

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Inovace elektrovýzbroje silničních vozidel

Bakalářská práce

2020

Michal Bareš

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Bares**  
Osobní číslo: **D16183**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Téma práce: **Inovace elektrovýzbroje silničních vozidel**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

### Zásady pro vypracování

Práce by byla vypracována z části jako řešerše, kde by student provedl krátký historický přehled vývoje hlavních komponentů elektrovýzbroje (dynama, alternátory, startéry) motorových vozidel a naznačil nástup elektroniky do konstrukce těchto komponentů. Druhá část práce bude zaměřena na konkrétní úkol, navrhnout a provést náhradu elektro mechanického relé motocyklového dynama motocyklu JAWA elektronickým regulátorem a provést jeho oživení. V další části práce se zaměří student na konstrukci startovacích zařízení, kde nastolí jejich vývoj a zaměří se na poslední inovaci zavádění Mild hybridní- sestavy generátor-startér se synchronním motorem s permanentními magnety

Osnova práce :

- 1 / Úvod: historický vývoj hlavních agregátů elektrovýzbroje silničních vozidel
- 2/ Návrh náhrady elektromagnetického regulátoru motocyklového dynama (JAWA ) elektroickým regulátorem
- 3/ Zhotovení a odladění regulátoru
- 4/ Vývoj starovacích zařízení a jejich inovace
- 5/ V rámci snížení spotřeby paliv a snížení produkce CO zpracovat novou koncepci Mild-hybridních soustav a jejich praktické nasazení do vozidel.
- 6/ Závěr

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. Gregora, S. Mašek,Z.: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel, skriptá DFJP 2008
2. Vlk,F. Elektronické systémy motorových vozidel.Brno 2002 ISBN 80-238- 7282-6726
3. Propagační a reklamní materiály automobilních firem

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací  
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **19. prosince 2018**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2020**

L.S.

---

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

---

**Ing. Dušan Čermák, Ph.D.**  
vedoucí katedry

# Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci 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 směrnici 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 28.7.2020

Michal Bareš

# Poděkování

Velký dík si zaslouží především vedoucí mé práce, doc. Ing. Stanislav Gregorova, Ph.D. za jeho nesmírnou trpělivost a vhodné připomínky k práci. Též bych touto cestou rád poděkoval všem vyučujícím, kteří mě obohatili znalostmi potřebnými pro vznik práce.

## **Anotace**

Obsahem této bakalářské práce je shrnutí vývoje elektrovýzbroje silničních vozidel, především jejich hlavních agregátů. V práci jsou shrnuty nejdůležitější pokroky v oblasti elektrovýzbroje za dobu existence silničních vozidel. Blíže je věnována pozornost inovacím startovacích zařízení a mild-hybridním systémům. Důležitým prvkem práce je též návrh a výroba elektronického regulátoru buzení pro dynamo Jawa a jeho testování.

## **Klíčová slova**

Vývoj elektrovýzbroje silničních vozidel, mild-hybridní systémy, startovací zařízení, elektronický regulátor buzení JAWA

## **Title**

Innovation of electric systems of road vehicles

## **Annotation**

The content of this bachelor's thesis is a summary of the development of electrical equipment of road vehicles, especially their main aggregates. The work summarizes the most important advances in the field of electrical equipment during the existence of road vehicles. More attention is paid to innovations of starting devices and mild-hybrid systems. An important element of the work is also the design and manufacture of an electronic excitation controller for the Jawa dynamo and its testing.

## **Keywords**

Development of electrical equipment of road vehicles, mild-hybrid systems, starting equipment, electronic excitation controller JAWA

# Obsah

Úvod.....	9
1. Historický vývoj hlavních součástí elektrovýzbroje vozidel .....	11
1.1. Zdrojová soustava .....	12
1.1.1. Počátky .....	12
1.1.2. Dynama .....	12
1.1.3. Alternátory .....	13
1.1.4. Akumulátory.....	15
1.2. Startovací zařízení .....	16
1.2.1. Počátky .....	16
1.2.2. Elektrické startéry.....	16
1.3. Osvětlení .....	17
1.4. Drobné pohony.....	19
1.5. Další .....	19
2. Návrh náhrady elektromagnetického regulátoru motocyklového dynama (JAWA) elektronickým regulátorem.....	20
2.1. Úvod k problematice .....	20
2.2. Původní mechanické relé .....	20
2.3. Možné způsoby náhrady.....	23
2.4. Návrh náhrady elektromagnetického regulátoru .....	23
3. Zhotovení a odladění regulátoru .....	27
3.1. Určení potřebných parametrů součástek .....	27
3.1.1. Odhad parametrů součástek.....	27
3.1.2. Simulace .....	28
3.1.3. Výběr součástkové základny .....	32
3.2. Vyhotovení.....	33
3.2.1. Návrh DPS.....	33
3.2.2. Praktické vyhotovení DPS.....	34
3.2.3. Výpočet a výroba chladiče .....	35

3.3. Testování .....	37
4. Vývoj startovacích zařízení a jejich inovace .....	40
4.1. Úvod, historie .....	40
4.2. Startéry klasické .....	41
4.2.1. Systém Bendix .....	42
4.2.2. Spouštěč s výsuvnou kotvou .....	42
4.2.3. Spouštěč s výsuvným pastorkem .....	43
4.3. Startér-generátor .....	43
4.3.1. Dynamo-startér .....	43
4.3.2. Startér-alternátor .....	44
5. V rámci snížení spotřeby paliv a snížení produkce CO <sub>2</sub> zpracovat novou koncepti mild-hybridních soustav a jejich praktické nasazení do vozidel .....	45
5.1. Úvod, vývoj .....	45
5.2. Mild-hybridy .....	46
5.2.1. Obecné charakteristiky .....	46
5.2.2. Systém 12 V .....	47
5.2.3. Systém 48 V .....	47
5.3. Další vývoj .....	48
Závěr .....	50
Použitá literatura .....	51
Seznam obrázků .....	52
Seznam zkratk .....	53



# Úvod

První použití elektrické výzbroje silničních vozidel sahá k počátkům samotnému automobilismu v 19. století. Dalším vývojem neustále přibývalo množství elektrovýzbroje silničních vozidel s různými účely – ať už se jedná o systémy nezbytné k samotnému pohonu vozidel (např. zapalování u zážehových motorů), systémy zvyšující bezpečnost (osvětlení), či zvyšující komfort provozu vozidel (např. startéry, centrální zamykání, elektrické stahování oken apod.). V současné době již téměř nelze narazit na automobil, který není vybaven žádnou elektrickou výzbrojí. Právě proto se inovací elektro výzbroje zabývají všechny světové automobilky a vzhledem k neustálému vývoji a zpřísnování emisních limitů a nároků na ekologický provoz vozidla, je pozornost věnována nejčastěji právě tímto směrem.

Na počátku automobilismu, kdy hlavním pohonným agregátem byl parní stroj, nebyla elektrovýzbroj vozidla nutná. S postupným rozvojem elektrických strojů a baterií začaly vznikat koncepty automobilu se zcela novým pohonem – elektromobily, které vynikaly snadnou údržbou, a mnohem jednodušším ovládáním. Pohon zajišťovala zpravidla z olověné baterie, regulačního prvku a pro svou vhodnou trakční charakteristiku také ze stejnosměrného sériového motoru. Souběžně s rozmachem elektromobilů však vznikl nový typ pohonu – spalovací motor.

„Z počátku se automobil a jeho motor zcela obešel bez elektrických zařízení, protože i zapalování bylo tzv. žhavicí trubkou. Brzy bylo sice nahrazeno nízkonapěťovým odtrhovým zapalováním, které se však příliš neosvědčilo, a proto na jeho místo nastoupilo zapalovací magneto.“ [1; str.11] Zapalování se stalo první elektrickou výzbrojí vozidel se spalovacími motory. Jako zdroj elektrického proudu byl použit jednofázový generátor, po němž je pojmenován i systém zapalování – magneto.

Teprve ve třetí dekádě 20. století se začínají ve větší míře objevovat další součásti elektrovýzbroje – osvětlení, houkačka, dokonce i startéry, stále však byly výsadou pouze některých vozů. S tím souvisí i nové součásti vozidel nezbytné k činnosti dalších částí elektrovýzbroje, tedy zdrojová soustava. Jako nejvhodnější v kontextu doby a technického vývoje bylo zvoleno stejnosměrné dynamo s derivačním (paralelním) buzením a k němu byla přidružena olověná baterie.

Vývoj však postupoval vysokým tempem a po několika letech se již tato zařízení stávala standardními a přibývala zařízení další. Jako velký posun kupředu se ukázal vynález polovodičových součástek, především diody tranzistoru, které velkou měrou přispěly ke změnám v elektrických částech vozidel. Již nebylo nutné dosazovat některá zařízení, jež se často stávala zdroji poruch a bylo možné je nahradit novými strukturami (např. zpětný spínač

dynama byl nahrazen diodou, elektromechanické relé buzení dynama bylo nahrazeno elektronickým regulátorem, po poklesu cen polovodičů bylo i dynamo nahrazeno 3f alternátorem s usměrňovačem). Systém zapalování též doznal změn, kdy mechanický rozdělovač byl nahrazen elektronickým. Všechny tyto změny přispěly k vyšší životnosti a spolehlivosti elektrovýzbroje silničních vozidel odstraněním mechanických kontaktů. [1]

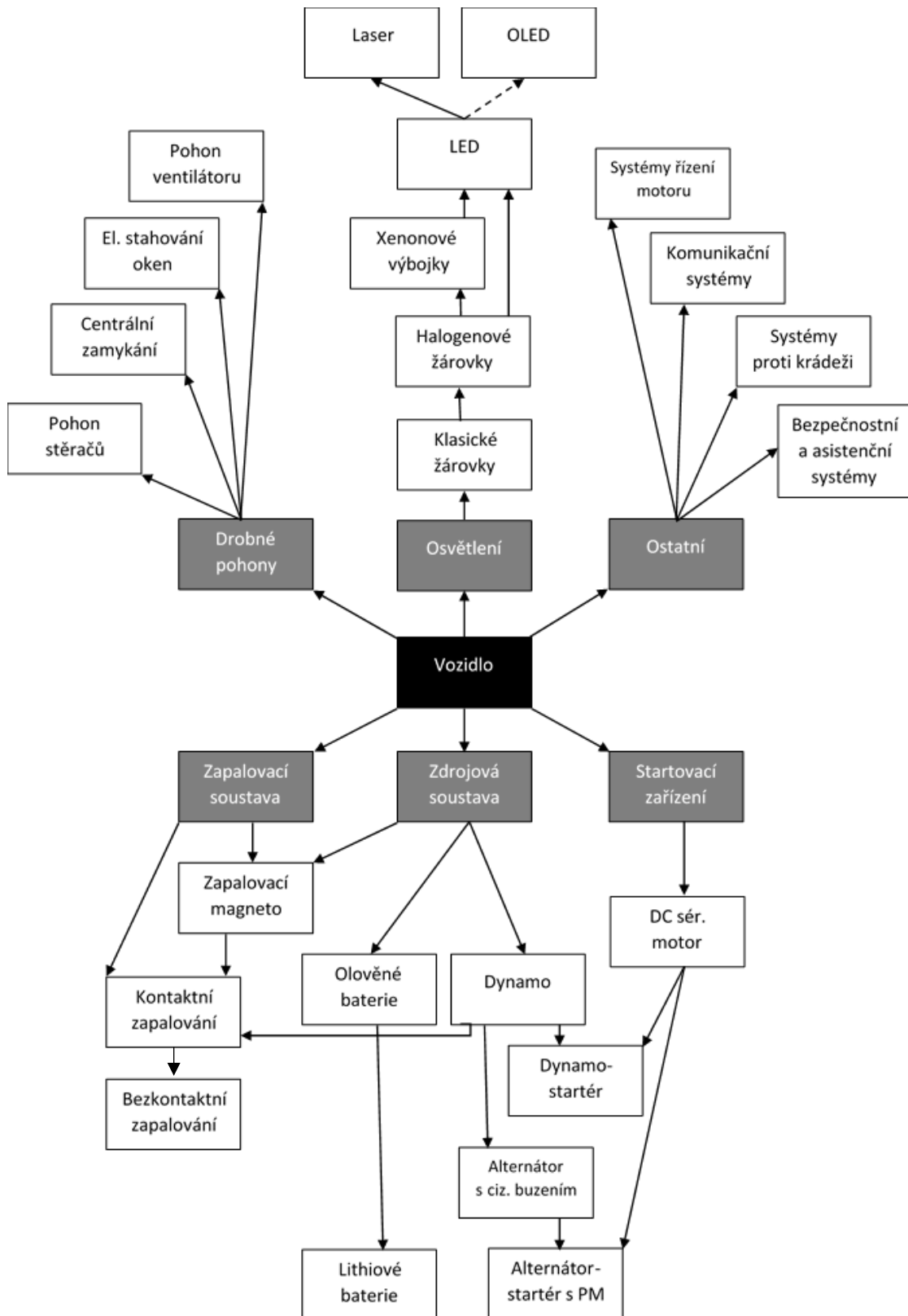
Polovodiče též umožnily rozvoj zcela nových prvků výbavy vozidel – ať už se jedná o komfortní prvky (např. centrální zamykání, tranzistorové rádio), bezpečnostní (ABS, ESP, ASR), systémy řízení motoru a kontroly emisí a nespočtu dalších.

Současným trendem je co největší redukce mechanických prvků ve vozidlech za účelem snížení hmotnosti vozidla, či jeho emisí. Stále častěji je startér nahrazován strojem se sdruženou funkcí alternátoru a startéru, řízeným frekvenčním měničem. To umožňuje zjednodušení systému startování a zároveň se otevírají nové možnosti snižování emisí vozidel, zlepšení jízdních vlastností a lepší hospodaření s energií.

Vzhledem k takřka vyčerpaným možnostem zlepšování účinnosti spalovacích motorů lze předpokládat, že se v budoucnu bude věnovat pozornost především inovacím v elektrotechnické výzbroji vozidel a přecházení na elektrickou mobilitu.

# 1. Historický vývoj hlavních součástí elektrovýzbroje vozidel

Vývoj hlavních součástí elektrovýzbroje silničních vozidel lze velmi stručně pro přehled shrnout do vývojového diagramu.



Obr. 1: Vývojový diagram elektrovýzbroje silničních vozidel

## 1.1.Zdrojová soustava

Agregáty pro výrobu elektrické energie patří k nejdůležitějším a často nepostradatelným komponentům elektrovýzbroje silničních vozidel. Ostatní elektrická výzbroj vozidla je na nich zpravidla přímo závislá, nejedná-li se o elektromobil

### 1.1.1. Počátky

Nedlouho po vynálezu spalovacích motorů byl řešen problém, jak vytvářet elektrickou jiskru pro zážeh paliva. Jelikož se zapalování žhavicí trubkou, nebo nízkonapětovým odtrhovým zapalováním, příliš neosvědčilo, bylo vyvinuto zapalovací magneto, což je jednoduchý alternátor, jehož rotor tvoří permanentní magnety. Pro generování vysokonapětových pulzů je tento alternátor spojen také s autotransfornátorem, který je často součástí samotného magneta. Magneto vyniká vysokou spolehlivostí, proto bylo používáno na vozidlech vybavených i jiným zdrojem napětí – sestav dynamo a baterie, dosazovaných pro potřeby dalších systémů (např. osvětlení). V některých aplikacích je magneto díky své spolehlivosti používáno dodnes, např. letecké pístové motory, či jednoduché stroje se spalovacími motory (např. motorové pily, sekačky apod.)

Ústup od používání magneta pro zapalování nastal v důsledku potřeby jednoduššího startování spalovacích motorů, především elektrickými startéry (magneta měla problém s dodáváním dostatečné energie při nízkých otáčkách), a také možnostem využití nastupující palubní sítě napájené baterií a dynamem. [2]

### 1.1.2. Dynamo

S potřebou palubní sítě byl hledán vhodný zdroj napájení. Jako nejlepší se v dané době jevil dynamo, které generovalo stejnosměrný proud vhodný pro napájení palubních spotřebičů a hlavně baterie. Bylo však potřeba vyřešit několik problémů.

Tím největším problémem byla regulace výstupního napětí dynamo, aby při zvýšených otáčkách nedocházelo k přepětí. Tento problém se vyřešil regulací buzení dynamo. Jako nejvhodnější typ buzení se ukázalo derivační, jelikož s ním má dynamo tvrdou charakteristiku a není zapotřebí vnější zdroj energie k buzení. Regulátor buzení pomocí relé sledoval výstupní napětí dynamo a při překročení jisté meze (dáno použitou baterií a spotřebiči) relé odepnulo (zkratovalo) buzení, či k němu do série vřadilo impedanci. Nejprve se objevovala jednoduchá relé se dvěma polohami, později se přidala složitější relé se dvěma kotvičkami, což umožňovalo více poloh (zapnuté buzení – buzení přes impedanci – odepnuté (zkratované) buzení. To mělo výhodu v jemnější regulaci výstupního napětí a také v nižším počtu sepnutí, tedy i vyšší životnosti relé.

