

Řízení provozu travní sekačky

Lawn Mower Operational Control

Bc. Jan Vyoral

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Vyoral**
Osobní číslo: **A11895**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Řízení provozu travní sekačky**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s komerčními zařízeními pro úpravu travnatých ploch a jejich řízením.
2. Na základě zjištěného a svých možností navrhnete a zkonstruujete travní sekačku.
3. Navrhnete vhodným způsobem pohon vybraných částí sekačky.
4. Při návrhu uvažujte možnost dálkového ovládání celého stroje.
5. Ovládání sekačky bude umožňovat pohyb vpřed, vzad a zatáčení.
6. Realizujte zpětnovazební řízení otáček pohonu žacího ústrojí.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **MATOUŠEK, David.** Programování v jazyce C v příkladech. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2011, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-80-7300-403-3.
2. **PINKER, Jiří.** Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.
3. **MELICHAR, Jan, Karel BRADA a Jaroslav BLÁHA.** Hydraulické stroje: konstrukce a provoz. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 378 s. ISBN 80-01-02657-4.
4. **FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA.** Autodesk Inventor: funkční navrhování v průmyslové praxi. 2., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 318 s. ISBN 978-80-251-1773-6.
5. **HROMÁDKO, Jan.** Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
6. **FREESCALE: HCS08 Microcontrollers.** In: [online]. Icit. 2013-02-08]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08DZ60.pdf
7. **ZÁHLAVA, Vít.** Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4.
8. **DOLEČEK, Jaroslav.** Moderní učebnice elektroniky. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 203 s. ISBN 80-7300-161-6.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

11. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o konstrukční a programové realizaci sekačky na dálkové ovládání. První část obsahuje teorii o komerčních zařízeních pro údržbu travnatých ploch, prvcích určených k jejich pohybu a ovládání, řídicích modulech pro servo a krokové motory a také teorii o polovodičových součástkách užívaných v pro výkonové řízení motorů.

Druhá část obsahuje konstrukční zpracování, začlenění výše uvedených pohybových a snímacích prvků do konstrukce a jejich následné propojení s mikropočítačem s ukázkou částí programu. Příloha obsahuje fotodokumentaci, zdrojový kód a schéma

Klíčová slova: mikropočítač, sekačka

ABSTRACT

Thesis deals a construction and software implementation of the lawn mower on the remote control. The first part contains the theory of a commercial facilities for maintain of a lawns, elements designed for movement and control of these facilities, controlling modules for DC motors and steppers motors. It deals theory about semiconductor components using for power control of motors too. The second part includes the construction implementation and integration (layouts) of the above mentioned motion and sensing parts into construction of lawn mower and their connection with microcontroller. Demonstration of the part software is demonstrated in this part of theses. Appendix contains photographic documentation, software source code and wiring diagram of electronics.

Keywords: microcomputer, lawn mower

Vedoucí diplomové práce je Ing. Lubomír Macků, Ph.D, kterému chci poděkovat za čas věnovaný diplomové práci.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za financování celého projektu a převážně svému otci za ochotu a pomoc při realizaci projektu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 10.6.2013

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMERČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU TRAVNATÝCH PLOCH	11
1.1 ROBO FLAIL	11
1.2 SPIDER ILD01	13
1.3 TIMAN RC 750	15
2 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ TĚCHTO ZAŘÍZENÍ	17
2.1 AKČNÍ ČLENY	17
2.1.1 DC motor.....	17
2.1.2 Krokový motor	20
2.1.3 Hydraulické stroje	23
2.2 VÝKONOVÉ ŘÍDÍCÍ MODULY	27
2.2.1 DCS810 DC Servo driver 80V 20A Digital.....	27
2.2.2 AM882-driver pro krokové motory	29
2.3 POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY PRO VÝKONOVÉ ŘÍZENÍ MOTORŮ	30
2.3.1 MOSFET tranzistory	30
2.3.2 Budiče tranzistorů MOSFET.....	34
2.3.3 Integrované obvody pro řízení motorů.....	35
2.4 MIKROPOČÍTAČ	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
3 KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ	40
3.1 ÚČEL POUŽITÍ	40
3.2 VÝBĚR TYPU ŽACÍHO ÚSTROJÍ	40
3.3 ZPŮSOB ŘÍZENÍ	41
3.4 KOMPENZACE NEROVNOSTI TERÉNU	42
3.4.1 Hydraulické zapojení a uchycení zadní nápravy.....	43
3.5 SCHÉMA NAVRŽENÉ SEKAČKY	45
4 REALIZACE ZAŘÍZENÍ	47
4.1 POHONY	47
4.1.1 Spalovací motor	47
4.1.2 Alternátor	47
4.1.3 DC motor se šnekovou převodovkou	48
4.1.4 Hydraulický agregát	49
4.1.5 Krokový motor	50
4.2 OVLÁDÁNÍ POHYBOVÝCH ČLENŮ SEKAČKY	51
4.2.1 Dálkové ovládání	51
4.2.2 Snímání otáček motoru	53
4.2.3 Výkonová elektronika pro DC motory.....	55
4.2.4 Ovládání krokového motoru	59
4.3 OVLÁDACÍ PROGRAM NA MIKROPOČÍTAČI.....	59
4.3.1 Struktura programu	60
4.3.2 Regulace otáček spalovacího motoru.....	63

ZÁVĚR	65
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat sekačku na dálkové ovládání. Sekačky na dálkové ovládání se převážně používají na sečení svahů a méně přístupných terénů. Jejich pohonné jednotky umožňují jednoduchou manévrovatelnost a vzhledem k nízké zástavbě s nimi lze sekat i pod stromy. Tam, kde se dříve používaly křovinořezy a podobná technika nesená obsluhou, se dnes bez problémů dostávají sekačky na dálkové ovládání. Používají se například na sečení svahovitých terénů kolem silnic a dálnic, kde je obsluha v bezpečné vzdálenosti před možností nehody s automobily. Takové sekačky jsou vybaveny bezpečnostními prvky, jako jsou čidla náklonu, vypnutí a zastavení stroje při ztrátě signálu apod.

Tato diplomová práce se zabývá zkonstruováním celé sekačky a vytvoření řídicí jednotky pro ovládání prvků, určených k regulaci či pohybu stroje. Tato navržená sekačka není určená k sečení méně přístupných ploch s velkou členitostí terénů či velkým stoupáním, ale díky velké šířce záběru pro sečení rozlehlých ploch, sadů apod. Při použití systému řízení lze se sekačkou lépe manévrovat kolem stromů a vzhledem k záměně pohonných pásů za kola, nedochází k vytrhávání zatravněných ploch při otáčení stroje. Jako řídicí a měřicí prvek byl zvolen 8 bitový mikropočítač MC9S08DZ60 z rodiny HCS08. Tento mikropočítač je umístěn přímo na sekačce, kde je využíván k převádění signálů z přijímače dálkového ovládání, k regulaci otáček motoru a ovládání pohybových motorů a hydrauliky. Diplomová práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část obsahuje popis komerčních zařízení pro úpravu travnatých ploch na českém trhu a také popis DC motorů, krokových motorů a výkonové elektroniky používané k jejich ovládání. Praktická část pojednává o celkové mechanické konstrukci sekačky a vytvořené výkonové elektronice k ovládání DC motorů. Dále obsahuje programové vybavení, nezbytné k funkci stroje, a schéma výkonové elektroniky a hydraulického rozvodu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMERČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU TRAVNATÝCH PLOCH

V české republice jsou pouze tři výrobci profesionálních sekaček na dálkové ovládání. V následujících odstavcích budou blíže popsány vybrané stroje.

1.1 Robo FLAIL

Svahová dostupnost zdobí mulčovací sekačku na dálkové ovládání Niko Robo Flail. V případě tohoto stroje se projevuje zejména výhoda pásového podvozku. Sekačka tak zvládá práci i ve svazích na sypkých písčitých podkladech. Robustní stroj si poradí i se silnými náletovými dřevinami ve větším množství do průměru 50 mm. Pracuje se záběrem 122 cm. Pohonnou jednotkou sekačky je dvouválcový motor Kawasaki s výkonem 25 koní. S jeho pomocí zvládne stroj až 55° stoupání. Motor je vybaven naklápěcí nádrží měnící svou polohu podle sklonu svahu. Dopředu a dozadu se nádrž naklápí automaticky, do stran může měnit obsluha polohu na ovladači. Dálkové ovládání má dosah až 300 metrů, při dobré viditelnosti je doporučená pracovní vzdálenost okolo 100 metrů, v terénu pak cca 25 metrů.[1]

Technické přednosti stroje Robo Flail

- Velmi nízko položené těžiště stroje a tím maximální bezpečnost proti převrácení minimalizující náklady.
- Více než 2000x osvědčená technologie Niko, 100% profesionální hydraulika s maximální životností.
- 5 letá zkušenost technologie dálkově řízených systémů zaručená spolehlivost a bezpečnost.
- Robustní ESM Verti-2-Flail žací ústrojí pro extrémní nasazení v údržbě extenzivních ploch.[1]

ESM Verti-2-Flail žací ústrojí

Až o 25 % menší potřebný energetický výkon ve srovnání s klasickou technologií mulčovačů.

- Extrémně čistý řez.
- Rovnoměrné rozložení pomulčované hmoty.
- Schopnost sečení náletů do průměru 50 mm.
- Bezpečnost provozu vůči obsluze a dalším osobám.

- Patentovaný systém technologie mulčování.
- Volně uložené speciální „V” nože ESM.



Obrázek 1 Rádiem řízená pásová svahová sekačka Robo FLAIL [1]



Obrázek 2 Žací ústrojí Robo FLAIL

1.2 Spider ILD01

Rádiem dálkově řízená svahová sekačka Spider ILD01 představuje základní produkt firmy Dvořák svahové sekačky s.r.o. Tento stroj je na trhu od roku 2003 a jedná se o vůbec první dálkově řízený stroj pro profesionální údržbu svahů. Skvělá svahová dostupnost a jedinečné manévrovací schopnosti jsou výsledkem především revolučního a patentovaného systému pojezdu zvaného "tančící krok".[2]

Spider ILD 01 Použití sekačky

Rádiem dálkově řízená svahová sekačka SPIDER ILD01 je určena pro údržbu členitého a nepřístupného terénu do sklonu 40 stupňů. Sekačka je konstruována tak, aby si poradila s náletovými dřevinami, ruderálním porostem a dlouhodobě nesečenou trávou.

Sekačka Spider ILD01 je neocenitelná zvláště při údržbě mezí a sekání svahů kolem komunikací, při údržbě lesních školek a ovocných sadů, zatravněných skládek, elektráren, fotovoltaických elektráren, elektrických rozvodů, letišť, horských hotelů a při sekání sjezdovek a parků.

Díky jedinečnému systému pojezdu je velice vhodná i pro údržbu ploch kolem vodních rezervoárů, říčních toků a vodních děl.

Nízká hmotnost, která je zajištěna výrobou většiny dílů stroje z lehkých ušlechtilých slitin a pohon všech čtyř kol, zajišťují maximální šetrnost k přírodě. Sekačku tak lze bez obav využít i při údržbě mokřadel a pozemků v chráněných krajinných oblastech.

Sekačka Spider ILD01 najde uplatnění všude tam, kde potřebujete posekat nepřístupný či dlouho nesečený pozemek. Je vhodná především pro profesionální využití, ale uplatnění nalezne i u soukromých osob při sečení rozlehlějších pozemků.[2]

Popis systému

Dosah rádiového řízení svahové sekačky SPIDER je 100 metrů.

Ergonomicky řešený dálkový ovladač obsahuje ovládací prvky pro:

- nastartování a zhasnutí motoru
- nastavení rychlostního režimu pojezdu (želva/zajíc)
- zapnutí a vypnutí žacího ústrojí

- nastavení výšky sečení
- změnu směru a rychlosti pojezdu
- otáčení kol (360 st.)
- nouzové vypnutí celého systému

Výkonný akumulátor ovladače zajišťuje jeho pohotovostní dobu až do 20 hodin. Součástí dodávky stroje je náhradní akumulátor a automobilová nabíječka. Doba nabíjení je 2,5 hodiny.[2]



Obrázek 3 Svahová sekačka Spider ILD02 [2]



Obrázek 4 Žací ústrojí Spider ILD02 [2]

1.3 TIMAN RC 750

Mulčovač TIMAN RC-750 je zkonstruovaný do míst, kde je potřeba sekat trávu, a to jak přerostlou (nebo staré nálety), tak do extrémních svahů, škarp nebo do míst, kam se běžný mulčovač nebo sekací traktor nevejde a tyto plochy bezpečně vyčistit. Je vhodným doplňkem k větší komunální technice pro vysekávání těžko přístupných míst. Díky malým rozměrům a nízké hmotnosti (jen 290 kg) překonává své konkurenty z řad dálkově ovládaných strojů v mnoha parametrech.[3]

Robustní kompaktní pásový podvozek má nezávislé odpružení každého pásu. Pomocí výkonných hydromotorů pro každý pás zaručuje výborné manévrovací schopnosti a svahovou dostupnost až 58 stupňů ve všech směrech. Celý stroj je vysoký pouze 50 cm, jeho těžiště je tak v této kategorii zatím nepřekonané a umožňuje stroji vydat se do míst, kam se ostatní RC sekačky neodvážejí. Vysekává i tam, kde je velmi nízký profil.[3]

Pohon zajišťuje nejnovější generace motorů HONDA řady iGX 440. Tento elektronicky řízený motor o výkonu 15 HP s rozvodem OHC je nabitý moderními technologiemi. Vyniká především vysokým krouticím momentem a díky vyspělé elektronice i nízkou spotřebou paliva. Značka HONDA je také zárukou špičkového servisu a 24hodinových dodávek náhradních dílů.[3]

TIMAN RC-750 má vpředu nesený horizontální mulčovač se záběrem 75 cm, který je schopen bezpečně a efektivně sekat jak nízkou, tak i vysokou trávu a nálety až do 2cm tloušťky. Sekací zařízení překrývá celou šířku stroje, proto lze vysekávat místa až těsně do kraje, a to zejména z levé strany, kde není rameno náhonu sečení. Rameno mulčovače přesně kopíruje terén a má i přepravní a servisní polohu pro snadnou výměnu nožů. Ovládaní průmyslové RC sestavy je intuitivní a lze s ní ovládat všechny funkce stroje. Samozřejmostí je bezpečnostní tlačítko STOP, které okamžitě zastaví stroj i sečení v případě, hrozí-li nebezpečí.[3]

Technické údaje:

- motor čtyřtákní jednoválec, OHC, HONDA iGX 440 (15 HP)
- nezávislé hydromotory, 1 na každý pás
- pohon sečení mechanický s elektromagnetickou spojkou
- záběr sečení: 75 cm
- svahová dostupnost 58° ve všech směrech

- styčná plocha pásů 80 cm
- hmotnost pouze 290 kg



Obrázek 5 Pásový mulčovač Timan RC 750 [3]



Obrázek 6 Detail cepových nožů pásového mulčovače Timan RC 750 [3]

2 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ TĚCHTO ZAŘÍZENÍ

Tyto sekačky jsou ovládány pomocí dálkového ovládání. To jim umožňuje sečení v méně dostupných terénech, bez přítomnosti obsluhy. Jejich akční členy jakožto Krokové motory, DC motory a servomotory jsou poté řízeny polovodičovými prvky nejčastěji MOSFET tranzistory, popřípadě frekvenčními měniči, nebo přímo integrovanými obvody pro řízení krokových, DC motorů a servomotorů.

2.1 Akční členy

V RC sekačkách se nejčastěji objevují elektrické AC nebo DC motory k pohonu kol nebo pásů. U sekaček větších rozměrů a hmotností jsou tyto servomotory zaměněny za hydromotory, které ale vyžadují k provozu hydraulické čerpadlo. Tím také roste jejich cena.

K regulaci otáček spalovacího motoru se často využívají krokové motory, u kterých není nutností mít snímač polohy. Nebo se využívají malé servomotory, které již mají snímač úhlu natočení. Krokové motory nebo servomotory přímo ovládají škrticí klapku v karburátoru.

