

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh proudového zdroje pro napájení RGB LED

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr Smolík**
Osobní číslo: **D21353**
Studijní program: **B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce: **Návrh proudového zdroje pro napájení RGB LED**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je návrh koncepce napájení RGB LED použitého ve zvoleném dopravním prostředí. Bude nutné se zabývat nejen výběrem vhodné topologie proudového zdroje a topologie měniče, ale i realizovat vlastní řešení zdroje s praktickým výstupem. Návrh koncepce je třeba uzpůsobit požadavkům standardizace v oblasti elektromagnetické kompatibility.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. LENK, Ron a Carol LENK. Practical Lighting Design With LEDs [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011 [cit. 2023-07-03]. ISBN 9781118008218. Dostupné z: doi:10.1002/9781118008218
2. Y. Wang, J. M. Alonso and X. Ruan, "A Review of LED Drivers and Related Technologies," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 7, pp. 5754-5765, July 2017, doi: 10.1109/TIE.2017.2677335.
3. FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumičky pro spínané napájecí zdroje*. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-91-0.
4. KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Spínané zdroje s časovačem 555*. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-76-7.
5. HOLUB, Přemysl a ZÍKA, Josef. *Praktická zapojení polovodičových diod a tyristorů*. 2., přeprac. vyd. Polovodičová technika. Praha: SNTL, 1977.
6. NOVOTNÝ, Vlastislav; VOREL, Pavel a PATOČKA, Miroslav. *Napájení elektronických zařízení: přednášky*. Brno: Vysoké učení technické, 2002. ISBN 80-214-2300-5.
7. ŠEBESTA, Jiří. *Napájení elektronických zařízení: laboratorní cvičení*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2007. ISBN 978-80-214-3522-3.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **24. ledna 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2024**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Návrh proudového zdroje pro napájení RGB LED jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12.5.2024

Petr Smolík v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych vyjádřil vděčnost mé rodině za neustálou podporu během mého studia. Děkuji panu profesoru Leuchterovi za cenné rady, odborné konzultace skvělé vedení během tvorby této bakalářské práce.

Díky patří také mé přítelkyni a mé rodině za jejich trpělivost a nekonečnou podporu, kterou mi poskytovaly po celou dobu mého studia a zejména při procesu vytváření této práce. Poslední poděkování bych rád věnoval panu Michalu Staškovi z firmy Spel a.s. za pomoc a rady při tvoření této práce.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem koncepce napájení RGB LED použitého ve zvoleném dopravním prostředku. Práce si klade za cíl nejen vybrat vhodnou topologii proudového zdroje a měniče, ale rovněž implementovat praktické řešení zdroje. Práce se dále věnuje přizpůsobením požadavků standardizace v oblasti elektromagnetické kompatibility. Celkový záměr práce spočívá ve vytvoření efektivního a normami odpovídajícího systému napájení pro RGB LED v daném dopravním prostředku.

KLÍČOVÁ SLOVA

spínaný zdroj, RGB LED, lineární stabilizátor, elektromagnetická kompatibility

TITLE

Design of a current source for powering RGB LEDs

ANNOTATION

This bachelor thesis focuses on designing the power supply concept for RGB LED used in a selected transportation vehicle. The objective of the thesis is not only to choose a suitable topology for the current source and converter but also to implement a practical solution for the power source. Additionally, the thesis addresses the adaptation to the requirements of standardization in the field of electromagnetic compatibility. The overall aim of the thesis is to create an efficient and standards-compliant power supply system for RGB LED in the specified transportation environment.

KEYWORDS

switching-mode power supply, RGB LED, linear regulator, electromagnetic compatibility

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	12
2 ÚVOD.....	13
2.1 Vývoj světlotekniky v dopravě	13
2.2 LED technologie	14
2.3 Inovativní použití LED v automobilovém průmyslu.....	14
3 TEORETICKÁ ČÁST	18
3.1 Lineární měniče	18
3.2 Spínané zdroje.....	20
3.2.1 Snižující měnič (buck).....	22
3.2.2 Zvyšující měnič (boost)	23
3.3 Porovnání spínaných zdrojů s lineárními stabilizátory.....	23
4 PRAKTICKÁ ČÁST	25
4.1 Vstupní parametry a výběr RGB LED.....	25
4.2 Návrh napájení LED pomocí obvodu L7806cv	26
4.3 Návrh napájení LED pomocí obvodu LM317	28
4.4 Zhodnocení napájení LED pomocí lineárních stabilizátorů	30
4.5 Návrh spínaného zdroje s PT4115	30
4.6 Návrh spínaného zdroje s AL8860	32
4.7 Výroba DPS	34
4.8 Možnosti řízení obvodu PT4115 a AL8860	37
4.8.1 Analogové řízení spínaných zdrojů	38
4.8.2 PWM řízení spínaných zdrojů	39
4.9 Naměřené průběhy a tabulky realizovaných spínaných zdrojů	40

4.10 Praktické ověření EMC realizovaných spínaných zdrojů.....	47
ZÁVĚR	51
POUŽITÁ LITERATURA	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	54

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obr. 1 – Princip adaptivních světlometů [5].....	15
Obr. 2 – Podsvícení dveří	16
Obr. 3 – RGB LED dioda u elektromobilů v zásuvce	16
Obr. 4 – RGB LED pásek – ukazatel stavu nabíjení při připojení k dobíjecí stanici	17
Obr. 5 – Zapojení stabilizátoru napětí se zenerovou diodou [6].....	19
Obr. 6 – Blokové schéma spínaného zdroje [15].....	21
Obr. 7 – Snižující měnič [15].....	22
Obr. 8 – Zvyšující měnič [15].....	23
Obr. 9 – Zapojení L7806 pro napájení LED, podle kat. listu [7].....	27
Obr. 10 – Zapojení LM317 pro napájení LED, podle kat. listu [8]	29
Obr. 11 – Základní zapojení PT4115, podle kat. listu [9]	31
Obr. 12 – Základní zapojení AL8860, podle kat. listu [10].....	33
Obr. 13 – Návrh vstupních obvodů obou spínaných zdrojů z programu Eagle.....	35
Obr. 14 – Návrh zapojení AL8860 v programu Eagle, podle kat. listu [10]	35
Obr. 15 – Vrchní pohled plošného spoje pro obvod AL8860 se součástkami.....	36
Obr. 16 – Spodní pohled plošného spoje pro obvod AL8860 se součástkami	36
Obr. 17 – Vrchní pohled s osazenými součástkami.....	37
Obr. 18 – Spodní pohled s osazenými součástkami.....	37
Obr. 19 – Zapojení vstupního stabilizátoru pro analogové řízení, podle kat. listu [7]	38
Obr. 20 – Zapojení odporového děliče	39
Obr. 21 – Průběh spínání MOSFET tranzistoru u AL8860	41
Obr. 22 – Průběh spínání MOSFET tranzistoru u PT4115.....	41
Obr. 23 – Průběh proudu cívkou u AL8860	42
Obr. 24 – Detail na průběh proudu cívkou u AL8860	42
Obr. 25 – Průběh proudu cívkou u PT4115	43
Obr. 26 – Detail na průběh proudu cívkou u PT4115.....	43
Obr. 27 – Průběh proudu LED u AL8860	44
Obr. 28 – Průběh proudu LED u PT4115	44
Obr. 29 – Graf závislosti vstupního proudu na střídě spínání u AL8860	46
Obr. 30 – Graf závislosti vstupního proudu na střídě spínání u PT4115.....	46
Obr. 31 – Vstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 1 (zdroj modré barvy).....	48
Obr. 32 – Vstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 1 (zdroj modré barvy)	48

Obr. 33 – Vstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 0,2 (zdroj modré barvy).....	49
Obr. 34 – Vstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 0,2 (zdroj modré barvy)	49
Obr. 35 – Výstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 1 (zdroj červené barvy)	50
Obr. 36 – Výstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 1 (zdroj červené barvy) ...	50
Tab. 1 – Porovnání spínaných zdrojů s lineárními stabilizátory [15].....	24
Tab. 2 – Specifikace 3 W RGB LED [16]	25
Tab. 3 – Zapojení 7806 bez LED.....	27
Tab. 4 – Zapojení 7806 s LED.....	27
Tab. 5 – Rozdělení výkonů v obvodu L7806.....	28
Tab. 6 – Zapojení LM317 bez LED.....	29
Tab. 7 – Zapojení LM317 s LED.....	29
Tab. 8 – Rozdělení výkonů v obvodu LM317	30
Tab. 9 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání červené barvy LED u AL8860 .	45
Tab. 10 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání zelené barvy LED u AL8860 .	45
Tab. 11 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání modré barvy LED u AL8860 .	45
Tab. 12 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání červené barvy LED u PT4115	45
Tab. 13 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání zelené barvy LED u PT4115 ..	45
Tab. 14 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání modré barvy LED u PT4115 ..	45

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

I_{\max}	[A]	maximální proud
U_{reg}	[V]	zregulované napětí
R_z	[Ω]	zatěžovací odpor
U_{out}	[V]	výstupní napětí
U_{in}	[V]	vstupní napětí
P_{led}	[W]	výkon spotřebovaný na LED
P_{spotr}	[W]	ztrátový výkon
P_{celk}	[W]	příkon
U_{led}	[V]	úbytek napětí na LED
U_{spotr}	[V]	úbytek napětí na spotřebičích
R_S	[Ω]	snímací odpor
K_u	[-]	činitel stabilizace
T_a	[s]	doba sepnutí
T_c	[s]	doba periody
D	[-]	střída
ESR		ekvivalentní sériový odpor kondenzátoru
RGB		dioda emitující světlo červené, zelené a modré barvy
LED		světlo emitující dioda
EMC		elektromagnetická kompatibilita
SMD		součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
COB		čipy LED přímo upevněné na substrátovou desku
BMW		německý výrobce automobilů
AFS		adaptivní světlomety
DC-DC		měníč stejnosměrného napětí
SMPS		spínaný zdroj
PWM		pulzně šířková modulace
COMP		komparátor
OSC		oscilátor
DPS		deska plošných spojů
FFT		rychlá Fourierova transformace

1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je navrhnout koncepci napájení RGB LED, která by mohla být aplikována v oblasti automobilové techniky. Práce zahrnuje nejen výběr vhodné topologie spínaného zdroje, ale také implementaci vlastního řešení zdroje s praktickým výstupem.

Tento cíl je zasazen do širšího kontextu zkoumání vývoje osvětlení v dopravě, s důrazem na řešení jejich napájení. Teoretická část práce se zaměří na shrnutí lineárních stabilizátorů a spínaných zdrojů, které budou prakticky použity a navrženy. To by mělo poskytnout základní pochopení principu fungování a využití těchto zařízení. Dále dojde k porovnání lineárních stabilizátorů a spínaných zdrojů.

Praktická část práce bude zahrnovat návrh řešení napájení pomocí dvou integrovaných stabilizátorů a dvou spínaných zdrojů, s cílem porovnat jejich vlastnosti a efektivitu. Důraz bude kladen zejména na navržení dvou spínaných zdrojů. U těchto dvou zdrojů bude navržen i plošný spoj. U všech navržených zapojení bude nutné ověřit jejich parametry a funkci, u dvou spínaných zdrojů následně dojde k měření rušení na přívodních vodičích.

Dalším bodem této práce bude zkoumání možností řízení u obou spínaných zdrojů. To zahrnuje analýzu dostupných možností pro řízení a jejich aplikaci v navrhovaných systémech.

Cílem této práce je přispět k rozvoji znalostí v oblasti napájení LED osvětlení v dopravě a poskytnout konkrétní návrhová řešení, která budou efektivní, bezpečná a v souladu s požadavky daného prostředí.

2 ÚVOD

Osvětlení v automobilovém průmyslu představuje klíčový prvek nejen z hlediska bezpečnosti a funkčnosti vozidel, ale také z estetického hlediska. V průběhu posledních desetiletí došlo k výraznému vývoji v oblasti automobilových světlometů a světelných systémů, kde se LED technologie stala jedním z hlavních průkopníků.

Tradiční žárovky postupně ustupují novým technologiím, přičemž LED (Light Emitting Diode) svítidla se stávají stále více dominantními v moderních automobilech. Jejich využití přináší mnoho výhod v porovnání s klasickými žárovkami, jako je vyšší účinnost, delší životnost, nižší spotřeba energie a možnost dosažení různých barevných odstínů.

Tento vývoj si klade nároky i na napájecí systémy používané v automobilech. Pro napájení LED osvětlení je zapotřebí efektivního a spolehlivého zdroje, který by měl být přizpůsoben požadavkům automobilového prostředí, včetně odolnosti vůči vibracím, teplotním výkyvům a elektromagnetickým rušením. [1]

2.1 Vývoj světlotekniky v dopravě

Světla v automobilové dopravě prošla od svých počátků významným vývojem, který byl spojován s neustálým zlepšováním silniční dopravy, se zlepšením efektivity i komfortu pro řidiče. První automobil s osvětlením postavil Carl F. Benz již v roce 1885. Šlo ale spíše o varování okolí než o lepší podmínky k obsluze vozidla. V následujících letech docházelo k postupnému vylepšování osvětlení automobilů až ke světlometům se žárovkami. Vzhledem k nástupu elektrického osvětlení na začátku 20. století se situace proměnila nejvýrazněji. První inovace jsou spojovány s dobou po skončení 1. světové války. Právě halogenové žárovky, datované do 60. let 20. století, přinesly při menší spotřebě energie vyšší svítivost. Xenonová světla, vyvíjená od 90. let přinesla ještě větší účinnost než halogenové žárovky, problémem nicméně byly větší náklady a složitější konstrukce. Dnes jsou běžně používaná LED a xenonová světla, která nabízejí vyšší svítivost a delší životnost než tradiční žárovky. [2]

V budoucnu se očekává další inovace v oblasti osvětlení automobilů. Technologie, jako jsou světla založená na laseru nabízejí potenciál pro ještě výkonnější a energeticky úspornější osvětlení. Současně se očekává integrace s autonomními systémy, které umožní inteligentnější a dynamické řízení světel podle okolního prostředí a potřeb vozidla. [2]

2.2 LED technologie

LED je zkratka z anglického názvu "Light Emitting Diode" (světlo vyzařující dioda) a představuje elektronickou součástku fungující na principu polovodičů, které přeměňují elektrický proud přímo na světlo a teplo. Tyto účinné světelné zdroje jsou schopny dosáhnout vysokého světelného výkonu při zachování malých rozměrů. [1]

Na rozdíl od jiných světelných zdrojů, jako jsou žárovky, výbojky nebo zářivky, LED diody pracují s relativně nízkými hodnotami vstupního napětí a proudu. Mezi další výhody oproti těmto tradičním zdrojům světla patří vysoká účinnost, dlouhá životnost a možnost dosáhnout velkého množství barevných kombinací. V důsledku těchto vlastností se staly základním prvkem v osvětlovacím průmyslu. K těmto výhodám dále můžeme zařadit i odolnost LED vůči nárazům a vibracím. K nesporné výhodě oproti klasickým žárovkám patří jistě i odolnost vůči častému zapínání a vypínání. Klasické žárovky jsou při častém zapínání a vypínání poruchové. [3]

RGB LED jsou typem LED diod, které kombinují tři základní barvy – červenou (R), zelenou (G) a modrou (B) do jediného modulu. Tento typ LED umožňuje generovat širokou škálu barev a odstínů tím, že upravuje intenzitu každé z těchto barev, prostřednictvím průchodu proudu. Každá část RGB LED diody je řízena nezávisle, což umožňuje dosáhnout různých barevných kombinací a efektů. Tyto LED diody jsou obvykle řízeny pomocí mikroprocesorů nebo speciálních řídicích obvodů, což umožňuje přesné nastavení barev a efektů podle požadavků uživatele.

Ke klasickým provedením se řadí LED s drátovými vývody. Tato tradiční forma LED, jsou známé svými kruhovými pouzdry o průměru 3 až 5 mm a často jsou využívány v různých aplikacích. Další formou LED jsou SMD. Ty jsou přizpůsobeny ke strojnímu osazování, dále se využívají například u LED pásků, či LED žárovek. Určitou formou SMD LED by šlo označit COB LED. To je v podstatě SMD LED s výrazně větším, plošším tvarem. Obsahují nespočet čipů v různém uspořádání (paralelně i sériově) umístěném na teplo vodivém substrátu. Jedná se o LED s většími výkony. Poslední formou LED, kterou tu zmíním, je vláknová LED. Zde jsou jednotlivé čipy osazeny do řady na skelném substrátu. Tyto celky jsou poté napodobeninou klasických žárovek. [3]

2.3 Inovativní použití LED v automobilovém průmyslu

Samotná LED technologie přináší do automobilového průmyslu revoluční možnosti osvětlení s nižší spotřebou energie a s vyšší životností. V této kapitole se zaměřím na inovativní aplikace

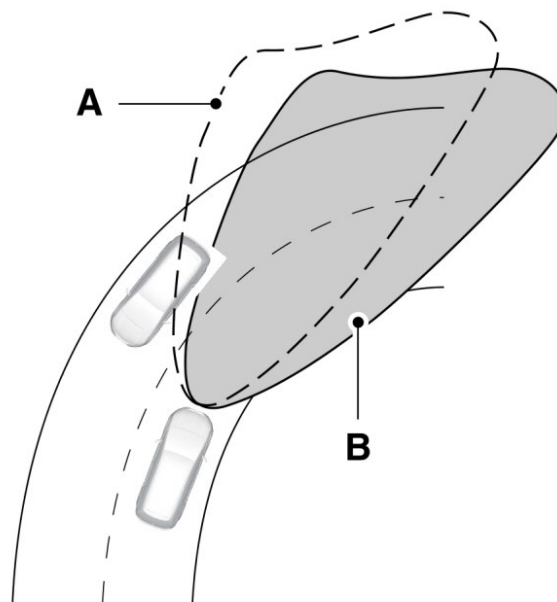
LED a RGB LED, které přinášejí estetické i funkční vylepšení vozidel, s důrazem na využití RGB LED v kontextu elektromobilů. Ty mohou nabízet nejen efektivní osvětlení, ale i zvýraznění specifických funkcí vozidla, či zlepšit samotnou obsluhu vozidla.

Adaptivní světlomety z anglické zkratky AFS (Adaptive Front-light System) mění světelný kužel předních světlometů podle toho, kam automobil jede. Přizpůsobují se rychlosti vozu, úhlu natočení volantu a dalším parametrům, aby maximalizovaly osvětlení cesty a minimalizovaly oslnění ostatních řidičů. Tato technologie je zvláště užitečná při jízdě ve městě, na klikatých silnicích nebo při prudkých zatáčkách, kde dokáže dynamicky přizpůsobit světelný paprsek pro lepší viditelnost. [4]

Systém obsahuje:

- natáčení světlometů podle polohy volantu a rychlosti
- odbočovací světla (při rychlosti do 40 km/h), ty pomocí mlhových světel přisvětlují místo odbočení
- dynamickou regulaci sklonu světel

Na Obr. 1 lze vidět rozdíl automobilu s adaptivními světlomety a bez nich. Vyznačena plocha A je pro automobil bez adaptivních světlometů a B s nimi.



Obr. 1 – Princip adaptivních světlometů [5]

Jedním z dalších hlavních využití LED a RGB LED u dopravních prostředků je podsvícení interiéru. Toto osvětlení může být umístěno pod sedadly, pod palubní deskou nebo kolem stropu a dveří. Podsvícení interiéru nejenže přidává estetický prvek, ale také může zlepšit viditelnost

a bezpečnost v interiéru vozidla. Je většinou realizováno pomocí RGB LED pásků, jejichž barvu a intenzitu svitu lze regulovat pomocí infotainmentu.



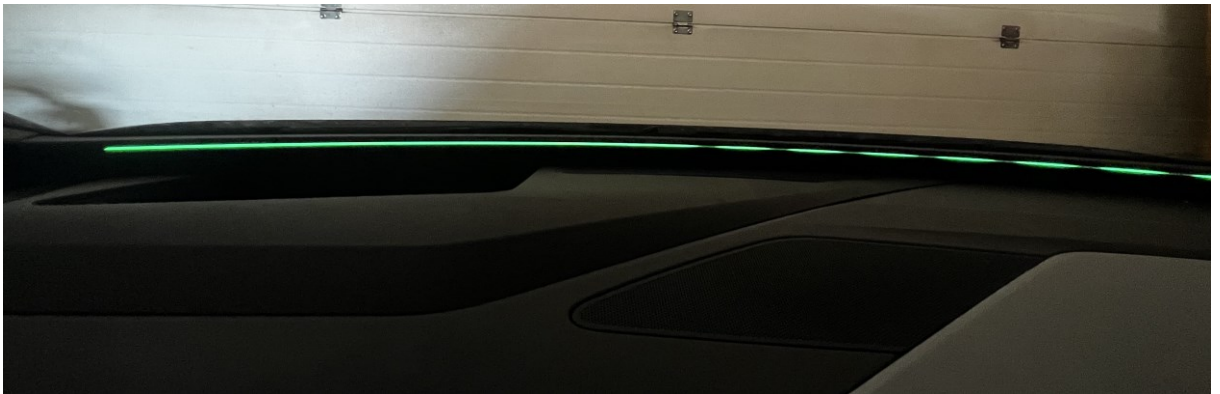
Obr. 2 – Podsvícení dvěří

V případě elektromobilů se RGB LED diody mohou použít k indikaci stavu dobíjení. Specifické barvy, jako zelená, bílá, modrá a červená, mohou poskytnout uživateli jasnou zpětnou vazbu o stavu dobíjení vozidla. Zelená barva většinou signalizuje probíhající dobíjení, bílá naznačuje, že žádné dobíjecí zařízení není připojeno, modrá indikuje komunikaci s dobíjecí stanicí a červená varuje před chybou nabíjení. Toto rozlišení barev můžeme najít u elektromobilů, případně hybridů značky Volkswagen. Například u BMW je probíhající dobíjení označeno barvou modrou. Podobné značení probíhajících procesů dobíjení lze najít i u menších nabíjecích stanic, které většinou nejsou vybavené displejem.