Dalším problémem byl zpětný proud z baterie (pakliže vozidlo baterii mělo). Docházelo by totiž k vybíjení baterie vozidla uvedeného do klidu, nebo při nízkých otáčkách motoru a vysokém zatížení dynamu. Tyto problémy řešil zpětný spínač, zpravidla zakomponovaný do relé regulace buzení, který při zpětném proudu odepínal dynamo od baterie.

Vývoj v oblasti polovodičů znamenal posun i pro dynamu. Jako první byl nahrazen zpětný spínač usměrňovací diodou, která významně zvyšovala spolehlivost a současně zamezovala i malým vybíjecím proudům z baterie při provozu dynamu. Také bylo možné bez potřeby další kotvičky instalovat proudové vinutí relé, které zajišťovalo odpojení buzení a tím i ochranu dynamu před přetížením. Nevýhodou diody je ovšem výkonová ztráta na přechodu, proto začaly být dosazovány schottkyho diody, které tento problém redukuje. I přesto však bylo nutné tyto diody chladit.

Dalším posunem byl výrazný pokles ceny tranzistorů a polovodičů obecně, což umožnilo nahradit i elektromechanický regulátor buzení regulátorem elektronickým, který měl nespornou výhodu v takřka neomezeném počtu spínacích cyklů odstraněním mechanických kontaktů, tedy i vyšší spolehlivosti. Další výhodou je odstranění hystereze relé, tedy i možnost regulace na přesnější hodnotu výstupního napětí.

### **1.1.3. Alternátory**

Alternátory, jakožto zdroje energie v silničních vozidlech, vlastně přišly dříve nežli dynamu, ovšem byly pouze pro jeden účel – tvorbu energie pro vytvoření jiskry k zapálení palivové směsi. Teprve o téměř století později se opět vrací ke slovu, byť v pozmeněné podobě. Nástup těchto, nejprve jednofázových, později v naprosté většině již 3f strojů, plnicích funkci zdrojové jednotky silničních vozidel se stejnosměrnou palubní sítí, opět umožnil rozvoj polovodičů, díky kterým bylo možno vyrobit jednoduše usměrňovač odolný otřesům, vibracím, pracující v širokém rozmezí teplot a mající minimální rozměry.

Důvodů, proč se začaly využívat alternátory, je hned několik: [1]

- Snadnější údržba – odpadá komutátor, kterým protéká veškerý zatěžovací proud, jsou zde pouze kartáče a kroužky pro přenos budícího proudu do rotoru, ten je však znatelně menší.
- Vyšší spolehlivost – souvisí s absencí komutátoru.
- Vyšší výkon v poměru ke hmotnosti – alternátor může pracovat při vyšších otáčkách, opět díky absenci komutátoru.
- Minimální rušení – nedochází k jiskření na komutátoru, což přispívá k elektromagnetické kompatibilitě, zvláště v dnešní době, kdy je nepřeborné množství elektronických zařízení nejen ve vozidle.

- Náhon od pohonné jednotky vozidla k alternátoru lze zpřevodovat tak, aby dobíjel baterii i při velmi nízkých otáčkách motoru, pokud by tak bylo zpřevodováno dynamo, při vysokých otáčkách pohonné jednotky by docházelo k poruchám komutace.
- Regulace proudu zde není potřebná – proud je omezen reaktancí statoru, která roste s otáčkami.
- Méně využitelnou výhodou (protože se pohonné jednotky v naprosté většině otáčejí vždy stejným směrem) je stále stejná polarita bez ohledu na směr otáčení.

Díky těmto výhodám je dnes 3f alternátor nejrozšířenější zdrojovou jednotkou silničních vozidel.

Regulace napětí alternátorů šla zpočátku elektromechanickou cestou. U jednodušších vozidel, např. motocyklů, kde byla konstantní zátěž, nebyla díky samoregulaci proudu potřebná vůbec a buzení bylo permanentními magnety. V ostatních případech se však užívaly tzv. vibrační regulátory, které fungovaly obdobně, jako elektromechanický regulátor buzení dynam. Oproti nim však neobsahovaly zpětný spínač, jehož funkce se přenesla na usměrňovač. Také tyto regulátory musely zajistit nabuzení alternátoru z akumulátoru, jelikož zde nebyl dostatečný remanentní tok k nabuzení při nízkých otáčkách.

Elektromechanické regulátory však stihl stejný osud, jako v případě obdobných regulátorů dynam. Díky lepší dostupnosti polovodičových prvků, zejména tranzistorů, se začalo přecházet na mnohem spolehlivější a kompaktnější regulátory elektronické. Principem se příliš neodlišovaly od regulátorů dynam, ovšem až na buzení nikoliv z výstupních svorek, nýbrž z akumulátoru.

Ani jednoduché elektronické regulátory nejsou posledním vývojovým stupněm. Spínají totiž v nepravidelných intervalech, což není zcela ideální vzhledem k elektromagnetickému rušení ostatních přístrojů. Také regulace není hladká a je nespojitá. Proto byly vyvinuty nové regulátory pracující s pulsně-šířkovou modulací (PWM) budícího proudu. Díky tomu lze těmto nežádoucím jevům zamezit vhodně zvolenou frekvencí modulace.

V současné době nejaktuálnějším řešením zdrojové soustavy je alternátor s permanentními magnety. Jeho výhodou je absolutní bezúdržbovost, jelikož neobsahuje žádné kontaktní prvky. Ovšem toto není jediný důvod využívání tohoto typu alternátoru. Tím hlavním důvodem je možnost tento alternátor využít též jako synchronní motor s permanentními magnety, např. pro start spalovacího motoru. Tento alternátor, oproti alternátoru s budícím vinutím, je nutno regulovat komplexnějším regulátorem, zpravidla fungujícím též jako frekvenční měnič.

#### 1.1.4. Akumulátory

Velmi důležitým prvkem zdrojové soustavy jsou akumulátory. Slouží k uchování energie ve chvíli, kdy není dodávána energie ze zdrojové jednotky (např. alternátoru). Akumulátory se začaly šířit až společně s elektrickými startéry. Již od počátku se jednalo především o olovené akumulátory.

Olovené akumulátory po celou dobu jejich používání fungují stále na stejném principu – desek olova a oxidu olova umístěných do elektrolytu roztoku kyseliny sírové. Vývoj těchto baterií však přinesl mnohá zlepšení:

- Separátory – slouží k oddělení elektrod, nebrání však elektrochemické reakci; v obálkovém provedení zachytávají kaly odpadající z elektrod a umožňují zmenšení baterie o kalový prostor.
- Bezúdržbové akumulátory – do akumulátorů původní konstrukce bylo nutné dolévat destilovanou vodu, bezúdržbové akumulátory toto nepotřebují díky některé z konstrukcí:
  - s tekutým elektrolytem, kde ve víku nádoby akumulátoru je soustava kanálků zajišťující odplynování a zároveň nedovolí vysychání;
  - technologie ATM, elektrolyt je nasáknutý v separátorech;
  - gelové baterie.
- Nové typy elektrod – jiné tvary, uspořádání umožňující levnější výrobu, nebo např. menší vnitřní odpor. [5]

Tyto akumulátory byly dlouhou dobu především pro své vysoké vybíjecí proudy, malý vnitřní odpor a přijatelnou cenu nepřekonané. Přes určité pokusy s NiCD či AgZn akumulátory, byly používány Pb akumulátory stále v naprosté většině případů. Vše se začalo měnit s nástupem lithiových akumulátorů, které pro své vlastnosti postupně olovené baterie nahrazují. Mají však i svá úskalí.

V porovnání s Pb bateriemi má lithiový následující charakteristiky

- Vyšší hustota energie.
  - V přepočtu na kilogram 5x vyšší.
  - V přepočtu na objem 7x vyšší.
- Nižší vnitřní odpor.
- Nízká hmotnost.
- Mnohonásobně vyšší cena v přepočtu na kapacitu.
- Nebezpečí požáru lithiových baterií při jejich mechanickém poškození.
- Nutnost použití řídicí elektroniky pro správné fungování akumulátoru.

- Nákladnější recyklace než výroba nového akumulátoru, akumulátor však neobsahuje takové množství toxických látek, jako olovený.

Vlivem tlaku na snižování emisí a stále větší potřebě elektrické energie v silničních vozidlech se v některých případech stává nezbytné použití akumulátorů na bázi lithia, především pro úsporu hmotnosti. Olovené akumulátory však i nadále mají a též mít budou svůj podíl na trhu především díky nízké ceně a snadné recyklovatelnosti. [6]

## 1.2. Startovací zařízení

### 1.2.1. Počátky

Pro start spalovacího motoru je potřebná vnější síla, která překoná všechny mechanické a hydraulické odpory motoru a přivede spalovací motor alespoň do minimálních otáček, při kterých je již motor schopen vytvářet točivý moment. Toho se poměrně dlouhou dobu dosahovalo pomocí ruční kliky, ovšem tento způsob byl fyzicky náročný, nepohodlný, a dokonce i nebezpečný. Proto se začaly postupně šířit i jiná startovací zařízení. Ať se jednalo o startování pružinou, patronou se střelným prachem, nebo jinými technikami za použití lidské síly, žádný z těchto způsobů nebyl pro obsluhu příliš jednoduchý a nenáročný i z hlediska opakovatelného použití (např. prachové patrony). Na prahu 20. století se proto začal rozvíjet startér elektrický, jenž umožňoval jak opakovatelné použití, tak snadnou obsluhu, a především vysokou míru bezpečnosti. [1]

### 1.2.2. Elektrické startéry

Na počátku používání elektrických startérů bylo potřeba vyřešit několik problémů:

- Zdroj napájení.
- Typ použitého motoru pro elektrický startér.
- Řešení připojení startéru k motoru.

Jako první se s těmito problémy vyrovnala automobilka Cadillac, která v roce 1912 instalovala do svého automobilu právě elektrický startér. [10] Díky tomuto kroku bylo startování automobilu o poznání snadnější a bezpečnější. Startování pomocí kliky však přetrvalo až do 60. let, kdy již byly startéry dostatečně spolehlivé.

Nejčastěji se jednalo (a stále se jedná, pakliže mluvíme o elektrickém stroji pouze pro startování) o stejnosměrný sériový motor, použitý především pro svou vhodnou momentovou charakteristiku [obr.]

Přes určité výjimky (např. el. stroje se sdruženou funkcí startéru a generátoru) je připojování startéru k motoru provedeno zpravidla elektromagneticky výsuvnou hřídelí



s pastorkem, který zapadne do ozubeného kola připojeného ke klikové hřídeli spalovacího motoru.

Detailnějšímu popisu vývoje startovacích zařízení se věnuji v kapitole „vývoj startovacích systémů a jejich inovace“

### **1.3.Osvětlení**

Nedílnou součástí každého silničního vozidla je jeho osvětlení. Slouží ke zvýšení komfortu a aktivní bezpečnosti vozidla. Ani tato část silničních vozidel nezůstala bez inovací, dokonce prochází inovacemi značného rozsahu.

První osvětlení silničních vozidel bylo provedeno pomocí acetylenových lamp. Jejich svítivost nebyla nikterak vysoká, ovšem v počátcích automobilové dopravy nenabývala vozidla vysokých rychlostí, v noci byla provozována minimálně, a tak tyto lucerny potřebám doby postačovaly. Na počátku 20. století se však objevují první elektrická osvětlení. Změny se však ve větší míře začaly dít po skončení 1. světové války, kdy s bouřlivým technologickým vývojem přichází do automobilů elektrické osvětlení. Dřívější typy žárovek měly příliš křehká vlákna pro provoz při vibracích, proto se nástupu do silničních vozidel žárovky dočkaly až s příchodem wolframových vláken. Toto osvětlení má výhody jednak v lepší svítivosti, ale také ve snazším ovládní a možnosti získávání elektrické energie z mechanické na klikovém hřídeli.

Osvětlení neustále procházelo vývojem, nejen z pohledu nových zdrojů světla, ale též z pohledu lepších možností v oblasti usměrnění světelného toku zrcadly, či optickými skly.

Další érou se stal vynález halogenových žárovek a jejich typizovaná výroba. Tyto žárovky měly vlákna žhavená na vyšší teplotu, čímž měla vyšší svítivost při menší spotřebě energie. Jejich rozdíl oproti žárovkám běžným je v přidání halového prvku do atmosféry baňky, ve které je vyšší tlak než atmosférický. Díky halogenovému cyklu se při provozu uvolněné atomy wolframu neusazují na skle baňky, nýbrž se vrací zpět na vlákno. Tím je umožněno zmenšit samotnou žárovku (není potřebná velká plocha baňky pro rozprostření molekul wolframu a zajištění propustnosti světla) a současně má vyšší účinnost. Typizovaná výroba zajišťovala snadnou výměnu i cenovou dostupnost dílů. Snad proto přetrvávají halogenové žárovky u levnějších modelů automobilů dodnes.

Další kapitolou bylo použití výbojkových xenonových svítidel ve světlometech automobilů. Oproti halogenovým žárovkám měla až trojnásobnou účinnost i životnost. Daní za vyšší účinnost ale je velké množství nevýhod. Mezi ty nejzásadnější patří konstrukční složitost, tedy i cena, jelikož xenonová svítidla potřebovala pro svůj provoz navíc startér, řídicí jednotku a transformátor. Též z hlediska bezpečnosti ostatních účastníků provozu bylo povinné instalovat automatické nastavování sklonu světlometů, aby nedocházelo k oslnění. Cena všech těchto

zařízení zamezila masivnímu rozšíření těchto světlometů a byly tedy výsadou dražších vozů, či příplatkové výbavy.

V současné době již xenonová svítidla do nových vozidel téměř nejsou dosazována, na jejich místo nastupují světlometry s LED technologií. Mají výhodu v tom, že se dají konstruovat na palubní, zpravidla 12V napětí (oproti xenonům) a účinnost mají mnohem vyšší. Též umožňují různorodé uspořádání světlometu, což značně rozšiřuje možnosti co nejlepšího osvětlení vozovky. Díky neustále snižující se ceně jsou LED světlometry dosazovány i do levných modelů automobilů a vytlačují tak i halogenové žárovky. Jistou nevýhodou je pouze jejich potřeba chlazení, většinou řešená pasivním chladičem, u velmi výkonných světlometů se přechází k chlazení aktivnímu. Historický vývoj světlometů je názorně vidět na obr. 2.

Ani LED technologie však není bez konkurence, je jí technologie laserová. Ta vyniká ještě vyšší účinností, ovšem stále má řadu nevýhod, především cenu způsobenou složitostí a precizností technologie, dále je zde také otázka bezpečnosti při poškození světlometu – vysoká intenzita laserového paprsku může snadno poškodit zrak. Též je konstrukční komplikací potřebné vyšší provozní napětí.



Obr. 2: Vývoj světlometů silničních vozidel. Foto Hills Ford [7]

Jako nová cesta se jeví využití organických diod – OLED. Tato technologie je však zatím nepříliš rozvinutá a kvůli omezené svítivosti je zatím experimentálně využívána jen na některé části vozu, např. zadní koncové svítilny, či interiérové osvětlení. Pro brzdová světla, hlavní světlomety, či směrová světla mají stále málo světelného výkonu.

#### **1.4.Drobné pohony**

Společně s vývojem silničních vozidel se neustále zvyšuje počet elektrických prvků ve vozidlech. V naprosté většině prvků se jedná o prvky komfortní, bezpečnostní, nebo prvky zajišťující snížení spotřeby, tedy i emisí vozidla.

Mezi nejčastější taková zařízení patří elektromotorky, zpravidla stejnosměrné, často s cizím buzením pomocí permanentních magnetů. Nejprve byly dosazovány například jako pohon stěračů, ventilátoru chlazení spalovacího motoru, či ventilátoru ventilace interiéru automobilu. Později se přidávaly další funkce elektromotorkům, zejména stahování oken, centrální zamykání, ovládání zpětných zrcátek a mnoho dalšího. V poslední době se elektromotory užívají stále častěji i k pohonům, které zajišťovaly klínové řemeny, či výfukové plyny. Jako příklad lze uvést turbokompresor, jehož pohon pomocí elektromotoru zvyšuje spolehlivost zařízení (odpadá natáčení lopatek) a zlepšuje možnosti řízení přepínání motorů.

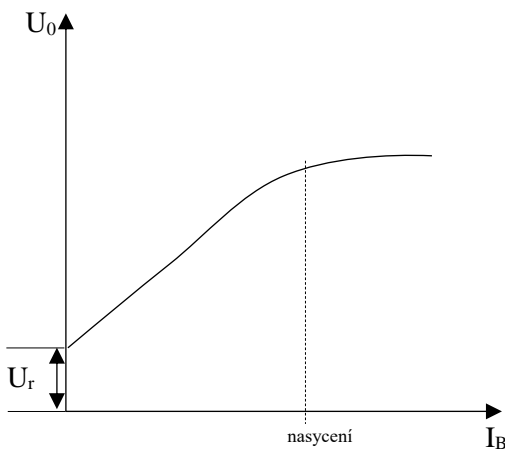
#### **1.5.Další**

K dalším částem elektrovýzbroje se řadí především drobnější spotřebiče. Jedná se o systémy řízení motoru, komunikační systémy (např. rádio, mobilní komunikace, internet...), bezpečnostní a asistenční systémy (ABS, ESP, ASR, asistent rozjezdu do kopce apod.) a též systémy proti krádeži (např. imobilizér, či alarm). Obecně lze říci, že až na výjimky se tato elektrovýzbroj ve vozidlech častěji objevuje teprve v posledních desetiletích.