2.1.1 DC motor

Pole permanentně magnetizovaného motoru (PM) je tvořeno mezi dvěma nebo více trvalými magnety, tedy tolika jako je počet pólů. Nejčastější jsou různé typy magnetů feritových. Proto také nemá PM motor vinutí pro tvorbu pole. Pro připojení motoru stačí dva vodiče. Charakteristika PM vykazuje vlastnosti, které jsou výhodné, což vedlo k tomu, že tento typ motoru se stal dominantním mezi stejnosměrnými motory s výkonem do 1 kW. [4]

Charakteristika

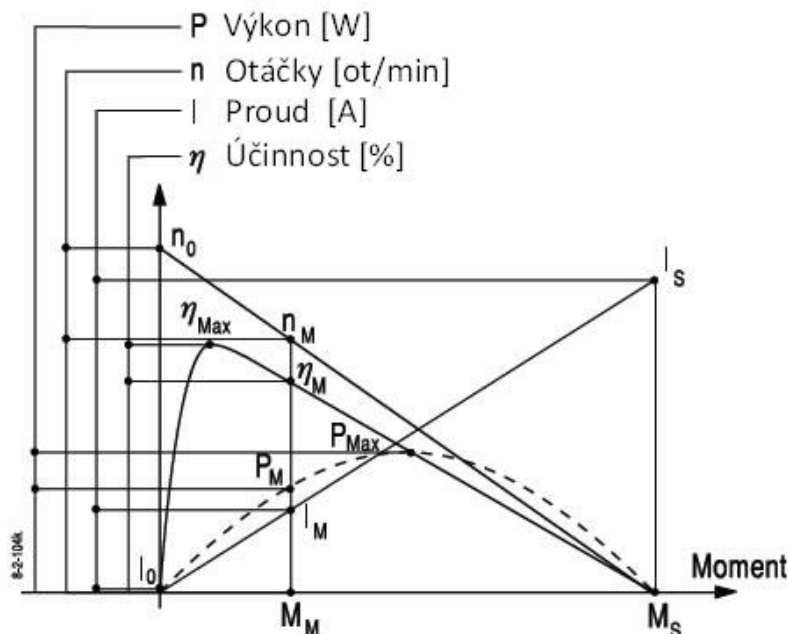
Nejvýznamnější vlastností PM motoru je, že při konstantním napětí, jsou otáčky a proud úměrné momentu. Je tedy jednoduché provádět výpočty a navrhnout jak motor, tak i ostatní systémové komponenty.[4]

Omezení proudu

Většina komerčně dostupných pohonů pro PM motory má omezení proudu jako standard. Vzhledem k tomu, spotřeba proudu je přímo úměrná točivému momentu, je startovní a

maximální točivý moment úměrný proudu nastaveného limitu. Tato metoda šetří jak motor, tak i mechanickou zátěž a tím prodlužuje životnost motoru.[4]

Následující diagram (Obrázek 7) popisuje charakteristiku PM motoru při konstantním napětí.



- M_S -Startovní moment
- M_M -Nominální moment
- n_0 -Otáčky naprázdno
- n_M -Nominální otáčky
- I_0 -Proud naprázdno
- I_M -Nominální proud
- I_S -Startovní proud
- P_M -Nominální výkon
- P_{Max} -Max. výkon
- η_M -Účinnost při nominální zátěži

Obrázek 7 Charakteristika PM motoru při konstantním napětí [4]

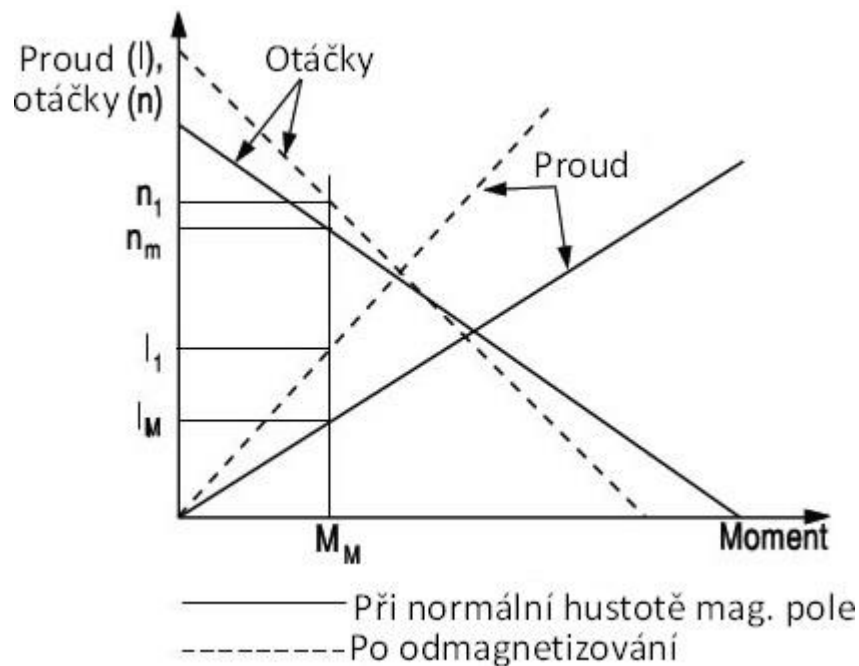
Rozběhový moment je obvykle 6-8 krát vyšší než nominální točivý moment. Jmenovitý moment je tak omezen tepelnými vlastnostmi. Při občasných zatíženích může být použit motor s nižším výkonem, než je požadováno. Například, na jeden 25% pracovní cyklus (např. 1 minuta práce následovaná 3 minutami klidu) používat motor, jehož jmenovitý výkon je poloviční, než je požadováno. To samozřejmě předpokládá, že je třeba vzít v úvahu další klíčové charakteristiky, jako je životnost, otáčky motoru v závislosti na zatížení motoru, teplota, atd. Pokud je vysoký startovní moment PM problémem, protože je start příliš výrazný, lze použít omezení proudu při startu.[4]

Odmagnetizování a přehřátí

Magnety PM-motorového pole mohou být při vysokých proudových špičkách částečně demagnetizovány. Je dokonce obvyklé, že nesnášejí přímý start se jmenovitým napětím bez sériově zapojeného odporu, nebo je třeba použít elektroniku pro proudové omezení. Je proto důležité se vždy ubezpečit, že se nepoužije točivý moment, při kterém by došlo k odmagnetizování.

Pokud je motor demagnetizován, dojde k oslabení pole obvykle o 20 až 25%. Toto oslabení způsobí, že se startovní otáčky zvýší a rozběhový moment klesá úměrně s oslabením magnetického toku pole.

Při jmenovitém točivém momentu je zvýšení otáček nižší, a proto nemusí být vždy odhaleno, že došlo k částečné demagnetizaci. Současně se ale snižuje účinnost, takže motor je náchylnější k přehřátí.[4]



Obrázek 8 Charakteristika PM při odmagnetizování [4]

Na obrázku 8 lze vidět, že je-li zvyšována rychlost z n_m na n_1 při jmenovitém momentu (zvyšuje se i výstupní výkon), proud tekoucí do PM se zvýší z I_M na I_1 , čímž se účinnost při konstantním napětí podstatně zhorší. Motor se tedy bude více zahřívat. [4]

Odmagnetizování při změně směru otáček

PM motory změni směr otáčení při změně pólů. V případě, že se otáčky PM motoru mžikově obrátí, tj. póly se vymění tak rychle, že rotor se nestačí zastavit před změnou pólů, zvyšuje se riziko demagnetizace. PM Motor je vynikající generátor a výstupní napětí je úměrné rychlosti. Při mžikovém otočení pólů se generuje napětí ve směru napájecího napětí a motor je na krátký okamžik vystaven téměř dvojnásobnému napětí.[4]

Momentová konstanta

Momentová konstanta K_T se udává v $[\text{Nm/A}]$, který je jako vztah mezi točivým momentem a výkonem. Pokud je znám proud motoru, je tento vynásoben hodnotou K_T , a výsledkem je hodnota momentu zatížení motoru. K_T lze přibližně vypočítat z křivky konkrétního motoru.[4]

Napěťová konstanta

Napěťová konstanta K_E se udává ve voltech na tisíc otáček za minutu $[\text{V/krpm}]$, a vyjadřuje vztah mezi napětím a rychlostí. Konstanta vlastně vyjadřuje, jaké napětí by motor generoval při různých rychlostech, kdyby byl použit jako generátor. Tento vztah velmi úzce koreluje s odkazem mezi napájecím napětím a otáčkami.

Když je zvolena velikost motoru a uvažuje se o druhu vinutí, který je pro daný typ motoru nejvhodnější, je zajímavé vědět, že točivý moment a napěťové konstanty jsou úměrné. Volba vinutí, které bude produkovat vyšší točivý moment při daném proudu, bude motor pomalejší při konstantním napětí.[4]

2.1.2 Krokový motor

Krokový motor je typ pohonu, který umí přesně nastavit svoji polohu a tuto polohu i přes působící síly udržet (např. souřadnicové zapisovače nebo počítačem řízené obráběcí stroje). Pro tyto aplikace jsou určeny krokové motory. V robotice používáme krokové motory z důvodu jejich snadné obsluhy. Pro precizní řízení rychlosti nepotřebujeme naprogramovat komplexní kontrolér, a pokud motory nepřetěžujeme, lze se obejít bez zpětné vazby o změně natočení – stačí počítat kroky. [5]

Krokový motor dostal své jméno proto, že je jeho pohyb je tvořen "krok za krokem" i když tyto kroky obvykle vedou k točivému pohybu. Skládá se stejně jako většina elektrických motorů ze statoru a rotoru a dvou štítů s ložisky. [6]

Stator je obvykle vyroben z ocelových lamel opatřených drážkami, v nichž se nacházejí měděná vinutí. Jednoduché modely mají místo vinutí několik cívek. Rotor může být tvořen buď železným jádrem (variabilní reluktance), nebo permanentními magnety (PM), nebo permanentní magnet může být vložen do pevného nebo laminovaného železného jádra (hybrid).[6]

Krokový motor s krokem $1,8^\circ$ má 50 zubů v rotoru, a často 48 nebo 50 zubů ve statoru. 50 zubů rotoru znamená, že se rotor může mít čtyři různé pozice na zub. Má čtyři vinutí, které

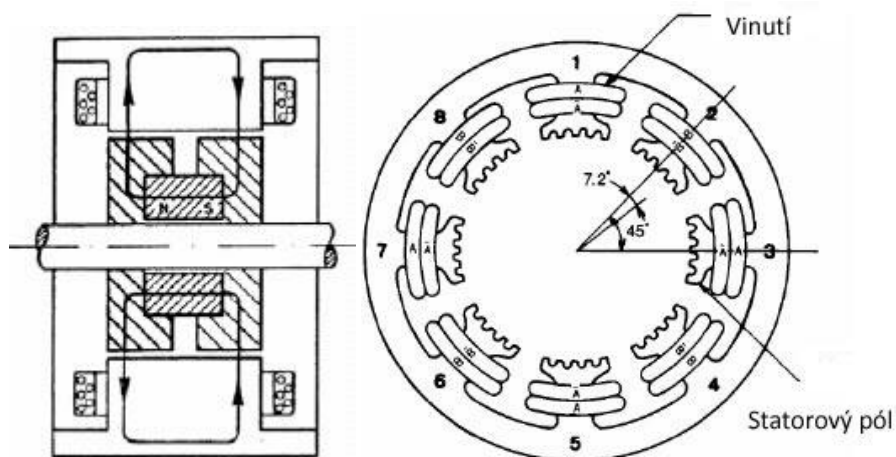
při unipolárním pohonu se připojují k napětím odděleně a při bipolárním pohonu se připojují dvě vinutí v sérii nebo paralelně.

Variabilní reluktanční motor je poměrně neobvyklý, zatímco PM typ, který je jednoduchý na výrobu a proto velmi levný, je široce používán. Má nízký výkon a poměrně velký úhlový krok (větší než $7,5^\circ$).

Hybridní motory jsou také často používány, protože jsou vhodné pro vysoké rozlišení (200-500 kroků na otáčku) a vyskytují se v mnoha výkonových třídách až do 3 kW. V průmyslových aplikacích jsou hybridní motory zcela dominantní.[6]

Hybridní krokový motor 2fázový

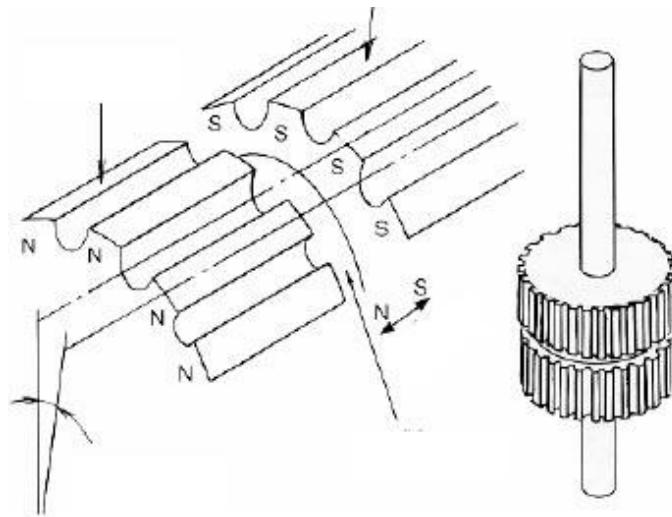
Hybridní krokový motor v sobě kombinuje několika vlastností. Motor s variabilní reluktancí a motor s permanentními magnety.



Obrázek 9 Konstrukce hybridního krokového motoru [6]

Hybridní krokové motory jsou vytvořeny z pěti hlavních částí. Obvykle sestává z 8 statorových pólů (Obrázek 9), které jsou opatřeny zuby. Kolem každého pólu statoru jsou dvě vinutí, takže pole, v závislosti na směru proudu, může být buď jižní, nebo severní pól.

Rotor se skládá ze dvou laminátových polovin podobných ozubenému kolu. Uvnitř je permanentní magnet z neodymu. Obě poloviny jsou otočeny tak, aby zuby na jedné straně odpovídaly vybrání na straně druhé (Obrázek 9). Jedna polovina je tedy severní a druhá jižní pól. Běžně má motor 50 zubů.



Obrázek 10 Konstrukce rotoru u hybridního
krokového motoru

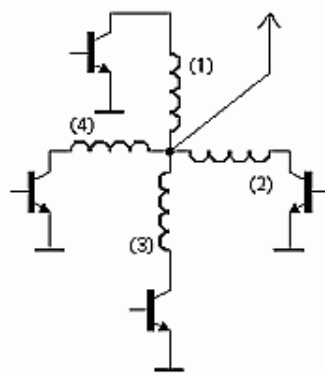
Hybridní krokové motory jsou k dispozici v několika standardních rozměrech s tzv. „Nema“ přírubou. Většina rozměrů je uvedena v palcích. Moderní hybridní motory nejsou kulaté, ale čtyřhranné. Rozměry přírub jsou nejčastěji 35, 39, 42, 56, 86 a 110 mm. Úhel na jeden krok je téměř vždy $1,8^\circ$, ale i $3,6$ a $0,9$ stupňů.

Úhel jednoho kroku se vypočítá podle: $\frac{360^\circ}{z \times p \times f}$. Kde z = počet zubů, p = počet pólů rotoru a f = počet fází.

Metody řízení krokového motoru

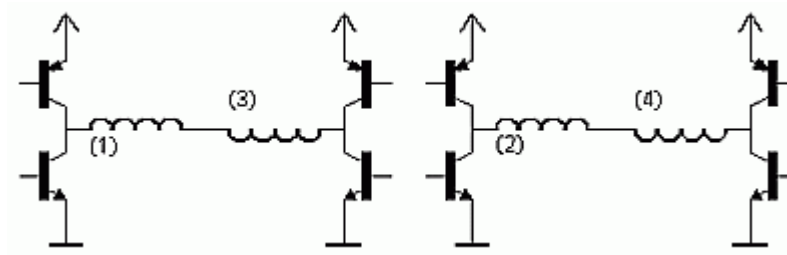
Krokové motory lze řídit dvěma způsoby:

- Unipolárně
- Bipolárně



Obrázek 11 Schéma unipolárního řízení [5]

Při unipolárním řízení (Obrázek 11) prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší krouticí moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky v podstatě stačí jeden tranzistor na každou cívku. Pro menší motory lze použít integrovaný obvod ULN2803. V jednom pouzdře je dostatek budičů pro řízení dvou motorů.