Obr. 3 – RGB LED dioda u elektromobilů v zásuvce

Pokud bychom zůstali u elektromobilů, tak dalším zajímavým řešením je RGB LED pásek pod čelním sklem. Tento prvek je multifunkční a může být řidiči velmi nápomocný. Pokud se jedná o elektromobil tak může sloužit jako ukazatel stavu nabíjení baterie při připojení k dobíjecí stanici. V případech možného střetu při jízdě, nebo například při neaktivitě řidiče se LED pásek může zbarvit do červena a s doprovázejícím výstražným zvukem může upozornit řidiče na hrozící nebezpečí na silnici. Další funkcionalitou může být osvětlení běžícím světlem ve směru odbočení vozidla při zapnuté navigaci, což zlepšuje orientaci řidiče v dopravních situacích. Jedná se o velmi zajímavou a inovativní aplikaci LED technologie.



Obr. 4 – RGB LED pásek – ukazatel stavu nabíjení při připojení k dobíjecí stanici

3 TEORETICKÁ ČÁST

V automobilovém průmyslu se setkáváme s různými typy a množstvím LED diod v osvětlovacích obvodech, které mohou zahrnovat od jedné po desítky diod s různými parametry a vzájemnými zapojeními. Pro jejich napájení je klíčovým prvkem měnič DC-DC, který umožňuje přeměnu vstupního stejnosměrného napětí na požadovanou hodnotu výstupního stejnosměrného napětí. Tyto měniče se v automobilovém průmyslu využívají jako zdrojové moduly pro napájení světelných obvodů. Dále se v obvodech často vyskytují další součástky, které slouží k úpravě a stabilizaci vstupních parametrů, aby bylo zajištěno spolehlivé napájení LED diod.

Měniče DC-DC mají široké spektrum využití v různých aplikacích. Mimo automobilový průmysl se často využívají například ve fotovoltaických systémech, kde mění napětí z fotovoltaických panelů na hodnotu vhodnou pro nabíjení baterií. Dalším příkladem je jejich použití v průmyslových zařízeních, kde zajišťují stabilní napájení pro senzory, řídicí jednotky a další elektronické prvky. V oblasti mobilních zařízení, jako jsou chytré telefony a tablety, se měniče DC-DC používají k regulaci napětí baterií pro nabíjení.

Podle konstrukčního principu můžeme DC-DC měniče rozdělit na dvě skupiny:

- lineární stabilizátory
- spínané zdroje

3.1 Lineární měniče

Lineární měniče (stabilizátory) tvoří jeden z nejdůležitějších prvků v oblasti elektronických zařízení. Umožňují stabilizovat výstupní proud nebo napětí při změnách vstupního napětí, výstupní zátěže a teploty okolí. Lineární měniče se od spínaných měničů odlišují především způsobem transformace energie. Zatímco spínané měniče pracují na principu střídavého spínání a uzavírání obvodů, lineární měniče využívají ztrátovou energii ke stabilizaci výstupního napětí. Vlivem tohoto způsobu mají lineární měniče výrazně nižší účinnost než spínané, a to zejména při velkých rozdílech mezi vstupním a výstupním napětím. Tento faktor činí jejich použití v některých aplikacích, jako je například napájení větších LED osvětlení, méně ekonomicky efektivním. Nicméně, v mnoha případech, zejména při nízkém vstupním napětí a malém množství energie, mohou být lineární měniče vhodnou volbou pro napájení LED diod vzhledem k jejich jednoduché konstrukci a nižším nákladům. [6]

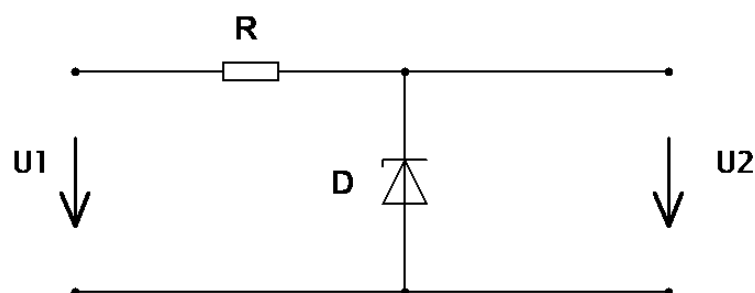
Jedním ze základních parametrů stabilizátorů je činitel stabilizace. Udává poměr mezi relativní změnou vstupního napětí a relativní změnou výstupního napětí. Je to základním parametrem napěťových stabilizátorů, který charakterizuje jejich schopnost udržovat konstantní výstupní napětí při změnách vstupního napětí. Čím vyšší je hodnota K_u , tím efektivnější je stabilizátor v udržování konstantního výstupního napětí při změnách vstupního napětí. Idealizovaný stabilizátor by měl mít činitel stabilizace co nejvyšší, což by znamenalo minimální změnu výstupního napětí při jakékoliv změně vstupního napětí. [6]

$$K_u = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} \text{ při } R_z = \text{konst.} \quad (1)$$

Lineární měniče můžeme dělit na dvě skupiny:

- parametrické
- zpětnovazební

Pro jednodušší aplikace s nižším požadavkem na stabilitu a nízkým odebíraným proudem (v desítkách až stovkách mA) lze využít parametrické stabilizátory. Tyto stabilizátory využívají vhodných voltampérových charakteristik některých součástek. Jejich funkce spočívá v možném rozdílu mezi stejnosměrným a dynamickým odporem stabilizačního prvku v pracovním bodě. Pokud je dynamický odpor v pracovním bodě mnohem menší než stejnosměrný, jedná se o parametrický stabilizátor napětí (například Zenerova dioda nebo dioda v propustném směru). Naopak, pokud je dynamický odpor v pracovním bodě stabilizačního prvku mnohem větší než stejnosměrný, pak se jedná o parametrický stabilizátor proudu (klasickým příkladem jsou výstupní charakteristiky tranzistorů). Tato funkce je založena na principu možného rozdílu mezi stejnosměrným a dynamickým odporem stabilizačního prvku v pracovním bodě. [6]



Obr. 5 – Zapojení stabilizátoru napětí se zenerovou diodou [6]

Lineární zpětnovazební stabilizátory se zakládají na srovnání požadovaného (referenčního) napětí s aktuálním napětím. Referenční napětí obvykle poskytuje Zenerova dioda. Pro regulaci napětí se používá tranzistor pracující v emitorovém sledovači, jehož vodivost je řízena proudem báze, který koriguje odchylku od požadovaného napětí. Dalším důležitým prvkem ve zpětnovazebním stabilizátoru je zesilovač odchylky. Zesilovač zesiluje rozdíl mezi referenčním a výstupním napětím. Výstupní signál operačního zesilovače ovlivňuje již zmíněný sériový regulační tranzistor. Pokud klesá výstupní napětí, například v důsledku vyšší zátěže, regulační odchylka se zvětšuje, což způsobí zvýšení napětí na vstupu regulačního tranzistoru. To snižuje jeho vnitřní odpor a tím se zvyšuje napětí na výstupu. [6]

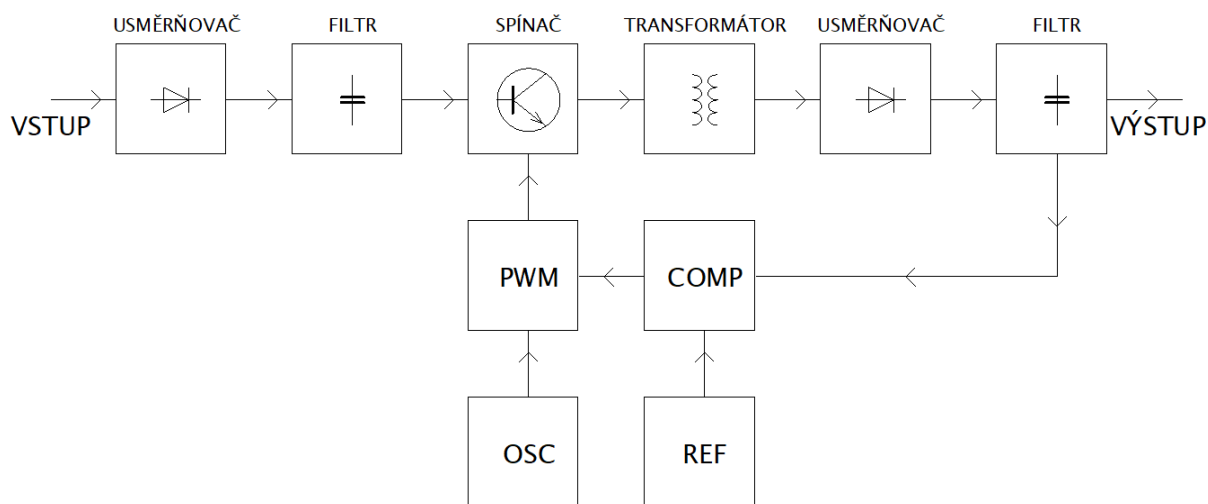
V dnešní době se však lineární stabilizátory používají výhradně ve formě tří svorkových integrovaných stabilizátorů. Integrované stabilizátory jsou elektronické zařízení, které kombinují lineární regulátor napětí do jednoho integrovaného obvodu. Tyto stabilizátory mají několik výhod, včetně jednoduchého zapojení, malých rozměrů, nízkých nákladů a spolehlivosti. Většinou fungují na stejném principu jako zpětnovazební stabilizátory, tedy používají operační zesilovač, který porovnává referenční napětí s výstupním napětím. Pokud dojde ke změně výstupního napětí, operační zesilovač generuje signál řízení, který ovládá výstupní tranzistor, aby se stabilizovalo výstupní napětí na požadované hodnotě. Integrované stabilizátory mohou být navrhovány pro různé úrovně výstupního napětí a proudové zatížení, což umožňuje širokou škálu aplikací. Jsou běžně používány v napájecích obvodech elektronických zařízení, jako jsou například mobilní telefony, počítačové periferie, audio zařízení a další spotřebiče. Vzhledem k jejich jednoduché integraci, spolehlivosti a nízkým nákladům jsou integrované stabilizátory běžnou volbou pro většinu aplikací, kde je potřeba stabilizace napětí. Jsou jedním z nejběžnějších prvků v elektronice dnešní doby.

3.2 Spínané zdroje

Spínané zdroje (SMPS) jsou využívány k přeměně energie do formy vhodné pro spotřebič. Jako jeden z jeho nejběžnějších příkladů zde mohu uvést zásuvkový adaptér, který mění vstupních 230 V střídavých na 5 V stejnosměrných. Spínané zdroje umožňují vytváření kompaktních zařízení s malou hmotností a objemem a s vysokou účinností. Nicméně praktický návrh spínaných zdrojů je mnohem složitější než u lineárních zdrojů a výběr součástek dále zvyšuje jeho náročnost.

Spínané zdroje se skládají z několika základních částí, které jsou uvedeny na Obr. 6. Obecný princip funkce lze popsat z tohoto obrázku. Vstupní střídavé napětí je usměrněno a filtrováno

kondenzátorem. Často na vstupu lze najít i filtr typu dolní propust, který zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje do sítě. Dalším prvkem je elektronický spínač, který je řízen smyčkou zpětné vazby tak, aby výstupní napětí bylo konstantní. Toto obdélníkové napětí ze spínače je transformováno na potřebnou velikost. Dále je potřeba toto napětí znovu usměrnit a vyfiltrovat jeho střídavou složku. Všechny spínané zdroje se řídí pomocí zpětné vazby, která snímá velikost výstupního napětí či proudu a pomocí řídicího obvodu spíná tranzistor. [6]



Obr. 6 – Blokové schéma spínaného zdroje [15]

Spínané zdroje se obvykle dělí na izolované a neizolované. Izolované spínané zdroje využívají transformátor pro izolaci mezi vstupem a výstupem, což je užitečné pro aplikace s vysokou bezpečností, to jsou například lékařská zařízení nebo průmyslová zařízení s vysokou spolehlivostí. Naopak neizolované spínané zdroje neobsahují galvanické oddělení a jsou často používány v běžnějších aplikacích, kde je klíčová cena a efektivita. U spínaných zdrojů bez transformátoru je přímá galvanická vazba ze vstupu na výstup. Tyto obvody mají typicky 5 základních prvků – spínací tranzistor, akumulaci cívku, usměrňovací diodu, výstupní kondenzátor a řídicí integrovaný obvod. Uplatňují se jako zdroje s vysokou účinností pro malá napětí. Jsou typické pro LED drivery. [6]

Rozdělení spínaných zdrojů podle galvanického oddělení:

- bez transformátoru (využívá se pouze cívka)
- s transformátorem (je galvanicky oddělený vstup od výstupu)

Topologie bez transformátoru:

- snižující topologie – Step-down (buck)
- zvyšující topologie – Step-up (boost)
- invertující topologie (buck-boost)

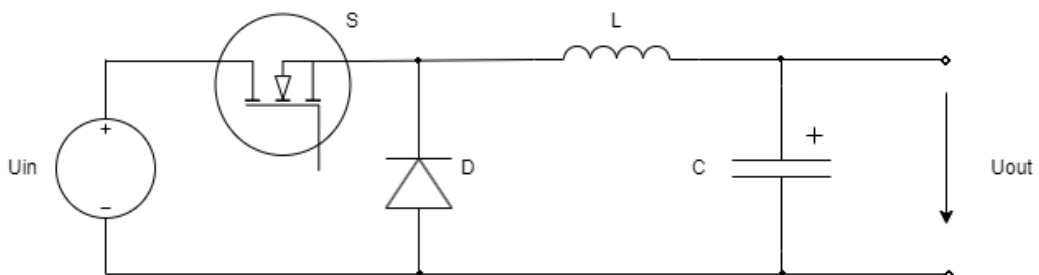
3.2.1 Snižující měnič (buck)

Prvním z uvedených typů měniče je měnič snižující. Již z názvu je zřejmé, že snižuje výstupní napětí oproti vstupnímu. Teoreticky je však možné dosáhnout i napětí stejného jako vstupního. Základním prvkem toho měniče je tranzistor (spínač), který má dva stavy – sepnutý a rozepnutý. V době sepnutého tranzistoru se cívka brání změně, indukuje se v ní napětí a C se nabíjí. Pokud je tranzistor rozepnutý, snaží se indukčnost L udržet velikost a směr proudu. Energie, naakumulovaná během sepnutého spínače se mění na dobíjecí proud a teče do kondenzátoru C a zátěže R. Aby mohl proud do zátěže protékat při rozepnutém spínači, je nutno do obvodu přidat diodu D. Ta uzavře obvod v době rozepnutého spínače. Nejčastěji se používá Schotkyho dioda z důvodu rychlosti spínání a malého úbytku napětí. Z tohoto popisu je zřejmé, že při sepnutém spínači napětí na výstupu roste a při rozepnutí spínače klesá. Tento typ měniče je často označován jako "buck converter" nebo "step-down converter". [6]

$$U_{out} = U_{in} * \frac{T_A}{T_C} \quad (2)$$

Kde T_A je doba sepnutí spínače, T_C je doba periody.

Vzorec udává vztah mezi výstupním a vstupním napětím. Z tohoto vzorce plyne, že výstupní napětí lze pouze snížit oproti vstupnímu, protože zlomek z tohoto vzorce může nabývat pouze hodnot mezi nulou a jednou. Poměrem doby sepnutí a periody regulujeme napětí na výstupu.



Obr. 7 – Snižující měnič [15]

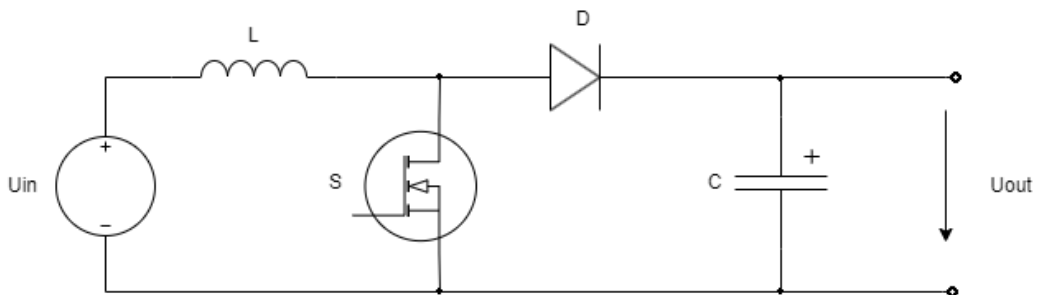
3.2.2 Zvyšující měnič (boost)

Na Obr. 8 lze najít nejjednodušší zapojení zvyšujícího měniče. V prvním kroku (spínač S je sepnut) je výstupní kondenzátor vybíjen do zátěže. To proto, aby nedošlo k vybíjení přes spínač S je zaopatřeno diodou D, která je při sepnutém stavu spínače polarizována v závěrném směru tak, aby nevedla. Ze vstupního stejnosměrného zdroje napětí teče proud, přes indukčnost L a spínač S. V této době se akumuluje energie v magnetickém poli indukčnosti. Proud v této cívce narůstá, až do doby, kdy je spínač rozepnut. [6]

V momentě rozepnutí spínače, se indukčnost L snaží udržet velikost a směr proudu, vzniká na ní indukované napětí opačné polarity. Vzniklé napětí se sečte se vstupním napájecím napětím. Velikost indukovaného napětí závisí na hodnotě indukčnosti cívky L, proudu cívky a rychlosti rozepnutí spínače. Po sečtení vstupního napětí s indukovaným vznikne napětí výstupní, které je vždy vyšší než vstupní. U zvyšujícího měniče se kladou velké nároky na kondenzátor C, ten musí za krátkou dobu naakumulovat velké množství energie. Tento typ měniče je často označován jako "boost converter" nebo "step-up converter". [6]

$$U_{out} = U_{in} * \frac{T_C}{T_B} \quad (3)$$

Kde T_C je doba periody, T_B je doba vypnutí spínače



Obr. 8 – Zvyšující měnič [15]

3.3 Porovnání spínaných zdrojů s lineárními stabilizátory

Základním pozitivem spínaných zdrojů je jejich vysoká účinnost, a to hlavně v případě omezeného výkonu (například výkon dodávaný z autobaterie). Dalšími výhodnými vlastnostmi jsou váha či rozměry. Jednou z nevýhod spínaných zdrojů je nutnost použití součástek, které musí spolehlivě pracovat na vysoké pracovní frekvenci (mezní frekvence tranzistorů a diod, stejnosměrné odpory kondenzátorů), tyto vlastnosti se projevují na ceně součástek. I přesto spínané zdroje vytlačují z trhu lineární regulátory, kvůli svým značným výhodám.

Lineární stabilizátory mají tu výhodu, že jsou jednodušší a levnější na návrh a výrobu než spínané zdroje. Jsou také schopny poskytnout lepší stabilizaci a méně rušení na výstupu. Na druhou stranu mají nižší účinnost a jsou omezené výkonem a teplotními parametry, což může vést k většímu zahřívání. Problémem lineárních stabilizátorů je to, že se vlastně chovají jako rezistor, který je umístěn sériově s napájením a přizpůsobuje svou hodnotu tak, aby na výstupu bylo konstantní napětí či proud. [6]

Tab. 1 – Porovnání spínaných zdrojů s lineárními stabilizátory [15]

parametr	spínaný zdroj	lineární zdroj
účinnost	70-90 [%]	20-50 [%]
velikost	0,2 [W/cm ³]	0,05 [W/cm ³]
váha	100 [W/kg]	20 [W/kg]
výstupní zvlnění	50 [mV]	5 [mV]
šumové napětí	200 [mV]	50 [mV]
odezva na skok	1 [ms]	20 [μs]
doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
cena	přibližně konstantní	roste s výkonem

V Tab. 1 se nachází porovnání spínaných zdrojů s lineárními stabilizátory. Běžná účinnost spínaných zdrojů se pohybuje kolem 70 % - 90 %. Účinnost lineárních stabilizátorů se obvykle pohybuje kolem 20 % až 50 %, přičemž nižší účinnost je častější. [15]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická realizace navrhovaného proudového zdroje pro napájení RGB LED představuje klíčovou fází této bakalářské práce. Tato kapitola se zaměřuje na konkrétní návrhy řešení. Cílem této části je provést základní zapojení dvou integrovaných stabilizátorů, ověřit jejich parametry, navrhnout dva spínané snižující zdroje, které budou napájet RGB LED. Praktická realizace bude zahrnovat konkrétní výběr komponentů, které budou použity v navržených spínaných zdrojích.