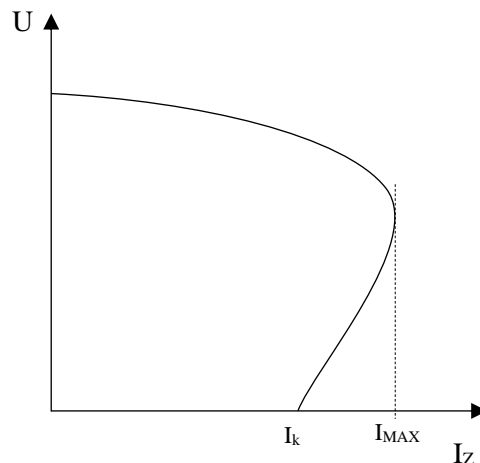
## 2. Návrh náhrady elektromagnetického regulátoru motocyklového dynama (JAWA) elektronickým regulátorem

### 2.1. Úvod k problematice

Aby v palubní síti motocyklu nedocházelo k přepětím při vysokých otáčkách motoru, nebo naopak silnému vybíjení (a tím i poškození) baterie při vysokém odběru proudu a malých otáčkách motoru, nastala potřeba regulace buzení dynama. Jelikož doba vzniku našeho regulátoru neumožňovala použití polovodičových elektronických prvků, byla konstrukce regulátoru založena na elektromechanickém relé. Ovšem s postupem času se ukazuje být relé k regulaci buzení technicky zastaralé a jakožto zdroj častých poruch je vhodné uvažovat o jeho náhradě. V našem případě se jedná o náhradu regulačního relé motocyklu Jawa s dynamem o výkonu 45 W, s napěťovým systémem 6 V a kladným pólem na kostře.



Obr. 3: Vnitřní charakteristika dynama



Obr. 4: Zatěžovací charakteristika derivačního dynama

### 2.2. Původní mechanické relé

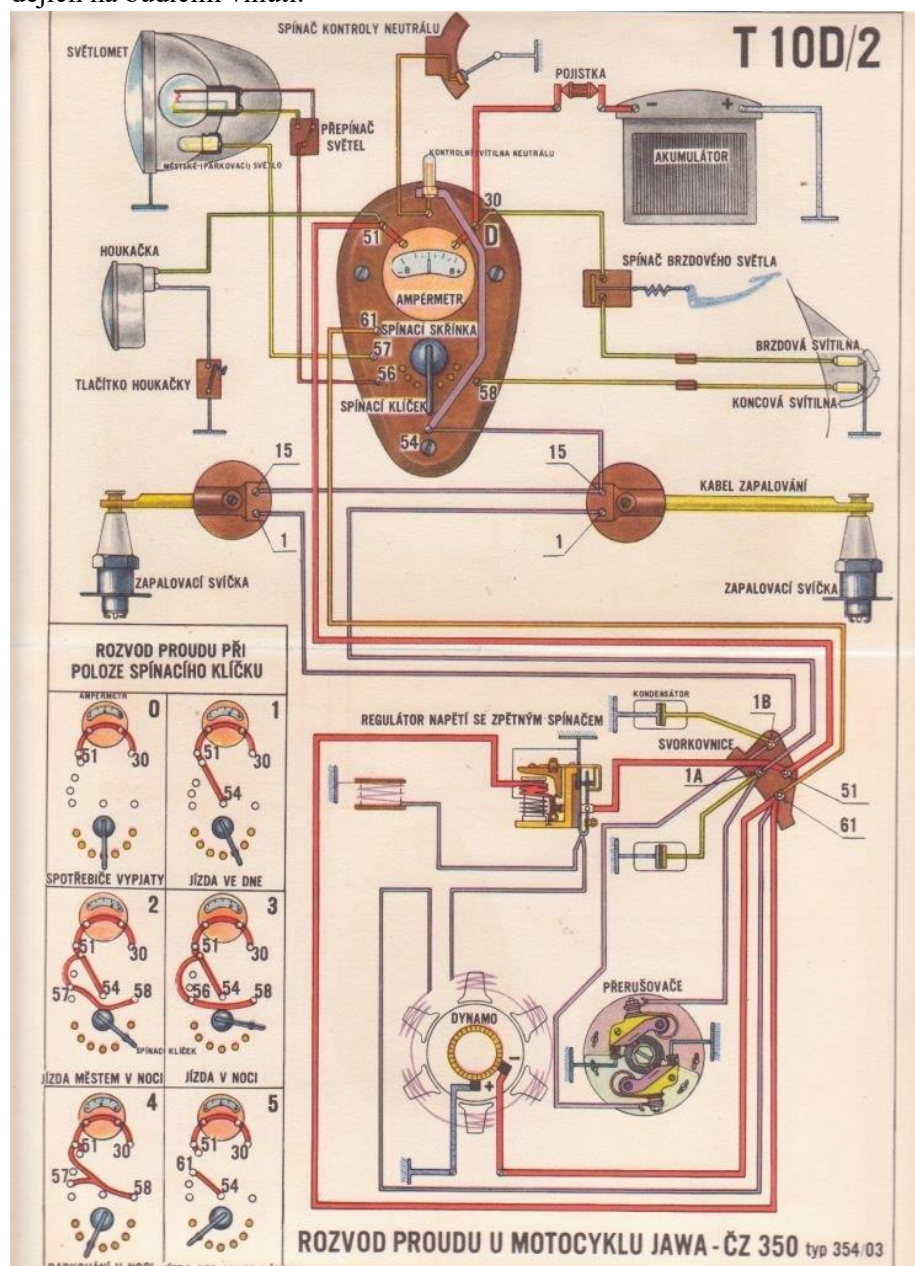
Původní relé pro regulaci buzení dynama motocyklu JAWA mělo dvě funkce – regulace napětí dynama pomocí buzení a funkci zpětného spínače. Obě tyto funkce zajišťovala jedna kotvička přitahovaná cívkou s dvojitým vinutím – napěťovým a proudovým, kde napěťové vinutí slouží regulaci napětí a proudové vinutí pro zpětný spínač.

Relé má tři polohy:

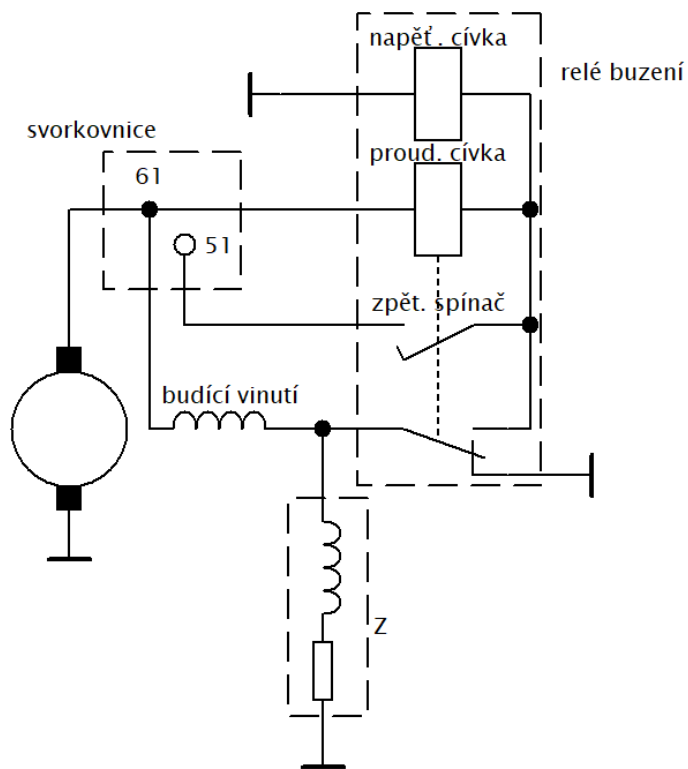
- základní – budící vinutí připojeno k výstupním svorkám dynama, zpětný spínač vypnut;
- budící vinutí připojeno k výstupním svorkám dynama, zpětný spínač sepnut;
- budící vinutí zkratováno, zpětný spínač sepnut.

Princip činnosti tohoto relé spočívá ve vzájemném působení magnetických toků napěťové a proudové cívky, které vytvářejí magnetickou sílu pro přitažení kotvičky. Schéma relé v kontextu k obvodu buzení je na obr. 7. Při provozu dynama a při nižším napětí na baterii nežli na výstupních svorkách dynama, působí magnetický tok tvořený proudovou cívkou souhlasně s magnetickým tokem tvořeným cívkou napěťovou. Při poklesu napětí na výstupních svorkách dynama (např. při nízkých otáčkách motoru, vysokém zatížení dynama), změní se směr proudu, z baterie je napájeno dynamo, tedy magnetický tok proudové cívky působí proti magnetickému toku cívky napěťové a dochází k rozepnutí zpětného spínače.

V opačném případě, kdy je na výstupních svorkách příliš vysoké napětí, protéká napěťovou cívkou relé vyšší proud, tedy tvoří větší magnetický tok. To způsobuje přitažení kotvičky relé do polohy, kdy zkratuje budící vinutí. Stejný výsledek nastane též v případě nadproudu, jelikož směr proudu v napěťové i proudové cívce je totožný. Opět je tedy zkratováno budící vinutí dynama. Tím je dynamo i relé chráněno proti přetížení nadproudem. Ve schématu buzení je též impedance  $Z$ . Ta slouží k ochraně kontaktů relé buzení před opalováním při přechodových dějích na budícím vinutí.



Obr. 5: schéma elektroinstalace motocyklu JAWA-ČZ 350 typ 354/03 [8]



Obr. 7: Schéma budicího obvodu JAWA

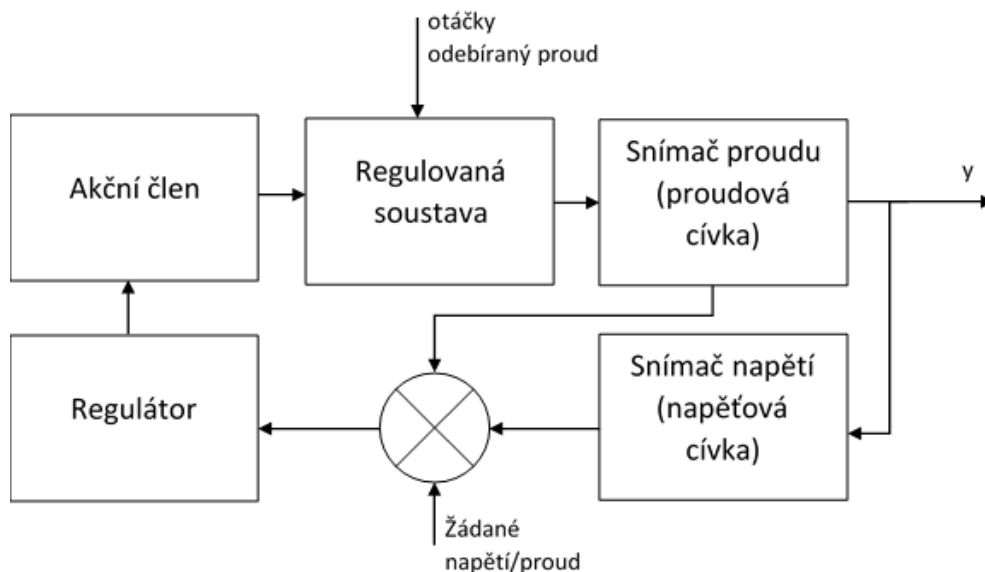


Obr. 6: Relé regulace buzení motocyklového dynama JAWA 45 W



Obr. 8: pohled na pomocnou impedanci Z pro ochranu kontaktů relé buzení

Princip automatické regulace buzení dynama lze též znázornit pomocí regulačního schématu, kde regulovanou soustavou je dynamo samotné, regulátorem jsou proudová a napěťová cívka v kombinaci s vratnou pružinou, současně též komparátorem a snímačem a akčním členem jsou kontakty relé.



Obr. 9: regulační schéma buzení

### 2.3. Možné způsoby náhrady

V rámci historického vývoje se objevuje celá řada řešení zlepšujících vlastnosti regulátoru, či jeho spolehlivost. Nejprve došlo k nahrazení zpětného spínače usměrňovací diodou, což neřeší problém s nahrazením mechanického relé.

Další možností je nahrazení elektromechanického relé jednoduchým elektronickým regulátorem s tranzistory. Tento regulátor je poměrně jednoduchý a v zásadě je jeho funkce totožná s relé. Pro jednoduchou elektroinstalaci motocyklu plně dostačuje.

Též je možnost nahrazení relé elektronickým regulátorem s pulsně-šířkovou modulací. Tento způsob je ze zmíněných možností nejvíce složitý. Nabízí sice plynulou regulaci napětí, ovšem pro případ motocyklu je toto téměř zbytečné. Nehledě na nepříliš dobrou dostupnost potřebných součástek na napětí 6 V.

### 2.4. Návrh náhrady elektromagnetického regulátoru

Při návrhu elektronického regulátoru je třeba vycházet z funkce původního regulačního relé. Relé plní několik funkcí:

- zamezuje zpětnému toku proudu z baterie do dynamu;
- zajišťuje regulaci výstupního napětí prostřednictvím regulace buzení – k tomu účelu má dvě polohy – plné buzení a zkratované budící vinutí;

- chrání proti nadproudu prostřednictvím regulace buzení – při nadproudu zkratuje budící vinutí.

Elektronický regulátor by tedy měl těmito funkcemi disponovat.

První funkci (zamezení zpětnému toku proudu zpět z baterie do dynama) může převzít usměrňovací dioda. Problémem však může být úbytek napětí na diodě v propustném směru. Ten činí minimálně 0,7 V u běžné křemíkové diody. Při průtoku proudu až cca 7,5 A se jedná o poměrně velkou výkonovou ztrátu v závislosti na typu diody. To by vyžadovalo i patřičné chlazení, ovšem jsme omezeni vestavným prostorem. Proto je vhodné uvažovat o jiném typu diody. Jako nejvhodnější se jeví schottkyho dioda, která díky své konstrukci přechodu polovodič-kov má menší úbytek napětí na přechodu o polovinu.

Elektronický regulátor by měl, obdobně jako původní elektro-mechanický, regulovat výstupní napětí i proud dynama. Měl by tedy tvořit společně s dynamem regulovanou soustavu, jejíž schéma je podobné s regulovanou soustavou na obr. 9. Pro funkci regulátoru je tedy třeba spojit několik dílčích částí:

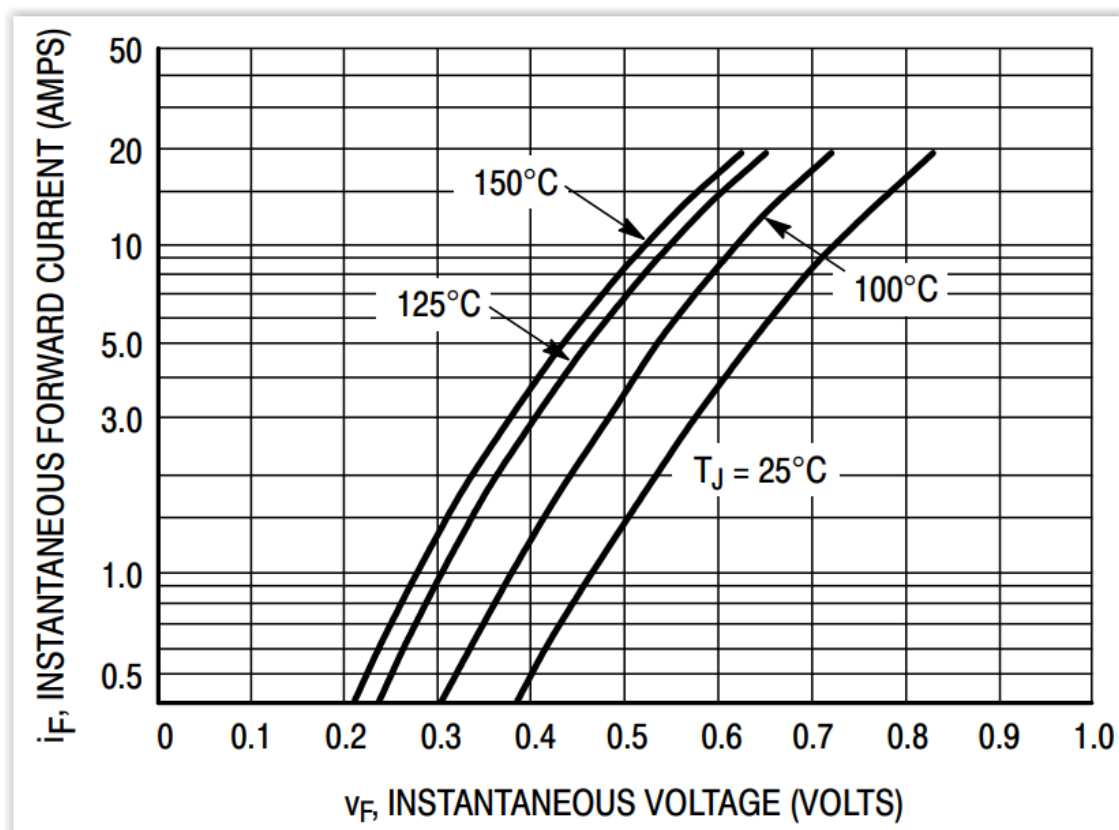
- snímač napětí – napěťový dělič;
- komparátor – zenerova dioda (zakomponována do děliče napětí);
- snímač proudu (prvek tvořící impedanci v hlavní proudové cestě ze svorek dynama);
- regulátor tvořený tranzistorem (tranzistory) otevírající se na základě napětí na děliči (jsou bez většího výkonového zatížení) + tranzistor reagující na úbytek napětí na impedanci v proudové cestě a zasahující svým vlivem do obvodu tranzistoru (tranzistorů) reagující na napětí na děliči napětí;
- akční člen – výkonový tranzistor.