Obrázek 12 Schéma bipolárního řízení [5]

Při bipolárním řízení (Obrázek 12) prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší krouticí moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby. Pro řízení jsou zapotřebí 2 H-můstky: pro každou větev jeden. To ve výsledku znamená jednak složitost zapojení a větší počet kontrolních linek (jejich počet lze zredukovat pomocí přídavné logiky). Vhodným integrovaným obvodem pro bipolární řízení menších motorů je H-můstek L293D[5].

2.1.3 Hydraulické stroje

Hydraulické stroje patří mezi nejrozšířenější energetické a pracovní jednotky řady technických zařízení. Z toho vyplývá, že většina techniků, bez ohledu na jejich profesní odbornost, se s hydraulickými stroji setkává ve své projekční, výpočtářské, konstrukční nebo provozně údržbářské činnosti.

Hydraulické stroje jsou často součástí technologických zařízení, sloužících k různým účelům, takže se uplatňují nejen ve strojním, energetickém, chemickém a potravinářském průmyslu a vodárenství, ale i ve většině dalších oblastí lidské činnosti.

Sortiment hydraulických strojů se rozšířil též uplatňováním nových materiálů (např. plasty, kompozity) a moderních technologií (např. svařovacích automatů, aparatur k rozpojování pevných látek kapalinovým paprskem).

K hydraulickým strojům patří čerpadla (hydrogenerátory), turbíny (popř. hydromotory), čerpadlové turbíny a hydraulické převody. Většina z uvedených hydraulických strojů

pracuje buď na hydrodynamickém nebo hydrostatickém principu. V oblasti přenosu energie kapalinami jsou hydraulické stroje nezastupitelným prvkem soudobých mechatronických zařízení.

Současné hydraulické stroje se vyznačují vysokou účinností, dosahovanou při relativně nízké hmotnosti stroje, což je výsledek dlouhodobého úsilí řady generací techniků pracujících v daném oboru.[7]

Hydrostatické stroje

Tyto hydraulické stroje jsou nezastupitelné v oblasti vysokých tlaků, popř. vazkostí kapalin. Energie rychlostní a stlačitelnosti kapalin mají pro práci hydrostatických strojů podružný význam, protože obvykle nepřesahují 1% energie tlakové.

Hydrostatické stroje se vyznačují uzavřeným činným prostorem, který se opakovaně plní a vyprazdňuje, což způsobuje během každého cyklu pulzace průtoku a kapaliny. Tyto pulzace se mírní rozčleněním činného prostoru dané jednotky tak, aby se dávkování kapaliny protékající jednotlivými činnými prostory stroje vzájemně časově překrývalo co nejvhodněji.[7]

Ztráty v hydrostatických strojích

Ztráty v hydrostatických strojích jsou buď hydraulické, objemové nebo mechanické.

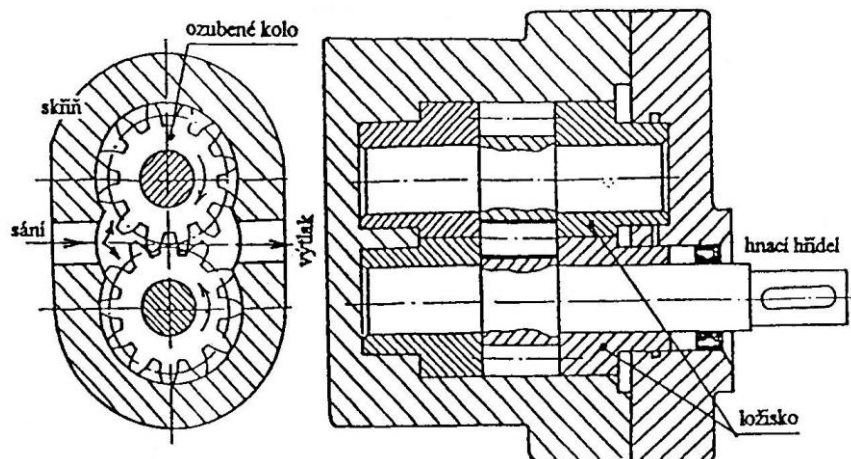
Hydraulická účinnost zahrnuje hydraulické ztráty dvojího druhu, a to třecí (délkové) a místní, vznikající mezi vstupním a výstupním hrdlem jednotky. Na místních ztrátách má hlavní podíl hydraulický odpor rozvodných orgánů jednotky. V činném prostoru hydrostatické jednotky se prakticky neprojeví vliv smykového napětí v kapalině. To znamená, že u hydrostatických strojů se, v porovnání se stroji hydrodynamickými, málo projeví tření kapaliny. V důsledku toho je hydraulická účinnost hydrostatických jednotek vysoká.

Objemová účinnost zahrnuje netěsnosti činného prostoru hydrostatických strojů, ale také dokonalost zaplnění tohoto prostoru kapalinou a vliv plynů obsažených v kapalině, Rozhodující jsou vnitřní průsaky kapaliny z činného prostoru.[7]

Zubový hydrostatický stroj

Geometrický objem zubových strojů je rozložen do mezer mezi zuby navzájem zabírajících ozubených kol (Obrázek 13). Při otáčení ozubených kol se v místě, kde zuby vycházejí ze záběru, otevírají zubové mezery obou kol a vzniká sací účinek. Do těchto

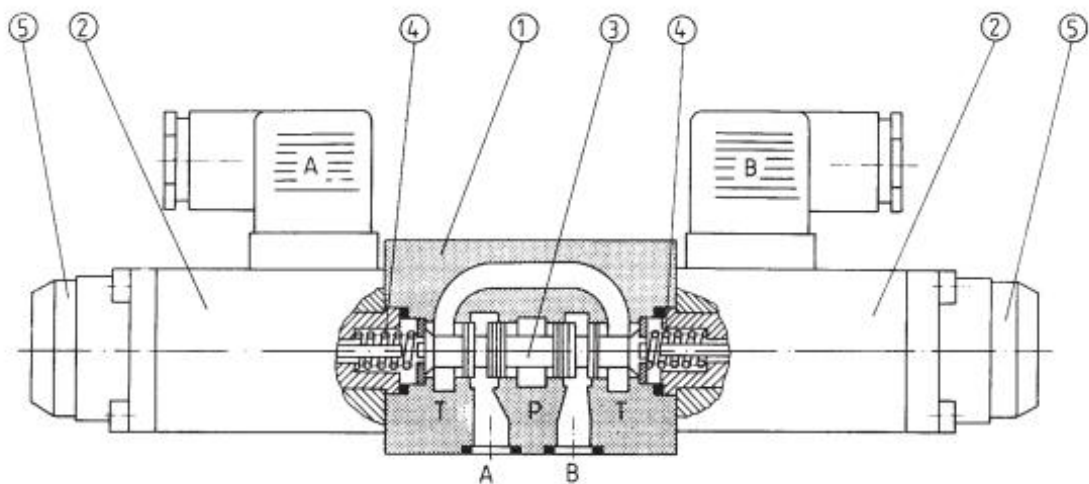
mezer proudí kapalina ze vstupní části stroje. Kapalina v prostorech ohraničených sousedními zuby a statorom stroje se přesouvá pro kružnici do prostoru výstupní části stroje. Tam dochází k vzájemnému záběru zubů, čímž se kapalina ze zubních mezer vytlačuje. Je-li tlak kapaliny na vstupu nižší než na výstupu stroje, pracuje zubová jednotka jako čerpadlo. Když je tomu opačně, pracuje jako hydromotor.[7]



Obrázek 13 Schéma zubového hydrostatického stroje [8]

Elektricky ovládané šoupátkové rozvaděče WE 6

Přímočaré šoupátkové rozvaděče jsou používány k řízení směru proudu kapaliny a tím i směru pohybu nebo udržení polohy hydromotoru. Přímočaré šoupátkové rozvaděče mohou být společně s přípojovací deskou montovány do hydraulických systémů v libovolné poloze. Těsnění stykových ploch je provedeno „O“ kroužky.[9]

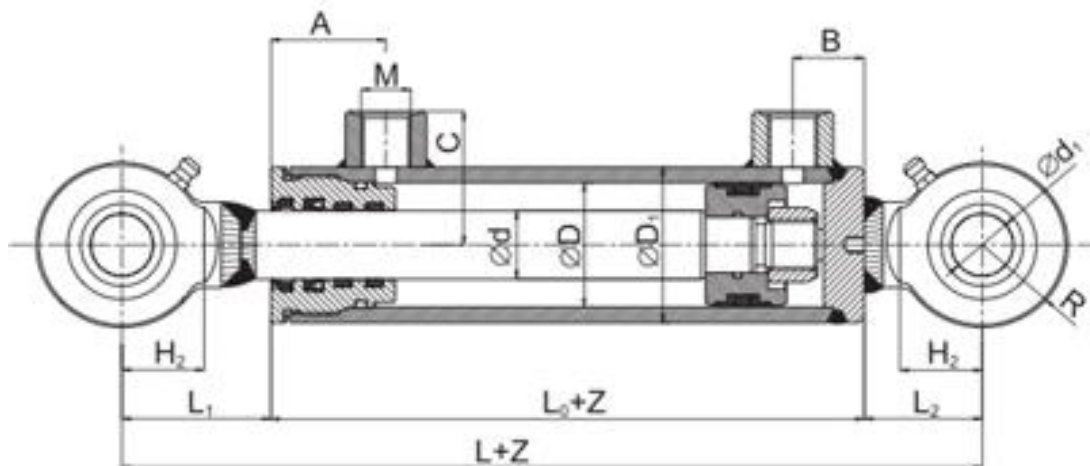


Obrázek 14 Elektricky ovládaný šoupátkový rozvaděč WE 6 [9]

Šoupátkové přímočaré rozvaděče se uvádějí v činnost změnou polohy šoupátka 3 (obrázek 14), které se pohybuje v tělese 1 ve směru podélné osy, a tak buď odděluje, nebo spojuje kanály A, B, P, T. Šoupátko se přesouvá působením sil, které vyvíjejí elektromagnety 2. Návrat šoupátka a jeho vystředění je zajišťováno středícími pružinami 4. Tlačítko nouzového ovládání 5, slouží k ovládání šoupátka v případě, že elektromagnety nejsou pod proudem.[9]

Přímočaré hydromotory

Přímočaré hydromotory mohou být jednočinné nebo dvojčinné. U jednočinných hydromotorů zajišťuje pracovní zdvih tlaková kapalina, kdežto vratného pohybu je dosahováno působením vnějšího zatížení, případně pružiny. U dvojčinných motorů jsou pohyby v obou směrech ovládány tlakovou kapalinou.[10]

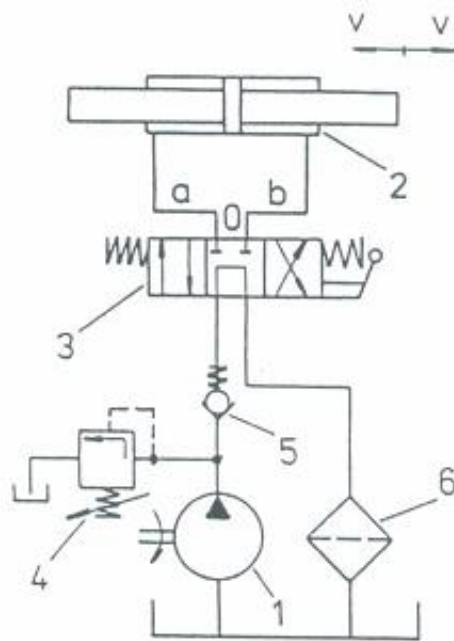


Obrázek 15 Dvojčinný přímočarý hydromotor [11]

Schematické zapojení hydraulického obvodu

Klasická řídicí technika využívá následující hydraulické prvky:

- Pro řízení tlaku se používají pojistné, přepouštěcí, redukční, připojovací, odpojovací a jiné tlakové ventily.
- Pro řízení směru a hrazení průtoku se používají rozvaděče, jednosměrné ventily, řízené jednosměrné ventily, dvojstranné hydraulické zámky, uzavírací ventily aj.
- Pro řízení velikosti průtoku se používají škrtící ventily, tlakové váhy, regulační ventily průtoku, brzdící a zpožďovací ventily, clony aj.[12]



- 1 - hydrogenerátor
- 2 - hydromotor s oboustranně vyvedenou pístnicí
- 3 - rozvaděč
- 4 - pojistný ventil
- 5 - jednosměrný ventil
- 6 - filtr

Obrázek 16 Schematické zapojení hydraulických prvků pro ovládání posuvného hydromotoru

Obvod na obrázku 16 zajišťuje vyvození posuvného pohybu hydromotoru 2 stejnou rychlostí v obou směrech a zastavení hydromotoru v libovolné poloze [12]. Hydrogenerátor je chráněn před tlakovým přetížením pojistným ventilem. K zamezení zpětného průtoku kapaliny přes čerpadlo je použit jednosměrný ventil mezi rozvaděčem a čerpadlem. Filtr na odpadové větvi zamezuje proniknutí nečistot do zásobníku oleje.

2.2 Výkonové řídicí moduly

Jsou kompletní moduly určené k ovládání AC nebo DC motorů, dvou a vícefázových krokových motorů apod. Tyto moduly se přímo zapojují mezi motor a ovládací jednotku (MCU, tlačítko atd.). Většinou již obsahují jištění proti přetížení, přehřátí proti zkratu i proti nekorektnímu řízení.

2.2.1 DCS810 DC Servo driver 80V 20A Digital

Jedná se o plně digitální DC servo driver od výrobce Leadshine Technology Co., Ltd. S možností kompletního nastavení a vizualizace pomocí dodávaného SW ProTuner.[13]

Parametry:

- nastavení, vizualizace pomocí SW ProTuner (RS232)
- napájecí napětí: 18–80VDC

- výstupní proud: 0–20A
- opticky izolované vstupy – směr, krok, enable
- maximální vstupní frekvence: 500 kHz
- ochrany: přepět'ová, proudová, chyba fáze, enkodéru, polohy
- zpětnovazební řízení: 4 x rozlišení encoderu
- elektronický převod od 1/255 do 255
- malé rozměry (110×69×27mm)



Obrázek 17 DCS810 DC servo driver [13]

Připojení DC servo driveru (obrázek 17) k řídicímu systému je přes svorky ve skupině

Signal:

- **EN+** a **EN-** slouží k zapínání a vypínání celého DC servo driveru. Při nezapojení těchto svorek je DC servo driver zapnut.
- **PUL+** a **PUL-** slouží k zahájení otáčení motoru
- **DIR+** a **DIR-** slouží ke změně smyslu otáčení

Při použití inkrementálního snímače otáček, je tento snímač zapojen ke skupině svorek

Encoder.

Napájení DC servo driveru se provádí přes skupinu svorek **High Voltage.**

Proudová ochrana je signalizována blikáním LED diody, při překročení proudu 20A.

Přepět'ová ochrana je signalizována blikáním LED diody, při překročení $85 \pm 1,5\text{VDC}$.

Fázová ochrana je signalizována blikáním LED diody, při nezapojeném motoru a zkratu.

2.2.2 AM882-driver pro krokové motory

Další výrobek od firmy Leadshine Technology Co., Ltd., nyní ale určený k řízení krokových motorů a to 2 fázových anebo 4 fázových. Tento driver je plně digitální, s možností kompletního nastavení přes dodávaný software. [14]

Parametry:

- nastavení proudu: propojky 2,7–8,2A, 0,1–8,2A, programově
- napájecí napětí 20-80VDC
- rozlišení kroku: propojky 400–25600, 200–102400 programově (po 200kr.)
- maximální vstupní frekvence 200 kHz
- opticky izolované vstupní signály
- vhodný pro 2fázové a 4fázové krokové motory
- automatická redukce proudu po zastavení motoru



Obrázek 18 AM882- driver pro krokové motory [14]

Připojení driveru pro krokové motory (Obrázek 18) k řídicímu systému je přes svorky ve skupině **signal**:

- **ENA+** a **ENA-** slouží k zapínání a vypínání celého driveru pro krokové motory. Při nezapojení těchto svorek je driver zapnut.
- **PUL+** a **PUL-** slouží k posunu o jeden krok krokového motoru
- **DIR+** a **DIR-** slouží ke změně smyslu přičítání kroků
- **ALM+** **ALM-** slouží k chybovému hlášení vystupující z driveru jako např. přepětí, podpětí, proudová ochrana atd.