4.1 Vstupní parametry a výběr RGB LED

V první řadě bylo nutné určit vstupní parametry a vybrat LED, pro kterou budou všechny obvody navrhovány. Pro tuto bakalářskou práci byla zvolena tato dioda – OSTCXBEAC, jedná se o 3 W RGB LED diodu. Všechny její parametry jsou uvedeny v Tab. 2. Daný zdroj je tedy zamýšlený pro použití v dobíjecí zásuvce elektromobilu. Funkce RGB LED v zásuvce elektromobilu je zmíněna v úvodní kapitole. Případně by i tato dioda vyhovovala v použití podsvícení interiéru. Pro účely této práce budeme předpokládat, že vstupní napětí odpovídá standardnímu palubnímu napětí 12 V. V elektromobilu však může dojít ke kolísání palubního napětí, například z důvodu zatížení spotřebiči, či nízké úrovně nabití baterie. Z tohoto důvodu je uvažováno vstupní napětí mezi 9–14 V.

Tab. 2 – Specifikace 3 W RGB LED [16]

Typ diody	LED výkonová
Barva diody	RGB
Vyřazovací úhel	120°
Max. proud diody	350 mA
Výkon	3 W
Pracovní teplota	-30 až 85 °C
Pracovní napětí R	2 až 3 V
Pracovní napětí G, B	3 až 4 V

Ze vstupních parametrů a parametrů LED je zřejmé, že pracovní napětí LED je menší než minimální napájecí napětí o zhruba 7 V. Proto bude v této práci navržen snižující měnič. Do volby této konkrétní LED rovněž zasáhla možnost porovnání lineárních stabilizátorů se spínanými zdroji.

4.2 Návrh napájení LED pomocí obvodu L7806cv

Napájení LED lineárními stabilizátory bylo realizováno hlavně z důvodu porovnání se spínanými zdroji, proto jsou oba stabilizátory (L7806CV, LM317) realizovány pouze pro napájení jedné LED. Konkrétně červené barvy z již zmíněného modulu OSTCXBEAC.

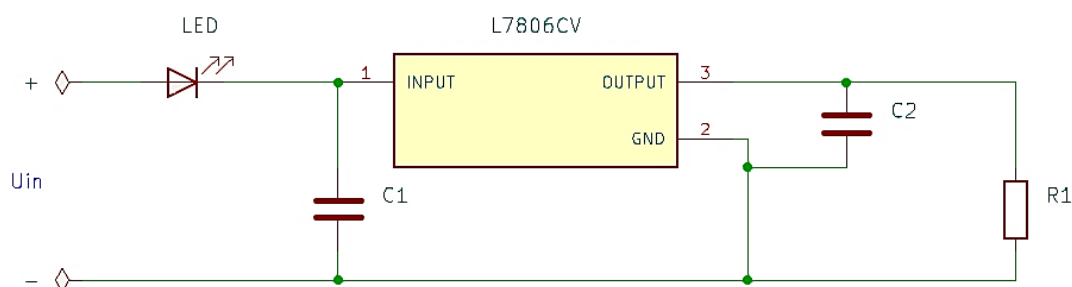
Integrovaný stabilizátor L7806cv, zařazený do řady L78xx, představuje tří pinový regulátor napětí. V rámci této řady existují také regulátory s označením 79xx, které slouží pro záporné výstupní napětí. Primárním účelem těchto regulátorů je obvykle stabilizace výstupních napětí. Nicméně, vzhledem k jejich vlastnostem je také možné dosáhnout stabilního proudu. [7]

Regulátor L7806cv poskytuje stabilní výstupní napětí 6 V. Tento stabilizátor je často využíván v širokém spektru aplikací, včetně napájení LED diod. Vzhledem ke schopnosti poskytovat konstantní napětí může být efektivně využit k zajištění konstantního proudu pro LED diody. Je často používán také z důvodu jednoduchosti zapojení. [7]

Je vhodné tyto obvody doplnit externími kondenzátory dané výrobcem. Nicméně nevyžadují externí součástky pro nastavení výstupního napětí. Tento obvod v sobě obsahuje také proudovou ochranu a ochranu proti přehřívání. Obvod využívá zpětnovazební smyčky k udržování konstantního výstupního napětí. Zesilovač odchylky zesiluje rozdíl mezi výstupním a referenčním napětím. Výstup tohoto zesilovače poté budí regulační tranzistor. V případě snížení napětí na výstupu se zvýší regulační odchylka a tranzistor bude buzen vyšším napětím. [7]

K nevýhodám tohoto obvodu patří i to, že vstupní napětí musí být vždy o něco vyšší než výstupní. Při zkoušení a měření tohoto obvodu byla tato hodnota většinou okolo 2 V. Rozdíl mezi vstupním a výstupním výkonem se přeměňuje na teplo, což znamená, že tento obvod vyžaduje dostatečné chlazení, a to obzvláště při vyšších vstupních výkonech.

Nyní zde budou uvedena samotná schémata zapojení. Schéma je velmi jednoduché a vychází ze základního zapojení tohoto obvodu. Podle katalogového listu byly použity 100nF kondenzátory (V Obr. 9 C1 a C2). [7]



Obr. 9 – Zapojení L7806 pro napájení LED, podle kat. listu [7]

Před samotným zapojením a měřením bylo zapotřebí spočítat hodnotu odporu zátěže, který bude stanovovat proud obvodem, a tedy i proud LED. Z hodnoty výstupního napětí je pomocí jednoduché rovnice (4) získána hodnota proudu obvodem. Ta vyhovuje vzhledem k maximálnímu proudu $I_{max} = 350 \text{ mA}$. [7]

$$I_{out} = \frac{U_{reg}}{R_z} = \frac{6}{72} = 83,3 \text{ mA} \quad (4)$$

V první řadě bylo nutné ověřit funkčnost obvodu. Proto bylo nejdříve zapojeno schéma podle Obr. 9 bez LED a sledován proud obvodem a výstupní napětí se změnou vstupního napětí.

Tab. 3 – Zapojení 7806 bez LED

$U_{in} \text{ [V]}$	8	10	12	14	16	18	20	22
$U_{out} \text{ [V]}$	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,94	5,94	5,94
$I \text{ [mA]}$	86,8	86,9	87	87,1	87,1	87,2	87,3	87,3

Z těchto změřených hodnot je patrná stabilizace napětí. Je zřejmé, že i při velké odchylce vstupního napětí je výstupní napětí i proud takřka beze změny. V katalogovém listu výrobce je uvedena tolerance výstupního napětí 4 %, což odpovídá změřeným hodnotám. [7]

Dalším krokem byla realizace tohoto obvodu i s LED, podle již zmíněného Obr. 9. Připojením LED na vstup došlo k posunutí hranice vstupního napětí o pracovní napětí LED, tedy o zhruba 3 V.

Tab. 4 – Zapojení 7806 s LED

$U_{in} \text{ [V]}$	12	14	16	18	20	22	24
$I \text{ [mA]}$	86,7	86,7	86,8	86,9	87	87,1	87,1

Z tabulky je zřejmý proud LED při změně vstupního napětí. V obou tabulkách lze vidět i mírně rozdílný výstupní proud, to je dáno nepřesností při měření. Z těchto hodnot lze dále určit účinnost celého obvodu a poměr výkonů v obvodu.

Tab. 5 – Rozdělení výkonů v obvodu L7806

Výkon LED		Ztrátový výkon		Příkon	
U_{led} [V]	2,9	$U_{\text{spotř}}$ [V]	9,1	U_{in} [V]	12
I_{led} [mA]	87	$I_{\text{spotř}}$ [mA]	87	I_{in} [mA]	87
P_{led} [W]	0,252	$P_{\text{spotř}}$ [W]	0,792	P_{celk} [W]	1,044
P_{led} [%]	24,2	$P_{\text{spotř}}$ [%]	75,8	P_{celk} [%]	100,0

Ze změřených hodnot z předchozí kapitoly vyplývá velmi špatná účinnost. Téměř 76 procent vložené energie se spotřebuje na stabilizátoru a na odporu. Celková účinnost by ještě více klesala se zvyšujícím se vstupním napětím. V tomto návrhu zapojení bylo využito připojení konstantní zátěže (odporu) na výstup stabilizátoru. Tím byl získán konstantní proud obvodem, kvůli konstantnímu výstupnímu napětí stabilizátoru. Na závěr je třeba uvést, že všechny součástky mají toleranci, teplotní drift, a proto naměřené hodnoty exaktně neodpovídají vypočteným.

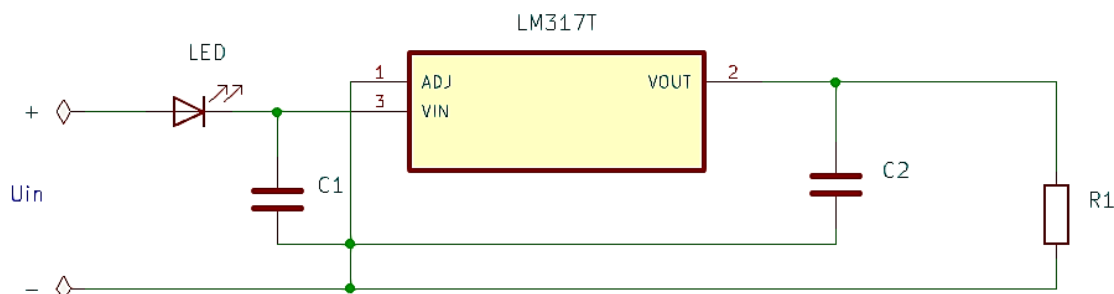
4.3 Návrh napájení LED pomocí obvodu LM317

LM317 je integrovaný stabilizátor napětí, který pracuje na principu zpětnovazebního řízení. Jeho základní funkcí je udržovat stabilní výstupní napětí nezávisle na změnách vstupního napětí a zatížení. K dosažení tohoto cíle LM317 využívá referenčního zdroje napětí, který poskytuje konstantní referenční hodnotu. Tato referenční hodnota je porovnávána s výstupním napětím a jakmile je detekována jakákoli odchylka, rozdílový zesilovač zpětné vazby generuje odpovídající korekční signál pro řízení tranzistoru, který reguluje výstupní napětí. Tento mechanismus umožňuje LM317 udržovat konstantní výstupní napětí při různých podmínkách provozu. Vzhledem k tomuto způsobu fungování LM317 může být použit k regulaci jak napětí, tak proudu. To znamená, že je vhodný nejen pro napájení LED diod, ale i pro širokou škálu dalších aplikací, kde je zapotřebí stabilní napájení. [8]

Narozdíl od L7806cv, má tento obvod nastavitelné výstupní napětí. Výstupní proud tohoto stabilizátoru je možný až do 1,5A, přičemž výstupní napětí lze nastavit od 1,25 V až do 37 V. Toto výstupní napětí lze jednoduše nastavit pomocí odporového děliče. Pro napájení LED však stačilo výstupní stabilizované napětí 1,25 V a pomocí hodnoty zatěžovacího odporu došlo k určení hodnoty proudu, který protéká obvodem, podle vzorce (5). [8]

$$I_{out} = \frac{U_{reg}}{R_z} = \frac{1,25}{10} = 125mA \quad (5)$$

Stejně jako u L7806 byl nejdříve zapojen obvod a ověřena jeho funkce bez LED.



Obr. 10 – Zapojení LM317 pro napájení LED, podle kat. listu [8]

Tab. 6 – Zapojení LM317 bez LED

U_{in} [V]	3	6	9	12	15	17	19	21	23
U_{out} [V]	1,2	1,21	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,24	1,25
I [mA]	126,8	127,3	128,2	128,9	131	131,9	132,8	133,7	134,5

Zapojením a měřením bez LED byla ověřena funkčnost tohoto obvodu. Z naměřených dat z Tab. 6 je zřejmá napěťová stabilizace, tím pádem i stabilizace proudu (při konstantní zátěži). Nicméně z dat je zřejmá větší odchylka výstupního napětí při různých vstupních napětích než u L7806cv.

Tab. 7 – Zapojení LM317 s LED

U_{in} [V]	6,5	9	12	15	17	19	22	24
I [mA]	126,6	127,6	129,5	130,9	131,4	132,9	134	135

V měření s LED byla posunuta dolní hranice napájení obvodu, kvůli připojení LED. Proud obvodem se prakticky nezměnil (malé odchylky jsou dány chybou měření). V Tab. 8 je znovu uvedena účinnost obvodu. Účinnost obou obvodů je v obou tabulkách stejná, je to z důvodů stejných vstupních hodnot a použití stejné LED.

Tab. 8 – Rozdělení výkonů v obvodu LM317

Výkon LED		Ztrátový výkon		Příkon	
U_{led} [V]	2,9	$U_{spotř}$ [V]	9,1	U_{in} [V]	12
I_{led} [mA]	130	$I_{spotř}$ [mA]	130	I_{in} [mA]	130
P_{led} [W]	0,377	$P_{spotř}$ [W]	1,183	P_{celk} [W]	1,560
P_{led} [%]	24,2	$P_{spotř}$ [%]	75,8	P_{celk} [%]	100,0

4.4 Zhodnocení napájení LED pomocí lineárních stabilizátorů

První poznatek, který je potřeba zmínit v porovnání obou obvodů pro zapojení s 1 W LED je napájení. Pro mé požadavky použití v dopravním prostředku uvažuji vstupní napětí 9–14 V. U L7806cv je nejnižší hodnota vstupního napětí 12 V. Dané napětí je vybráno jednak z důvodu pracovního napětí na LED, a jednak z důvodu toho, že samotný obvod potřebuje minimálně o 2 V navíc k tomu, aby fungoval. Nicméně by mohl být použit obvod L7805cv, čímž by došlo ke snížení minimálního vstupního napětí o 1 V. Oproti tomu LM317 pracuje i s LED od 6,5V. To je zásadní výhoda tohoto obvodu.

Výkonové porovnání napájení LED je prakticky stejné. Je to kvůli stejným hodnotám proudu obvodem, jelikož nebyl uvažován zpětnovazební proud I_{adj} , který je podle katalogového listu obou obvodů v řádu desítek mikroampérů (μA). Je tedy pro tento výpočet zanedbatelný.

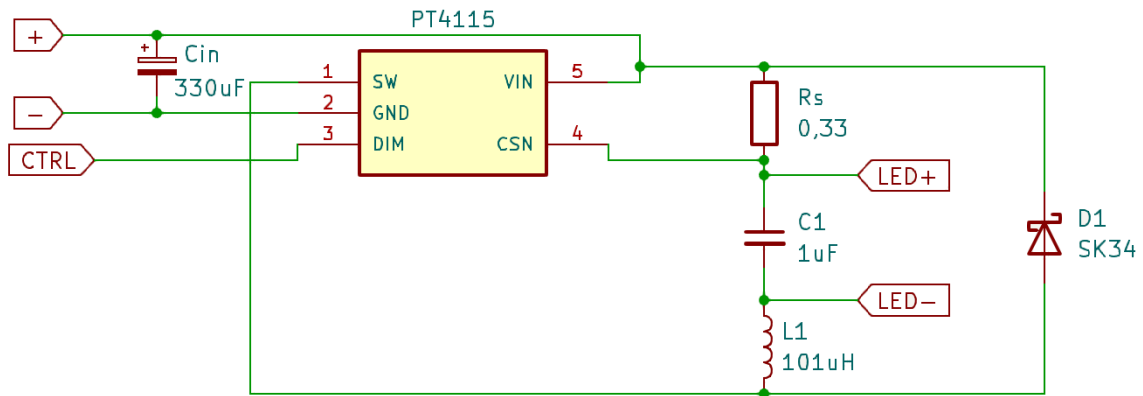
U obvodu LM317 je zásadní ještě jedna věc, a to teplotní stabilita. Při měření po přimontování chladiče došlo ke změření výrazně jiných hodnot, kdežto u L7806 byl tento jev zanedbatelný.

Nicméně i přes to, že LM317 je méně teplotně stabilní, je vhodnější pro použití při napájení autobaterií.

4.5 Návrh spínaného zdroje s PT4115

První z obvodů, který byl vybrán pro realizaci snižujícího měniče je PT4115. Tento obvod byl realizován pro vybranou RGB LED. Obvod je určen pro buzení jedné nebo více sériově zapojených LED ze zdroje napětí vyššího, než je celkové napětí LED. Rozsah vstupního napětí je mezi 6 a 30 V, dále poskytuje externě nastavitelný výstupní proud až do 1,2A. V závislosti na napájecím napětí a externích součástkách může poskytovat více než 30 wattů výstupního výkonu. PT4115 obsahuje spínací MOSFET tranzistor a obvod pro snímání výstupního proudu, ten používá externí rezistor k nastavení výstupního proudu. [9]

Tento obvod obsahuje řídicí vstup DIM. Tímto lze regulovat střída spínání tranzistoru, a tedy výstupní proud danou LED, který je závislý na intenzitě emitovaného světla. Jsou dvě možnosti, čím řídit tento obvod, buď stejnosměrným napětím nebo pulzně šířkovou modulací. Na Obr. 11 je vidět základní zapojení tohoto obvodu. Obvod byl realizován celkem třikrát, pro každou barvu jeden.



Obr. 11 – Základní zapojení PT4115, podle kat. listu [9]

Zde bude zmíněn samotný návrh součástek. Jako první bylo nutné určit nominální výstupní proud. Ten je určen hodnotou externího snímacího rezistoru R_s , který je připojen mezi piny VIN a CSN. Je určen následujícím vztahem. [9]

$$I_{out} = \frac{0,1}{R_s} = \frac{0,1}{0,33} = 0,3A \quad (6)$$

Tato rovnice platí tehdy, když je pin DIM nepřipojen nebo je k němu přivedeno napětí vyšší než 2,5V. Vlastně R_s určuje maximální proud, který lze snížit stmíváním na nižší hodnotu.

Vstupní kondenzátor slouží k filtraci vstupního signálu. Katalogový list výrobce obvodu doporučuje použití kondenzátoru s nízkým ESR. Výrobce stanovuje i minimální hodnotu kapacity. Pro nenáročné aplikace je uvedena hodnota 4,7uF. Výrobce však doporučuje použití kondenzátoru nad 100uF. Proto byl zvolen elektrolytický kondenzátor o kapacitě 330uF s napětím 25 V. Jedná se o kondenzátor s označením low ESR. [9]

U výběru cívky výrobce doporučuje hodnoty indukčnosti v rozmezí 27uH až 100uH. Vyšší hodnoty indukčnosti jsou doporučeny pro nižší výstupní proud, aby se minimalizovaly chyby způsobené spínáním, což vede ke zvýšenému zvlnění a nižší účinnosti. Vyšší hodnoty indukčnosti také způsobují menší změnu výstupního proudu v rozsahu napájecího napětí.

