovou zářivku SNPG 200

Obr. 6-5 Křížová charakteristika bezelektrodové zářivky SNPG 200

6.1 Zhodnocení měření

Všechny tři měřené zářivky s předřadným systémem integrovaným v těle zářivky odebíraly při nejnižším napětí nejvyšší proud, který se postupně, až na pár odchylek, se zvyšujícím se napájecím napětím snižoval. U zbylých dvou zářivek napájených z externího předřadného systému odebíraný proud nejdříve mírně vzrostl a poté se také snižoval. Vyšší odebíraný proud při nižším napájecím napětí byl nejspíše způsobený, kvůli dostatečnému buzení cívek na zářivce, tedy dostatečné dodané energii pro vzniku hoření oblouku v parách rtuti a pomocného plynu uvnitř baňky (trubice).

Účinnost byla u všech zářivek v průběhu měření téměř neměnná v odchyldce kolem $\pm 3\%$ od nominální hodnoty 100% (při 230 V). Nejnižší účinnost měla zářivka s vnitřním předřadným systémem SNYG 60, kde hodnoty účinnosti dosahovaly těsně pod 0,90. Naopak nejvyšších hodnot účinnosti bylo dosaženo u zářivky SNPG 200, která byla napájena z externího předřadného systému SN – 200.

Hodnoty činného a zdánlivého příkonu se zvyšujícím se napětím u všech měřených zářivek díky velice dobré hodnotě účinnosti téměř souběžně rostly.

Světelný tok zářivek SNYG 20, SNYG 60, E.F. Lamp a S – 40 se se zvyšujícím se napájecím napětím zvyšoval. U zářivky SNPG 200 se světelný tok nejprve zvýšil, poté začal klesat až po napětí 215 V a následně začal opět růst.

Měrný výkon u zářivky SNYG 20 nejdříve prudce narostl a poté se už jenom pozvolna zvyšoval. U zářivky SNYG 60 měrný výkon nejprve rostl až nad nominální hodnotu 100% (při 230 V) a následně mírně klesal až pod nominální hodnotu. U zářivky E.F. Lamp měrný výkon mírně vzrostl nad nominální hodnotu, poté začal klesat až po napětí 240 V a následně mírně vzrostl a opět poklesl. Měrný výkon zářivky S – 40 byl při nejnižším napětí nejvyšší a poté mírně poklesl a po zbytek měření se pohyboval kolem hodnoty 100% měrného výkonu. Pro nejnižší napětí u zářivky SNPG 200 dosahoval měrný výkon nejvyšší hodnoty, se zvyšujícím se napětím následně klesal až po napětí 215 V a dále už jen jeho hodnota narůstala.

7 ZÁVĚR

Začátek druhé kapitoly byl zaměřen na historický vývoj bezelektrodových zářivek. Dále zde byl popsán princip vzniku světla ve dvou základních konstrukčních provedeních bezelektrodových zářivek. Následně byly podrobněji popsány tři základní konstrukce indukčních výbojek, za povšimnutí stojí, že ačkoliv vývoj všech třech typů zářivek probíhal téměř současně, tak se jedná o absolutně odlišné typy konstrukcí. V závěru kapitoly je uvedeno několik druhů bezelektrodových zářivek od jiných výrobců.

Na začátku třetí kapitoly bylo popsáno několik významných faktů, které s sebou přináší aplikace bezelektrodových zářivek v osvětlovací technice. Následně byly popsány některé světelně-technické veličiny i s uvedenými parametry, kterých indukční výbojky dosahují. Dále byla uvedena srovnávací tabulka, kde jsou porovnány důležité parametry světelných zdrojů vyrobených jinou technologií. Z tabulky vyplývá, že bezelektrodové zářivky převyšují všechny dostupné zdroje svou dobou života, dále pak také nezaostávají v dostupnosti náhradních teplot chromatičnosti, jejich měrný výkon a index podání barev dosahuje na velmi dobré hodnoty. Konec kapitoly byl tvořen výpisem parametrů některých dostupných sérií bezelektrodových zářivek v ČR, do jakých typů svítidel je možné bezelektrodové zářivky použít a jaké výhody v této oblasti mohou tyto světelné zdroje přinést.