Pro regulaci napětí prostřednictvím řízení buzení je vhodné použít jako zdroj referenčního napětí zenerovu diodu s napěťovým děličem. Dále je třeba zařadit prvky spínací, které na základě napětí z napěťového děliče spínají/rozpínají obvod buzení. Jako velmi jednoduché řešení, které je však velmi účinné lze zvolit tranzistor ve spínacím režimu s dalšími, budícími, tranzistory. Budící tranzistory jsou nutné zejména pro saturování výkonového tranzistoru a též ke zkrácení spínacích/rozpínacích časů. Tuto sestavu je třeba odladit tak, aby měla, co nejmenší spotřebu při stavu odepnutého buzení, a hlavně nebyly přetěžovány budící tranzistory.

Další funkcí regulátoru má být omezení zatěžovacího proudu dynama. Pro tento účel je nutné získat údaj o velikosti zatěžovacího proudu. Možným řešením je vřadit do obvodu rezistor s velmi malým odporem, na němž bude snímán úbytek napětí. Tento způsob však tvoří další



výkonovou ztrátu (kromě diody nahrazující zpětný spínač) a je vhodné uvažovat o jiných způsobech. Z hlediska minimální výkonové ztráty je vhodná hallova sonda snímající magnetický tok tvořený procházejícím proudem. Zde však nastává problém v nutnosti sondu napájet určitým napětím. Též fyzická velikost sondy může být překážkou. Je tedy vhodnější hledat jiné řešení. K tomuto účelu se přímo nabízí prvek, který je již do obvodu zařazen – usměrňovací dioda. Podíváme-li se na její V-A charakteristiku (obr. 10), zjistíme téměř lineární průběh v námi potřebné oblasti. Při maximálním zatěžovacím proudu (cca 7,5 A) je úbytek na diodě blízký se 0,6 V. [11] Toho lze s výhodou využít právě k regulaci zatěžovacího proudu. Jako vhodné řešení se tedy jeví využití dalšího tranzistoru, který spíná na základě úbytku napětí a zasahuje do napěťového děliče se zenerovou diodou, sloužícím regulaci napětí. Nedostatkem tohoto řešení však je změna parametrů s přibývajícím teplotou, kdy s narůstající teplotou klesá úbytek napětí na diodě a tím pádem i roste hodnota proudu, při kterém dochází k odbuzování. Je tedy třeba patřičně dimenzovat chlazení součástí a též správně nastavit hodnotu úbytku napětí, aby nemohlo dojít k přetížení dynamu, či diody.



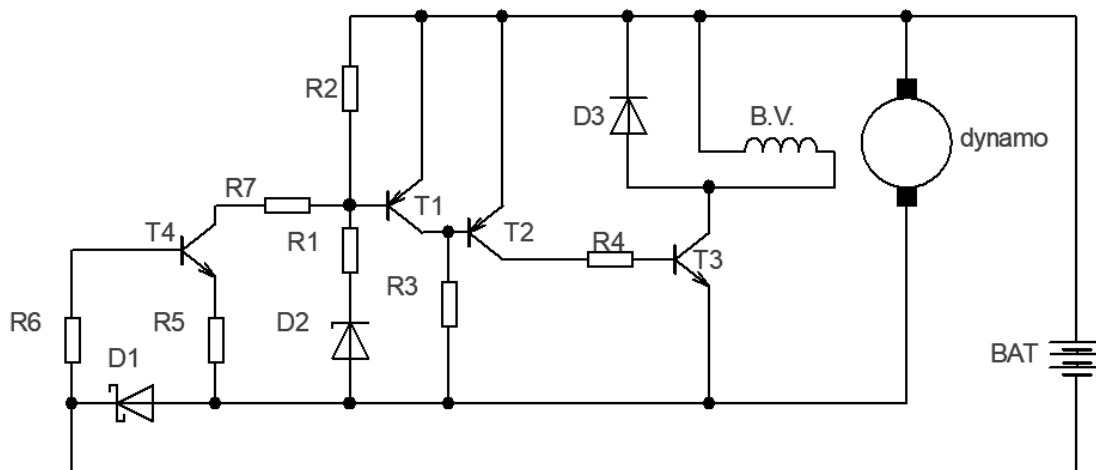
Obr. 10: VA charakteristika schottkyho diody MBR1080G [11]

Schéma tedy musí obsahovat:

- napěťový dělič se zenerovou diodou;
- budící člen v podobě tranzistorů vč. omezujících odporů;

- výkonový spínací prvek (tranzistor);
- zpětnou diodu;
- tranzistor pro regulaci proudu vč. omezujících odporů.

Sestavením těchto prvků tedy dojdeme ke schématu na obr. 11.



Obr. 11: Navržené schéma elektronického regulátoru

Napěťovým děličem se zenerovou diodou je R1, R2, D2; budícím členem jsou tranzistory T1 a T2, přičemž T1 se otevírá při překročení zenerova napětí D2, kdy začne děličem protékat proud a díky úbytku napětí na R2 dojde k otevření T1. Tím dojde ke zkratování emitoru a báze tranzistoru T2, který se uzavře. Rezistory R3 a R4 slouží k omezení proudu tranzistoru T1 a T2.

Jako spínací výkonový prvek je zde tranzistor T3. Jeho otevření závisí na otevření T2. Pro ochranu tranzistoru T3 před indukovaným napětím tvořeném na cínce budícího vinutí (B.V.) je zde zařazena paralelně k vinutí nulová dioda – D3.

Odepnutí buzení v případě nadproudu zajišťuje tranzistor T4, který se v případě vyššího úbytku napětí na diodě D1 otevírá a vytváří tak paralelní cestu k R1 s D2, čímž dochází k úbytku napětí na R2 a tranzistor T1 se otevírá.

## 3. Zhotovení a odladění regulátoru

### 3.1. Určení potřebných parametrů součástek

Při určování potřebných parametrů součástek je třeba vycházet z několika skutečností:

- maximální napětí, kterého má dosahovat výstup dynama je 7,2 V, tedy maximální napětí 6V baterie;
- maximální výstupní proud dynama odpovídá jeho výkonu 45 W. Tedy při 6 V je to 7,5 A;
- činný odpor budicího vinutí (bylo třeba změřit) je v našem případě 2,5  $\Omega$ ;
- součástky je třeba mírně předdimenzovat pro spolehlivý chod i v náročných podmínkách a při možných poruchách.

Cest, jakým způsobem lze zjistit potřebné parametry součástek je několik:

- výpočtem na základě obecných znalostí o elektronických součástkách (např. úbytky napětí na přechodech diod, na napěťových děličích, tranzistorech, ...);
- odhadem na základě obecných znalostí o elektronických součástkách, následně vytvoření modelu v simulačním programu a odladění potřebných parametrů právě v tomto programu;
- odhadem parametrů a odladění přímo s reálnými součástkami (např. na nepájivém poli).

Pro svou práci jsem zvolil druhou variantu, tedy odhad a doladění v simulačním programu, jelikož se mi jevila jako nejjednodušší a nejpřesnější.

#### 3.1.1. Odhad parametrů součástek

Pro schéma na obr. 11 je třeba orientačně nalézt parametry součástek.

V první řadě je třeba vycházet z potřebného budicího proudu. Budeme tedy v odhadu postupovat od tranzistoru T3.

- T3
  - Max. kolektorový proud  $I_C = \frac{U}{R} = \frac{7,2}{2,5} = 2,88 \text{ A}$ .
  - Minimální potřebný bázev proud pro saturaci při uvažovaném proudovém zesilovacím činiteli 200  $I_B = \frac{I_C}{H_{21e}} = \frac{2,88}{200} = 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ .
- T2 uvažujeme jako běžný tranzistor v pouzdře T092, jako charakteristickou hodnotu bereme max. kolektorový proud 100 mA.

- R4 dimenzujeme podle minimálního bázového proudu T3 a podle max. kolektorového proudu T2. R4 by tedy měl být co nejmenší a zároveň omezit zmíněný kolektorový proud. Uvažujeme při max. napětí 7,2 V a úbytku tranzistoru  $U_{BE} 0,6 \text{ V}$ :  $R_{4min.} = \frac{7,2-2(0,6)}{0,1} = 60 \Omega$   
Pro rezervu uvažujeme raději  $100\Omega$ .
- R3 slouží především omezení bázového proudu T2, u nějž opět uvažujeme proudový zesilovací činitel 200. Min.  $I_B$  je tedy  $I_B = \frac{I_C}{H_{21e}} = \frac{0,1}{200} = 5 \cdot 10^{-4}$   
 $R_{3max} = \frac{U_{max}-U_{BE}}{I_B} = \frac{7,2-0,6}{5 \cdot 10^{-4}} = 13\,200 \Omega$ .
- T1 uvažujeme jako obdobný tranzistoru T2.
- D2 – hodnotou závěrného napětí zenerovy diody se snažíme přiblížit žádané maximální hodnotě napětí – volíme tedy diodu se jmenovitou hodnotou 6,2 V.
- Dělič R2, R1 musí zamezit příliš vysokému proudu zenerovou diodou. Při otevření tranzistoru T1 je zkratován R2. Uvažujeme-li jako vhodnou hodnotu proudu zenerovou diodou v závěrném směru 5 mA, poté  $R_{1min} = \frac{U_{max}-U_{BE}-U_{zener}}{I_{zener}} = \frac{7,2-0,6-6,2}{0,05} = 80\Omega$ . Pro zkušební simulaci nastavíme stejnou hodnotu i pro R2. Přesné vyvážení děliče proběhne při simulacích.
- D1 – schottkyho dioda musí snést maximální zátěžný proud – při 6 V a 45 W odpovídá proud  $I = \frac{P}{U} = \frac{45}{6} = 7,5 \text{ A}$ .
- T4 uvažujeme opět obdobný jako T1 a T2, ovšem typu NPN.
- R5, R6 volíme co nejnižší, jelikož  $U_{BE}$  je téměř shodné s max. úbytkem napětí na diodě, pro zkušební simulaci  $1\Omega$ .
- R7 zvolíme malý vzhledem k málo otevřenému T4, zkušebně  $10\Omega$ .
- Jako nulovou diodu zvolíme libovolnou usměrňovací diodu.

### 3.1.2. Simulace

Pro simulaci našeho regulátoru jsem zvolil program LTspice, se kterým jsem se setkal během studia. Simulaci kolísání napětí dynamicky provedeme pomocí zdroje střídavého napětí a zatěžovací proud budeme nastavovat vnitřním odporem, příp. i napětím baterie. Namísto budícího vinutí dosadíme cívku se stejnými parametry. Zvolíme transienční analýzu

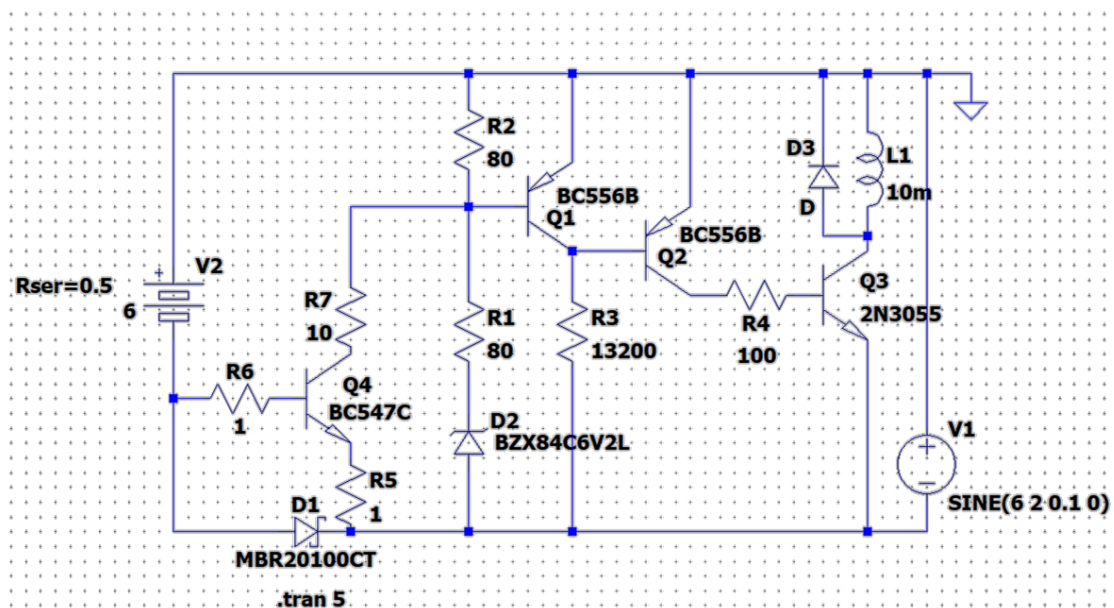
Budeme sledovat především:

- Výstupní napětí z dynamiky (zdroj střídavého napětí s DC offsetem).
- Proud procházející budícím vinutím.
- Proud procházející D1.
- Výkonové zatížení jednotlivých součástek.

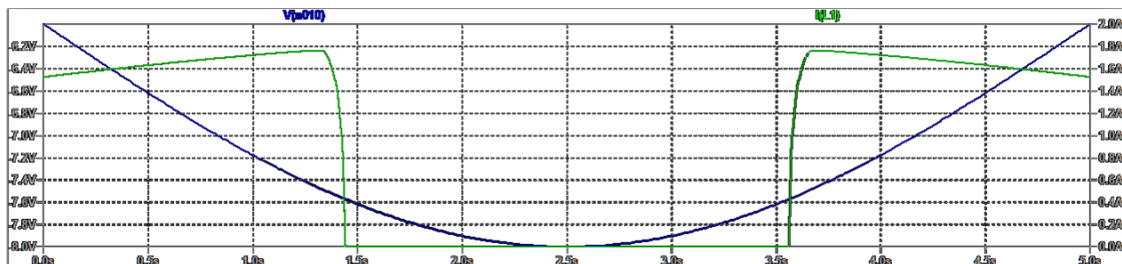
Provedeme simulaci na základě schématu na obr. 11 a dosadíme odhadnuté hodnoty. Výsledné schéma pro simulaci v programu LTspice je na obr. 12.

Provedeme transientní analýzu, čas začátku a konce simulace zvolíme dle frekvence (v našem případě jsem pro lepší názornost hrubých nedokonalostí obvodu zvolil frekvenci 0,1 Hz) délku simulace, stačí polovina periody, tedy 5 s. Námí zvolená půlperioba bude probíhat od DC offsetu (6 V) do napětí 8 V, které by mohlo krátkodobě nastat.

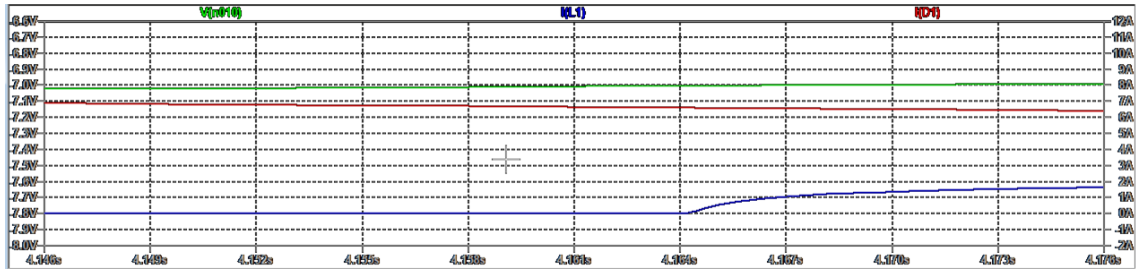
Budeme zaznamenávat průběhy veličin nejprve na výstupu z dynama (napětí), na budícím vinutí (proud), poté zkusíme snížit vnitřní odpor baterie tak, aby diodou D1 procházel proud reálných max. hodnot (zkouška vypínání buzení při nadproudu) a následně zkontrolujeme, zdali není nějaká součástka přetížena.