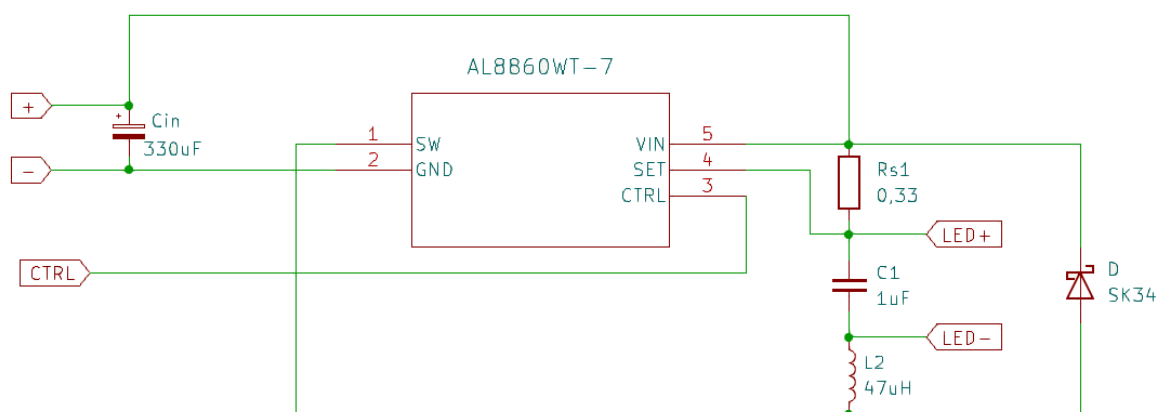
Induktor by měl být umístěn co nejbližší k zařízení s nízkým odporovým spojením k pinům SW a VIN. Výrobce v katalogovém listu uvádí doporučené hodnoty indukčnosti podle výstupního proudu. Pro proud nižší než 0,4 A je stanovena indukčnost na 68 – 220uH. Pro tento obvod byla zvolena indukčnost o hodnotě 101uH. [9]

Poslední součástí, kterou bylo potřeba zvolit je dioda. Pro maximální účinnost a výkon katalogový list doporučuje rychlou Schottkyho diodu s nízkou kapacitou a nízkým reverzním úbytkem při maximálním provozním napětí a teplotě. Tyto diody také poskytují lepší účinnost než křemíkové diody, kvůli kombinaci nižšího úbytku napětí a zkrácené doby obnovy. Je nutno brát ohled i na špičkový proud cívky. Ten musí být nižší než maximální proud diodou. Pro účely práce byla zvolena Schottkyho dioda s označením SK34 s maximálním reverzním napětím 30 V a maximálním zatěžovacím proudem 3 A. [9]

Výrobce dále doporučuje přidání kondenzátoru paralelně k LED. Ten sníží výstupní zvlnění proudu vzniklé spínáním. Katalogový list určuje hodnotu tohoto kondenzátoru jako 1uF. Dále upozorňuje na to, že jeho přidání zvýší dobu startu a sníží frekvenci stmívání. Přidáním tohoto kondenzátoru se změní průběh proudu skrz LED z pilovitého průběhu na uhlazenější verzi proudu, aniž by byla změněna střední hodnota proudu. [9]

4.6 Návrh spínaného zdroje s AL8860

AL8860 je spínaný snižující měnič. Je určený pro efektivní řízení jedné, nebo více sériově zapojených LED diod z napěťového zdroje vyššího, než je napětí LED. Obvod může pracovat se vstupním napětím mezi 4,5 V a 40 V a poskytovat externě nastavitelný výstupní proud až 1 A pro pouzdro TSOT25 a 1,5 A pro pouzdro MSOP-8EP. V závislosti na vstupním napětí a externích komponentech může tento měnič poskytnout až 40 wattů výstupního výkonu. AL8860 integruje výkonový spínač (MOSFET) a obvod snímání výstupního proudu, který využívá externí rezistor k nastavení nominálního výstupního proudu. Stmívání lze realizovat pomocí externího řídicího signálu připojeného k pinu CTRL. Na pin CTRL můžeme přivést buď signál stejnosměrného napětí, nebo signál PWM. Možnosti a provedení řízení budou blíže představeny v jedné z nadcházejících kapitol. Katalogový list dále uvádí vysokou účinnost (až 97 %) a frekvenci spínání až 1MHz. Nyní zde budou uvedeny základní zapojení tohoto obvodu a stanovení hodnot součástek. Samotný obvod byl realizován třikrát, a to pro každou barvu LED. [10]



Obr. 12 – Základní zapojení AL8860, podle kat. listu [10]

Dimenzování součástek pro tento obvod je velice podobné jako u PT4115. Oba obvody pracují na stejném principu. Výstupní proud LED je určen hodnotou externího rezistoru pro snímání proudu (R_s), který je připojen mezi VIN a SET. Je určen z následujícího vztahu (7).

$$I_{out(nom)} = \frac{0,1}{R_s} = \frac{0,1}{0,33} = 0,3A \quad (7)$$

Pro vstupní filtraci signálu je vhodné použít kondenzátor s nízkým ESR (ekvivalentní sériový odpor). Při vyšší hodnotě ESR kondenzátoru dochází k větším ztrátám energie ve formě tepla, což může vést ke snížení účinnosti a výkonu. Tento kondenzátor musí zajišťovat relativně vysoký špičkový proud do cívky a vyhladit kmitání vstupního proudu. Minimální potřebná kapacita je určena vstupním výkonem, délkou vodičů a špičkovým proudem. Hodnoty 4,7 µF až 10 µF jsou běžně používané pro většinu případů. Nicméně vyšší hodnota kapacity je pro nižší vstupní napětí doporučena výrobcem. Vstupní kondenzátor by měl být umístěn co nejblíže k integrovanému obvodu. Pro maximální stabilitu při změnách teploty a napětí se doporučují kondenzátory s dielektrikem X7R, X5R nebo lepším. Kondenzátory s dielektrikem Y5V nejsou vhodné pro použití v této aplikaci a neměly by být používány. Pro realizaci obvodu byl zvolen elektrolytický kondenzátor o kapacitě 330µF s napětím 25 V. Jedná se o kondenzátor s označením low ESR. [10]

Podmínky výběru diody výrobce ukládá prakticky stejně jako u PT4115. Dioda by měla být nízkokapacitní rychlá Schottkyho dioda. Tyto diody také poskytují lepší účinnost než křemíkové diody, vzhledem ke kombinaci nižšího úbytku napětí a zkrácené doby obnovy. Dále je nutno brát ohled na špičkový proud cívky. Z těchto důvodů byla zvolena stejná dioda jako u

PT4115, a to Schottkyho diodu s označením SK34 s maximálním reverzním napětím 30 V a maximálním zatěžovacím proudem 3 A. [10]

Pro obvod AL8860 jsou doporučené hodnoty cívky v rozmezí 33 μH až 100 μH . Při vyšších napájecích napětích se doporučuje použití vyšší indukčnosti. Cívka by měla být umístěna co nejbližší k zařízení s nízko-odporovými spojeními k pinům SW. Zvolená cívka by měla mít hodnotu saturačního proudu vyšší než špičkový výstupní proud. Obvod byl realizován s cívkou o hodnotě 47 μH a se saturačním proudem 900 mA. [10]

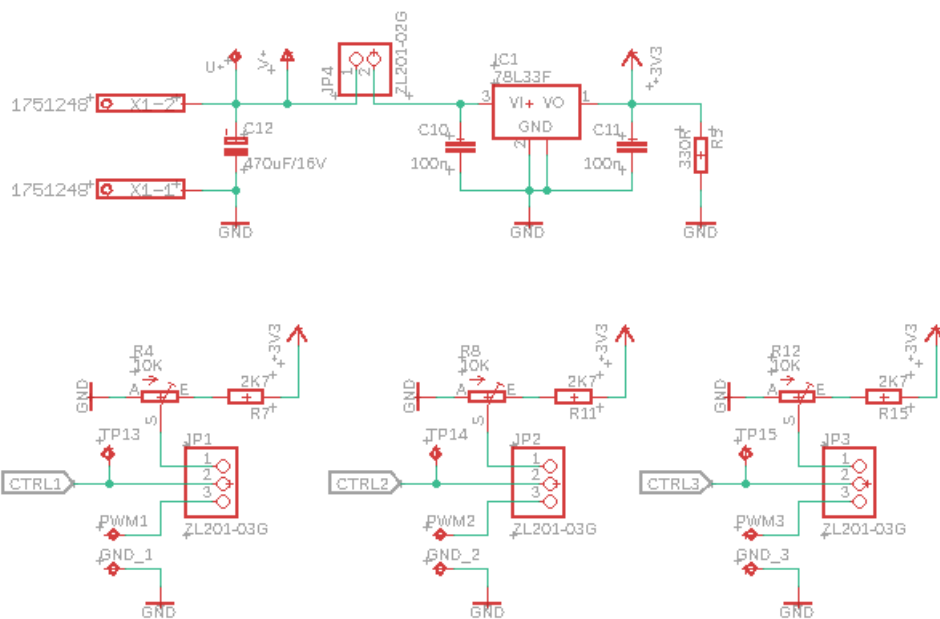
Aby obvody byly totožné pro porovnání, bylo nutné doplnit kondenzátor paralelně k LED jako u PT4115. Hodnota tohoto kondenzátoru je zvolena stejně jako u předchozího obvodu 1 μF .

Z katalogového listu po určení součástek můžeme odečíst i hodnotu frekvence spínání. Pro hodnoty $R_s = 0,33 \Omega$, $U_{in} = 12 \text{ V}$ a $L = 100 \mu\text{H}$ lze z grafu odečíst hodnotu 250kHz. V případě mé práce se hodnota indukčnosti malinko liší, nicméně na hodnotu frekvence by to nemělo mít velký vliv. [10]

4.7 Výroba DPS

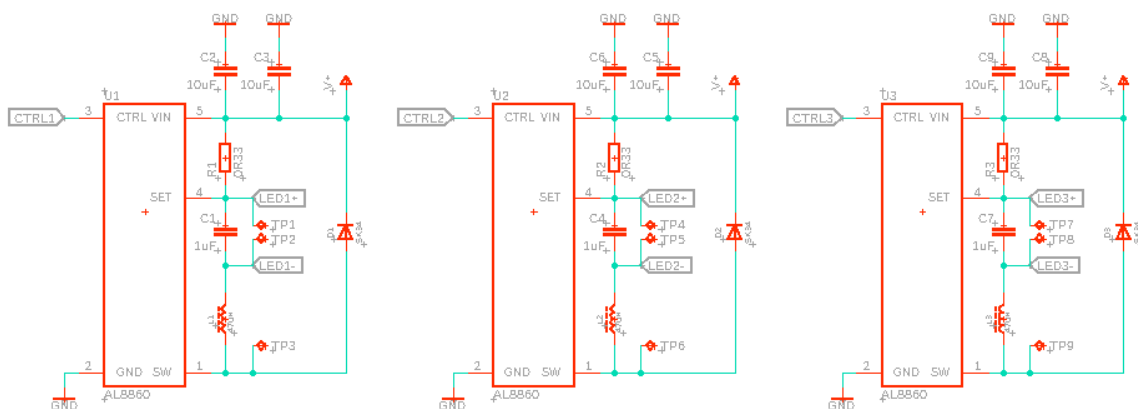
Plošný spoj byl realizován v programu Eagle poskytovaný firmou Autodesk. Všechny zakoupené součástky jsou typu SMD. Celý modul byl realizován jako oboustranný, a to z důvodu množství součástek. Pro PT4115 i pro AL8860 jsou DPS prakticky stejné. Proto jsou zde uvedeny obrázky pouze jednoho modulu, druhého jsou uvedeny v příloze tohoto dokumentu. Z hlediska toho, že byl celý modul vyroben spíše pro demonstrační či školní účely, jsou na DPS realizovány měřící body, ve schématu označené jako TP. Na celé DPS jich je hned několik, první jsou umístěny z obou stran každé barvy diody, jeden mezi pinem SW (pin od MOSFET tranzistoru) a cívkou, dále za řídicím obvodem pro měření řídicího analogového napětí. Na DPS jsou tyto piny celkem třikrát, pro každý obvod jeden.

Dále bylo nutné realizovat přepínač mezi řídicími obvody. Ten byl realizován pomocí třech oboustranných kolíků, ty se dají poté spojit pomocí propojky. Prostřední kolík je vždy propojen s pinem CTRL či DIM. Levý byl propojen s pinem pro řízení PWM a pravý byl propojen s výstupem z analogového obvodu. Propojka propojí vždy dva kolíky. Tedy je možné přendávat propojku mezi PWM a analogovým řízením. Každou barvu je tedy možno řídit individuálně podle uživatele. Dále se na DPS nachází ještě jeden dvou pinový kolík, ten slouží k odpojení napájení analogového řízení.



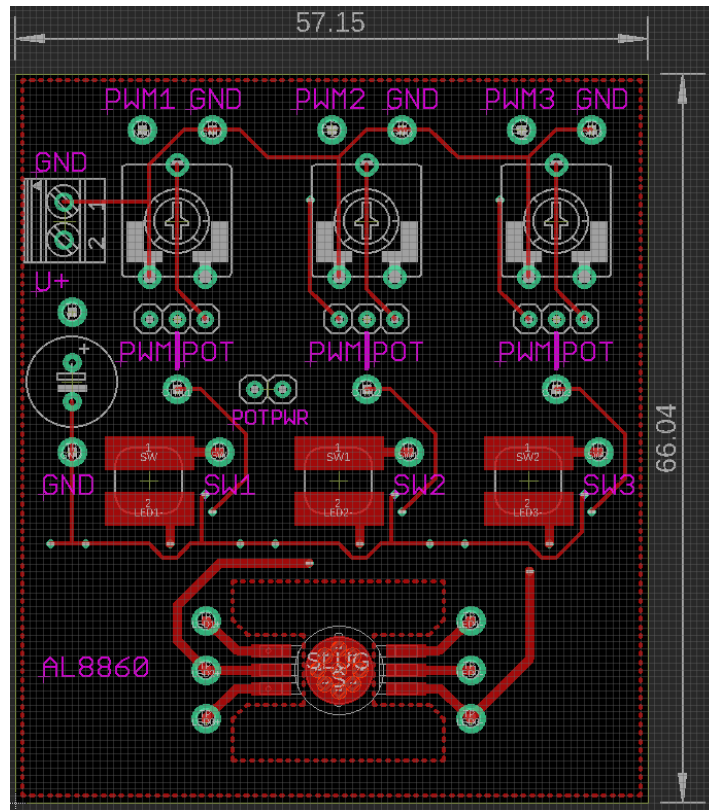
Obr. 13 – Návrh vstupních obvodů obou spínaných zdrojů z programu Eagle

Z důvodů rozsáhlosti navrženého schématu bylo celé schéma nutno rozdělit do dvou obrázků. Prvním je schéma analogového a PWM řízení. Dalším je konkrétní zapojení AL8860 na Obr. 14.

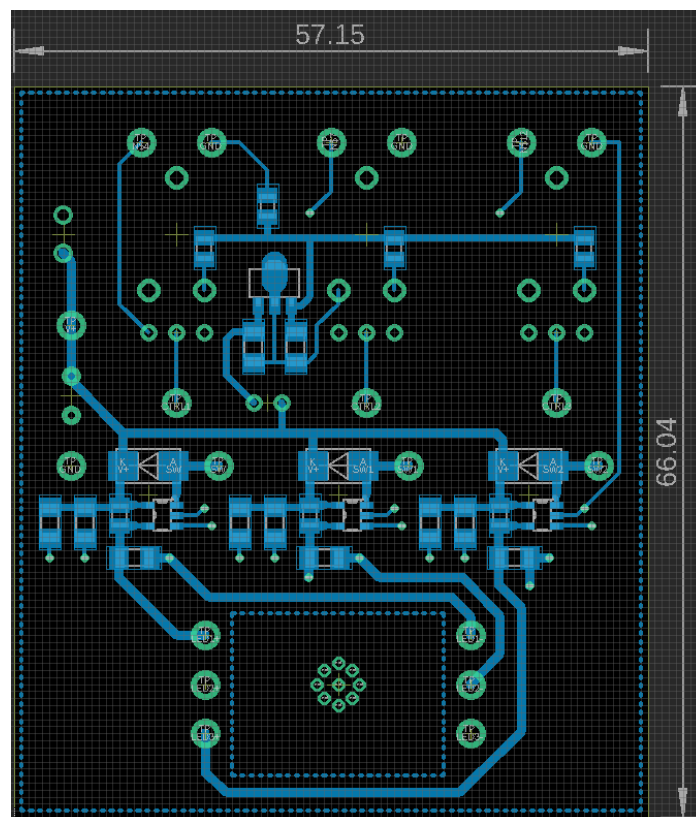


Obr. 14 – Návrh zapojení AL8860 v programu Eagle, podle kat. listu [10]

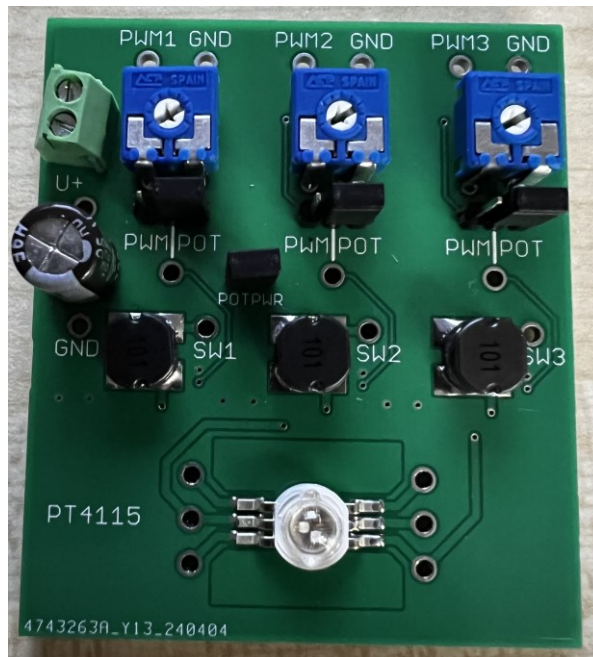
Poslední obrázky, které zde budou uvedeny jsou návrhy samotné DPS z programu Eagle a nakonec celý realizovaný a osazený plošný spoj.



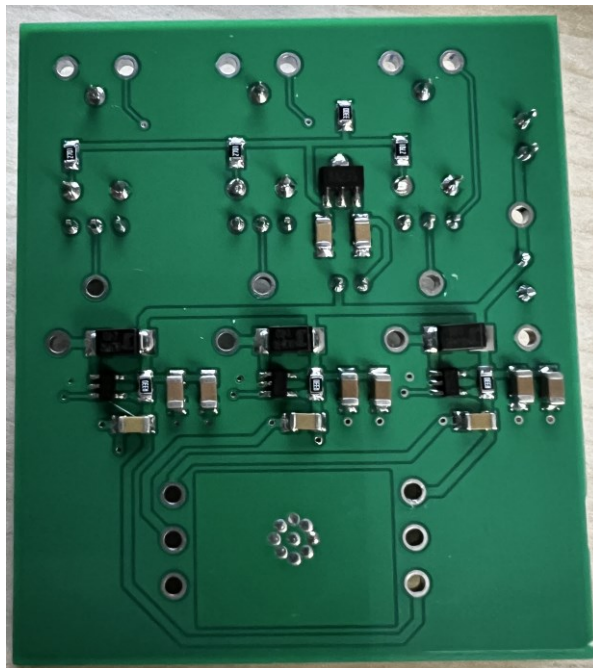
Obr. 15 – Vrchní pohled plošného spoje pro obvod AL8860 se součástkami



Obr. 16 – Spodní pohled plošného spoje pro obvod AL8860 se součástkami



Obr. 17 – Vrchní pohled s osazenými součástkami



Obr. 18 – Spodní pohled s osazenými součástkami

4.8 Možnosti řízení obvodu PT4115 a AL8860

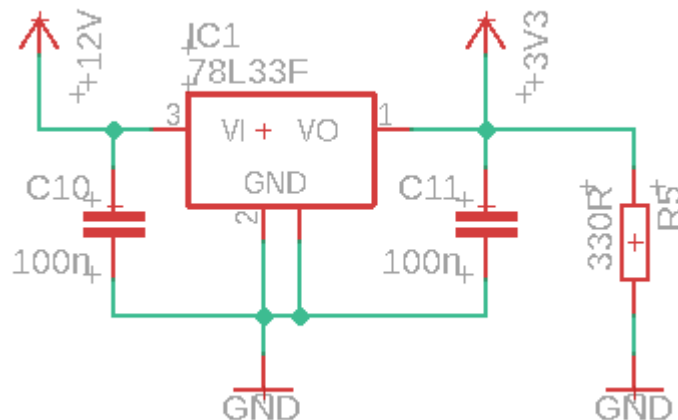
Řízení výstupního proudu je pro oba obvody stejné. U PT4115 je obvod řízen pinem DIM a u AL8860 pinem CTRL. Jsou dvě možnosti, jak tyto obvody řídit:

- Analogové řízení
- PWM řízení

4.8.1 Analogové řízení spínaných zdrojů

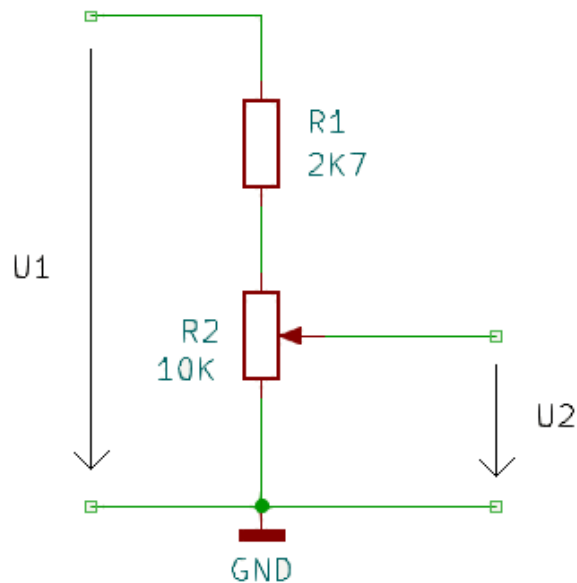
Prvním řízením je analogové. Oba obvody lze řídit stejnosměrným napětím v rozmezí od 0,3 V do 2,5 V, a tím nastavit výstupní proud v rozmezí od 0 do 100 %. Pokud napětí na pinu CTRL či DIM překročí 2,5 V, proud LED bude omezen na 100 % hodnoty. Naopak, pokud napětí na pinu CTRL klesne pod hranici 0,3 V, výstupní tranzistor bude vypnut.