Pomocí přepínačů ve skupině **PA Setting** lze nastavit maximální proud výstupu driveru, udržovací proud při zastavení krokového motoru. Dále zde můžeme nastavit dělení kroku (mikrokrokování) od celého kroku až po 1/25600 kroku.

Ke svorkám ve skupině High voltage připojujeme napájecí napětí (**GND** a **+Vdc**) a k **A+,A-,B+,B-** připojujeme krokový motor.

2.3 Polovodičové součástky pro výkonové řízení motorů

Pro výkonové řízení motorů větších výkonů se převážně používají MOSFET tranzistory hlavně díky jejich nízkému odporu při sepnutém stavu, a tím i nízkým ztrátovým výkonem. K ovládání těchto tranzistorů se používají budiče, které je otevírají a zavírají. Náhračkou tohoto zapojení jsou integrované obvody, obsahující budiče i výkonové koncové stupně s MOSFET tranzistory v jednom pouzdře.

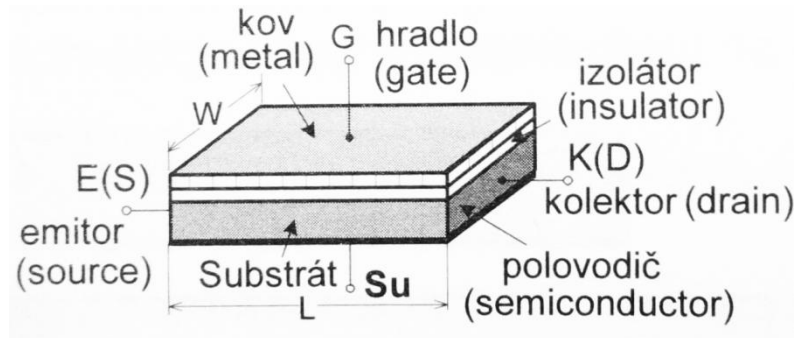
2.3.1 MOSFET tranzistory

Základní ideou tranzistoru řízeného elektrickým polem (FET) je řídit hustotu volných elektrických nábojů, které procházejí částí polovodiče, pomocí elektrického pole.[15]

Tranzistor řízený elektrickým polem

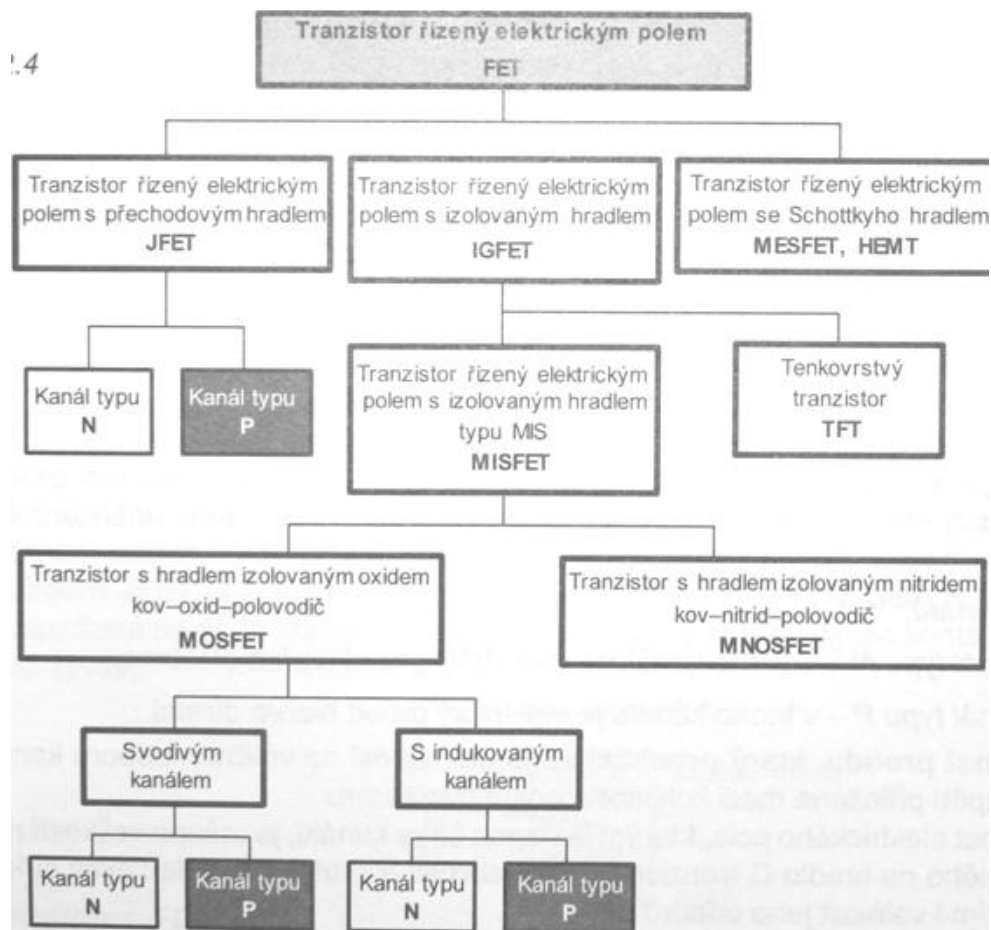
Je to aktivní elektronický prvek, ve kterém je tok většinových (majoritních) nábojů procházejících polovodičovým kanálem řízen příčným elektrickým polem. Příčné elektrické pole je vytvořeno napětím přiloženým na řídicí elektrodu, která se nazývá hradlo (gate) a má označení G.

Uvedená idea je znázorněna na obrázku 19. Hradlo tvořené elektrodou je odizolováno od polovodičové destičky vodivostí typu N nebo P. Polovodičová destička tvoří kanál, který mezi emitorem S a kolektorem D pohybují elektrické náboje.[15]



Obrázek 19 Idea unipolárního tranzistoru [15 s.84]

Za předpokladu, že elektroda Su je vodivě spojena s elektrodou emitoru E, je přiloženo napětí mezi elektrodu hradla G a emitoru S. Následně vzniklé elektrické pole ovlivňuje pohyb elektrických nábojů v polovodiči.



Obrázek 20 Typy unipolárních tranzistorů [15]

Na obrázku 20 je znázorněn základní přehled typů unipolárních tranzistorů.

Struktura kov-izolant-polovodič (MIS FET)

Struktura kov-izolant-polovodič je základním stavebním prvkem mnoha typů polovodičových součástek. V oblasti tranzistorů s izolovaným hradlem jsou nejrozšířenější tranzistory typu MOSFET, případně MNOSFET. Proto bude následující text zaměřen na vysvětlení hlavních vlastností těchto tranzistorů MOSFET.

Tranzistory MOSFET jsou principem činnosti částečně podobní tranzistorům JFET, ale zásluhou tenké vrstvy izolantu, která izoluje hradlo tranzistoru od polovodiče, vykazují větší vstupní impedanci (řádově až $10^{14}\Omega$).

Izolační vrstva tvoří kapacitní vazbu mezi hradlem a dalšími částmi tranzistoru. To, že prakticky neexistuje vnitřní stejnosměrná vazba tranzistoru s jeho hradlem, činí tranzistor mnohem univerzálnějším, než je tranzistor JFET, ale zároveň s tím dochází k mnohem větší náchylnosti na snadnou možnost zničení izolační vrstvy statickou elektřinou během normální manipulace.

Jako izolační vrstva je nejčastěji používán oxid křemičitý SiO_2 . Tranzistory jsou pak označovány MOSFET (Metal-Oxid-Semiconductor).[15]

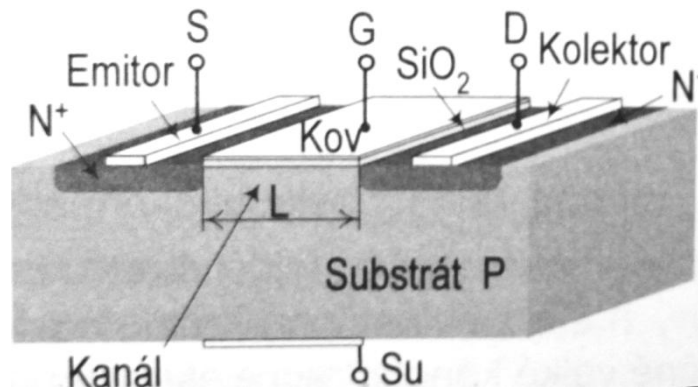
Základní provedení tranzistorů MOSFET

Tranzistory MOSFET se vyrábějí ve čtyřech základních provedeních:

- s kanálem typu N (NMOS) - s vodivým kanálem (se zabudovaným kanálem);
 - s indukovaným kanálem
- s kanálem typu P (PMOS) - s vodivým kanálem (se zabudovaným kanálem);
 - s indukovaným kanálem

Základní uspořádání tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem

Základní uspořádání tranzistoru MOSFET je znázorněno na obrázku 21.



Obrázek 21 Struktura tranzistoru MOSFET [15]

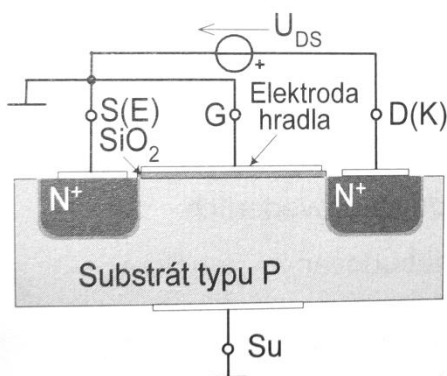


Obrázek 22 Symbolické značky MOSFET s indukovaným kanálem [15]

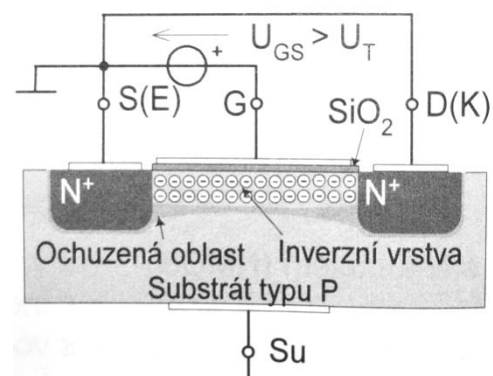
Typická délka kanálu L (Obrázek 21) je 1 až 10 μm , šířka se pohybuje v mezích 2-500 μm . Tranzistory MOSFET jsou často konstruovány jako souměrné prvky, u kterých lze zaměnit kolektor a emitor (pokud není uvnitř pouzdra emitor spojen se substrátem).

Činnost tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem

Kanál není vytvořen, dokud není na hradlo G přivedeno žádné napětí, $U_{GS}=0$ (Obrázek 23), existují mezi emitorem a kolektorem dvě antisériově zapojené diody N⁺P (dva PN přechody). Oblast mezi emitorem a kolektorem má za těchto podmínek velký odpor, řádově až $10^{12}\Omega$.



Obrázek 23 MOSFET indukovaným kanálem N, kanál nevznikl



Obrázek 24 MOSFET indukovaným kanálem N, vytvoření kanálu napětím U_{GS}

K vytvoření kanálu je nutné vytvořit pod hradlem dostatečně velké elektrické pole, jak je naznačeno na obrázku 24. Elektrické pole pod hradlem je vytvořeno přivedením kladného napětí U_{GS} na hradlo G. Toto napětí musí být vyšší, než prahové napětí U_T . Prahové napětí je velikost napětí U_{GS} , při kterém se v kanálu akumuluje takové množství elektronů, že se vytvoří vodivý kanál. Prahové napětí u NMOSFET (MOSFET s kanálem typu N) je kladné a pohybuje se v mezích od 1 do 3V.[15]

2.3.2 Budiče tranzistorů MOSFET

Protože je při použití tranzistorů možné dosáhnout velmi krátkých spínacích časů a malých vstupních příkonů, roste množství jejich použití pro spínací aplikace.

Výkonové tranzistory MOS mají velmi vysoký stejnosměrný vstupní odpor, ale impedance v kmitočtové oblasti je závislá na kmitočtu. Je nutné počítat s tím, že vstup tranzistoru má kapacitní charakter, a že se vzrůstajícím kmitočtem se kapacitní reaktance zmenšuje. Poměrně velká kapacita mezi hradlem a ostatními elektrodami se po příchodu řídicího impulzu musí nejprve nabít, a teprve po jejím nabití dosáhne napětí na hradle potřebnou napěťovou úroveň. Tato kapacita má typicky velikost 1 nF až 2 nF. U tranzistorů s vyšší proudovou zátěží tato kapacita roste až k 10nF.

Požadavky na výkon budiče vyplývají ze vztahu:

$$P_G = Q_G \times U_{GS} \times f \quad [W; C; V; Hz]$$

Kde Q_G je špičkový náboj na kapacitě hradla;

U_{GS} je nejvyšší hodnota napětí na hradle;

f je kmitočet spínání.

Proto musí být budič hradla (driver) schopen nabít kapacitu hradla co možná nejrychleji, přičemž špičkový krátkodobý nabíjecí proud může dosahovat řádově i velikosti ampérů. Tuto vlastnost mají integrované obvody k tomu určené.

Vyráběné budiče jsou pro rychlé spínání schopné dodat velké proudové špičky. Ty jsou však omezeny parazitními indukčnostmi přívodů a pouzder. Pro omezení indukčností přívodů je nutné zmenšit vzdálenost mezi výstupem budiče a tranzistorem. V nepříznivém případě, může dojít vlivem kapacit a indukčností v obvodu hradla ke vzniku oscilací. Strmost nástupní a sestupné hrany je závislá na výstupní impedanci budícího obvodu,

kterou je určena konstanta $\tau=RC$ obsahující vstupní impedanci budícího obvodu, vstupní kapacitu tranzistoru [15].

2.3.3 Integrované obvody pro řízení motorů

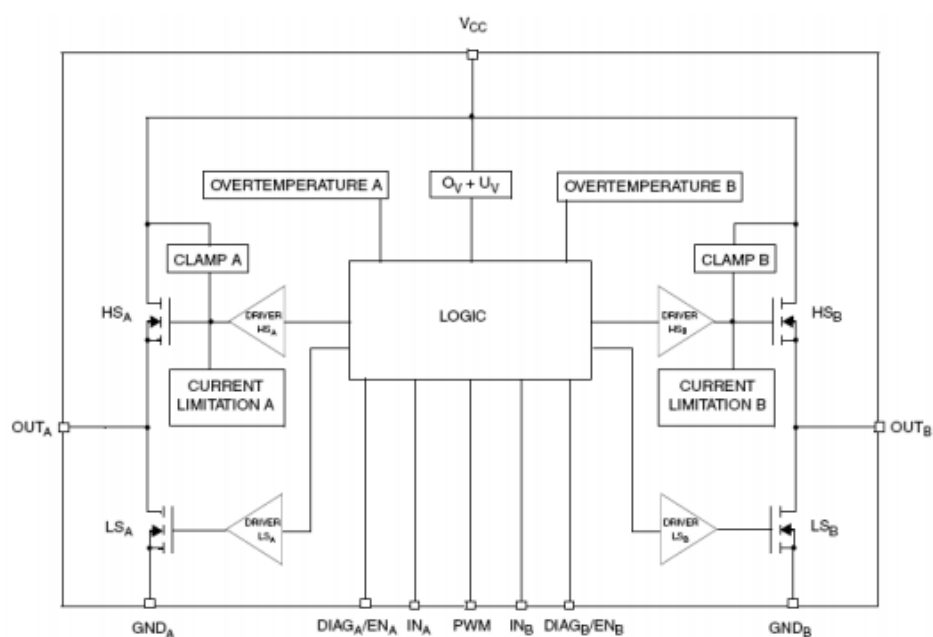
Integrované obvody pro řízení motorů obsahují ve svém pouzdře kompletní elektronický obvod, sloužící k ovládání motorů. Často obsahují i ochrany proti přetížení, přehřátí apod.. Jedním z nich je i integrovaný obvod VNH3SP30-E.

Motor driver VNH3SP30-E

Jedná se o plně integrovaný H-můstek pro řízení motorů.

Jeho parametry jsou:

- výstupní proud: 30A
- ovládání vstupů pomocí 5V logického signálu
- přepěťová a podplová ochrana
- tepelná pojistka
- lineární omezení proudu
- velmi nízká spotřeba energie v pohotovostním stavu
- PWM frekvence až do 10 kHz
- ochrana proti ztrátě GND a V_{CC}
- napájecí napětí 5,5V až 36V



Obrázek 25 Blokové schéma VNH3SP30-E

Ovládaný motor se připojuje na výstupy OUT_A a OUT_B (Obrázek 25). Napájecí napětí je přivedeno na V_{CC} a GND_A a GND_B .