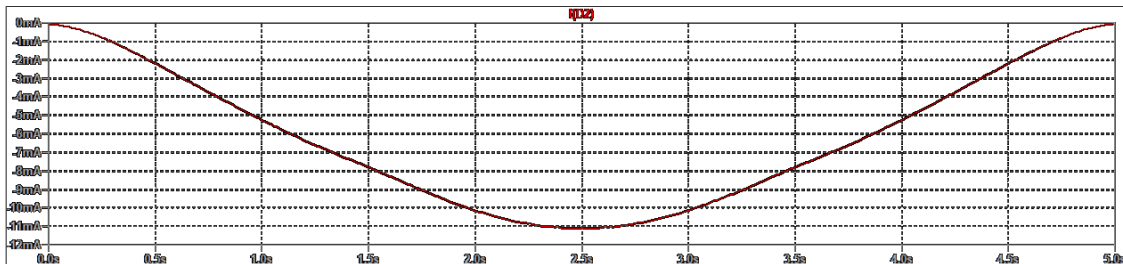
Obr. 12: Schéma regulátoru s odhadnutými parametry v prostředí programu LTspice



Obr. 13: LTspice: Průběh budícího proudu (zelená) v závislosti na napětí (modrá)



Obr. 14: LTspice: omezení buzení nadproudem – detail

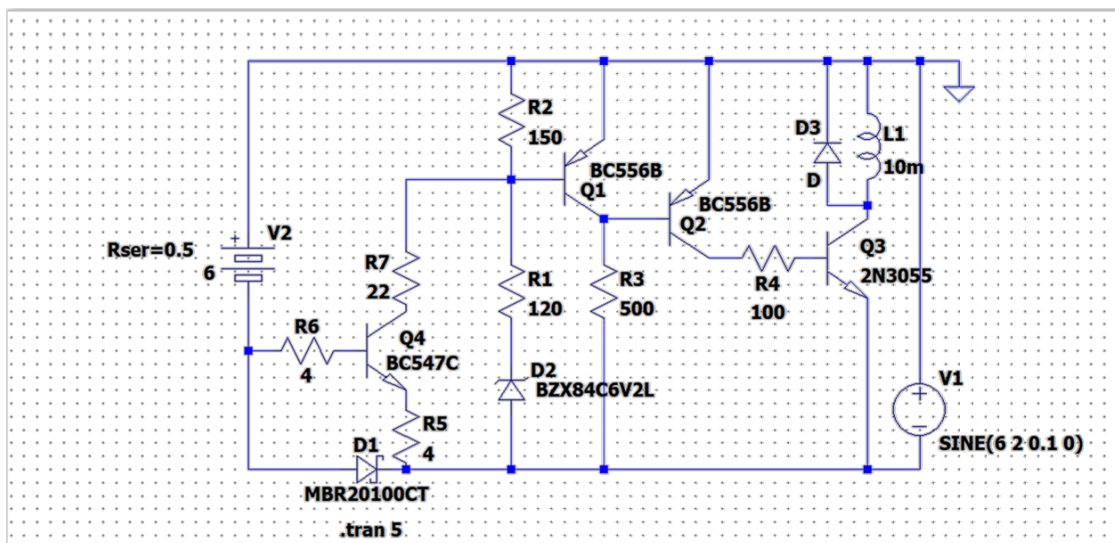


Obr. 15: LTspice: průběh proudu zenerovou diodou D2

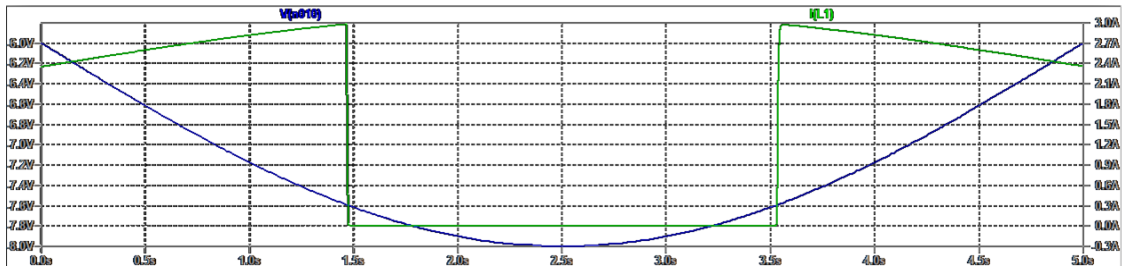
Ze simulací je zřejmých několik poznatků a potřebných změn:

- Pomalá rychlost přeběhu z vypnutého stavu buzení do zapnutého a opačně (přibližně 100ms – viz obr.13)
  - Úprava: větší nabuzení T2 snížením hodnoty R3
- Příliš nízký vypínací proud (viz obr.14)
  - Úprava: zvýšení hodnot R5÷R7

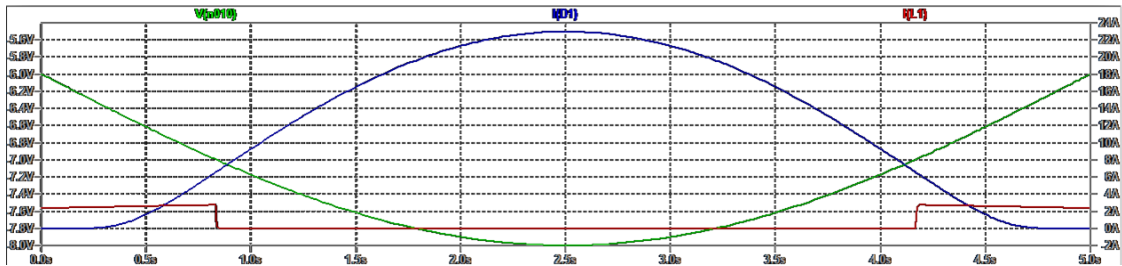
Na základě těchto poznatků jsem postupně upravoval hodnoty daných rezistorů, dokud se mi nepodařilo regulátor vyvážit a získat, pokud možno nejlepší parametry. Dle simulace je rychlost přepnutí tranzistoru T3 přibližně 10 ms. Tuto hodnotu již není reálné snižovat především vlivem indukčnosti vinutí.



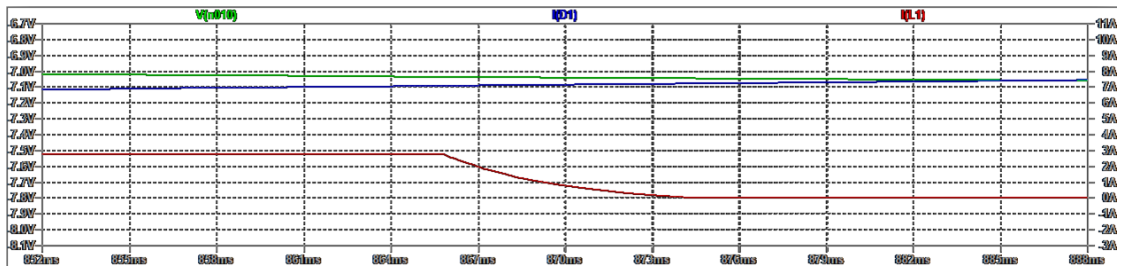
Obr. 16: LTspice: upravené parametry součástek



Obr. 17: LTspice: průběh budicího I (zelená) na U dynama (modrá) po úpravě



Obr. 18: LTspice: průběhy U dynama (zelená), zatěžovacího I(modrá) a budicího I(červená)



Obr. 19: LTspice: detail přeběhu I budicího (červená) do vypnutého stavu při nadproudu (modrá)

Dle výsledků simulace lze nyní vybrat součástkovou základnu pro výrobu regulátoru

### 3.1.3. Výběr součástkové základny

Název	Požadovaná hodnota	Nejbližší dostupná hodnota	Typ dostupné součástky	Poznámka k výběru
R1	120 $\Omega$	120 $\Omega$	120R	
R2	150 $\Omega$	150 $\Omega$	150R	
R3	500 $\Omega$	470 $\Omega$	470R	
R4	100 $\Omega$	100 $\Omega$	100R	
R5	4 $\Omega$	3,9 $\Omega$	3R9	
R6	4 $\Omega$	3,9 $\Omega$	3R9	
R7	22 $\Omega$	22 $\Omega$	22R	
T1	$I_{Bmax}=2,7$ mA $I_{Cmax}=17$ mA	$I_B=100$ mA $I_C=100$ mA	BC556A	
T2	$I_{Bmax}=14$ mA $I_{Cmax}=70$ mA	$I_B=100$ mA $I_C=100$ mA	BC556A	
T3	$I_{Bmax}=70$ mA, $I_{Cmax}=3$ A	$I_B=300$ mA, $I_C=8$ A	BD651	Tranzistor typu darlington pro saturaci relativně malým proudem, výkonová rezerva pro neočekávané situace; provozní teplota až 150 °C
T4	$I_B=0,8$ mA, $I_C=30$ mA	$I_B=100$ mA $I_C=100$ mA	BC547C	
D1	$I_F=7,5$ A	$I_F=10$ A	MBR1080	Schottkyho dioda; provozní teplota až 175 °C
D2	$U_R=6,2$ V $I_R=5$ mA	$U_R=6,2$ V $I_R=35$ mA	BZX85C 6V2	Zenerova dioda
D3	$U_R=8$ V	$U_R=1000$ V $I_F=3$ A	1N5408	Libovolná usměrňovací dioda pro odstranění přepětí při vypínání budícího vinutí

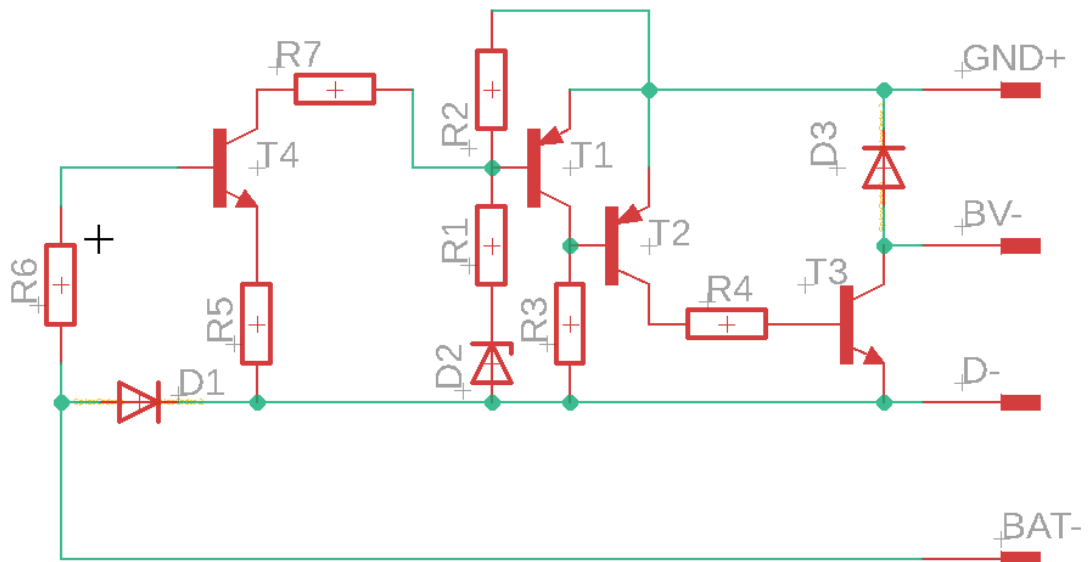
Obr. 20: tabulka hodnot součástek regulátoru



## 3.2. Vyhotovení

### 3.2.1. Návrh DPS

Pro návrh DPS jsem zvolil díky zkušenostem program Eagle. Nejprve jsem překreslil navrhnutý obvod regulátoru. Součástky jsem volil dle shody fyzických rozměrů s dostupnými součástkami. Schéma vytvořené v programu Eagle je na obr. 21

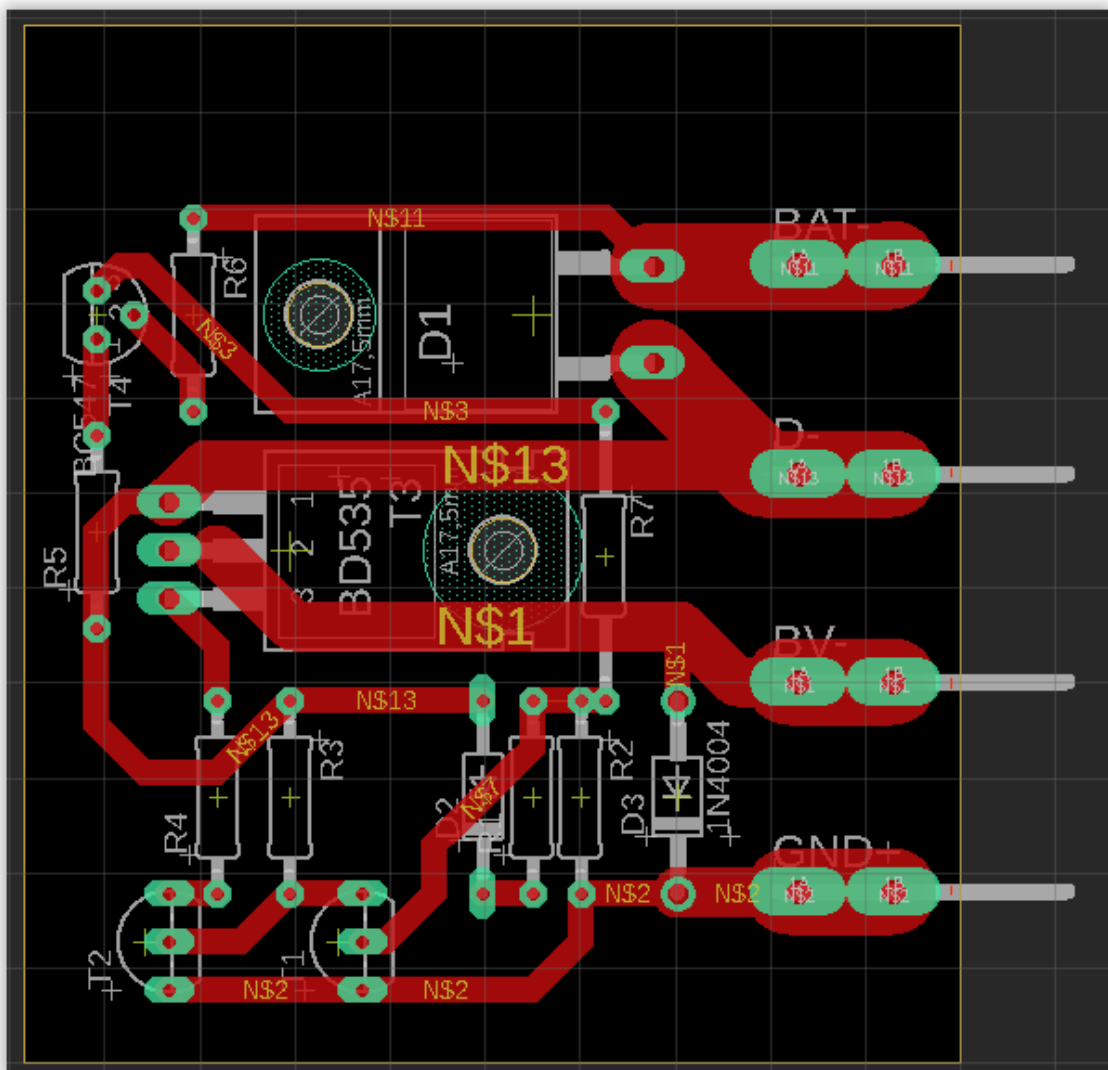


Obr. 21: schéma regulátoru v programu Eagle

Následně jsem program přepnul do režimu tvorby DPS. Pro uspořádání součástek na DPS a při tvorbě vodivých cest jsem dbal následujících pravidel:

- Co nejkratší a současně co nejširší vodivé cesty pro vysoké proudové zatížení (cesty k D1 a kolektoru a emitoru tranzistoru T3);
- dostatečně široké vodivé cesty bez velkého proudového zatížení;
- rozšíření vodivé cesty v místě připájení konektorů pro vysokou mechanickou pevnost;
- dostatečně široké mezery mezi vodivými cestami pro bezpečné galvanické oddělení;
- co největší kompaktnost regulátoru;
- možnost snadného připevnění výkonových prvků (D1 a T3) k chladiči.

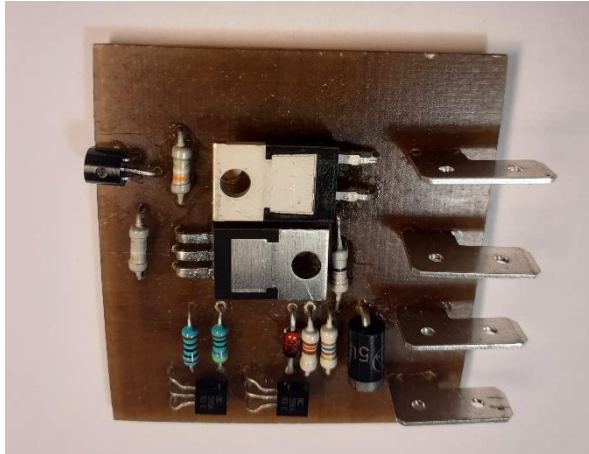
Na základě těchto pravidel jsem sestavil schéma vodivých cest DPS (obr. 22)



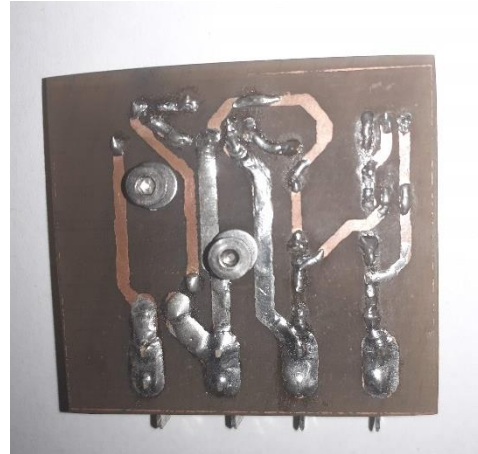
Obr. 22: schéma vodivých cest v programu Eagle

### 3.2.2. Praktické vyhotovení DPS

Schéma vodivých cest DPS jsem vytiskl v požadovaném měřítku na laserové tiskárně a přenesl jej na cuprexitovou destičku. Pro lepší ochranu vodivé cesty před leptáním jsem vodivé cesty obtáhl fixem na acetonové bázi. Následně jsem destičku ponořil do leptacího roztoku na výrobu plošných spojů. Do výsledné destičky jsem vyvrtal otvory v místech vývodů součástek a následně jí součástkami osadil. Též jsem zvětšil průřez proudových cest nanesením vrstvy pájky. Výsledná DPS je na obr. 23 (pohled na součástkovou stranu) a na obr. 24 (pohled na stranu vodivých cest).