Tento obvod je napájen 12 V, proto bylo vhodné použít lineární stabilizátor, a tím stabilizovat napětí na 3,3 V. Dále s použitím odporového děliče s potenciometrem řídit napětí v rozmezí již zmíněných 0–2,5 V. Na Obr. 19 lze vidět zapojení tohoto stabilizátoru. Obsahuje dva stabilizační kondenzátory, které si vyžaduje katalogový list a zatěžovací odpor z důvodu správnosti jeho funkce. Lineární stabilizátor potřebuje určitou minimální zátěž na svém výstupu, aby mohl správně regulovat napětí. Tento odpor na výstupu stabilizátoru slouží jako zátěž a umožňuje stabilizátoru udržovat konstantní výstupní napětí bez oscilací nebo nestabilit.



Obr. 19 – Zapojení vstupního stabilizátoru pro analogové řízení, podle kat. listu [7]

Tímto obvodem je stabilizováno napětí. Dále je potřeba toto napětí řídit v daném rozmezí 0–2,5 V. Toho je dosaženo odporovým děličem uvedeným na Obr. 20.



Obr. 20 – Zapojení odporového děliče

K hodnotě výstupního napětí dojdeme výpočtem z následujícího vztahu (8).

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

Pro hodnotu $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 2,7 \text{ k}\Omega$ při $U_1 = 3,3 \text{ V}$, tedy maximální hodnota řídicího napětí U_2 je zřejmá z rovnice (9).

$$U_{2max} = 3,3 \cdot \frac{10000}{2700 + 10000} = 2,598V \quad (9)$$

Z minimální hodnoty odporu potenciometru (R_2), která je blízká nule, je zřejmá hodnota výstupního napětí také blízká nule. Tyto hodnoty výstupního napětí jsou vhodné pro řízení obvodu PT4115 i AL8860 od 0,3 do 2,5V.

4.8.2 PWM řízení spínaných zdrojů

Další možností řízení, která zde bude uvedena je PWM řízení. Obvod je možno řídit pomocí mikrokontroleru Arduino UNO.

Arduino Uno je populární 8bitový mikrokontroler z rodiny AVR od firmy Atmel. Mikroprocesor je možný programovat pomocí jazyka Wiring, ten je velice podobný jazyku C. Tato platforma poskytuje jednoduché rozhraní pro komunikaci s počítačovým softwarem. Centrálním prvkem Arduina je mikrokontroler z rodiny ATmega s architekturou AVR, která je charakteristická osmibitovými procesory typu RISC s harvardskou architekturou. Arduino Uno

má mnoho vstupních a výstupních pinů, které umožňují propojení s různými senzory a perifériemi. Jednou z užitečných funkcí Arduina UNO je možnost generování PWM (Pulse Width Modulation). Vzhledem ke své jednoduchosti, rozsáhlé komunitě a dostupnosti rozšiřujících modulů je Arduino UNO oblíbenou platformou pro vzdělávací účely či hobby projekty. [11]

Pulzně šířková modulace je digitální modulace, která je založena na změně střídy obdélníkových pulzů. Střída obdélníkových pulzů udává procentuální poměr mezi dobou trvání signálu H (zapnuto) a celkovou délkou periody, což určuje úroveň výstupního signálu. Ve vzorci (10) je t_{on} doba trvání signálu H (zapnuto) a T je doba periody. Střída tedy může nabývat hodnot od 0 do 1.

$$D = \frac{t_{on}}{T} * 100 \quad (10)$$

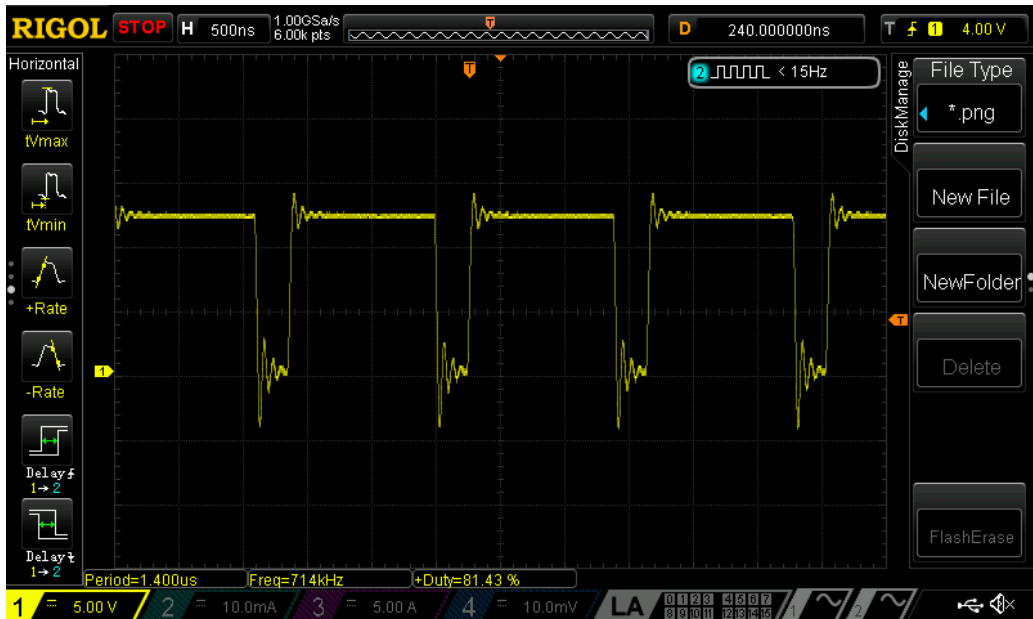
Piny Arduina s možností generování PWM je možné připojit na piny CTRL a DIM spínaných zdrojů a tím řídit proud RGB LED. Ovládání PWM z Arduina je možno dosáhnout mnoha způsoby. Z praktického hlediska byl v této práci zvolen modul infračerveného dálkového ovládání s přijímačem pro Arduino. Jedná se 3 pinový modul. Jeho ovládání je za pomoci knihovny *IRremote2.h* velice jednoduchý. Uživatel má k dispozici infračervené ovládání, to vysílá pulzy infračerveného světla a tím je schopen komunikovat s přijímačem, a tedy i s Arduinem. To pak na základě přijatých dat mění programově střídu PWM na výstupech, čímž reguluje proud spínaným zdrojem, a tedy svit barev LED.

Příslušný program, pomocí kterého byla testována funkčnost a ovládání spínaných zdrojů pomocí tohoto modulu naleznete v příloze tohoto dokumentu. Jak již bylo zmíněno, generovat PWM lze mnoha způsoby, například obvodem 555, různými integrovanými obvody či mikrokontrolery. V této podkapitole bylo poukázáno na možnost testování obvodu, která byla zvolena.

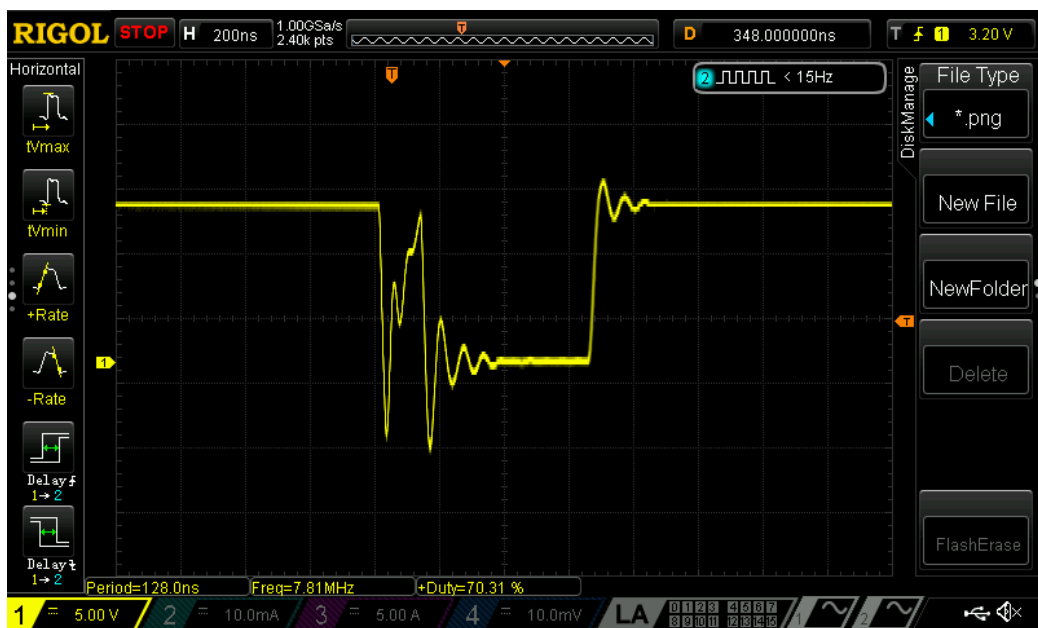
4.9 Naměřené průběhy a tabulky realizovaných spínaných zdrojů

V této kapitole jsou uvedeny naměřené průběhy z osciloskopu obou obvodů. Dále i naměřené tabulky. Měření pomocí osciloskopu bylo zjednodušené kvůli zrealizovaným měřicím bodům. Z naměřených oscilogramů bude ověřena funkce a chování spínaného snižujícího zdroje v různých částech.

Z prvních dvou snímků je zřejmé spínání MOSFET tranzistoru. U obvodu AL8860 je spínání výrazně lepší, a to i přes značné zkreslení vlivem cívky. U obvodu PT4115 je vidět, jak obvod sepne dvakrát.

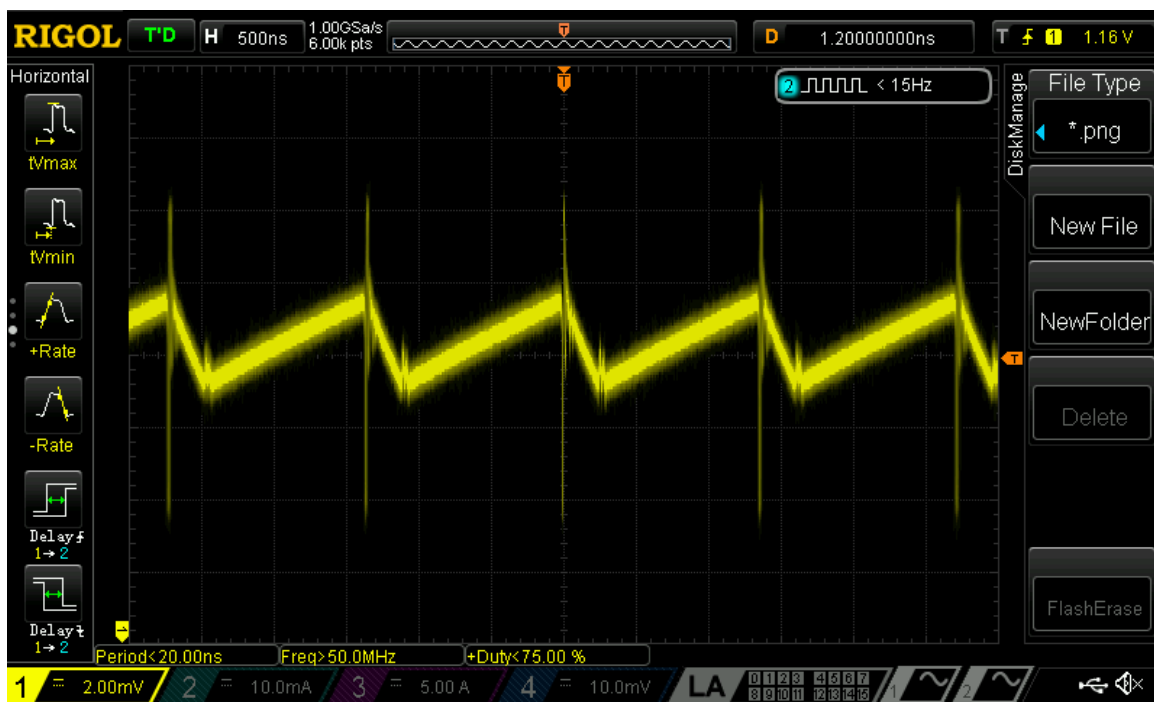


Obr. 21 – Průběh spínání MOSFET tranzistoru u AL8860



Obr. 22 – Průběh spínání MOSFET tranzistoru u PT4115

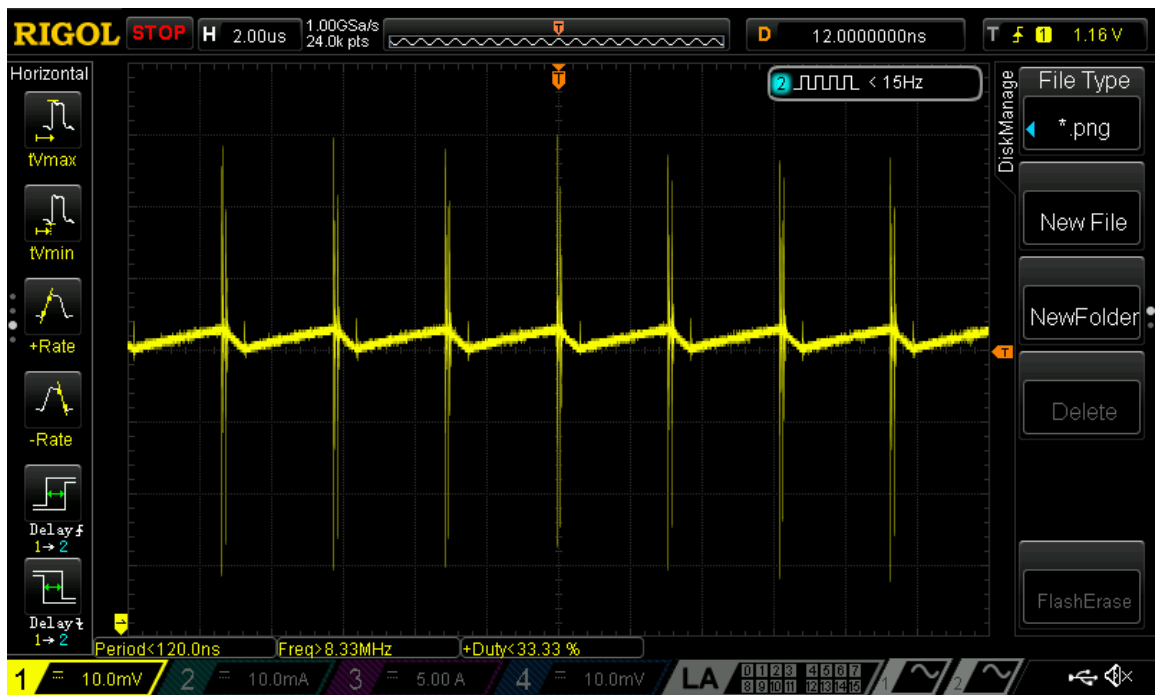
Dalšími oscilogramy jsou průběhy proudu cívkou. Z průběhů je zřejmý překmit z důvodu rozpínání tranzistoru. U PT4115 se nachází dva překmity, protože obvod sepne dvakrát a je velký zhruba 50mV. Obvod AL8860 se chová výrazně lépe, spíná pouze jednou, tak jak má a překmit napětí je zhruba 8mV.



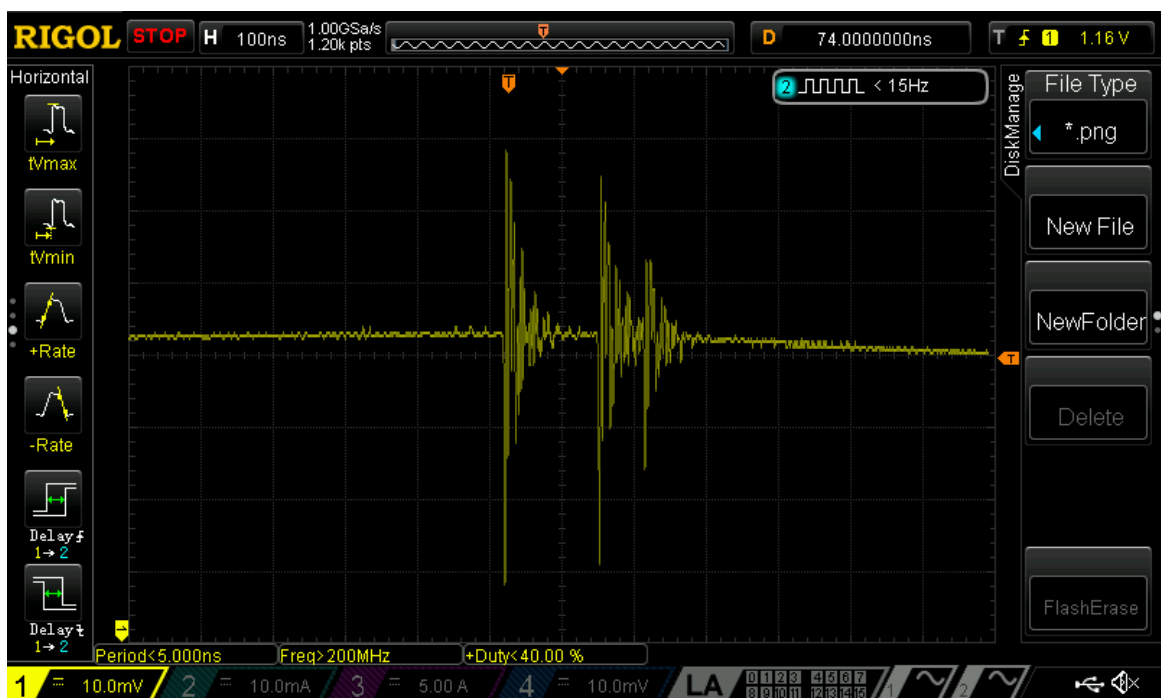
Obr. 23 – Průběh proudu cívkou u AL8860



Obr. 24 – Detail na průběh proudu cívkou u AL8860

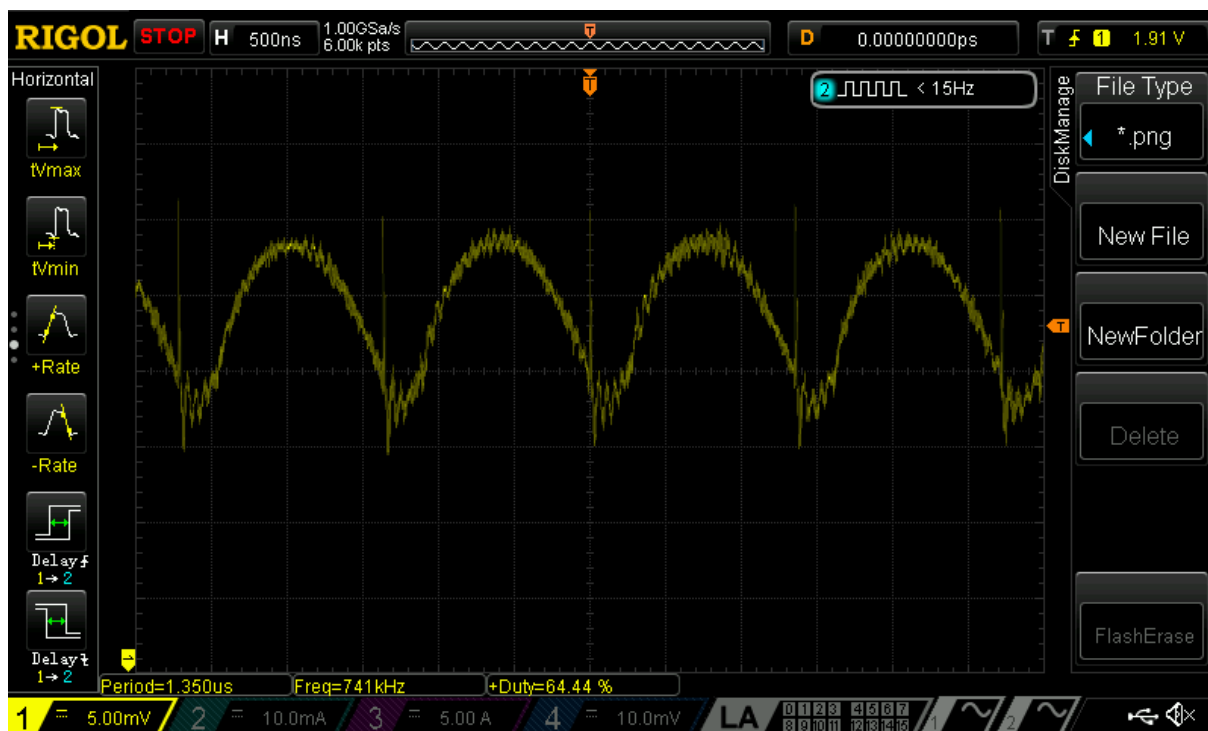


Obr. 25 – Průběh proudu cívkou u PT4115

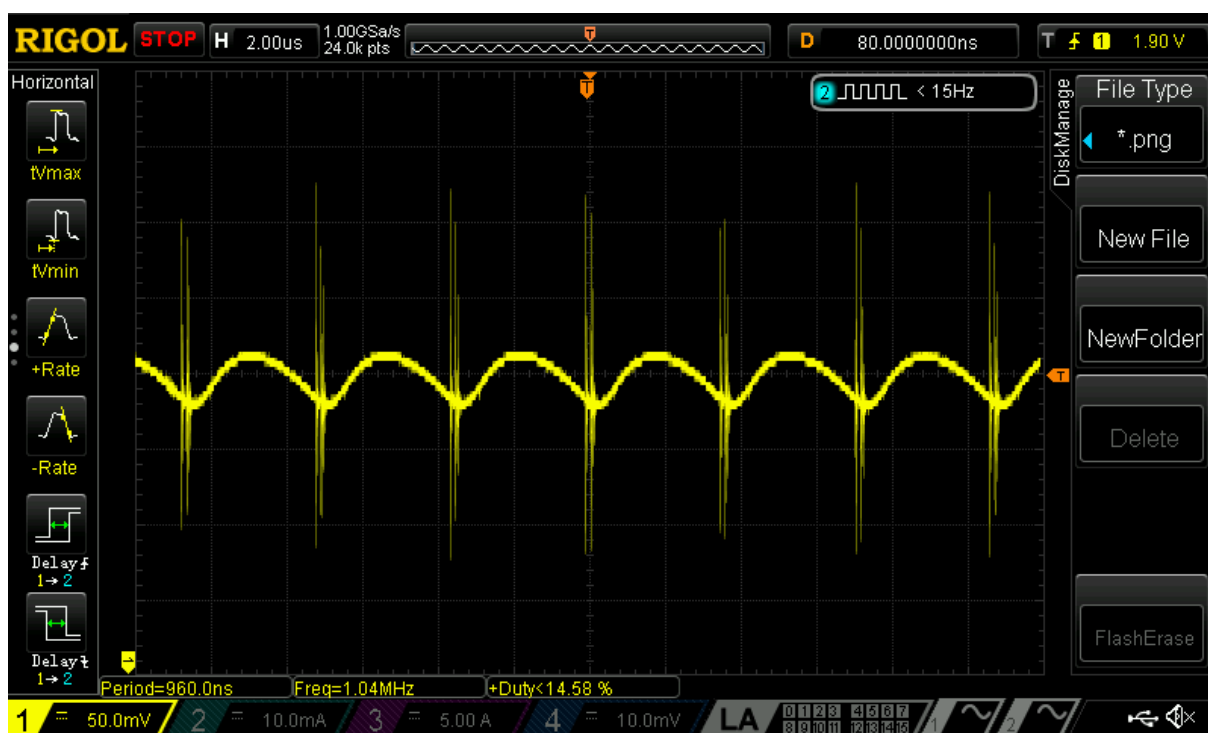


Obr. 26 – Detail na průběh proudu cívkou u PT4115

Posledními zaznamenanými oscilogramy jsou průběhy proudu LED. Ten je kvůli připojenému paralelnímu kondenzátoru více vyhlazený. Bez tohoto $1\ \mu\text{F}$ kondenzátoru by výstupní proud měl téměř pilovitý průběh.