Čtvrtá kapitola byla věnována popisu konstrukce předřadného systému pro bezelektrodové zářivky. Tyto systémy se velice podobají spínaným zdrojům, z čehož vyplývá, že nebude ovlivněn provoz bezelektrodových zářivek i při poklesu napájecího napětí. Dále byl v této kapitole zmíněn důležitý parametr, a to náběh světelného zdroje, který je značně spojen s návrhem předřadného systému. Některé bezelektrodové zářivky jsou navrženy tak, že při startu je obrovský nárůst světelného toku, který následně klesá až několik minut na ustálenou hodnotu. Některé předřadné systémy jsou navrženy tak, že po počátečním poklesu světelného toku, který je způsobený zahřátím baňky jsou schopny tento počáteční deficit vykompenzovat a po několika minutách je dosaženo konstantního světelného toku. Následně byl uveden obrázek s průběhy odebíraného proudu různými typy bezelektrodových zářivek. Z obrázku je velice dobře patrné, že použití aktivního PFC obvodu v předřadném systému se vyplácí až u vyšších výkonů zářivek. Na závěru kapitoly byla uvedena ukázka konkrétního svítidla s použitou indukční výbojkou o příkonu 300W. Z obrázku náběhu světelného toku svítidla je názorně vidět, že náběh a celkový světelný tok dané zářivky není ovlivněn pouze předřadným systémem, ale i konstrukcí a provedením svítidla, kde dojde většinou ještě k mírnému snížení celkového vyzařovaného světelného toku, s čímž je potřeba při aplikacích počítat. Ještě zde byly uvedeny parametry několika dostupných předřadných systémů v ČR.

Pátá kapitola byla zaměřena na zhodnocení aplikace bezelektrodových zářivek v extrémních podmínkách. Z této kapitoly vyplývá, že bezelektrodové zářivky jsou předurčeny zejména pro náročné aplikace se špatnou dostupností a s nemožností časté údržby, jakou jsou například tunely, veřejné osvětlení a vysoké výrobní nebo skladovací prostory. Další výhodou je také možnost startu a provozu za velmi nízkých teplot.

V poslední kapitole bakalářské práce bylo provedeno měření křížových charakteristik pěti bezelektrodových zářivek. Tři zářivky byly s interním předřadným systémem, zbylé dvě byly napájeny z externího předřadného systému. U všech měřených bezelektrodových zářivek klesal odebíraný proud se zvyšujícím se napětím. Účinník byl u všech zářivek v průběhu měření téměř neměnný v odchylce kolem $\pm 3\%$ od nominální hodnoty 100% (při 230 V). Hodnoty činného