Obr. 23: DPS s osazenými součástkami, pohled shora



Obr. 24: DPS s osazenými součástkami a šrouby pro chladič, pohled na spodní stranu

### 3.2.3. Výpočet a výroba chladiče

Následně bylo nutné osadit výkonové součástky patričným chladičem. Bylo tedy třeba stanovit požadovaný tepelný odpor chladiče. Je třeba vycházet z tepelného výkonu součástek v maximálním zatížení, maximální provozní teploty součástek a též tepelných odporů mezi PN přechodem a pouzdrem součástky, izolační podložky mezi chladičem a součástkou a samotného chladiče. Též je třeba počítat s teplotou okolí.

Maximální tepelný výkon součástek:

- D1:  $P = U \cdot I = 0,6 \cdot 7,5 = 4,5 \text{ W}$  (napětí 0,6 V je úbytek napětí v propustném směru diody MBR1080; hodnota dle VA charakteristik v datasheetu);
- T3:  $P = U \cdot I = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ W}$ .

Celkový tepelný výkon tedy činí 6,3 W.

Parametry pro výpočet požadovaného tepelného odporu chladiče budeme uvažovat co nejvíce nepříznivé vlivy:

- Uvažujeme rozdíl teplot okolí a chladiče 30 °C;
- tepelný odpor izolační podložky činní 1 K/W (charakteristická hodnota pro slídovou podložku);
- tepelný odpor mezi PN přechodem a pouzdrem činní max. 2 K/W (údaj z datasheetu);
- teplotu okolí uvažujeme 50 °C (regulátor je umístěn v blízkosti motoru motocyklu).

Výpočet teplotního odporu chladiče:

$$R_{tep} = \frac{\Delta\vartheta}{P_{tep}} = \frac{30}{6,3} = 4,7 \text{ K/W}$$

Výpočet teploty přechodů součástek:

$$T = T_{okolí} + \Delta\vartheta_{chladič} + \Delta\vartheta_{izol.podložka} + \Delta\vartheta_{pouzdro-přechod}$$

- Teplota přechodu diody D1:

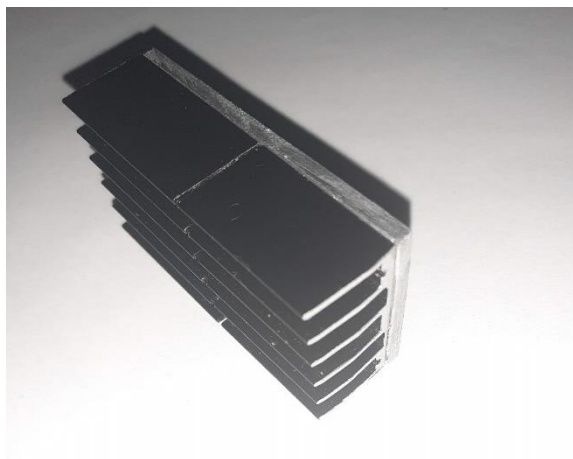
$$\begin{aligned} T &= T_{okolí} + \Delta\vartheta_{chladič} + \Delta\vartheta_{izol.podložka} + \Delta\vartheta_{pouzdro-přechod} = \\ &= T_{okolí} + \Delta\vartheta_{chladič} + R_{tep.iz.podl.} \cdot P_{tep.D1} + R_{tep.PN-pouzdro} \cdot P_{tep.D1} = \\ &= 50 + 30 + 1.4,5 + 2.4,5 = 93,5^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

- Teplota přechodu tranzistoru T3:

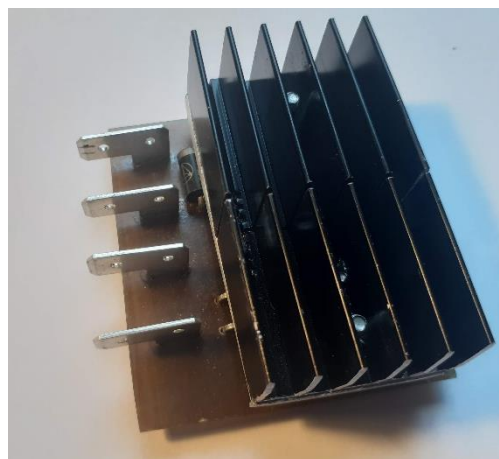
$$\begin{aligned} T &= T_{okolí} + \Delta\vartheta_{chladič} + \Delta\vartheta_{izol.podložka} + \Delta\vartheta_{pouzdro-přechod} = \\ &= T_{okolí} + \Delta\vartheta_{chladič} + R_{tep.iz.podl.} \cdot P_{tep.T3} + R_{tep.PN-pouzdro} \cdot P_{tep.T3} = \\ &= 50 + 30 + 1.1,8 + 2.1,8 = 85,4^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Výběr chladiče: Pro naše potřeby jsem zvolil dva chladiče s tepelným odporem 8 K/W spojené hliníkovým plochým profilem. Jeden z chladičů je o 15 % zkrácen, aby nepřesahoval DPS. Celkový tepelný odpor těchto chladičů tedy je:

$$\frac{1}{R_{tep.}} = \frac{1}{R_{tep1}} + \frac{0,85}{R_{tep2}} = \frac{1}{8} + \frac{0,85}{8} \Rightarrow R_{tep.} = 4,32 \text{ K/W}$$



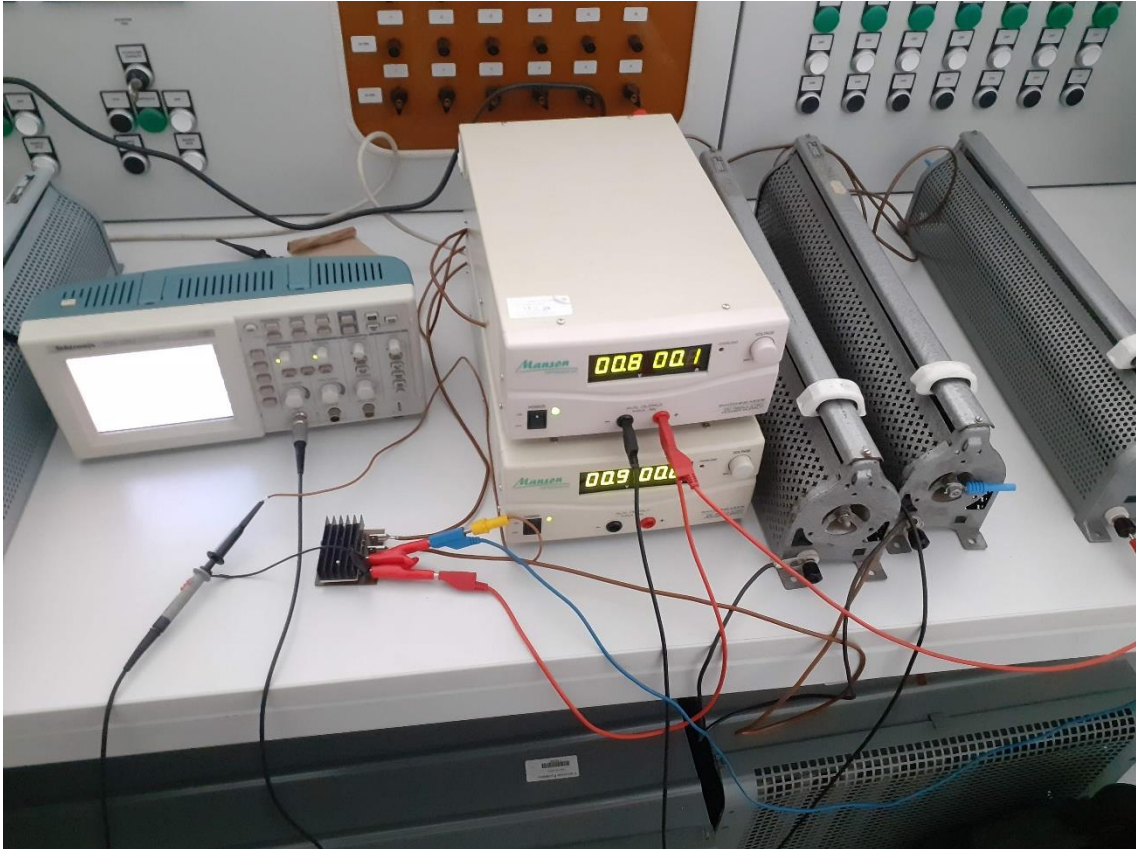
Obr. 25: chladič regulátoru buzení



Obr. 26: regulátor osazený chladičem

### 3.3. Testování

Pro otestování činnosti jsem zvolil simulované prostředí v laboratoři. Budící vinutí bylo nahrazeno potenciometry nastavenými na stejnou hodnotu činného odporu. Indukčnost budícího vinutí při tomto testování nebyla uvažována, jelikož nemá vliv na reakci regulátoru na regulované veličiny. Zátěžový proud byl simulován pomocí proudového zdroje. Průběhy napětí a proudů byly zaznamenávány digitálním osciloskopem. Testovací zapojení je na obr. 27.

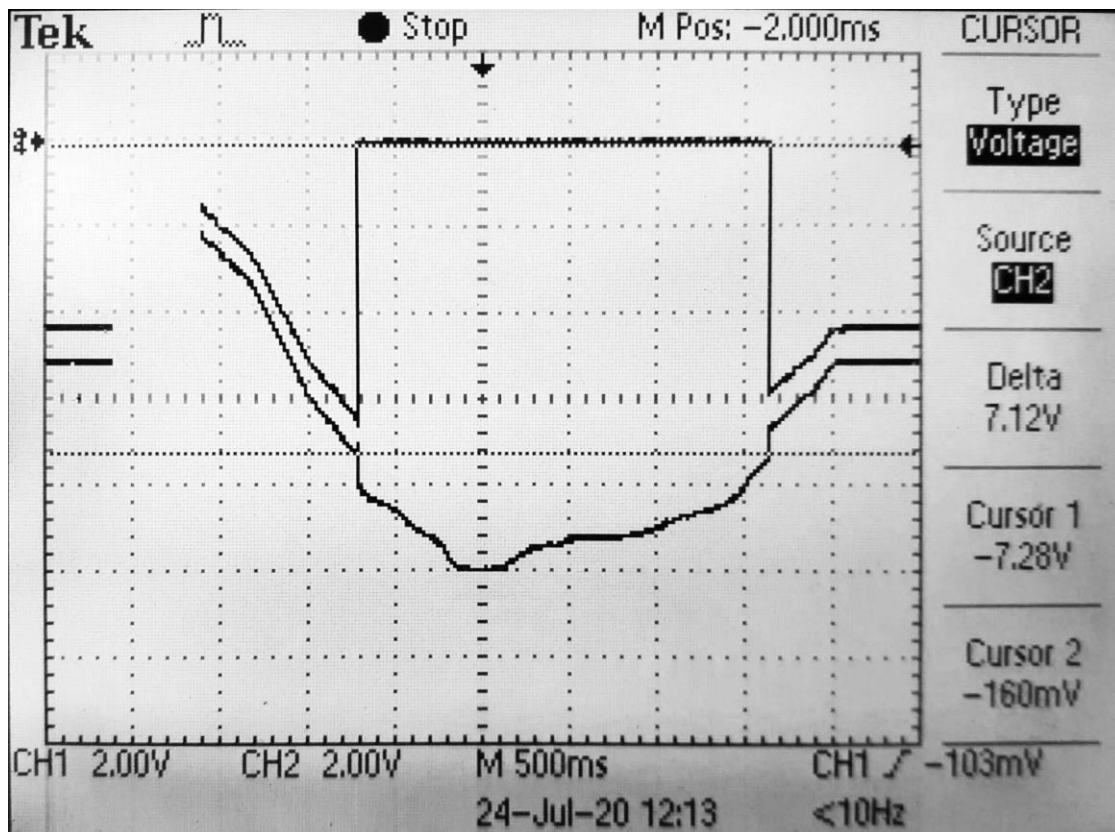


Obr. 27: Testování regulátoru

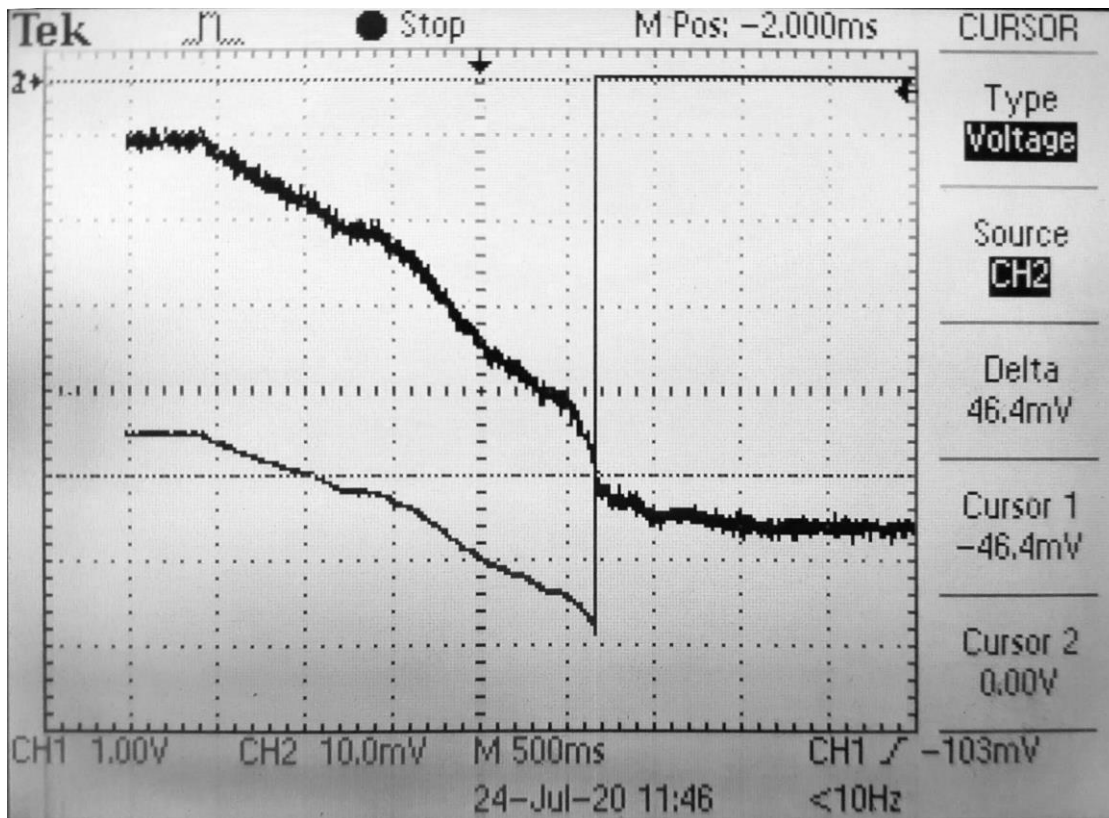
Testování regulace napětí: Při testování regulace napětí nebyl silový obvod napájen, diodou D1 tedy neprocházela žádný proud. Testování probíhalo při teplotě okolí 23 °C, výsledky testu jsou vidět na snímku obrazovky osciloskopu (obr. 28) Na obrázku jsou patrné dva průběhy. První průběh (nahore) je průběh napětí na budícím vinutí simulovaném rezistoru. Druhý průběh je výstupní napětí dynamicky simulovaného napěťového zdroje. Z obrázku je patrné, že regulátor omezuje buzení při napětí 7,28 V, což je hodnota velice blízká hodnotě žádané. Je též patrné, že regulátor téměř nemá hysterezi. Skoková změna napětí při sepnutí/vypnutí je způsobena nepříliš vysokou tvrdostí zdroje.

Testování regulace proudu: Při testování regulace proudu bylo nastaveno referenční napětí a byl měněn proud. Ten byl sledován proudovou sondou s převodem 1 A/10 mV. Výsledná charakteristika je na obr. 29. Byla měřena při vstupním napětí 6,5 V (běžné provozní).

Z průběhů je patrné, že regulátor vypíná již při 4,64 A, tedy při výkonu 30 W. Tato hodnota je o 15 W nižší než očekávaná, nemuselo by proto při vyšší spotřebě (např. zapnutí hlavního světloometu) dynamo dostatečně dobíjet baterii. Bude proto nutné pozměnit hodnotu rezistoru R5, nejlépe jej nahradit trimrem. Ovšem příčné nastavení lze provést až v reálných zkouškách, kde působí veškeré vnější vlivy. Ke zkouškám v reálné situaci bohužel dosud nebyly vhodné podmínky.