Obr. 27 – Průběh proudu LED u AL8860



Obr. 28 – Průběh proudu LED u PT4115

Dalšími změřenými hodnotami, jsou vstupní proudy do obvodu, při různé střídě sepnutí. Z dat je patrný lineární průběh proudu v závislosti na střídě. Bohužel na již zapájeném plošném spoji bylo složité měřit hodnotu proudu LED, proto byl měřen proud vstupní. V něm je zahrnutý proudový odběr spínaného zdroje i řídicího obvodu.

Tab. 9 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání červené barvy LED u AL8860

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	18,8	26,4	32,4	39	44,3	50,3	55,8	63,6	70,3	76,9	82,8	89,3
U_{ctrl} [V]	0,31	0,58	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,12	0,22	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

Tab. 10 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání zelené barvy LED u AL8860

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	19,7	28	35,3	43,6	52,4	61,3	70,8	80,3	88,7	96,4	106,2	114,6
U_{ctrl} [V]	0,32	0,53	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,12	0,20	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

Tab. 11 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání modré barvy LED u AL8860

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	19,7	35	40	48,1	55,3	64,1	72,5	78,4	89,5	99,4	107,3	110,8
U_{ctrl} [V]	0,3	0,69	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,12	0,27	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

Tab. 12 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání červené barvy LED u PT4115

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	27	31	35,8	41,1	46,2	52	57,1	61,5	66	70,6	74,1	77,5
U_{dim}[V]	0,33	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,13	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

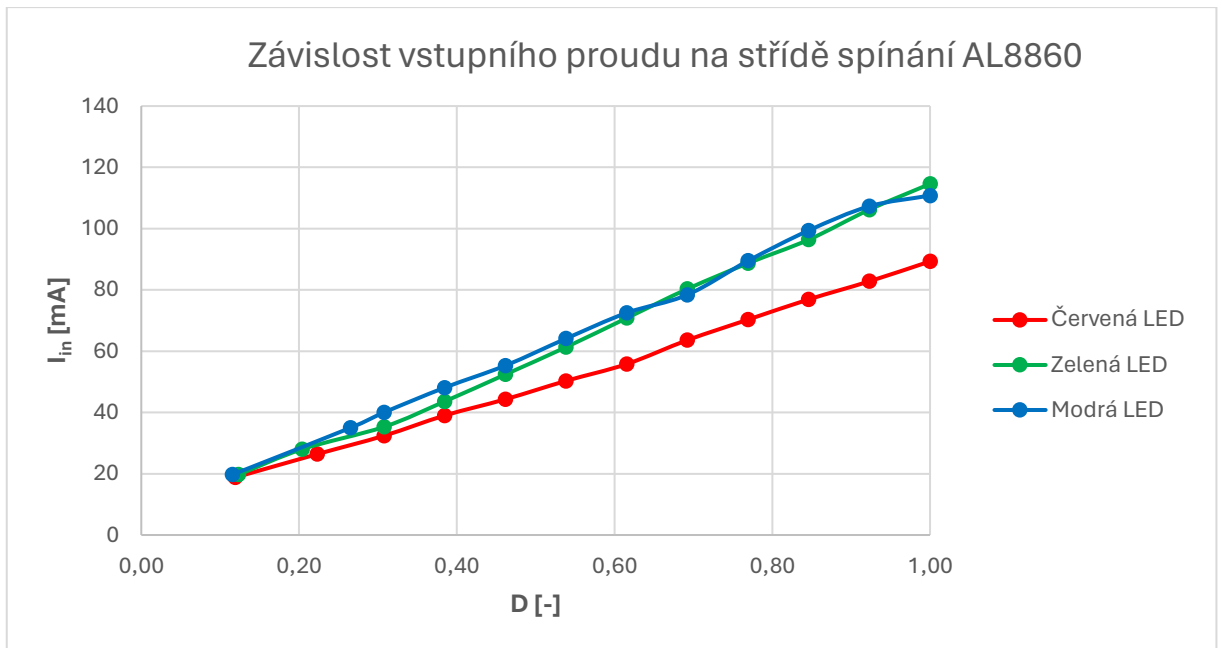
Tab. 13 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání zelené barvy LED u PT4115

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	28,5	37,6	41,6	51,4	57,2	63,5	71,2	79,7	85,9	91	96,2	101,1
U_{dim}[V]	0,33	0,65	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,13	0,25	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

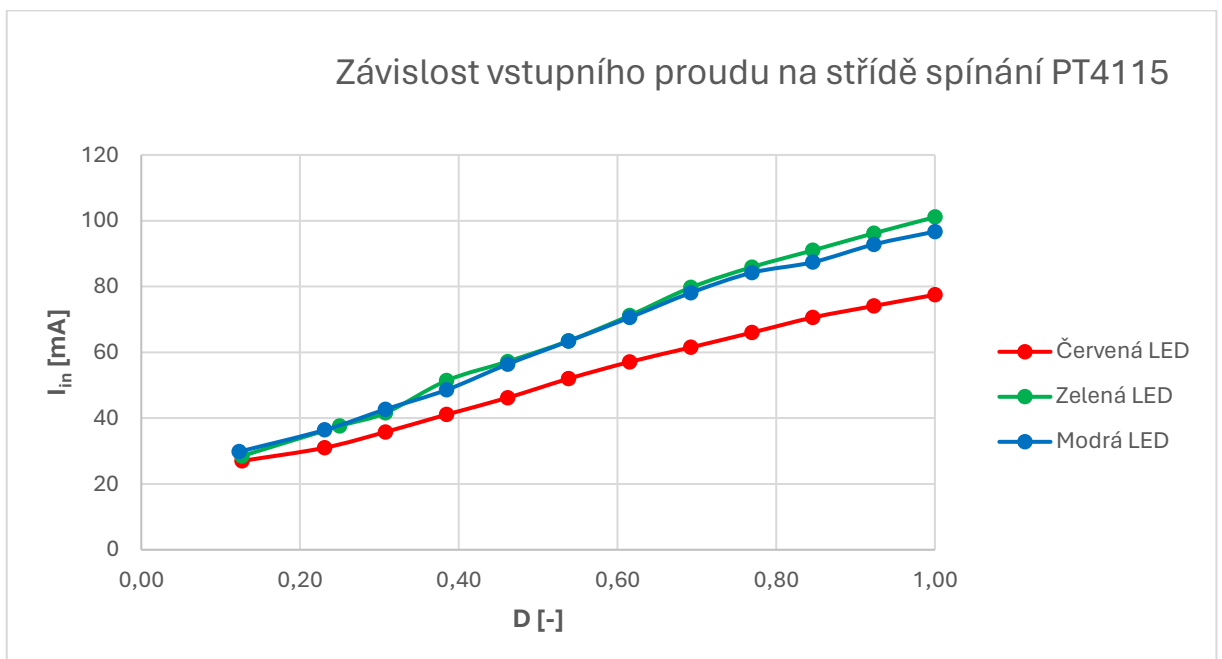
Tab. 14 – Závislost vstupního proudu při různé střídě spínání modré barvy LED u PT4115

U_{in} [V]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I_{in} [mA]	29,8	36,4	42,7	48,6	56,4	63,4	70,6	78,1	84,2	87,4	92,8	96,7
U_{dim}[V]	0,32	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
D [-]	0,12	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00

Z grafů na Obr. 29 a Obr. 30 je zřejmý lineární průběh proudu v závislosti na střídě. Dále je z těchto průběhů zřejmý rozdíl mezi pracovním napětí u červené LED oproti modré LED a zelené LED.



Obr. 29 – Graf závislosti vstupního proudu na střídě spínání u AL8860



Obr. 30 – Graf závislosti vstupního proudu na střídě spínání u PT4115

4.10 Praktické ověření EMC realizovaných spínaných zdrojů

Elektromagnetická kompatibilita je definována jako schopnost zařízení nebo systému fungovat správně i v prostředí, kde působí jiné zdroje elektromagnetického záření, a zároveň neovlivňovat své okolí nepřijatelným elektromagnetickým rušením, které by mohlo ovlivnit jiná zařízení. To znamená, že zařízení musí být schopno pracovat spolehlivě v prostředí s dalšími elektromagnetickými zařízeními a zároveň nesmí emitovat rušivé signály, které by mohly negativně ovlivnit ostatní zařízení v okolí. [13]

Certifikace zařízení v automobilové technice se liší od certifikace v komerční praxi. Je tomu hlavně z důvodu možnosti mobility systému. Ten se může pohybovat v mnoha situacích a prostředích. Zpřísněná kritéria EMC je také z toho důvodu, že jakékoliv selhání systému může mít za následek ohrožení lidského života. Vzhledem k velkému množství elektronických prvků v automobilech je pravděpodobnost vzájemného elektromagnetického rušení velmi vysoká. V rámci testování elektromagnetické kompatibility jednotlivých zařízení vozidla je rovněž prováděno testování celého vozidla jako jednotky. [14]

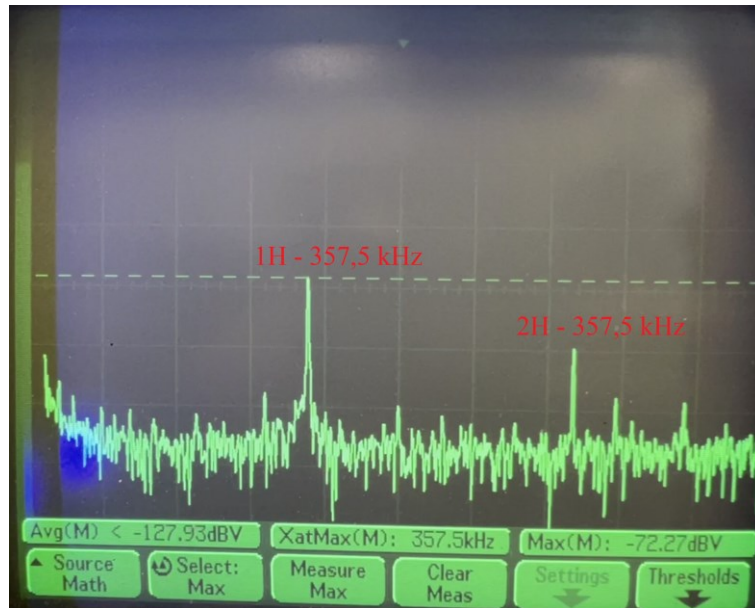
V automobilovém průmyslu se pro testování EMC elektronických zařízení pro dodatečnou montáž ve vozidlech zabývá norma ČSN EN 50498. Norma je českou verzí evropské normy EN 50498:2010. Tyto normy jsou v několika kritériích a postupech odlišné od směrnice pro testování běžných zařízení. [14]

Testy EMC lze rozdělit do několika skupin:

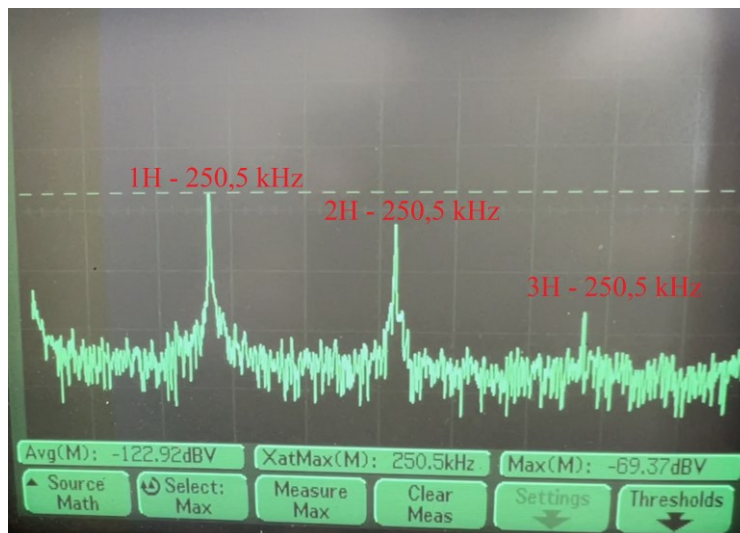
- test vyzařování
- test rušení na vedení
- test odolnosti proti rušivým polím
- test proti rušivým signálům na vedení
- test vůči rušivým výbojům

Z hlediska vybavení školní laboratoře bude v této práci zmíněno pouze měření rušení na vedení. Toto měření bylo provedeno pomocí osciloskopu za použití FFT. Tato metoda převádí časovou základnu na frekvenční, což umožňuje identifikaci konkrétních frekvencí, na kterých se vyskytuje rušení. Na základě analýzy signálu a výsledků FFT je možné posoudit úroveň rušení a identifikovat případné problémy s elektromagnetickou kompatibilitou. Měření bylo provedeno pro různé střídy spínání a pro různé barvy, a to celkově na obou zařízeních. Zde uvedu pouze několik zaznamenaných měření a ostatní naleznete v příloze. Z oscilogramů jsou

zřejmé spínací frekvence obou zdrojů. U obvodu AL8860 lze vyčíst z prvního oscilogramu spínací frekvenci $f = 357,5\text{kHz}$. Dále je z tohoto záznamu patrná i výrazně dominantní druhá harmonická složka. U obvodu PT4115 lze vyčíst frekvenci spínání o hodnotě 250 kHz. Stejně jako u prvně zmíněného obvodu lze v oscilogramu najít i druhou vyšší harmonickou složku signálu. Oba záznamy jsou změřené při střídě 1 u zdroje který budí modrou barvu na vstupních svorkách zdroje.



Obr. 31 – Vstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 1 (zdroj modré barvy)



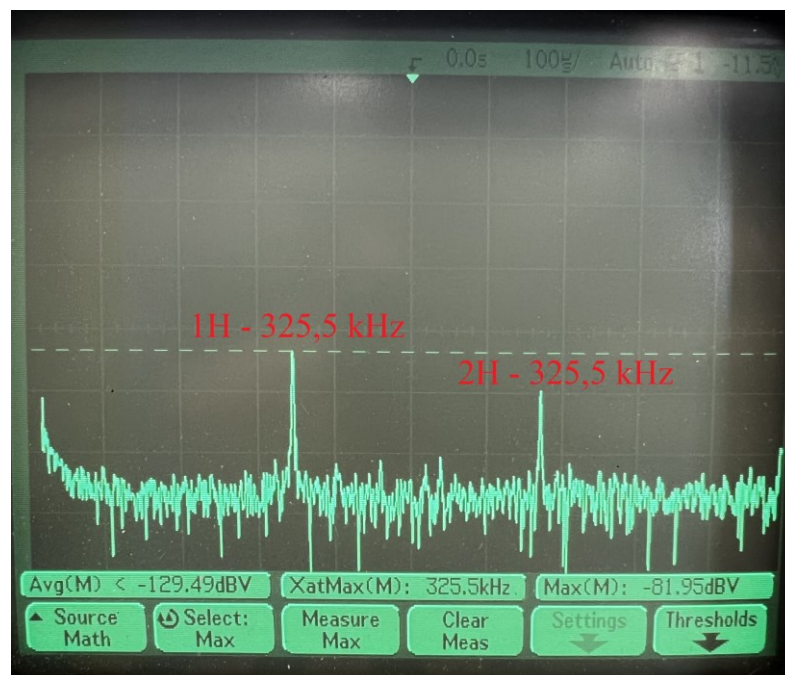
Obr. 32 – Vstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 1 (zdroj modré barvy)

Dále bylo změřeno frekvenční spektrum zdroje modré barvy u obou obvodů při střídě 0,2. U obvodu AL8860 je zřejmá minimální amplituda vyšších harmonických složek. Nicméně u obvodu PT4115 jsou tyto harmonické složky výrazně vyšší. Je tedy zřejmé rozdílné chování

obvodů. U obvodu PT4115 došlo vlivem snížení střídavy spínání ke snížení frekvence první harmonické složky a ke zvýšení její amplitudy. U obvodu AL8860 při střídě 0,2 jsou amplitudy vyšších harmonických složek velmi malé. Proto je nešlo pomocí osciloskopu změřit.

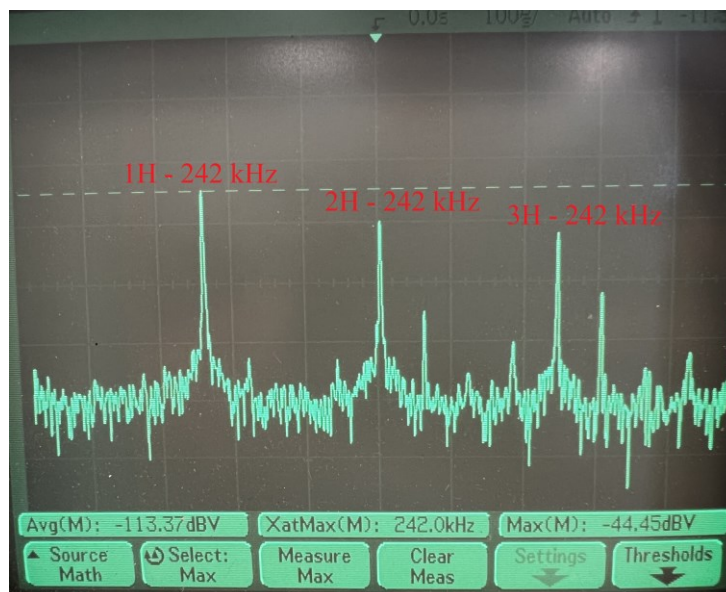


Obr. 33 – Vstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 0,2 (zdroj modré barvy)

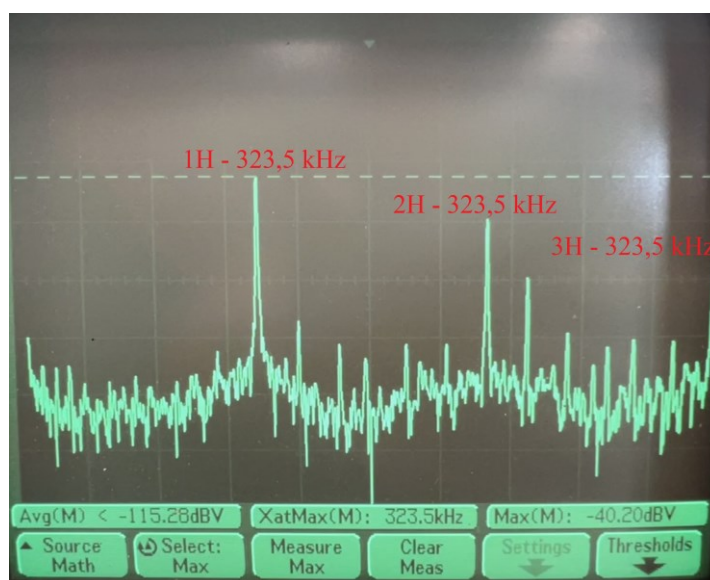


Obr. 34 – Vstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 0,2 (zdroj modré barvy)

Z posledních snímků je zřejmé rušení na výstupu (LED). Odečtené amplitudy z oscilogramů jsou nižší než u vstupních. To je zřejmě způsobené kvůli paralelně připojenému kondenzátoru k LED. Výrobce ho doporučuje v katalogovém listě z důvodu vyhlazení výstupního proudu.