Na kanál PWM se přivádí požadovaná frekvence a velikost pulzně-šířkové modulace.

Vstupy se ovládají podle následující tabulky:

Tabulka 1 Pravdivostní tabulka ovládání vstupů VNH3SP30-E [16]

INa	INb	DIAGa/ENa	DIAGb/ENb	OUTa	OUTb	Operační mód
1	1	1	1	H	H	Brzdění do Vcc
	L				otáčení ve směru hodinových ručiček	
0	1			L	H	otáčení proti směru hodinových ručiček
	0				L	Brzdění do GND

Jiné, nekorektní ovládání vstupů integrovaného obvodu se neprojeví na výstupu.

2.4 Mikropočítač

Mikropočítač je programovatelná jednotka, sestavená z mikroprocesoru a dalších nutných obvodů. Je nutné zdůraznit, že předpona „mikro“ se vztahuje k fyzickým rozměrům obvodů a neznamena omezení funkce, právě naopak. Vysoká integrace umožnila vývoj velmi složitých architektur s vysokým výpočetním výkonem a velkou variabilitou funkcí. Soustředění obvodů na jednom čipu dovoluje zkrátit spoje a tím i zpoždění signálu.[17]

Obvody mikropočítače lze rozdělit do pěti částí, jak je zobrazeno na obr. 17. Data jsou mikropočítačem zpracovávána po slovech. V daném časovém okamžiku (takt procesoru) mikropočítač pracuje s jedním slovem. Typická délka slova je 8, 16, 32 nebo 64 bitů. Mikropočítače s délkou slova 8 bitů se používají pro méně náročné aplikace na výkon a paměť. Pro náročnější aplikace se používají mikropočítače 16, 32, 64 bitů.[17]

Generátor hodinového signálu

Generuje hodinový (taktovací, synchronizační) signál, který synchronizuje činnost samotného procesoru a také jeho spolupráci s ostatními částmi mikropočítače. U současných typů mikropočítačů bývá již tento generátor jejich součástí.[17]

Mikroprocesor

Je základním prvkem mikropočítače. Řídí jeho celou činnost. Zajišťuje provádění instrukcí uložených v paměti, řídí toky dat ze vstupních částí mikropočítače, tyto data zpracovává a následně řídí tok dat směrem k výstupním portům.[17]

Paměť ROM

Obsahuje ve většině případů instrukce, které zajišťují realizaci daného algoritmu řízení pro přizpůsobení mikropočítače určité aplikaci. Dále paměť může obsahovat konstanty a neměnné tabulky používané v programu. Z této paměti lze pouze číst, programuje se při výrobě.[17]

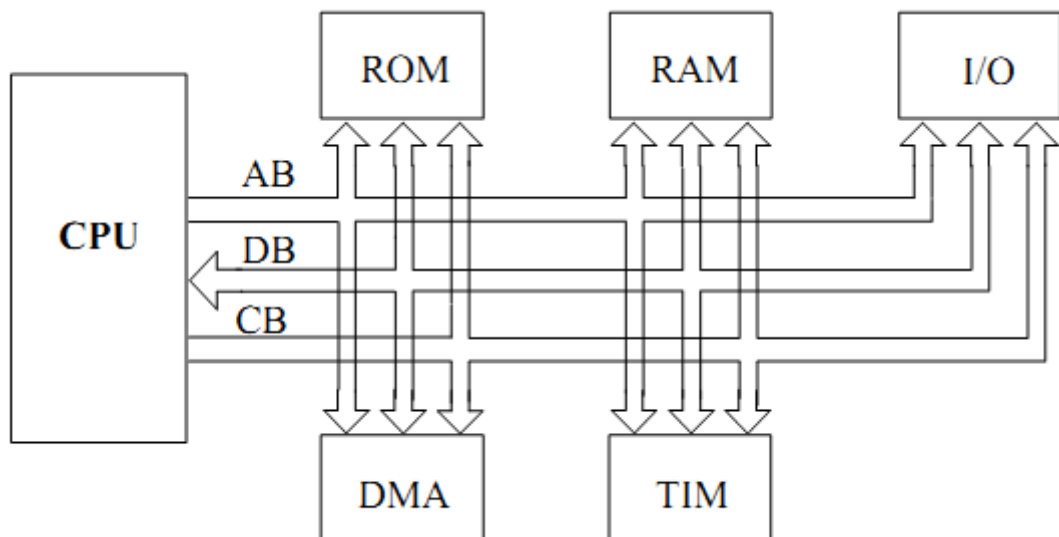
Paměť RWM

Označována někdy také RAM zajišťuje dočasné uložení dat zpracovávaných mikroprocesorem. Data do paměti může mikroprocesor uložit a opět zpětně vyzvednout. Do této paměti lze tedy i zapisovat.[17]

Vstupní a výstupní porty

Umožňují spojení mikropočítače s okolním prostředím (klávesnice, display, výkonové akční členy atd.).

Těchto pět částí, tvoří nutný základ mikropočítače. Mikropočítač však může být tvořen i jinými částmi, které budou zefektivňovat jeho práci.[17]



Obrázek 26 Blokové schéma mikropočítače

Struktura mikroprocesoru

Termín mikroprocesor označuje ve většině případů integrovaný obvod vyrobený technologií vysoké hustoty integrace. U starších typů mikroprocesoru nebyly vždy součástí mikroprocesoru všechny jeho nezbytné části jako jsou např. generátor hodinového signálu, obvody pro řízení sběrnice a jiné. Výrobci k těmto mikroprocesorům dodávali

specializované obvody, které doplňovaly mikroprocesor o tyto části. Tyto obvody pak tvořily spolu s mikroprocesorem tzv. skupinu mikroprocesoru. Současné typy vyráběných mikroprocesorů jsou již těmito potřebnými částmi vybaveny přímo na čipu. Zjednodušené blokové schéma blíže nespecifikovaného mikroprocesoru je na obrázku 26. Konkrétní mikroprocesory se mohou od této sestavy odlišovat.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ

V následující kapitole bude popsáno mechanické zpracování navrhované sekačky řízené mikropočítačem na dálkové ovládání.

3.1 Účel použití

Navrhovaná sekačka je vhodná pro sečení rovných terénů s nízkým úhlem stoupání jako náhrada za traktory na sečení trávy. Vzhledem k eliminaci obsluhy vezoucí se na již zmíněných traktorech a jiném upořádání prvků, má navrhovaná sekačka mnohem nižší hmotnost (do 120 Kg) při stejné šířce záběru oproti traktorům s hmotností od 175kg bez obsluhy. Z tohoto hlediska lze použít na sekačce motor o nižším výkonu a tím také snížit spotřebu paliva při provozu. Díky použití horizontálního žacího ústrojí lze sekat trávu do výšky přes jeden metr a nálety do dvou cm v průměru.

Záběr sečení byl zvolen na 110cm, což je spíše nadprůměrný záběr ve srovnání se sekacími traktory.

3.2 Výběr typu žacího ústrojí

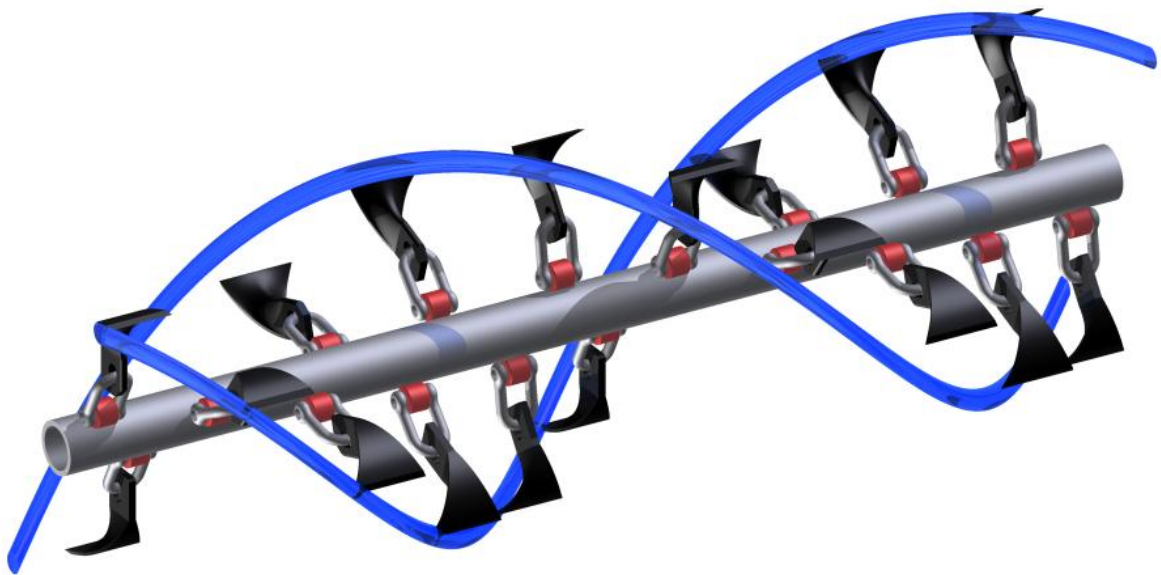
Jako žací ústrojí byla zvolena horizontální hřídel se zavěšenými mulčovacími noži. Kvůli zmírnění vibrační stroje, jsou mulčovací nože (Obrázek 27) na sekací hřídeli rozmístěny ve směru dvouchodé šroubovice (Obrázek 29) zavěšeny na vysokopevnostních třmenech typu D (Obrázek 28), zakoupené ve firmě Metaltrade international s.r.o. Mulčovací nože byly zakoupeny ve firmě Prodag Zlín s.r.o.



Obrázek 27 Mulčovací nůž



Obrázek 28 Vysokopevnostní třmen typu D

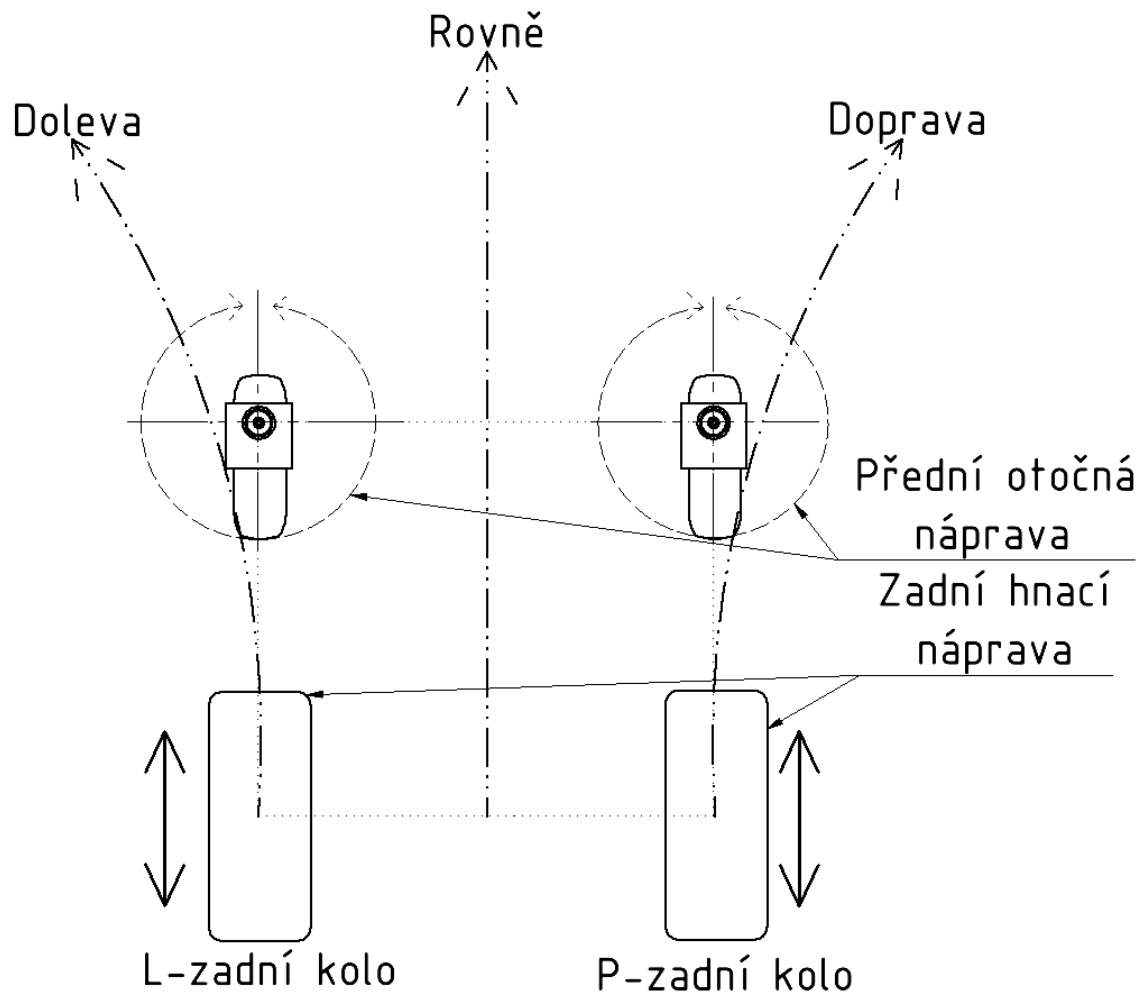


Obrázek 29 Horizontální hřídel se zavěšenými mulčovacími noži

3.3 Způsob řízení

Sekačka je poháněna dvojicí zadních kol, poháněných elektromotory. Tato kola se mohou točit oběma směry nezávisle na sobě. Tím je zajištěno řízení směru celého stroje. Přední kola jsou uložena na otočném čepu, excentricky posunutého od středu kola. Stejný typ uložení nalezneme například u koleček kancelářské židle. Tato přední náprava je tedy volná a kola se otáčejí kolem čepu podle zvoleného směru.

Řízení stroje je realizováno pomocí změny rychlosti dvou zadních kol (Obrázek 30). Při stejné rychlosti obou hnacích kol je směr jízdy sekačky přímý. Při zpomalení levého zadního kola se změní směr jízdy doleva. Při zpomalení pravého zadního kola se změní směr jízdy doprava. Při vzájemně opačném smyslu otáčení hnacích kol se sekačka otáčí na místě kolem osy zadních kol. Vzhledem k použitému systému řízení oproti klasické řízené přední nápravě má sekačka mnohem lepší manévrovatelnost a ovladatelnost.



Obrázek 30 Způsob řízení sekačky

3.4 Kompenzace nerovnosti terénu

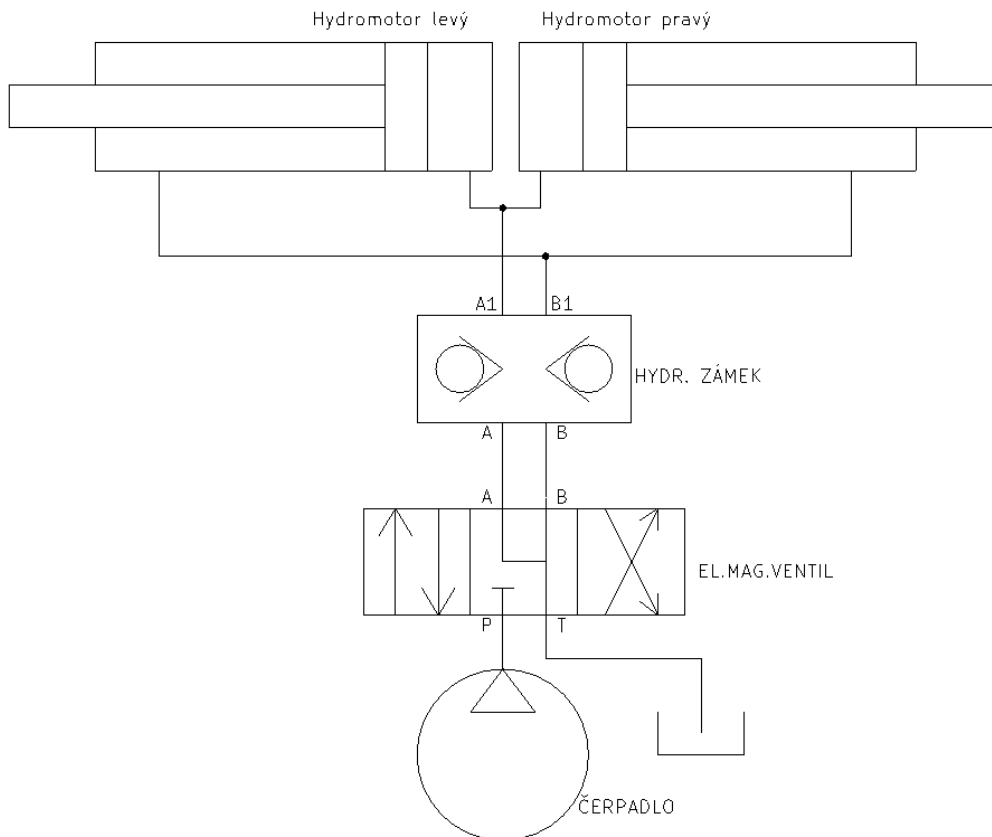
Při pevném uchycení všech čtyř kol by při najetí jedním kolem na nerovnost sekačka jela pouze po dvou kolech. Zbylá kola by ztratila kontakt s terénem.