a zdánlivého příkonu se zvyšujícím se napětím u všech měřených zářivek díky velice dobré hodnotě účinníku téměř souběžně rostly. U všech měřených zářivek světelný tok narůstal se zvyšujícím se napětím, kromě zářivky SNPG 200, u které světelný tok při začátku měření (i nejnižším napětím) prudce narostl až téměř na 160% jmenovitého světelného toku (při 230 V) a následně se zvyšujícím se napětím rychle klesal až k jmenovité hodnotě. Měrný výkon u zářivky SNYG 20 se zvyšoval od téměř nulové hodnoty až po nominální hodnotu měrného výkonu (při 230 V) se zvyšujícím se napětím. U zářivky SNYG 60 dosahoval měrný výkon při nejnižším měřeném napětí hodnoty kolem 80% své jmenovité hodnoty (při 230 V), následně se s rostoucím napětím zvyšoval až na 114% při napětí kolem 160 V a poté začal klesat ke své jmenovité hodnotě. Pro zářivku E.F. Lamp 20 W byl měrný výkon při nejnižším napětí téměř na své jmenovité hodnotě, poté se mírně zvyšoval až po napětí 130 V, odkud už pomalu klesal ke své jmenovité hodnotě. U zářivky S – 40 W byl měrný výkon po celou dobu měření téměř konstantní na své jmenovité hodnotě. Zářivka SNPG 200 měla při nejnižším napětí nejvyšší měrný výkon, což přímo souvisí s průběhem jejího světelného toku, se zvyšujícím se napětím měrný výkon klesal až ke své jmenovité hodnotě.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] O indukci. UNIVERSELITE [online]. [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://universelite.cz/O-indukci/>
- [2] DOLEŽAL, Martin. Indukční výbojky. *Coptel* [online]. 27.6. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=6588&docGroup=189&cmd=0&instance=1>
- [3] External inductor lamp diagram. *Indulux technologies* [online]. 2008 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://induluxtech.com/External%20Inductor%20Type%20Induction%20Lamp%20Dwg.jpg>
- [4] Internal inductor lamp diagram. *Indulux technologies* [online]. 2008 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://induluxtech.com/Internal%20Inductor%20Type%20Induction%20Lamp%20Dwg.jpg>
- [5] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - indukční výbojky. *Časopis Světlo* [online]. 2009, č. 4 [cit. 12.12.2012]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39389.pdf>
- [6] Electrodeless Induction Lamps. LAMPTECH [online]. 21.7. 2005 [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://lamptech.co.uk/Electrodeless.htm>
- [7] E-lamp. In: *Philosophy of Science Portal* [online]. 1.6. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://philosophyofscienceportal.blogspot.cz/2010/06/e-lamp.html>
- [8] Výbojky. LVD Osvětlení [online]. [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.lvdosvetleni.cz/Vybojky/>
- [9] KRBAL, Michal, Petr BAXANT a Jan ŠKODA. Bezelektroodové zářivky a jejich využití pro osvětlování rostlin. 2012.
- [10] SOKANSKÝ, K. a kolektiv. *Základy základů světelné techniky*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava FEI, 2007.
- [11] O Světle. LVD osvětlení [online]. [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://www.lvdosvetleni.cz/O-svetle/>
- [12] Indukční lampy LVD. *Monto Lighting* [online]. [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://www.monto-lighting.cz/cz/page/2583/technologie.html>
- [13] Technologie. Ekosvětlo [online]. 2011 [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://www.ekosvetlo.cz/cs/technologie>
- [14] Indukční výbojky. Indukční lampy FEDATEX [online]. 2012 [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://indukcnilampy.fedatex.cz/indukcni-svetlo/indukcni-vybojky/>
- [15] Indukční zdroje světla. *NBB Bohemia Osvětlovací technika: katalogy ke stažení* [online]. 2012, č. 11 [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://nbb.cz/cs/katalog-ke-stazeni-dle-jednotlivych-kapitol#D232>
- [16] Indukční osvětlení. ACword [online]. [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://www.acword.cz/portal/elektromaterial-a-svitidla/prumyslova-svitidla/indukcni-osvetleni/?setlng=cz>

- [17] Reference. Osteos service [online]. 2013 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.osteos.cz/reference>
- [18] LVD světlo. LVD ekosvětlo [online]. 2010 [cit. 12.12. 2012]. Dostupné z: <http://indukcnisvetla.cz/reference.htm>
- [19] Měření náběhu světelného toku zdrojů. Laboratoř světelné techniky UEEN FEKT VUT Brno [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/sylabus/52_Mereni_mereni_nabehu_svetelneho_toku_zdroju.pdf
- [20] Elektronické předřadníky. *DreamTec* [online]. © 2011-2013 [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://www.dream-tec.cz/category/produkty/elektronicke-predradniky/>
- [21] Provozní vlastnosti světelných zdrojů. *Laboratoř světelné techniky UEEN FEKT VUT Brno* [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/?section=tasks>