Obr. 35 – Výstupní frekvenční spektrum PT4115 při střídě rovné 1 (zdroj červené barvy)



Obr. 36 – Výstupní frekvenční spektrum AL8860 při střídě rovné 1 (zdroj červené barvy)

V již zmíněné normě ČSN EN 52498 – norma elektromagnetické kompatibility pro elektronická zařízení pro dodatečnou montáž ve vozidlech, je stanovený přesný kmitočtový rozsah, kterým se zabývá – 9kHz – 400GHz. Dále stanovuje emisní požadavky tak, aby se zajistilo, že rušení způsobené zařízeními nepřesahuje úroveň, která by mohla zabránit vozidlu nebo přístroji mimo vozidlo pracovat tak, jak mu je určeno. Vyhodnocuje širokopásmové a úzkopásmové elektromagnetické rušení šířená zářením, tranzientní rušení šířená vedením a odolnost vůči tranzientnímu rušení. Toto rušení se musí měřit podle metody popsané ve směrnici EMC 2004/104/ES, to však nebylo uskutečněno z důvodu náročnosti, proto zde nemůže být uvedeno, že zařízení splňuje tuto normu.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout koncepci napájení RGB LED, která by mohla být aplikována v oblasti automobilové techniky. Pro tento účel byla vybrána 3 W RGB LED, která by se dala použít například v zásuvce elektromobilu, na nabíjecí stanici, či jako podsvícení ve vozidle.

Teoretická část práce zahrnuje komplexní rešerši LED technologie v automobilové technice. Na statě, které se týkají LED technologie, plynule navazuje teoretická část o lineárních stabilizátorech a spínaných zdrojích a zahrnuje i jejich následné porovnání.

Praktická část je zaměřená primárně na návrh čtyř možností napájení. Nejdříve obsahuje část návrhu napájení pomocí lineárních stabilizátorů L7806cv a LM317. Pro tyto zdroje nebyly z důvodu jednoduchosti navrženy plošné spoje. Zapojení bylo realizováno pouze pro červenou barvu LED. V bakalářské práci je tato část obsažena primárně za účelem porovnání více druhů napájení. Na tuto část bylo navázáno návrhem snižujících spínaných zdrojů pomocí obvodů PT4115 a AL8860. Pro oba zdroje byly realizovány plošné spoje. Vytvořené zdroje jsou spíše učební pomůckou, jelikož obsahují měřicí body a možnost přepínání mezi analogovým a PWM řízením. Vzhledem ke zrealizovaným měřicím bodům na DPS bylo snadné ověřit chování obou obvodů. Ze zrealizovaného měření obou zdrojů vyplývá lepší chování obvodu AL8860. PT4115 spíná dvakrát za jeden pracovní cyklus, nicméně na funkčnost obvodu to nemá vliv. Obvod PT4115 by však šlo označit za levnější variantu. U uvedených obvodů byla prakticky ověřena jejich správná funkce. Všechny základní barvy byly úspěšně demonstrovány, až na teplou bílou. To je však způsobené modrou barvou LED, která je i při průchodu nízké hodnoty proudu velice intenzivní. V práci dle zadání byla řešena i problematika elektromagnetické kompatibility a její normy v automobilové technice.

V rámci této bakalářské práce se podařilo navrhnout celkem dvě funkční zařízení, která splňují požadavky zadání práce. U obou navržených zařízení došlo ke zjištění jejich vlastností a parametrů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LENK, Ron a Carol LENK. Practical Lighting Design With LEDs [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011 [cit. 2023-07-03]. ISBN 9781118008218. Dostupné z: doi:10.1002/9781118008218
- [2] Historie a budoucnost osvětlení automobilů: Od svíčky k laseru [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/historie-a-budoucnost-osvetleni-automobilu-od-svicky-k-laseru-79316>
- [3] LED technologie [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.lightronic.cz/led-technologie.php>
- [4] Systémy světel [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/aktivni-prvky-bezpecnosti/systemy-svetel>
- [5] ADAPTIVNÍ SVĚTLOMETY [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: https://www.fordservicecontent.com/Ford_Content/vdirsnet/OwnerManual/Home/Content?variantid=7842&languageCode=cs&countryCode=CZE&Uid=G2061831&ProcUid=G1955276&userMarket=CZE&div=f&vFilteringEnabled=False&buildtype=web
- [6] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Lineární napájecí zdroje. Praha: BEN – technická literatura, 2001. ISBN 80-730-0002-4.
- [7] LM78XX, LM78XXA - 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [online]. In: . [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/LM7812-461970.pdf>
- [8] LM317 3-Terminal Adjustable Regulator [online]. In: . [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [9] PT4115. Online. Dostupné z: <https://www.led-stuebchen.de/download/PT4115E.pdf>. [cit. 2024-04-29].
- [10] AL8860 Description Features Pin Assignments Applications. Online. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AL8860.pdf>. [cit. 2024-04-29].
- [11] Arduino. Online. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [cit. 2024-04-25].
- [12] Dálkové ovládání infračervené. Online. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/840-dalkove-ovladani-infracervene.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw7-

SvBhB6EiwAwYdCARQWp1SkFFG9DSFRTY3000BC0a8AEd0__6bHhWqH6m5hZmaZv
qQZXRoCluQQAuD_BwE. [cit. 2024-04-25].

[13] Elektromagnetická kompatibilita průmyslových distribuovaných systémů. Online.
Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/elektromagneticka-kompatibilita-prumyslovych-distribuovanych-systemu-2002_05_28427_693/. [cit. 2024-04-29].

[14] ČSN EN 50498. Online. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Detail.aspx?k=88282>. [cit. 2024-04-29].

[15] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje I. 2.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 1996. ISBN 80-860-5602-3.

[16] Výkonové diody LED [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z:
https://www.tme.eu/html/CZ/vykonove-diody-led-firmy-optosupply-rady-xeon-power/ramka_11220_CZ_pelny.html

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Dokumentace DPS

- A.1 Kompletní schéma zapojení obvodu AL8860 z programu Eagle
- A.2 Kompletní schéma zapojení obvodu PT4115 z programu Eagle
- A.3 Deska plošného spoje AL8860 – vrchní strana s rozmístěním součástek
- A.4 Deska plošného spoje AL8860 – spodní strana s rozmístěním součástek
- A.5 Deska plošného spoje PT4115– vrchní strana s rozmístěním součástek
- A.6 Deska plošného spoje PT4115 – spodní strana s rozmístěním součástek

Příloha B: Fotografie vyrobených zdrojů

- B.1 Fotografie AL8860
- B.2 Fotografie PT4115

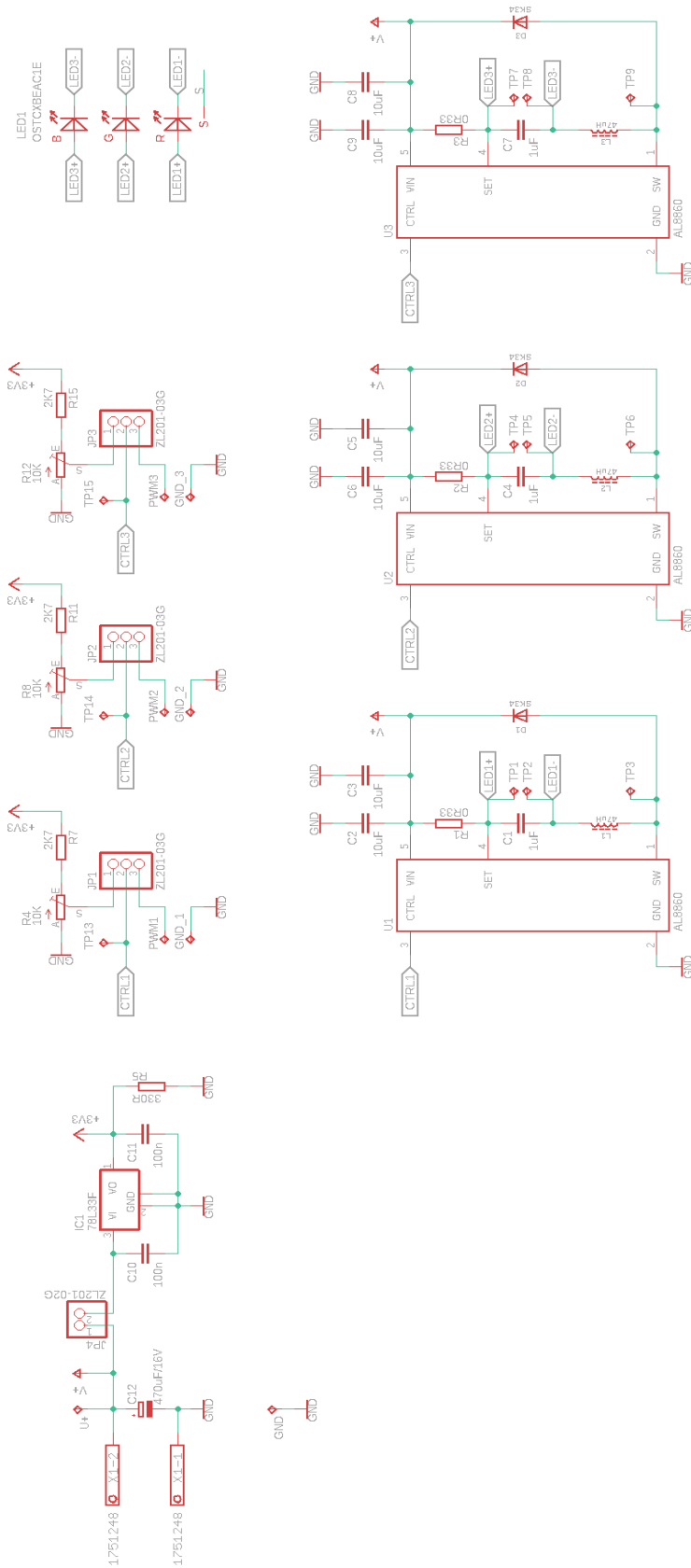
Příloha C: Program pro ovládání zdroje pomocí IR modulu

Příloha D: Frekvenční spektra zdrojů

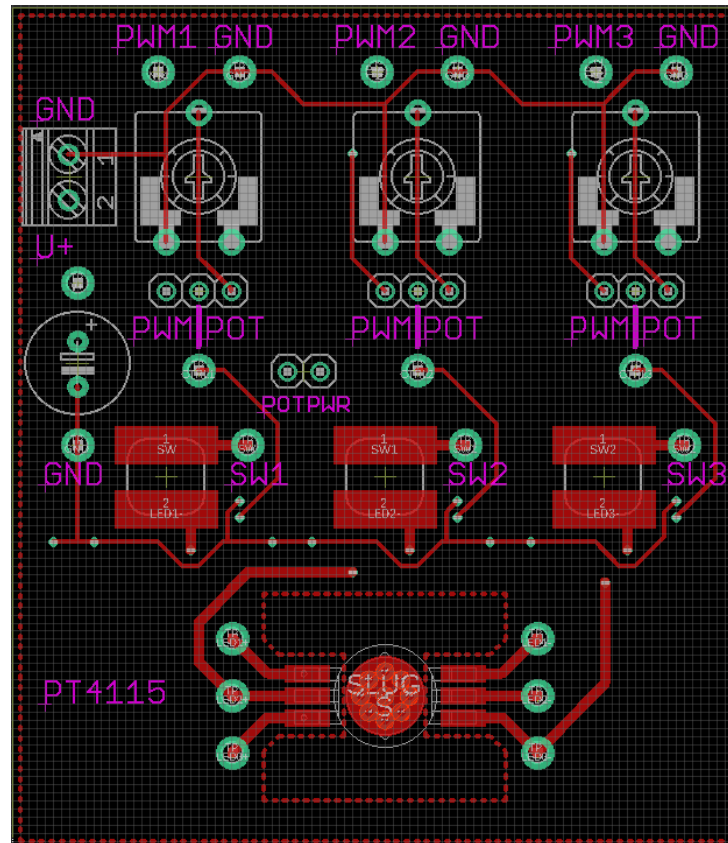
- D.1 Vstupní spektrum zdroje červené barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.2 Vstupní spektrum zdroje zelené barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.3 Vstupní spektrum zdroje modré barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.4 Vstupní spektrum zdroje červené barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.5 Vstupní spektrum zdroje zelené barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.6 Vstupní spektrum zdroje modré barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.7 Výstupní spektrum zdroje červené barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.8 Výstupní spektrum zdroje zelené barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.9 Výstupní spektrum zdroje modré barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1
- D.10 Výstupní spektrum zdroje červené barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

PŘÍLOHA A: Dokumentace DPS

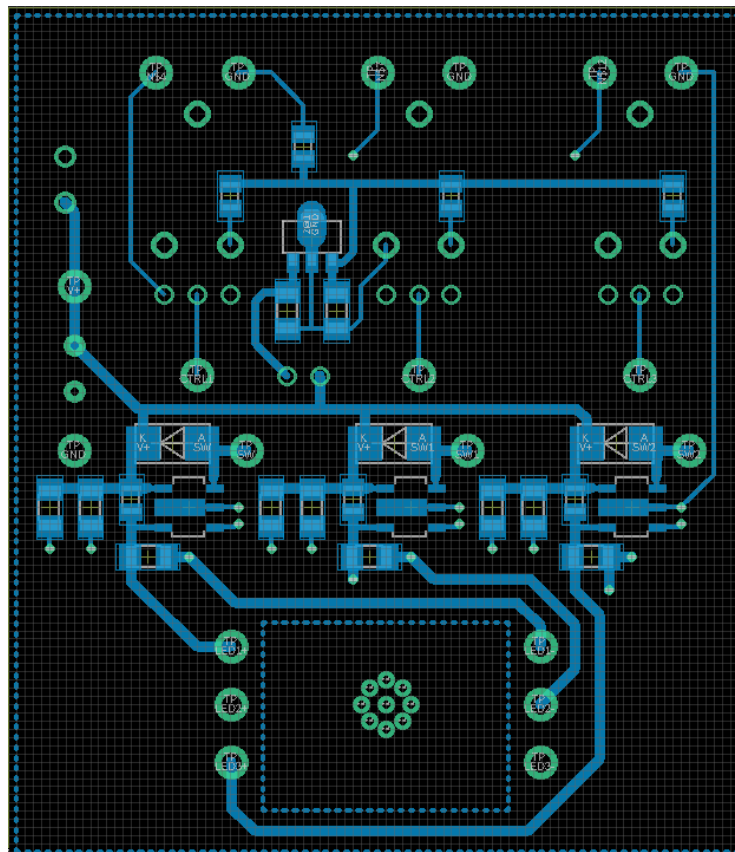
A.1 Kompletní schéma zapojení obvodu AL8860 z programu Eagle



A.5 Deska plošného spoje PT4115– vrchní strana s rozmístěním součástek

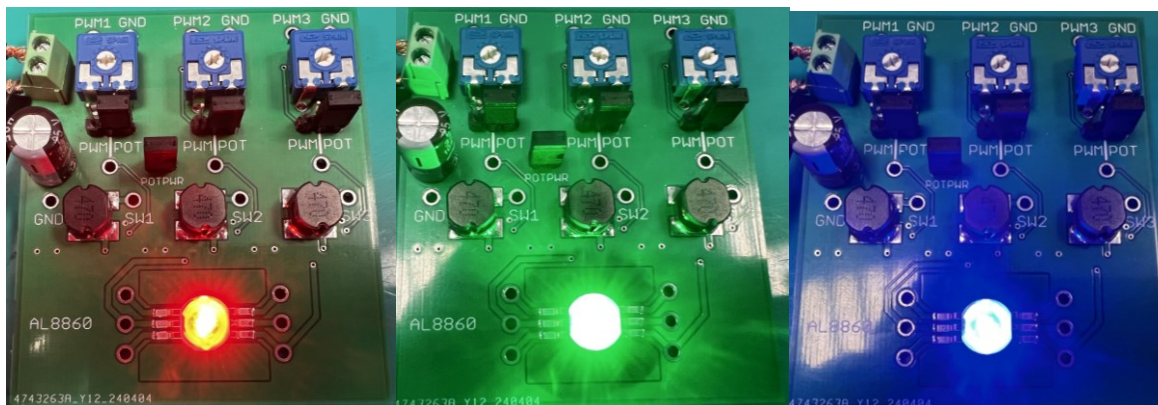


A.6 Deska plošného spoje PT4115 – spodní strana s rozmístěním součástek

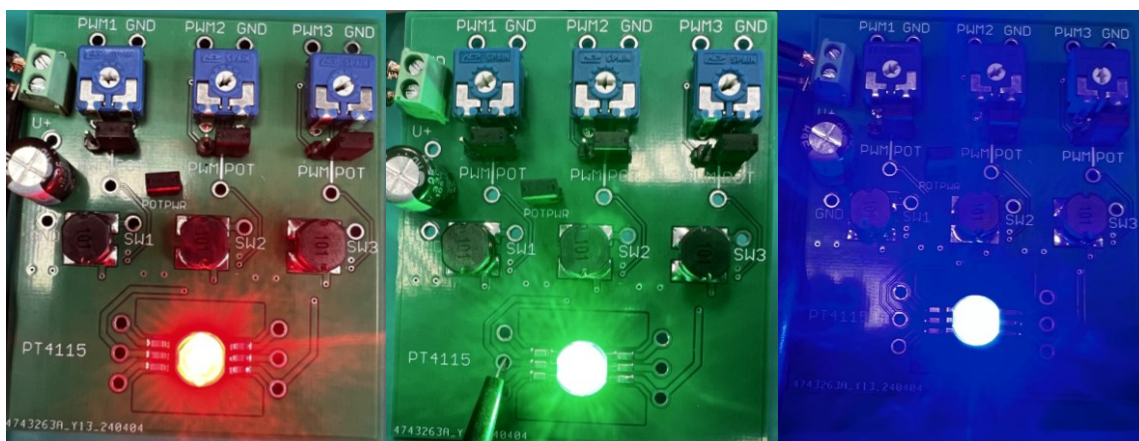


PŘÍLOHA B: Fotografie vyrobených zdrojů

B.1 Fotografie AL8860



B.2 Fotografie PT4115



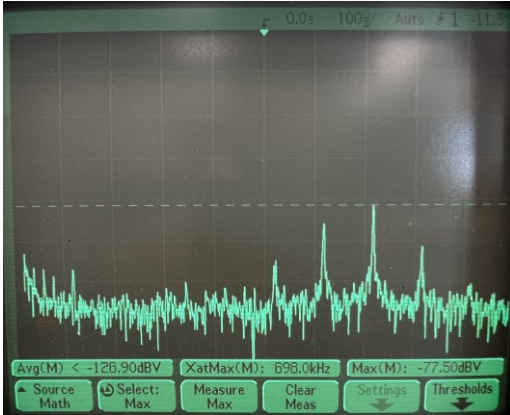
PŘÍLOHA C: Program pro ovládání zdroje pomocí IR modulu

```
1 #include <IRremote2.h>
2 #define pinIN 4
3 IRrecv dalkoveOvl(pinIN);
4 decode_results vysledek;
5 int redPin= 10;
6 int greenPin = 9;
7 int bluePin = 11;
8 void setup() {
9     pinMode(redPin, OUTPUT);
10    pinMode(greenPin, OUTPUT);
11    pinMode(bluePin, OUTPUT);
12    dalkoveOvl.enableIRIn();
13    Serial.begin(9600);
14 }
15 void loop() {
16     if (dalkoveOvl.decode(&vysledek)) {
17         detekceKlaves();
18         dalkoveOvl.resume();
19     }
20 }
21 void setColor(int redValue, int greenValue, int blueValue) {
22     analogWrite(redPin, redValue);
23     analogWrite(greenPin, greenValue);
24     analogWrite(bluePin, blueValue);
25 }
26 void detekceKlaves() {
27     switch(vysledek.value) {
28         case 0xFF30CF:
29             Serial.println("Stisknuto 1");
30             setColor(255, 0, 0); // Red Color
31             break;
32         case 0xFF18E7:
33             Serial.println("Stisknuto 2");
34             setColor(0, 255, 0); // Green Color
35             break;
36         case 0xFF7A85:
37             Serial.println("Stisknuto 3");
38             setColor(0, 0, 255); // Blue Color
39             break;
40         case 0xFF10EF:
41             Serial.println("Stisknuto 4");
42             setColor(255, 255, 255); // White Color
43             break;
44         case 0xFF38C7:
45             Serial.println("Stisknuto 5");
46             setColor(170, 0, 255); // Purple Color
47             break;
48         default:
49             Serial.println("Stisknuta jina klavesa");
50     }
51     delay(300);
52 }
```