Aby bylo žací ústrojí správně vedeno, musí být určena jedna náprava jako pevná, určující úhel náklonu sekačky a druhá kyvná. U zahradních traktorů je zadní náprava pevná a přední náprava je uložena na jednom čepu. Tím při průjezdu přes nerovnosti zůstávají všechna kola v kontaktu s terénem.

Vzhledem k otočné přední nápravě byla jako kyvná náprava zvolena zadní. Dále je zde také nutnost ovlivňovat výšku sečení, a proto bylo zvoleno uložení zadních kol na nezávislých ramenech, ovládaných přímočarými hydromotory. Tyto hydromotory jsou zapojeny do jednoho okruhu, a tím nahrazují kyvnou nápravu uloženu na jednom čepu.

3.4.1 Hydraulické zapojení a uchycení zadní nápravy

Dle hydraulického schématu na obrázku 31 byla vyrobena rozvodová deska a pro propojení hydraulického agregátu viz kapitola 4.1.4, elektromagnetických hydraulických ventilů a přímočarých hydromotorů.

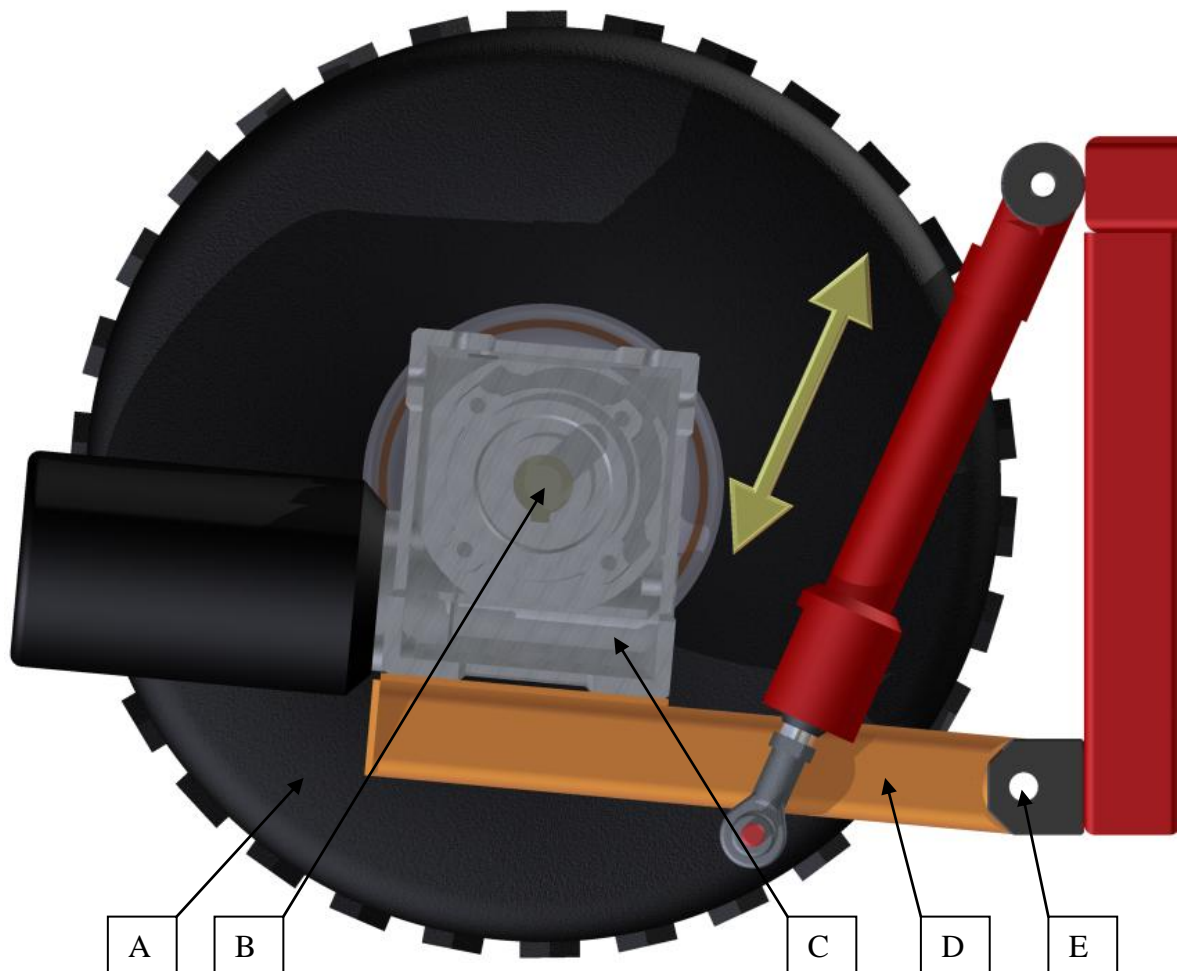


Obrázek 31 Hydraulické schéma zadní nápravy

Při spuštění hydraulického agregátu (čerpadla) a následném přepnutí elektromagnetického hydraulického ventilu do jedné ze dvou poloh se tlakem otevře hydraulický zámeč umožňující proudění kapaliny jedním směrem. Tím se náprava zvedá nebo spouští. Při vypnutí hydraulického agregátu se hydraulický zámeč uzavírá a zabraňuje protékání kapaliny zpět do zásobníku. Tím, že jsou jednotlivé strany vzájemně propojeny, může kapalina protékat volně mezi hydromotory, takže při stlačení jednoho z hydromotorů se druhý vysune.

V příloze II je reálné zapojení hydraulického agregátu s rozvodovou deskou a elektromagnetickými hydraulickými ventily.

Kvůli nízkému průtoku hydraulického agregátu, musely být vyrobeny přímočaré hydromotory s malým pracovním objemem, za účelem zrychlení zdvihu a spouštění. Na následujícím obrázku (Obrázek 32) je znázorněno uchycení levého zadního kola.



Obrázek 32 Uchycení levého zadního kola

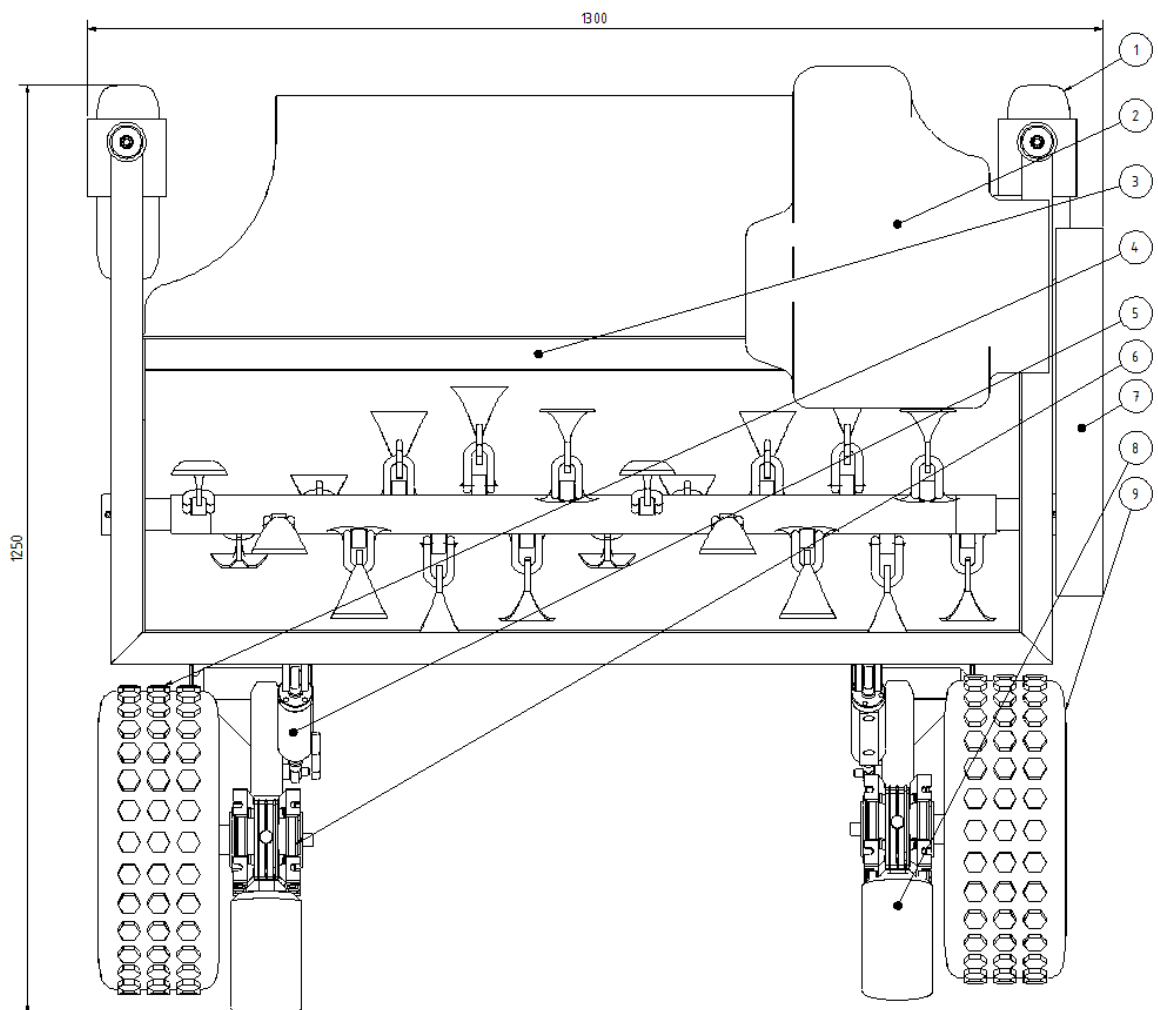
Celá zadní náprava vykonává kývavý pohyb kolem bodu E, podle aktuálního vysunutí přímočarého hydromotoru. Tento hydromotor se vysouvá oběma směry dle znázorněné šipky a nastavuje výšku sečení a kompenzuje nerovnosti terénu. Na rameni D je uchycena šneková převodovka s elektromotorem C. Ve šnekové převodovce je náboj B, ke kterému je připevněno hnací kolo A.

3.5 Schéma navržené sekačky

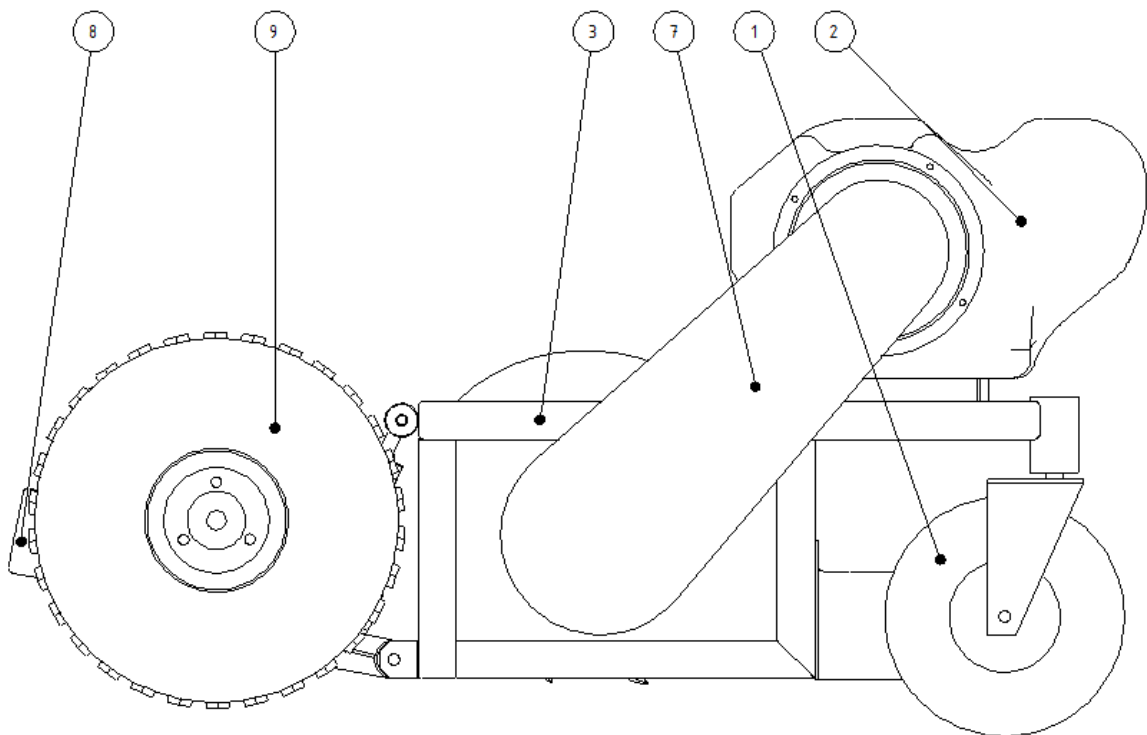
Navržená sekačka má rozměry:

- šířka 1300 mm
- délka 1250 mm
- výška 650 mm

Sekačka se skládá ze svařovaného ocelového rámu (3), ke kterému jsou připevněny přední excentricky uložené přední kola (1). Dále je na rámu přimontován motor (2). Ten otáčí horizontálním žací ústrojím přes řemenový převod (7). Na pozici (4 a 9) je zadní hnací kolo připevněné ke šnekové převodovce (6), která je poháněna elektromotorem (8). Kvůli názornosti umístění žacího ústrojí není znázorněn horní kryt.



Obrázek 33 Nákres sekačky - pohled shora



Obrázek 34 Nákres sekačky – pohled zprava

Nákresy (Obrázek 33 a Obrázek 34) obsahují pouze rozmístění hlavních součástí, neobsahují umístění hydraulického agregátu, alternátoru ani řídicí elektroniky.

4 REALIZACE ZAŘÍZENÍ

Tato část diplomové práce se věnuje bližším specifikacím zvolených typů pohonů, a také jejich následnému řízení.

4.1 Pohony

Před samotnou realizací sekačky bylo nutné si vybrat vhodné prvky pro její pohon a ty vhodně dimenzovat. Jako první byl zvolen samotný spalovací motor, jelikož je hlavním prvkem určující výkon stroje. Dále byly zakoupeny šnekové převodovky s elektromotory, alternátor atd.

4.1.1 Spalovací motor

Pohonnou jednotkou pro celou sekačku je spalovací motor. Ten pohání žací ústrojí, ale také alternátor. Vzhledem k záběru sečení a také výkonu alternátoru, byl zvolen benzínový čtyřtákní jednoválec s rozvodem OHV o obsahu 389ccm. Tento motor dosahuje výkonu 9kW (13HP) při 4000 ot/min. Jeho spotřeba je maximálně 3,04 litru za hodinu při zatížení 75%.

4.1.2 Alternátor

K přeměně točivé mechanické energie na elektrickou byl použit automobilový alternátor používaný ve vozech Fiat Brava 1.8. Tento alternátor snese zatížení až 90A při 14V. Jeho výkon je tedy 1260W. Na sekačce je využíván k dobíjení baterie a k dodávání elektrické energie k motorům. Z alternátoru byl vymontován jeho vlastní regulátor a nahrazen regulátorem na 24V určený pro alternátory BM PENTA (Obrázek 35).