Obr. 28: Testování regulace napětí; horní průběh: napětí na rezistoru simulujícím cívku; spodní průběh: vstupní napětí, kterým bylo simulováno kolísající napětí dynamu.



Obr. 29: Testování proudového omezení; průběh silnější čarou (s vyšším šumem) je proud procházející diodou D1; druhý průběh je napětí na budícím vinutí simulovaným rezistorem.

Vzhledem k odchylce v regulaci napětí oproti žádané hodnotě jsem nahradil rezistor R5 trimrem s odporem 100  $\Omega$ . Tím lze nastavit žádaná hodnota proudu přímo na reálném modelu dle konkrétních požadavků. Regulátor s dosazeným trimrem je na obr. 30.



obr. 30: upravený regulátor

## 4. Vývoj startovacích zařízení a jejich inovace

### 4.1. Úvod, historie

Počátky elektrických startérů se potýkaly s mnoha problémy, především se spolehlivostí. Proto bylo jejich nástup pozvolný, a ještě dlouhou dobu po jejich zavedení umožňovala nová vozidla start spalovacího motoru také pomocí odnímatelné kliky.

Zpočátku se šlo dvěma cestami vývoje – samostatného startéru a dynamo-startéru. Ačkoli byla myšlenka sloučení dvou strojů do jednoho velice pokroková (jak se později ukazuje), trpěla problémy, které vyly na svou dobu těžko řešitelné. Hlavním problémem byla poměrně náročná spínací skříňka s mnoha výkonovými kontakty. Proto se od této koncepce později ustoupilo a zůstala pouze v některých případech u strojů s malými výkony. Hlavní slovo tedy převzal samostatný startér [3]

Poslední dobou se však objevují mnohá řešení startu spalovacího motoru, která již jsou, díky velkému pokroku v oblasti elektronického řízení, v mnohém konkurenceschopná s dlouho nepřekonanými samostatnými stejnosměrnými startéry.

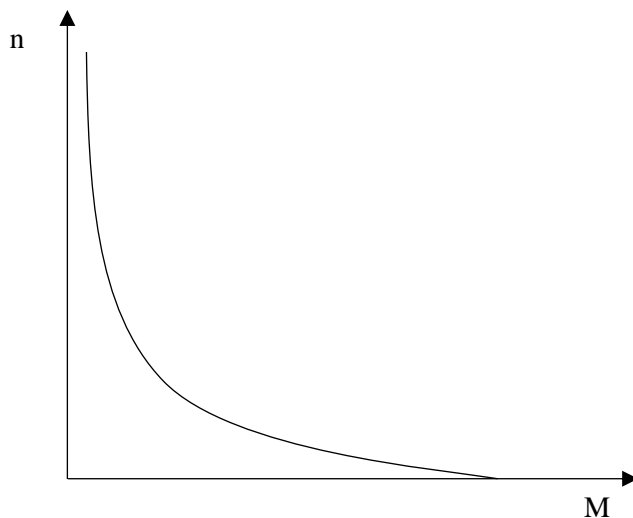
Jedním z alternativních způsobů startu spalovacího motoru je využití alternátoru v kombinaci s frekvenčním měničem. Tím dochází k redukci mechanických součástí vozidla a zároveň se tím otevírají nové možnosti úspory paliva. Tento koncept je velice často užíván pro START-STOP systém a technicky se blíží k mild-hybridním systémům.

Další systém startu zcela nechává elektrické stroje stranou a je založen na vstříknutí paliva do válce, který je zastavený ve správném pracovním cyklu, kdy dochází k expanzi v daném válci a uvedení motoru do chodu. Na podobném principu se zakládá i start stlačeným vzduchem využívaným nákladními vozidly.



## 4.2. Startéry klasické

Jako klasické startéry lze označit nejpoužívanější typ startéru – stejnosměrný sériový motor. Již od počátku elektrických startérů se jednalo o nejpoužívanější typ startéru. Stejnosměrný sériový motor je hodně k tomuto účelu využíván hlavně na základě jeho momentové charakteristiky, viz obr. 31. Pro vysoký záběrový moment jsou navíc startéry zpřevodovány do vyšších otáček. Toho je docíleno pomocí pastorku na straně startéru a velkého ozubeného kola na straně klikové hřídele. Též bývá přímo v těle startéru zabudována planetová převodovka. Díky tomu je možné dosáhnout vyššího výkonu při menší hmotnosti stroje, jelikož  $P = M \cdot \omega$ , kde zvyšujeme otáčky  $\omega$ . [1]



Obr. 31: Momentová charakteristika stejnosměrného sériového motoru

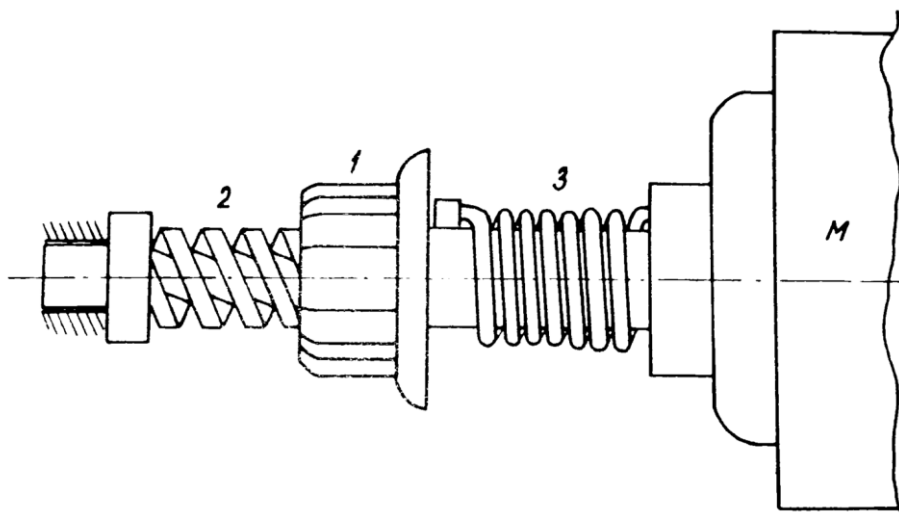
Problém však nastává v okamžiku nastartování spalovacího motoru, kdy již startér není zapotřebí. Aby nedocházelo k neustálému opotřebování startéru a k mechanickým ztrátám, je potřebné startér po ukončení startování mechanicky odpojit od spalovacího motoru.

V průběhu vývoje startérů bylo využíváno nepřeborné množství různých systémů připojování/odpojování startovacích zařízení ke spalovacím motorům. Nejvíce se však uchytily v zásadě 3:

- systém Bendix;
- spouštěč s výsuvnou kotvou;
- spouštěč s výsuvným pastorkem.

### 4.2.1. Systém Bendix

Tento systém patřil k prvním masově používaným startovacím zařízením. Jeho výhodou byla především konstrukční jednoduchost a nízké náklady na výrobu.



obr. 32: Princip systému Bendix [1]

Princip tohoto systému spočívá v posunu pastorku (1) s vnitřním závitem po závitové tyči (2), která je poháněna přímo motorem spouštěče (M), zatímco pastorek poháněný od spouštěče přes pružinový unašeč (3) díky setrvačnosti, zpravidla umocněné setrvačnickem, se otáčí pomaleji a díky tomu se posouvá po závitě směrem k ozubenému kolu klikového hřídele. Po rozběhu spalovacího motoru získá naopak pastorek vyšší rychlost než motor spouštěče, čímž se posune po závitě zpět do základní polohy. Tento systém se však již nevyužívá, jelikož docházelo k velkému opotřebení zubů velkého ozubeného kola a také pastorku způsobeném nedokonalým dosednutím zubů do sebe.

### 4.2.2. Spouštěč s výsuvnou kotvou

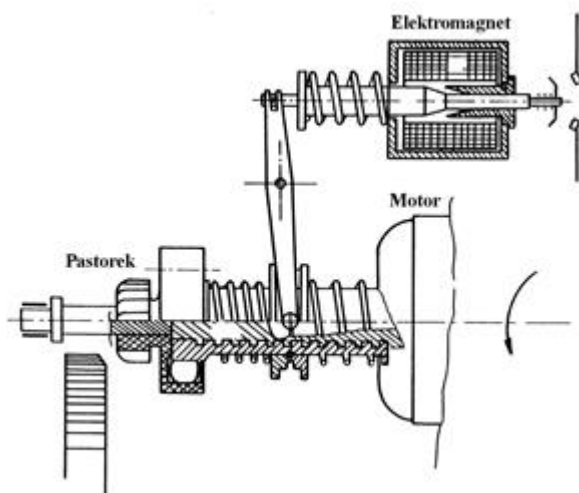
Je nepříliš rozšířený, nicméně z hlediska vývoje důležitý způsob připojení startéru ke spalovacímu motoru. Jeho princip spočívá v pohyblivosti kotvy v axiálním směru. Toho je docíleno vtahováním kotvy do statoru vlivem magnetické síly budícího vinutí proti síle vratné pružiny. Oproti systému Bendix se zde ozubená kola opotřebovávají mnohem méně, přesto má tento systém značné nevýhody. „Hlavní nevýhodou je velká hmotnost posuvné části. Stojí-li vůz na svahu a tíha rotoru působí proti směru pastorku do záběru, může dojít k potížím při zasouvání do ozubení, a naopak je nutné zajistit, aby při provozních otřesech a zrychlování nedocházelo k úderům pastorku do točícího se setrvačnicku“ [1; str.75]

Přes tyto nevýhody je spouštěč s výsuvnou kotvou důležitým mezičlánkem k dalšímu systému – spouštěči s výsuvným pastorkem, který si od spouštěče s výsuvnou kotvou převzal elektromagnetické vysouvání pastorku.

#### 4.2.3. Spouštěč s výsuvným pastorkem

Jedná se o nejrozšířenější typ stejnosměrného startovacího zařízení. Princip funkce tohoto systému je velice podobný systému Bendix. Ovšem na rozdíl od systému Bendix, systém spouštěče s výsuvnou kotvou vysouvá pastorek nejprve pomocí elektromagnetu a až teprve po zapadnutí pastorku do ozubeného kola setrvačnicku spalovacího motoru je sepnut silový kontakt a startér roztáčí spalovací motor. Princip je znázorněn na obr. 33.

Tento systém ještě prošel mnoha inovacemi, především šlo o z převodování motoru do vyšších otáček pomocí planetové převodovky, čímž se snížila jeho hmotnost i fyzické rozměry při zachování jeho výkonu. Tento systém se velice často využívá dodnes.



Obr. 33: Princip spouštěče s výsuvným pastorkem [1]

### 4.3. Startér-generátor

Myšlenka elektrického stroje se sdruženou funkcí je stará téměř jako elektrické startéry, již ve 20. letech 20. století byly výsadou automobilky Chevrolet. Trpěly však jistými nedostatky, především byl problém ve správném z převodování a též s na svou dobu poměrně složitým přepínačem startéru/dynama. Proto se od tohoto řešení pro automobily po čase upustilo a přešlo se „zpět“ ke koncepci oddělených strojů pro start a pro zdrojovou soustavu. Systém sdružené funkce startéru a dynama se však i nadále vyskytoval u menších silničních vozidel, například motocyklů. Teprve v poslední době se sloučení těchto funkcí opět prosazuje, a to především na osobních automobilech, ale nikoli jako dynamo-startér, ale alternátor-startér.

#### 4.3.1. Dynamo-startér

Systém, do jisté míry velice pokrokový, vychází z myšlenky využití vlastností stejnosměrného elektrického stroje, kdy je tento stroj schopen jak elektrickou energii vyrábět

z mechanické, tak vytvářet mechanickou energii z elektrické. Navíc pouhým přepnutím řazení budícího vinutí s kotvou dochází k podstatné změně momentové charakteristiky. Jak již bylo zmíněno výše, nebyl tento systém zcela bezproblémový. Kromě již zmíněné spínací skříňky byl též problém s velikostí stroje, jelikož pro dynamo je potřebné pomalejší zpřevodování než pro startér, proto aby tento stroj byl schopen dodat dostatek energie k roztočení spalovacího motoru, musel mít často značné rozměry. Nejen z těchto důvodů se upustilo od jeho využívání u automobilů a zůstal pouze v méně náročných aplikacích, například ve skútrech ČZ a Tatran. Ovšem hlavní myšlenka tohoto konceptu se v současnosti prosazuje stále větší měrou, ovšem již s vícefázovými synchronními stroji s permanentními magnety. [4]

#### **4.3.2. Startér-alternátor**

Díky velkému pokroku v oblasti řídicí elektroniky mohl vzniknout startér-alternátor.

Konstrukčně se jedná o vícefázový (nejčastěji 3f) synchronní stroj s permanentními magnety. Díky této konstrukci se jedná v podstatě o bezúdržbový stroj (nemá žádné mechanické kontakty), díky čemuž má vysokou životnost. Jeho velkou předností též je, obdobně jako u dynamo-startéru, redukce elektrických strojů vozidla. Oproti dynamo-startéru však vyniká vysokou spolehlivostí.

Problémem však může být chlazení, jelikož, zejména u strojů s vyšším výkonem, je nutné je intenzivně chladit, aby nedošlo k poškození permanentních magnetů, velmi citlivých na teplotu. Často je toto zajištěno vodou. Otázkou do budoucna zůstává, zdali nebude s postupem času magnetický tok permanentních magnetů slábnout. Dalším úskalím je přenos mechanického momentu mezi startér-alternátorem a spalovacím motorem pomocí řemenu. Hlavně při startu studeného motoru, proto v mnohých případech stále zůstává i stejnosměrný startér.

Koncepce alternátor-startéru je význačná pro novější typy systému start-stop, micro-hybridy a též pro mild-hybridní systémy.

## **5. V rámci snížení spotřeby paliv a snížení produkce CO<sub>2</sub> zpracovat novou koncepci mild-hybridních soustav a jejich praktické nasazení do vozidel**

### **5.1. Úvod, vývoj**

Vzhledem ke stále přísnějším emisním limitům a vyšší poptávce po ekologicky šetrných technologiích bylo nutné vyvinout technické zařízení umožňující snížení spotřeby paliva, tedy i emisí spalovacího motoru. V průběhu vývoje samotných spalovacích motorů již téměř došlo k vyčerpání možností pro další úspory paliva zlepšením konstrukce spalovacího motoru, proto byla hledána řešení, jak emisním limitům vyhovět jiným způsobem.

Jelikož vývoj nové pohonné jednotky je velice nákladný a konstrukce současných modelů silničních vozidel často není uzpůsobena jiné pohonné jednotce, ukázaly se inovace v elektrovýzbroji vozidla jako vhodný směr vývoje současných modelů silničních vozidel.

První inovací v tomto směru byl start-stop systém, který šetří palivo vypínáním spalovacího motoru při zastavení vozidla. Zpočátku se příliš nejednalo o inovaci uspořádání elektrovýzbroje vozidla, nýbrž o jiné nastavení řídicí jednotky. Ovšem časté starty spalovacího motoru vedly k velkému opotřebení startovacích zařízení. Jako vhodná volba, vzhledem k velkému pokroku v oblasti řízení synchronních motorů, se ukázalo použití alternátoru, u něž byla vinutá kotva nahrazena kotvou s permanentními magnety. Díky tomuto kroku mohly tyto stroje dosahovat vyšších výkonů při obdobném vestavném prostoru. Klasické startéry však mnohdy stále figurují i nadále, především kvůli vysokým záběrovým momentům, což je potřebné zejména při studeném motoru, kdy je mnohem vyšší viskozita oleje a tím pádem je též potřebné překonat vyšší moment. Startování pomocí alternátoru je tedy v tomto případě méně efektivní zejména kvůli přenosu výkonu řemeny.

Start-stop systém měl ovšem vyšší spotřebu elektrické energie, proto po každém opětovném startu bylo nutné začít intenzivně dobíjet baterii, což zpětně vedlo k nárokům na vyšší spotřebu spalovacího motoru. Proto se dalšími inovacemi dospělo k lepšímu využívání brzděné energie. Baterie nebyla nabíjena plným výkonem ihned po startu, ale primárně při brždění, kdy alternátor odebíral část energie, která by se jinak zmařila v brzdách. Tento systém je již obecně nazýván micro-hybridem, který je jakýmsi evolučním mezistupněm mezi start-stop systémem a mild-hybridem.

Tímto již vývoj dospěl téměř k mild-hybridním soustavám. Výkon startér-alternátorů neustále rostl pro lepší využití brzděné energie a zlepšovalo se též jeho řízení, kdy již kromě rekuperace brzděné energie byl alternátor odlehčován např. při akceleraci, aby byl plnohodnotně

využit výkon spalovacího motoru. Od tohoto způsobu řízení je již drobný krok k využití výkonového potenciálu tohoto synchronního stroje s permanentními magnety jako pomocný pohon při akceleraci vozidla.

## 5.2. Mild-hybridy

Mild-hybridy (též polo-hybridy), MHEV jsou jakýmsi kompromisem mezi vozidly s čistě spalovacím motorem a hybridními vozy a jsou též logickým vývojem vozidel se spalovacími motory. Oproti hybridním vozidlům nejsou mild-hybridy schopny jízdy pouze s elektromotorem – vždy musí mít v chodu primární pohonnou jednotku.