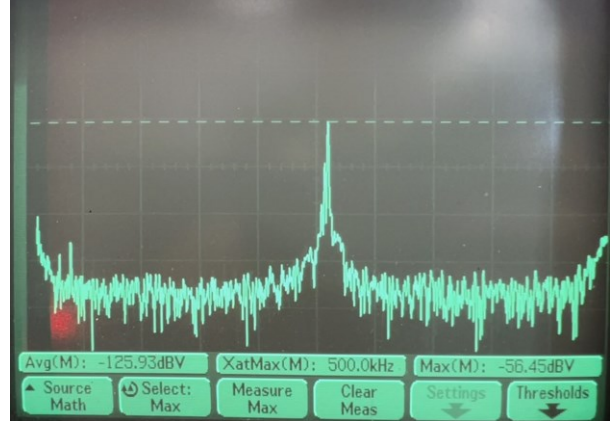
Příloha D: Frekvenční spektra zdrojů

D.1 Vstupní spektrum zdroje červené barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

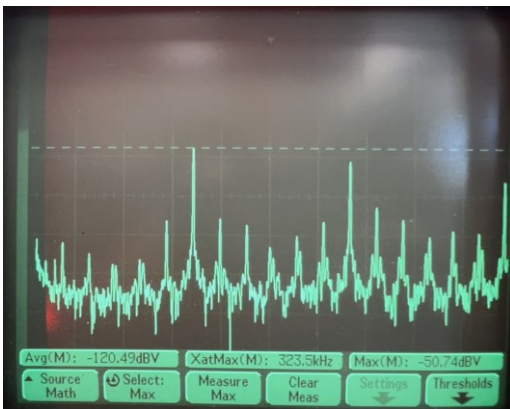
D = 0,2



D=0,5

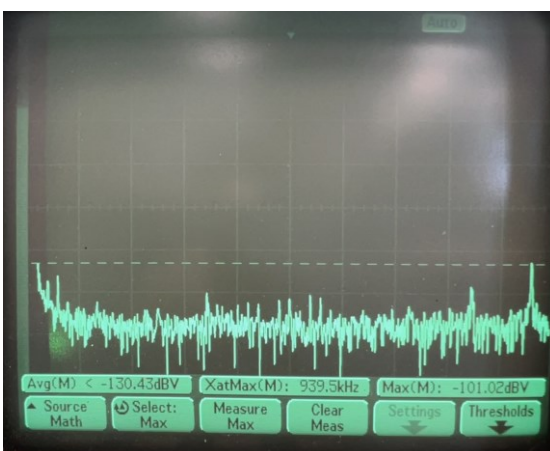


D = 1

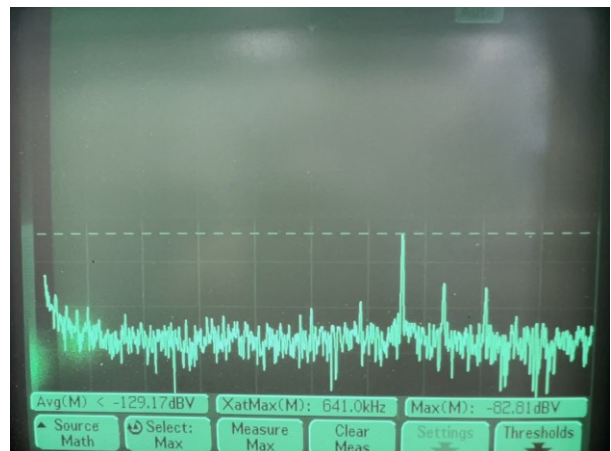


D.2 Vstupní spektrum zdroje zelené barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

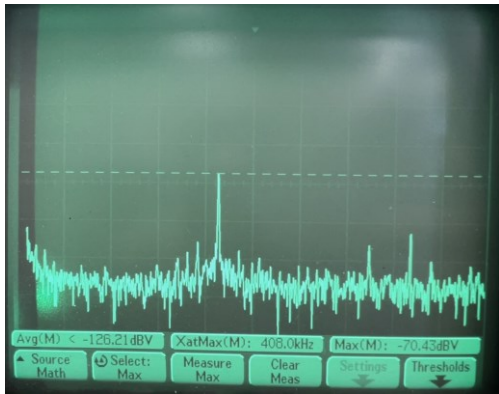
D = 0,2



D=0,5

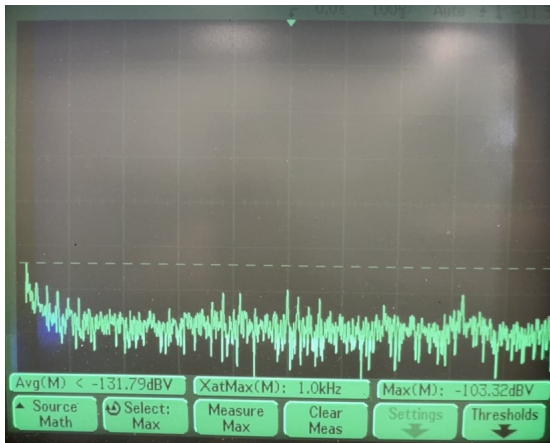


D = 1

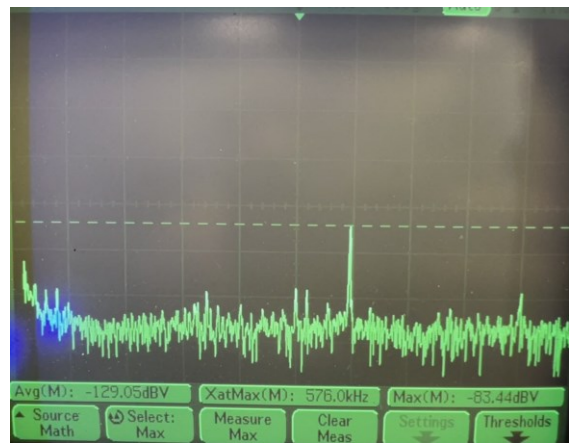


D.3 Vstupní spektrum zdroje modré barvy (AL8860) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

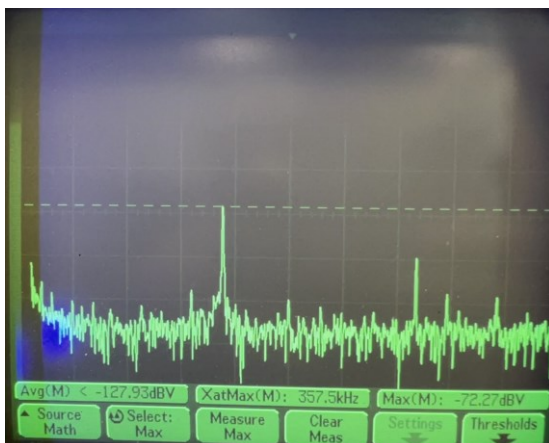
D = 0,2



D=0,5

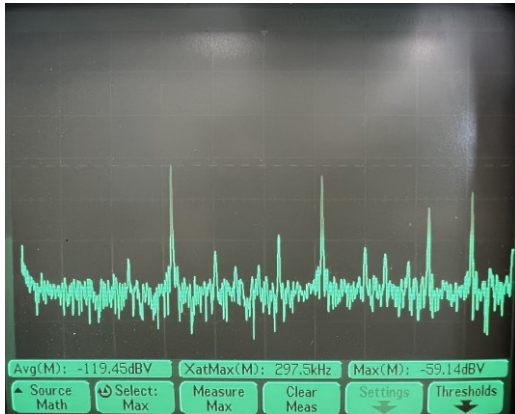


D = 1

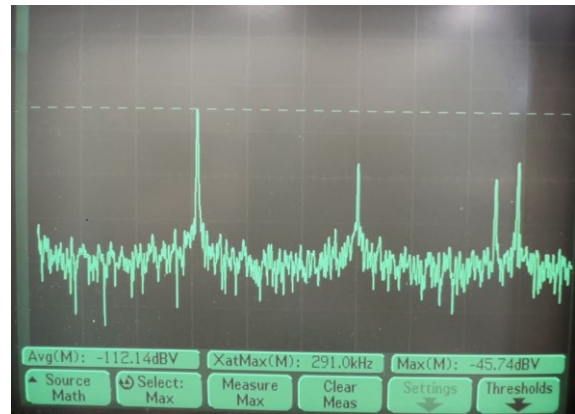


D.4 Vstupní spektrum zdroje červené barvy (PT4115) pro střihu 0,2, 0,5 a 1

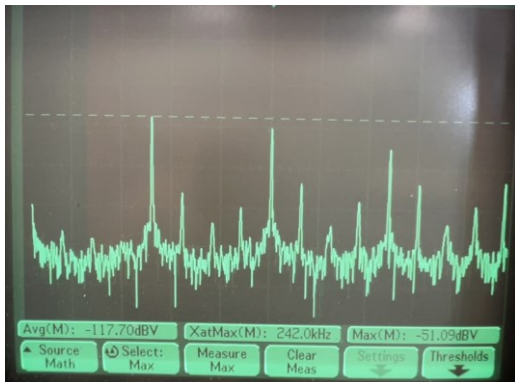
D = 0,2



D=0,5

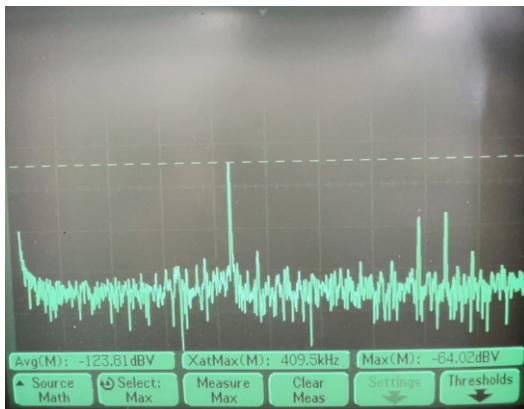


D = 1

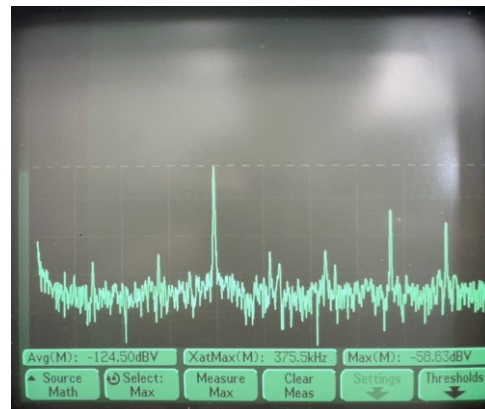


D.5 Vstupní spektrum zdroje zelené barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

D = 0,2



D=0,5

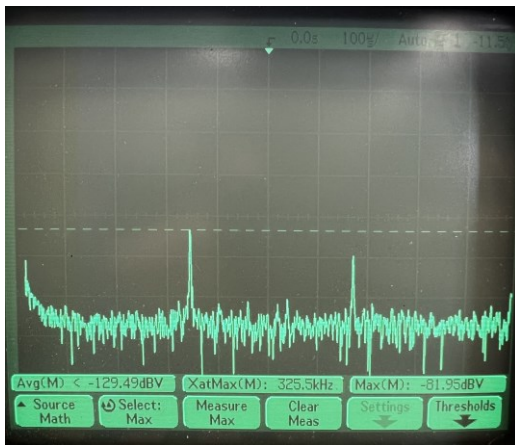


D = 1

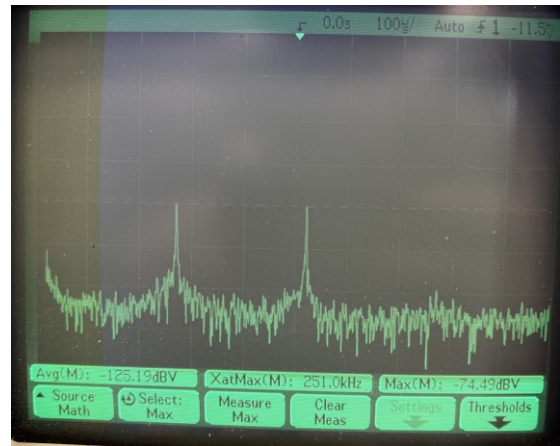


D.6 Vstupní spektrum zdroje modré barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

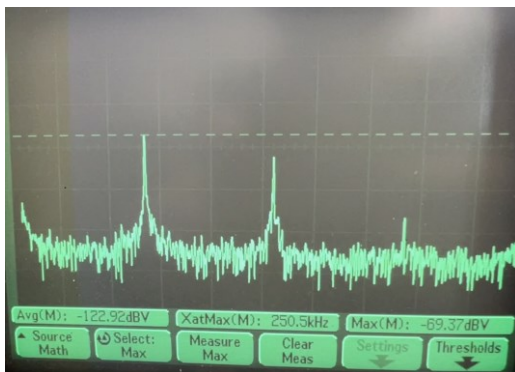
D = 0,2



D=0,5

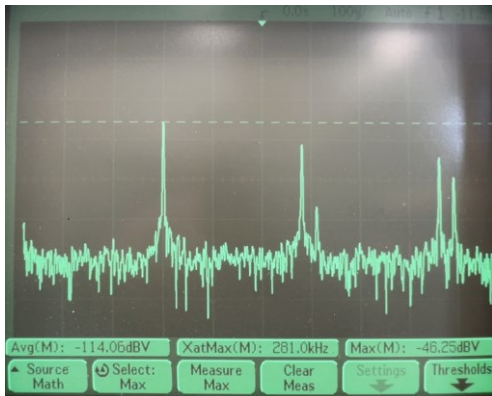


D = 1

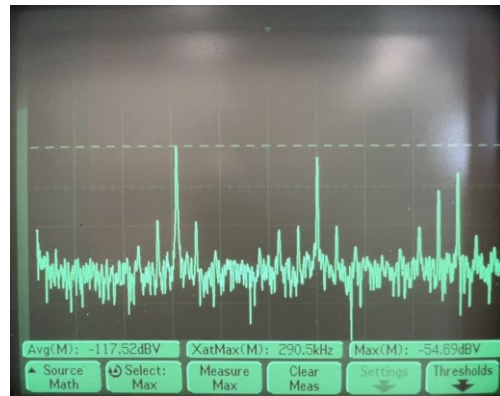


D.7 Výstupní spektrum zdroje červené barvy (PT4115) pro střihu 0,2, 0,5 a 1

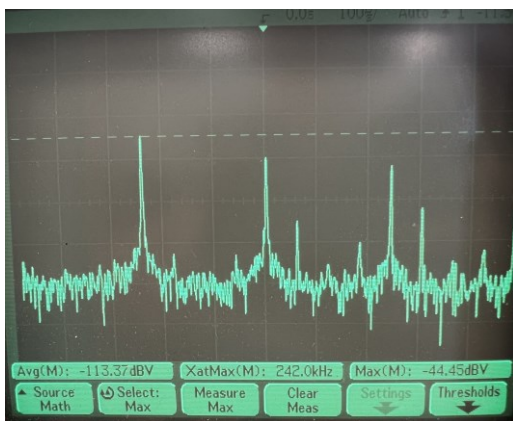
D = 0,2



D=0,5

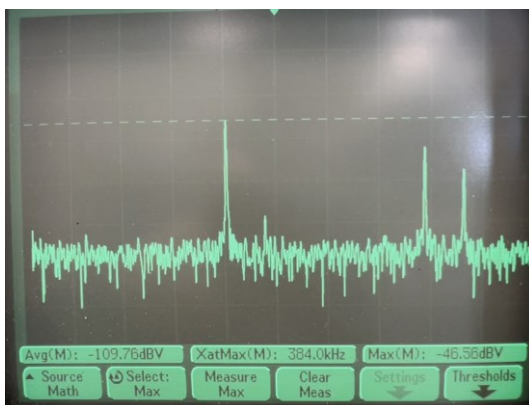


D = 1

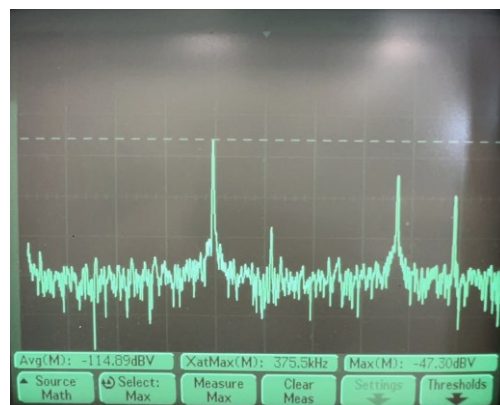


D.8 Výstupní spektrum zdroje zelené barvy (PT4115) pro střihu 0,2, 0,5 a 1

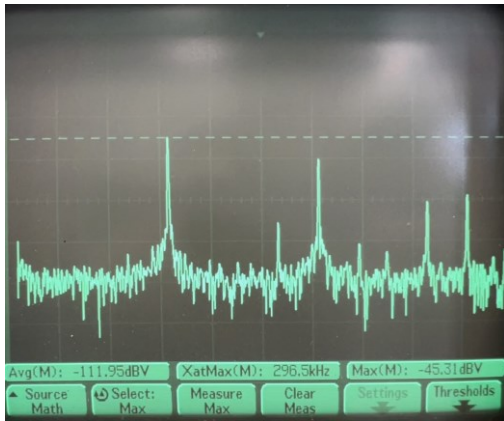
D = 0,2



D=0,5

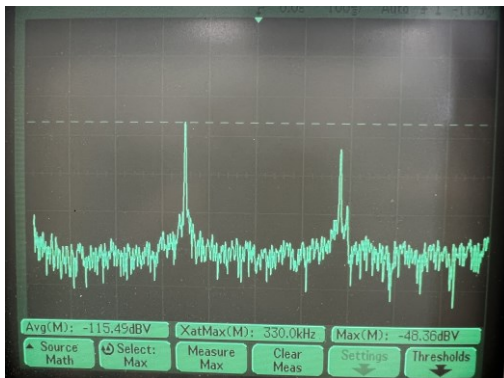


D = 1

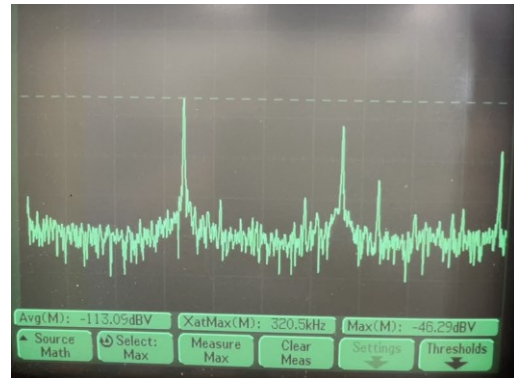


D.9 Výstupní spektrum zdroje modré barvy (PT4115) pro střihu 0.2, 0.5 a 1

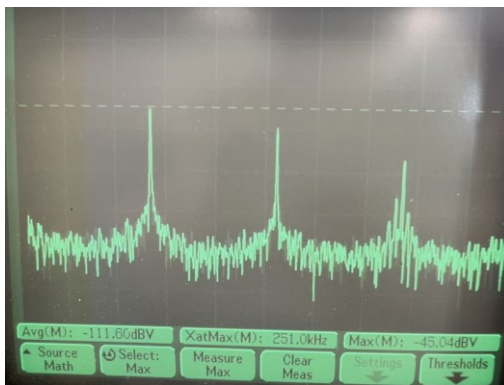
D = 0,2



D=0,5

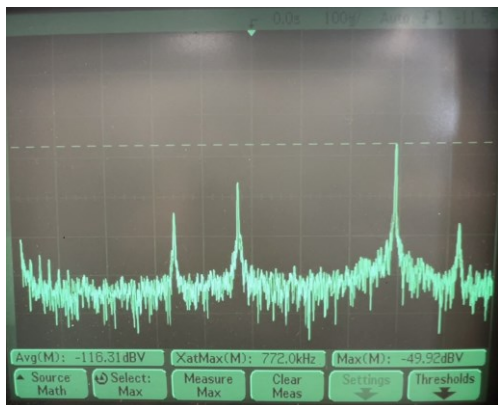


D = 1

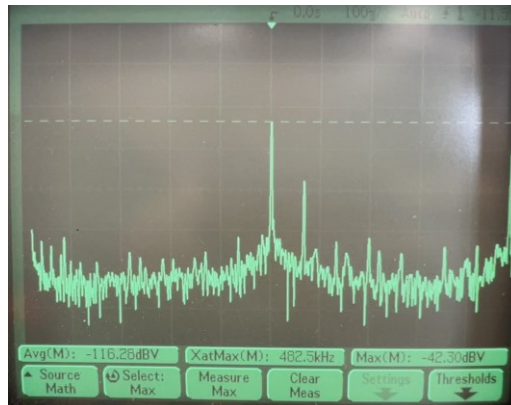


D.10 Výstupní spektrum zdroje červené barvy (AL8860) pro střídu 0.2, 0.5 a 1

D = 0,2



D=0,5



D = 1