Obrázek 35 Regulátor napětí pro alternátor

VOLVO BM PENTA 24V

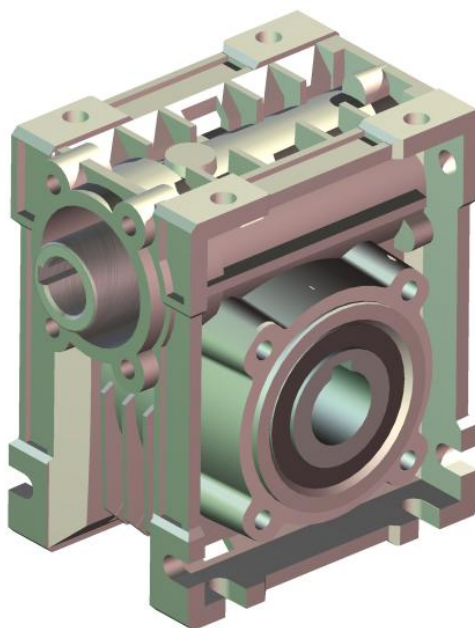
4.1.3 DC motor se šnekovou převodovkou

K pohonu kol byly použity DC motory na 24V o výkonu 500W, zakoupeny u firmy VDK elektronika. Jejich parametry jsou:

Tabulka 2 Parametry DC motoru

Provoz	Krouticí moment [N.m]	Rychlost [ot./min]	Výstupní výkon [W]	Napájecí napětí [V]	Odebíraný proud [A]	Vstupní výkon [W]	Účinnost [%]
Bez zatížení	0,07	2953	22,88	24,1	2,73	65,72	34,82
Maximální účinnost	1,34	2667	373,75	24,27	18,58	450,89	82,89
Povolené zatížení	1,87	2546	499,79	24,35	25,35	615,96	81,14
Maximální krouticí moment	2,972	2201	685,19	24,48	37,55	919,34	74,53

DC motory mají při maximální účinnosti krouticí moment pouze 1,34Nm, což by nebylo možné použít k přímému propojení na kola. K tomuto účelu byly zakoupeny šnekové převodovky značky TRANSTECNO typ CM050 od firmy Raveo s.r.o. (Obrázek 36 Obrázek 36 Šneková převodovka TRANSTECNO).



Obrázek 36 Šneková převodovka TRANSTECNO

CM050

Tyto převodovky byly zakoupeny již dříve pro pohon sekačky pomocí axiálních hydromotorů a byly zvoleny s převodovým poměrem 1:10. Proto jsou nyní pro zkušební účely doplněny o řetězový převod. Převodovky typu CM050 mají maximální výstupní krouticí moment 70 Nm a při vstupních otáčkách nižších než 900 ot/min je jejich účinnost 66%.

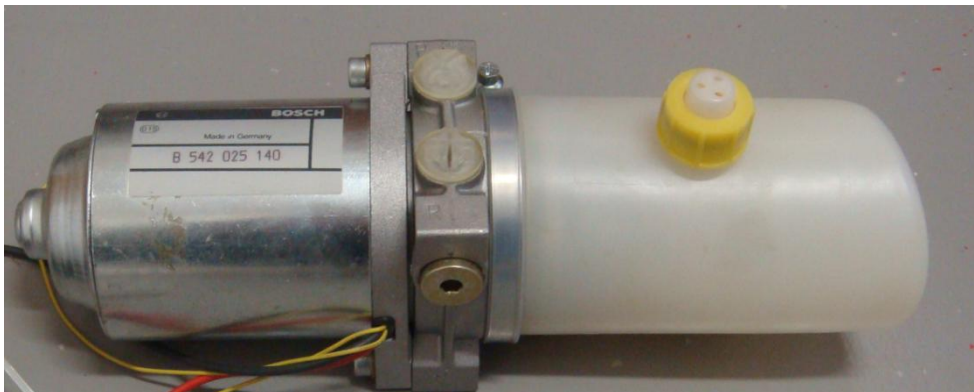
Řetězový převod mezi motorem a šnekovou převodovkou byl zvolen s převodovým poměrem 1:6. Spojením tohoto převodu s převodovkou bylo dosaženo převodového poměru 1:60. To zaručuje, při využití maximálního krouticího momentu DC motoru a účinnosti šnekové převodovky, výstupní krouticí moment 117,7 Nm na jednom hnacím kole. Při použití hnacího kola o průměru 350 mm jsou výstupní otáčky a rychlost pohybu při maximální účinnosti motoru 3km/h (Tabulka 3), což odpovídá rychlosti normální chůzi člověka.

Tabulka 3 Výstupní hodnoty hnacího kola

Provoz	DC MOTOR		PŘEVOD		HNACÍ KOLO	
	Otáčky motoru	Krouticí moment motoru	Převodový poměr	Krouticí moment převodovky	Síla na obvodu kola	Výsledná rychlost
Maximální účinnost	2667 ot/min	1,34 Nm	60	53,1 Nm	303,2 N	3 km/h
Povolené zatížení	2546 ot/min	1,87 Nm		74,1 Nm	432,2N	2,8 km/h
Maximální krouticí moment	2201 ot/min	2,972 Nm		117,7 Nm	672,5 N	2,4 km/h

4.1.4 Hydraulický agregát

K ovládání přímočarých hydromotorů byl zvolen co nejmenší hydraulický agregát s vlastní nádobkou, a také s pojistným ventilem. Z tohoto důvodu byl zakoupen hydraulický agregát značky BOSCH (Obrázek 37).

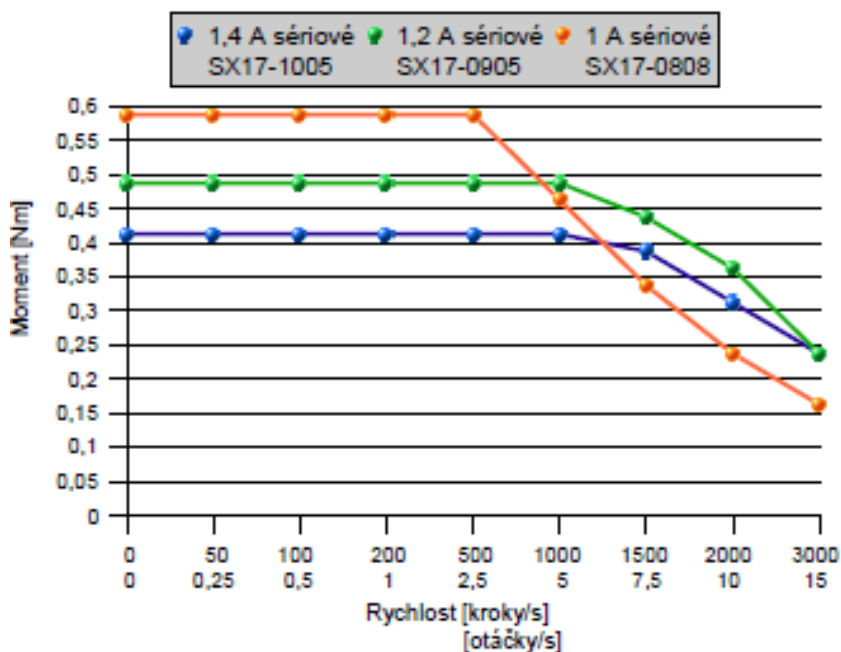


Obrázek 37 Hydraulický agregát Bosch

Tento agregát má maximální průtok 0,5l/min a dle nastavení pojistného tlakového ventilu dodává tlak 80 bar.

4.1.5 Krokový motor

K řízení polohy škrticí klapky v karburátoru řídí otáčky spalovacího motoru použitého k pohonu celé sekačky. Tyto otáčky musí být stabilní při jakémkoli povoleném zatížení motoru. K tomuto řízení byl zvolen krokový motor SX17-1005 od firmy MICROCON, s.r.o. Krokový motor SX17-1005 má statický moment 0,5Nm a úhel jednoho kroku je 1,8°. Jeho momentová charakteristika je na obrázku 38.



Obrázek 38 Momentová charakteristika
krokového motoru SX17-1005 [18]

Z momentové charakteristiky (Obrázek 38) lze vyčíst, že při sériovém zapojení má krokový motor stabilní krouticí moment 0,41Nm až do 5 ot/s.

Škrticí klapka na motoru má krajní polohy vzdálené od sebe pod úhlem 90°. Zvolený krokový motor dokáže při dodržení krouticího momentu 0,41 Nm dosáhnout krajních poloh v čase 0,05s.

Díky úhlu kroku krokového motoru 1,8° je řízení škrticí klapky v celém jejím rozsahu rozděleno na 50 kroků. Toto řízení může být zpřesněno použitím polovičního dělení kroku na 100 kroků.

4.2 Ovládání pohybových členů sekačky

Všechny pohybové členy sekačky jsou napájeny z alternátoru, který dodává 24V. Jejich řízení otáček, popřípadě polohy, zajišťuje výkonová řídicí elektronika, kterou řídí naprogramovaný mikropočítač. Tento mikropočítač přijímá řídicí signály z dálkového ovládání umístěného v rukou obsluhy.

4.2.1 Dálkové ovládání

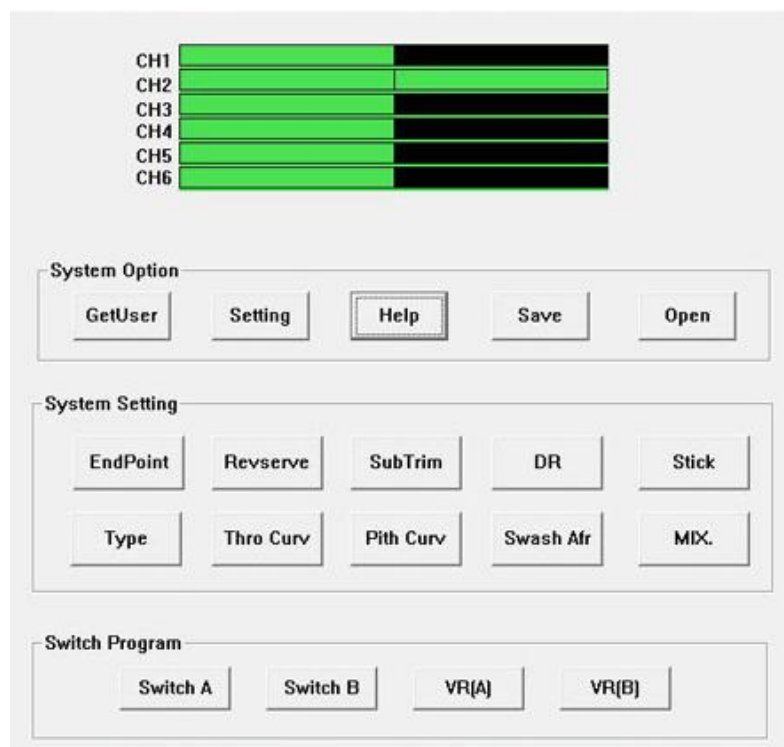
Dálkové ovládání sekačky by mělo umožňovat nezávislé řízení obou motorů, dále nastavení otáček motoru, a volby výšky sečení. K tomuto účelu postačí dálkové ovládání se čtyřmi kanály. Použité dálkové ovládání bude pouze k testovacím účelům.

Tato kritéria splňuje dálkové ovládání od firmy HOBBYKING typ HK-T6A V2 (Obrázek 39). Jedná se o šesti kanálovou vysílačku s přijímačem, pracující na frekvenci 2,4 GHz.



Obrázek 39 Dálkové ovládání HK-T6A V2

Tato vysílačka je programovatelná přes PC pomocí aplikace T6config (Obrázek 40). V tomto programu je možno nastavit rozsahy všech šesti kanálů, přiřazení jednotlivým ovládacím prvkům, a také nastavení hystereze apod. Pomocí vizualizačních polí označených CH1 až CH6 zobrazuje aktuální polohu jednotlivých ovládacích prvků.

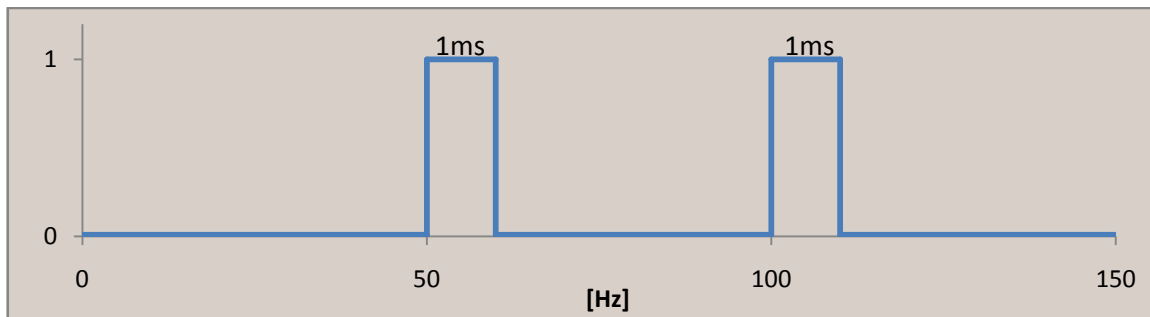


Obrázek 40 Program T6config

Výstupní signál přijímače

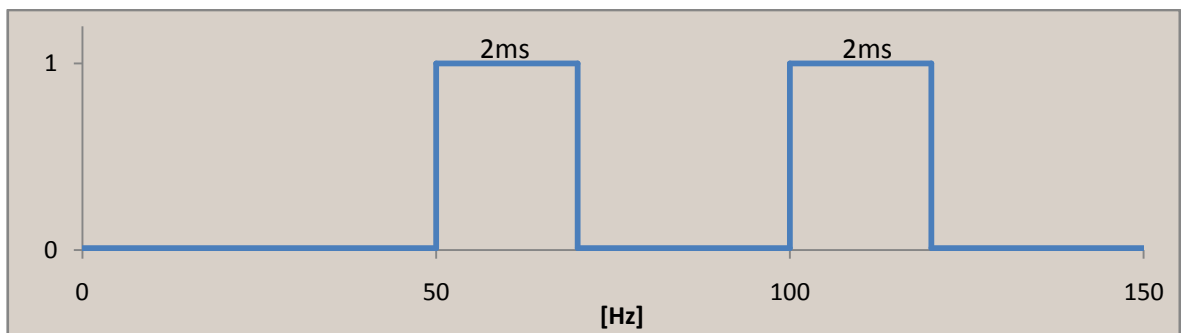
Výstupní signál přijímače je ve tvaru PWM o frekvenci 50 Hz a délce impulzu od 1ms do 2ms v závislosti na poloze ovládacího prvku na vysílače.

Při dolní poloze ovládacího prvku na vysílače je výstupní signál přijímače v délce 1ms (Obrázek 41).



Obrázek 41 Výstupní signál přijímače 1ms

Při horní poloze ovládacího prvku na vysílače je výstupní signál přijímače v délce 2ms (Obrázek 42).



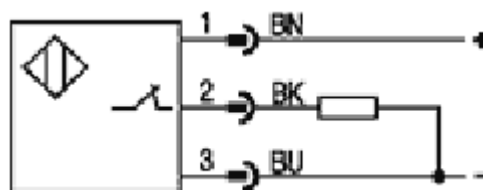
Obrázek 42 Výstupní signál přijímače 2ms

4.2.2 Snímání otáček motoru

K ovládání škrtkové klapky a následného řízení otáček spalovacího motoru je nutné snímání jeho otáček. Ke snímání otáček byl použit indukční snímač BALLUFF, který se používá například ke snímání koncových poloh na CNC strojích (Obrázek 43).



Obrázek 43 Indukční snímač BALLUFF



Obrázek 44 Schéma zapojení indukčního snímače BALLUFF [19]

Indukční snímač se připojuje pomocí tří konektorů (Obrázek 44). Konektory 1 a 3 slouží k napájení samotného indukčního snímače a konektor 2 slouží k identifikaci stavu. V klidovém stavu je na konektoru 2 napětí 0V, při přiblížení ke kovovému předmětu je na konektoru 2 napětí 24V.

Tento snímač je uchycen nad setrvačnickem, na kterém jsou dva výstupy, které tento snímač zachycuje. Tím dává tento snímač dva impulzy za otáčku.