### 5.2.1. Obecné charakteristiky

Mild-hybridní systémy mají mnoho výhod, ovšem též mají i nedostatky. Mezi jejich hlavní charakteristiky patří:

- Malý zásah do stávající koncepce se spalovacím motorem – možnost implementace do stávajících modelů automobilů bez nutnosti výrazné přestavby, či uspořádání. Vhodné např. pro facelift vozidel;
- nízká cena oproti plně hybridním systémům – vhodné i pro vozy nižší cenové kategorie;
- konstrukční jednoduchost – jednodušší, než klasické uspořádání – odpadá startér (není však pravidlem);
- lepší dynamické vlastnosti oproti běžným vozidlům se spalovacími motory;
- nutná větší kapacita akumulátoru, velice často i jiný napěťový systém (48 V), který využívají i ostatní elektrospotřebiče ve vozidle. Napěťový systém 12 V je též zachován a je dobíjen ze 48 V systému pomocí DC/DC měniče;
- větší množství řídicích elektronických prvků pro baterii a synchronní stroj;
- Využívání akumulátorů na bázi lithia pro svůj nižší vnitřní odpor
- nelze používat v čistě elektrickém režimu – elektromotor je neustále spřažen se spalovacím motorem;
- výkon synchronního stroje se pohybuje okolo hodnoty 10 kW (běžný automobilový alternátor dosahuje výkonu 2 kW);
- nutnost intenzivních chlazení synchronního stroje, zejména kvůli permanentním magnetům, které jsou velmi citlivé na teplotu a může dojít k odmagnetování. Kvůli tomuto problému je stroj často chlazen vodou.

### 5.2.2. Systém 12 V

Vývojově starší systém vycházející přímo ze start-stop systému. Z důvodu vyššího proudového zatížení při stejném výkonu byl tento systém použit jen u některých menších silničních vozidel. Jistou výhodou však je jednodušší koncepce elektrovýzbroje, není potřebný DC/DC měnič napětí (viz systém 48 V) a je zde jednodušší kabeláž i baterie.

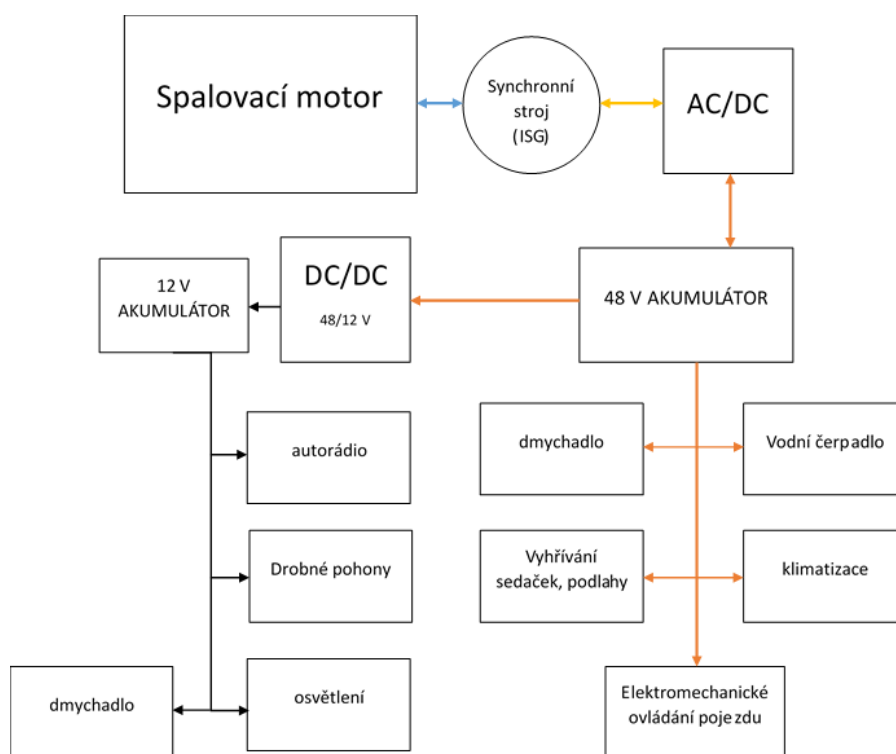
Mimo jiné jsou na tomto mild-hybridním systému založeny malé automobily Suzuki, nebo menší modely Audi se čtyřválcovými motory. Obecně se však od těchto systémů upouští a přechází ke 48 V verzi, 12 V systémy jsou však i nadále perspektivní v aplikacích s malými výkony, například v případě motocyklů.

### 5.2.3. Systém 48 V

Oproti 12 V systému má tento systém výhodu zejména ve vyšším napětí 48 V, které umožňuje přenést stejný výkon při 4x menším proudovém zatížení. To umožňuje zvýšení účinnosti systému i vyšší výkon. V současné době je tento systém preferován zejména pro vyšší úsporu paliva (tedy i emisí CO<sub>2</sub>) ve srovnání s 12 V systémem.

Základní uspořádání spočívá v kombinaci 48V synchronním stroji s permanentními magnety, řízeného 3f usměrňovače/frekvenčního měniče a 48V baterie. Uspořádání je znázorněno obr. 34.

I přes implementaci 48 V napěťového systému ve vozidle stále zůstává také 12V palubní síť pro napájení drobnějších spotřebičů. Ta je napájena DC/DC měničem ze 48 V sítě a má svou baterii. Ze 48 V systému jsou napájeny přímo spotřebiče s větším výkonem, například kompresor klimatizace, vyhřívání skel, sedadel, či podlahy, elektromechanické ovládání pojezdu, pohon vodního čerpadla, nebo elektrické ovládání turbodmychadla.



Obr. 34: Schéma koncepce 48 V mild-hybridů; směr šipek znázorňuje možný tok energie

Tento systém dle výrobců dokáže uspořit až 15 % paliva, je poměrně levný ve srovnání s jinými prostředky snížení emisí CO<sub>2</sub>, nenáročný na údržbu a velmi spolehlivý. Pro jeho přednosti je stále častěji nedílnou součástí nových vozidel se spalovacími motory.

### 5.3. Další vývoj

Mild-hybridní systémy zcela jistě nejsou posledním vývojovým stupněm elektrizace automobilů. Z hlediska snížení spotřeby a exhalací CO<sub>2</sub>, na což je v dnešní době obrovský tlak, musí technické inovace neustále pokračovat. Stále častěji se vyskytuje systém technicky mezi mild-hybridem a full-hybridem. Rozdíl oproti mild-hybridu je v umístění elektromotoru/alternátoru mezi automatickou převodovku a spalovací motor, čímž je díky oddělení elektromotoru spojky možné provozovat v jistých případech (např. tzv. plachtění) elektromotor zcela samostatně a spalovací motor vypínat. Tento systém dokáže uspořit palivo až o 25 %.

Dalším logickým vývojovým stupněm, ačkoli paradoxně starším, je full-hybrid. Ten je již schopen i plného elektrického provozu. Spalovací motor se přidává pouze při dobíjení baterie, či požadavku většího výkonu. Může mít různá uspořádání, zpravidla jsou typy uspořádání děleny na sériové a paralelní. V případě paralelního hybridu je výkon pohonných jednotek na vozovku přenášen přes jednu, speciální převodovku, která umožňuje využívat synchronní stroj buď v režimu samostatného elektrického pohonu, v režimu generátoru (pohon od brzděné energie, nebo spalovacího motoru), nebo mohou elektromotor se spalovacím



motorem pracovat v součinnosti. Oproti tomu sériový hybrid nemá možnost přímého mechanického spojení spalovacího motoru a kol automobilu. Spalovací motor společně s alternátorem zastává pouze funkci výroby elektrické energie, kterou dále využívají další motory pohánějící kola. Díky této konstrukci lze provozovat spalovací motor v ideálních otáčkách s maximální účinností. Tento systém se již blíží dalšímu druhu hybridu – plugin hybridu.

Plugin hybrid bývá zpravidla konstrukčně podobný sériovému hybridu, oproti němu má však mnohem větší kapacitu baterie a je možné jej dobíjet z běžné elektrické sítě. Dojezd čistě na elektrický pohon bývá kolem 50 km a poté startuje spalovací motor dobíjející baterii. Dále již má obdobnou funkčnost, jako sériový hybrid. Vzhledem k neustálým inovacím pravděpodobně budou vznikat i další typy hybridních systémů, pravděpodobně i s jinou zdrojovou jednotkou namísto konvenčního spalovacího motoru. Díky vývoji akumulátorů je též pravděpodobné, že se v příštích dekádách stanou majoritní součástí silničního provozu vozy s čistě elektrickým pohonem.

# Závěr

Cílem teoretické části mé práce bylo řešit vývoj inovací elektrovýzbroje silničních vozidel, především startovacích zařízení a mild-hybridních systémů. Důležitou součástí mé práce byl návrh náhrady elektromechanického regulátoru dynamu regulátorem elektronickým a jeho odladění.

V práci popisuji vývoj elektrovýzbroje silničních vozidel, blíže se poté věnuji startovacím zařízením a nové koncepci mild-hybridních vozidel.

Kromě neustále zlepšujících se tradičních aplikací využití elektrické energie ve vozidlech, jsou stále častější elektrické pohony, v současnosti se jedná zejména o synchronní stroje s permanentními magnety, které zajišťují pohony jednotlivých agregátů, dříve zpravidla poháněných náhonem od klikového hřídele, a též pomáhají zajistit, či přímo zajišťují pohon vozidla samotného. Obor zabývající se inovacemi elektrovýzbroje má díky novým technologiím, především v současnosti díky statickým polovodičovým měničům, nepřeberné možnosti inovací a vylepšení, oproti spalovacím motorům, u kterých byla naprostá většina výrazných inovací již vyčerpána a jejichž účinnost se blíží teoretickým maximům. Proto se další inovace zabývají především právě elektrovýzbrojí.

Praktická část mé práce se věnovala návrhu a odladění elektronického regulátoru dynamu. Návrh regulátoru jsem provedl na základě požadavků na jeho funkce (tedy omezení zátěžového proudu dynamu a regulaci napětí). Velkou část práce jsem provedl v simulačním programu LTspice, kde jsem ladil, pokud možno, nejvhodnější parametry součástek. Dále jsem vyhotovil dle simulací regulátor i fyzicky a otestoval jeho funkce. Testováním jsem došel k závěru, že daný regulátor v zásadě funguje správně, ovšem v reálném provozu bude nutné lépe nastavit především regulaci proudovou. Ta se oproti simulaci liší, skutečná hodnota regulovaného proudu je o 35% nižší. Za tímto účelem jsem jeden rezistor (R5) nahradil trimrem, díky kterému je možné tuto hodnotu doladit do požadovaných mezí. Příčin, proč došlo k této odchylce může být několik: výrobní odchylky jednotlivých komponent, teplotní změny parametrů součástek, nebo odlišnosti ve virtuálním modelu oproti skutečnosti.

Pro praktické využití regulátoru bude nutné vyřešit ještě několik otázek: Jakým způsobem řešit mechanické uchycení regulátoru k dynamu, či motocyklu? Na jaké místo regulátor umístit? Bude chlazení výkonových součástí regulátoru v náročných podmínkách reálného provozu dostatečné? Nebude se měnit charakteristika regulátoru v průběhu času? Bude regulátor schopen zajistit dobíjení i při teplotách pod bodem mrazu kvůli využití zpětné diody jako snímače úbytku napětí? Odpovědi na tyto otázky budou muset být předmětem dalšího vývoje.

# Použitá literatura

- [1] ŠŤASTNÝ, Jiří a Branko REMEK. Autoelektrika a autoelektronika. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-6-7.
- [2] Ignition system. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ignition\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Ignition_system)
- [3] Starter (engine). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Starter\\_\(engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starter_(engine))
- [4] Gregora S.; Mašek Z. Elektronická a mechatronická zařízení v konstrukci silničních vozidel. Pardubice: Univerzita Pardubice, skripta DFJP, 2008
- [5] Olověný akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor)
- [6] Lithium-iontový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor)
- [7] BEDNÁŘ, Marek. Jak se vyvíjela světla aut: od acetylenu po lasery. In: *Autoforum.cz* [online]. Praha: MotorCom, 2015 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-se-vyvijela-svetla-aut-od-acetylenu-po-lasery/>
- [8] HILLS FORD. <https://www.autoforum.cz/> [online]. [cit. 27.7.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-sviti-svetla-dnesnich-aut-ve-srovnani-s-roky-1908-az-1994-podivejte-se/>
- [9] JAWA. [jawaveteran.7x.cz](http://jawaveteran.7x.cz) [online]. [cit. 27.7.2020]. Dostupný na WWW: <https://jawaveteran.7x.cz/rubriky/el-schema-jawa/el-schema-jawa-350-354>
- [10] Elektrický startér slaví 100 let. In: *Autoroad.cz* [online]. Praha: INCORP, 2012 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://autoroad.cz/technika/35305-elektricky-starter-slavi-100-let>
- [11] ON Semiconductor® [datasheet]. MBR1080G. ©2012 [cit 27.7.2020]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MBR1080-D.PDF>

# Seznam obrázků

Obr. 1: Vývojový diagram elektrovýzbroje silničních vozidel .....	11
Obr. 2: Vývoj světlometů silničních vozidel. Foto Hills Ford [7] .....	18
Obr. 3: Vnitřní charakteristika dynamy.....	20
Obr. 4: Zatěžovací charakteristika derivačního dynamy.....	20
Obr. 5: schéma elektroinstalace motocyklu JAWA-ČZ 350 typ 354/03 [8] .....	21
Obr. 6: Relé regulace buzení motocyklového dynamy JAWA 45 W .....	22
Obr. 7: Schéma budicího obvodu JAWA.....	22
Obr. 8: pohled na pomocnou impedanci Z pro ochranu kontaktů relé buzení .....	22
Obr. 9: regulační schéma buzení.....	23
Obr. 10: VA charakteristika schottkyho diody MBR1080G [11] .....	25
Obr. 11: Navržené schéma elektronického regulátoru .....	26
Obr. 12: Schéma regulátoru s odhadnutými parametry v prostředí programu LTspice .....	29
Obr. 13: LTspice: Průběh budicího proudu (zelená) v závislosti na napětí (modrá).....	29
Obr. 14: LTspice: omezení buzení nadproudem – detail .....	30
Obr. 15: LTspice: průběh proudu zenerovou diodou D2 .....	30
Obr. 16: LTspice: upravené parametry součástek.....	30
Obr. 17: LTspice: průběh budicího I (zelená) na U dynamy (modrá) po úpravě .....	31
Obr. 18: LTspice: průběhy U dynamy (zelená), zatěžovacího I(modrá) a budicího I(červená) .....	31
Obr. 19: LTspice: detail přeběhu I budicího (červená) do vypnutého stavu při nadproudu (modrá).....	31
Obr. 20: tabulka hodnot součástek regulátoru .....	32
Obr. 21: schéma regulátoru v programu Eagle .....	33
Obr. 22: schéma vodivých cest v programu Eagle.....	34
Obr. 23: DPS s osazenými součástkami, pohled shora .....	35
Obr. 24: DPS s osazenými součástkami a šrouby pro chladič, pohled na spodní stranu .....	35
Obr. 25: chladič regulátoru buzení.....	36
Obr. 26: regulátor osazený chladičem.....	36
Obr. 27: Testování regulátoru .....	37
Obr. 28: Testování regulace napětí; horní průběh: napětí na rezistoru simulujícím cívkou; spodní průběh: vstupní napětí, kterým bylo simulováno kolísající napětí dynamy .....	38
Obr. 29: Testování proudového omezení; průběh silnější čarou (s vyšším šumem) je proud procházející diodou D1; druhý průběh je napětí na budícím vinutí simulovaným rezistorem .....	39
obr. 30: upravený regulátor.....	39
Obr. 31: Momentová charakteristika stejnosměrného sériového motoru.....	41
obr. 32: Princip systému Bendix [1] .....	42
Obr. 33: Princip spouštěče s výsuvným pastorkem [1] .....	43
Obr. 34: Schéma koncepce 48 V mild-hybridů; směr šipek znázorňuje možný tok energie.....	48

# Seznam zkratek

U – napětí	[V]
I – elektrický proud; $I_B$ – proud báze; $I_C$ – proud kolektoru	[A]
P – výkon	[W]
M – mechanický moment	[Nm]
$\omega$ – úhlová rychlost	[rad.s <sup>-1</sup> ]
T – teplota	[K; °C]
$T_{[\text{číslo}]}$ ; $Q_{[\text{číslo}]}$ – označení tranzistoru ve schématu	
R – elektrický odpor, rezistor	[ $\Omega$ ]
$D_{[\text{číslo}]}$ – označení diody ve schématech	
$R_{\text{tep}}$ – tepelný odpor	[K.W <sup>-1</sup> ]
DPS – deska plošných spojů	
ISG – Integrated Starter Generator – integrovaný startér-generátor	
VA – volt-ampér, zpravidla užitá v kontextu volt-ampérové charakteristiky	
Pb – olovo; v kontextu k akumulátorům: olověné akumulátory	
NiCd – (v kontextu k akumulátorům) nikl-kadmiové akumulátory	
AgZn – (v kontextu k akumulátorům) stříbro-zinkové akumulátory	