Technické parametry jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 4 Parametry indukčního snímače BALLUFF [19]

Indukční snímač BESM18MI-POC50B-BV02	
Provozní teplota	-25 °C až 70°C
Krytí	IP68
Výstup	PNP
Napájecí napětí	24 DC V
Zaručená provozní vzdálenost	0...4mm
Jmenovitý napájecí proud	200mA

Spínací frekvence	700 Hz
Schválení	CE,c_ul_us

Spínací frekvence snímače je dle jeho parametrů 700Hz. Při snímání otáček by v krajních případech mohl snímat až 42000 ot/min při snímání jedním impulzem na otáčku a 21000 ot/min při snímání dvěma impulzy na otáčku.

4.2.3 Výkonová elektronika pro DC motory

Řízení DC motorů určených pro pohon zadních kol se provádí pomocí MOSFET tranzistorů typu N. Tranzistory jsou zapojeny do H-můstku, umožňující řízení motorů oběma směry. Ty jsou buzeny přes budiče MOSFET tranzistorů, kde jeden budič ovládá vždy dva tranzistory zapojeny nad sebou.

MOSFET tranzistory

Po otestování většího množství tranzistorů používaných v zapojení, dimenzovaných podle příslušných parametrů, byl pro jistotu vybrán jako výkonový prvek tranzistor IRFP3077PBF. Jeho hlavní parametry jsou uvedeny v tabulce 5. Díky nízkému odporu v sepnutém stavu odporu mají tranzistory nízký ztrátový výkon a tím se tranzistory méně zahřívají, proto není potřeba tranzistory umísťovat na velký chladič

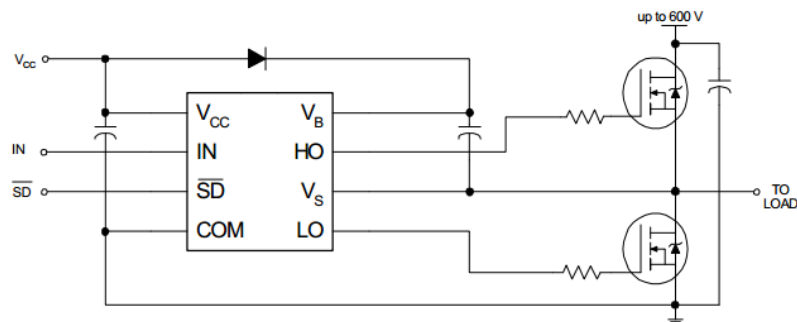
Tabulka 5 Parametry IRFP3077PBF

IRFP3077PBF	
Pouzdro	TO247AC
Maximální proud (trvalý)	120 A
Nárazový proud	850 A
Maximální napětí	75V
Maximální napětí hradla	20V
Kapacita hradla	9400 pF
Odpor při sepnutém stavu	4,3mΩ
Zpoždění při zapnutí	25 ns

Doba náběhu	87 ns
Zpoždění při vypnutí	69 ns
Doběh	95 ns

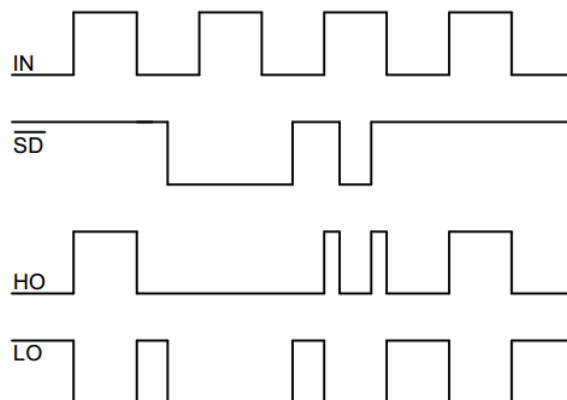
Budiče MOSFET tranzistorů

Vzhledem k vysoké kapacitě hradla tranzistoru IRFP3077PBF je zapotřebí vysokého pulzního proudu pro jeho spínání. Dále je zapotřebí buzení horního tranzistoru, zapojeného v H-můstku (Obrázek 47), vyšším napětím nežli je buzen spodní tranzistor. Toto zajišťují budiče polovičního H-můstku tvořeného z MOSFET tranzistorů. K tomuto byly využity budiče tranzistorů IRS2184. Tyto budiče mají typické zapojení podle obrázku 45.



Obrázek 45 Zapojení budiče IRS2184

Použité budiče se ovládají pomocí vstupů IN a SD pomocí 5V logického signálu podle následujícího vstupně/výstupního časového diagramu (Obrázek 46).

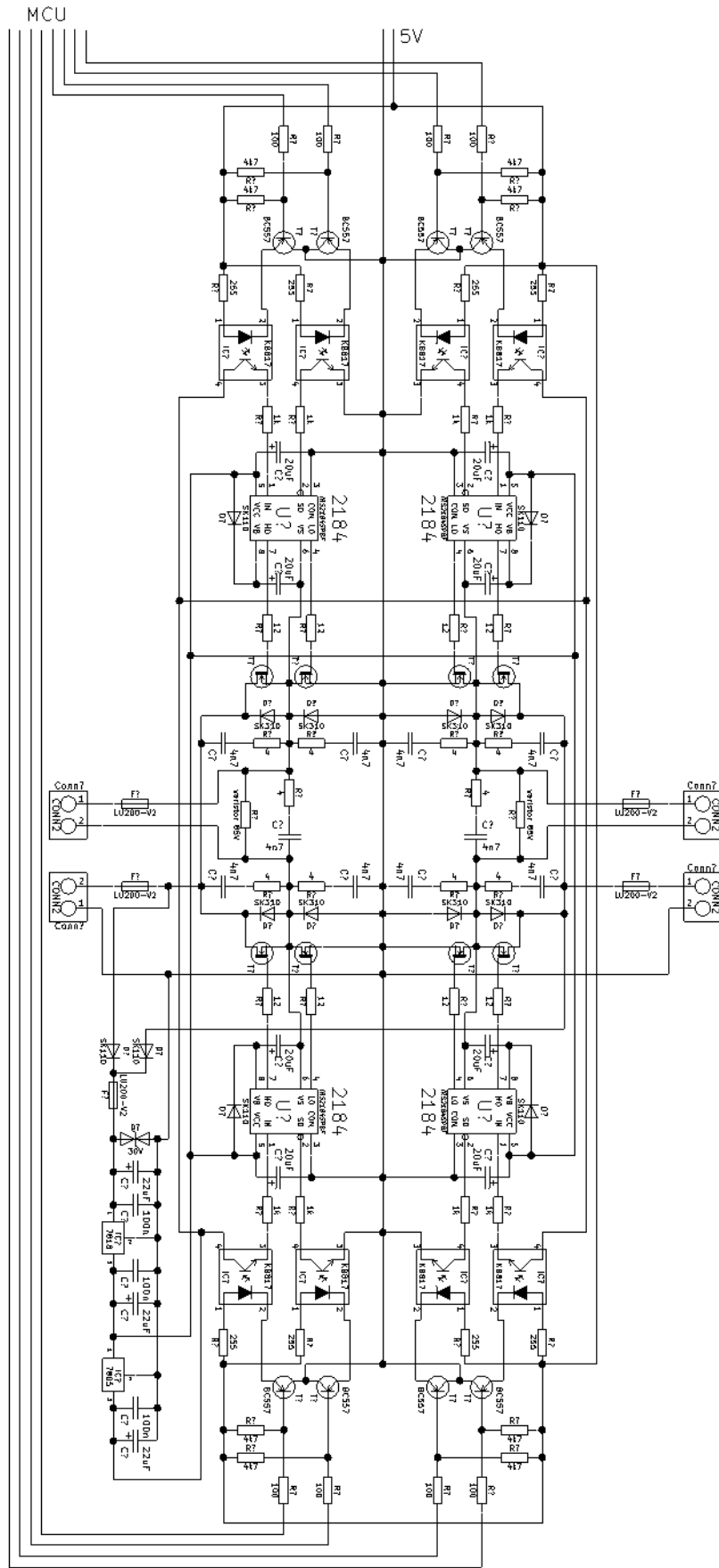


Obrázek 46 Vstupně/výstupní časový diagram

Při ovládání H-můstku, nesmí nikdy dojít k sepnutí dvou tranzistorů nad sebou, jinak dojde ke zkratu a ke zničení budiče a také MOSFET tranzistoru. Proto mají tyto budiče interní deadtime, který má délku 400 ns. To je dost dlouhá doba pro uzavření zvolených tranzistorů. Jejich čas k uzavření se vypočítá sečtením času „zpoždění při vypnutí“ a „doběh“.

Schéma zapojení výkonové elektroniky pro řízení DC motorů

Zapojení (Obrázek 47) obsahuje dva H-můstky s budiči. Tyto budiče jsou napájeny stabilizátorem 7818, který dodává napětí 18V potřebné k buzení tranzistorů. Budiče jsou ovládány přes optočleny, nutné ke galvanickému oddělení výkonové a řídicí elektroniky. Optočleny jsou napájeny stabilizátorem 7805 dodávajícím 5V pro řídicí signály k budičům. Kvůli snížení proudového zatížení MCU jsou optočleny ovládány přes tranzistory BC547, které již řídí samotný mikropočítač od firmy FREESCALE. Schéma dále obsahuje diody SK310 použité jako parazitní diody zapojené k MOSFET tranzistorům. RC členy umístěné paralelně k zátěži slouží k ochraně tranzistorů před napět'ovými špičkami. Použité varistory pro omezení maximálního napětí na 85V jsou také zapojeny paralelně k zátěži. Reálná DPS podle navrženého schématu nebyla kvůli častým opravám vyrobena, pouze původní DPS byla upravena do podoby schématu na obrázku 47. Reálná fotografie zapojené testovací elektroniky je v příloze PI.

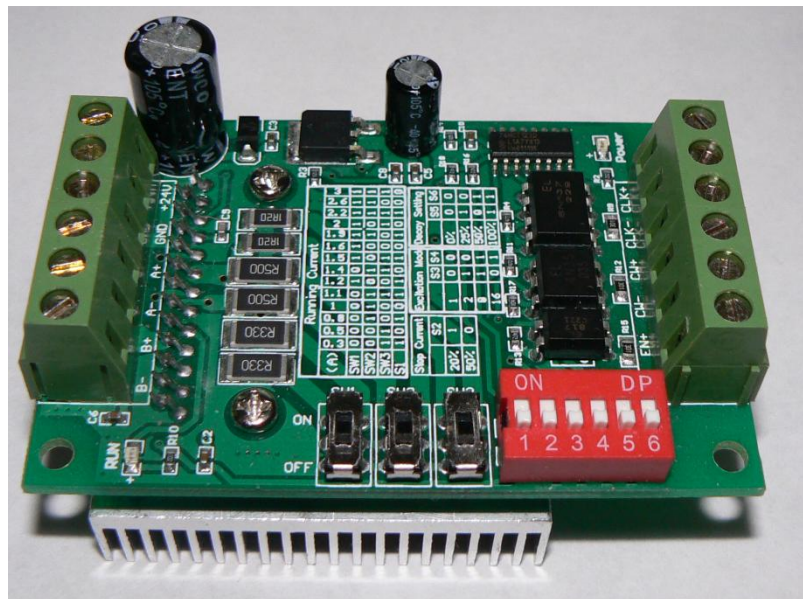


Obrázek 47 Schéma zapojení ovládání DC motorů

4.2.4 Ovládání krokového motoru

Krokový motor zde určen pro nastavení úhlu škrtkové klapky. K jeho ovládání byl zvolen hotový modul BL-TB6560. Tento modul využívá integrovaný obvod TOSHIBA TB6560AHQ. Tento obvod umožňuje řízení krokových motorů proudem až 3 A, nastavení proudu při zastavení, mikrokrokování do 1/16 kroku. Vše se nastavuje podle tabulky vytištěné na DPS pomocí přepínačů.

Ovládání krokového motoru přes tento modul se provádí metodou zvolení kroku a směru přes optočleny, takže je možné jej přímo připojit k ovládacímu mikropočítači. Logickou úroveň 5V přivedené k optočlenu ovládajícího směr, zvolíme smysl otáčení připojeného motoru. Po přivedení této úrovně také na optočlen ovládajícího krok, krokový motor vykoná jeden krok, nastavený dle ovládajícího modulu, daným směrem.



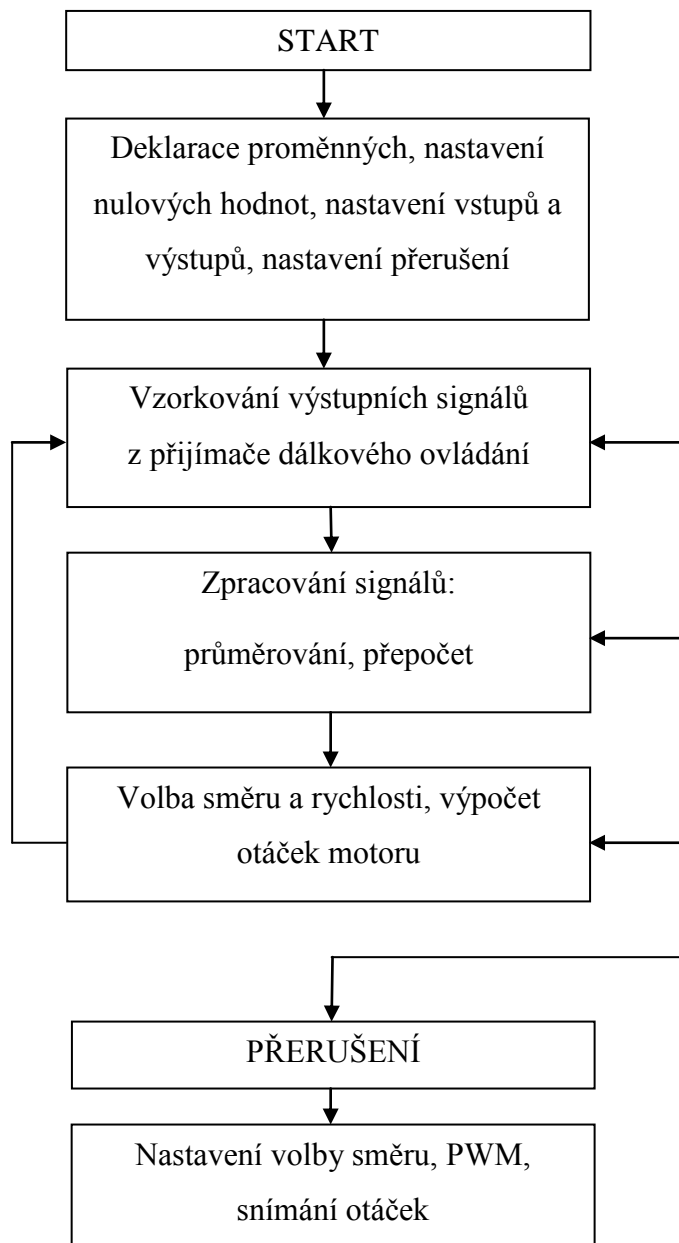
Obrázek 48 BL-TB6560

4.3 Ovládací program na mikropočítači

Pro vzorkování výstupního signálu přijímače dálkového ovládání a následného řízení všech periférií sekačky byl naprogramován mikropočítač MC9S08DZ60 od firmy FREESCALE. Pro programování, kompilace a ladění těchto mikropočítačů se provádí ve vývojovém prostředí CodeWarrior. V tomto programu lze programovat jazyky: Asembler, C a C++. Po napsání zdrojového kódu se provádí kompilace na strojový kód mikropočítače.

4.3.1 Struktura programu

Program pracuje dle struktury na obrázku 49. Tento zdrojový kód má něco přes 350 řádků a je určen pro testování provozu sekačky, vzhledem k často se měnícím podmínkám provozu.



Obrázek 49 Struktura programu

Deklarace proměnných

Na začátku programu se definují všechny proměnné, které budou potřebné pro běh programu.

Ukázka vybrané části deklarace proměnných:

```
unsigned short t=0,w=0,ch1=0,ch2=0,ch3=0,ch4=0,ch5=0,ch6=0,
```

Proměnné „t“ a „w“ jsou určeny jako čítače, do proměnných ch1 až ch6 se ukládá naměřený počet vzorků naměřených z přijímače.

Dále je zde nastaven prototyp funkce pro obsluhu přerušování a poté frekvence přerušování:

```
interrupt void timer_int(void);  
  
void (const obsluha)(void) @0xFFE8 = timer_int;  
  
TPM1SC = 0x4E;  
  
TPM1MOD = 10;
```

Po nastavení přerušování následuje nastavení vstupů a výstupů.

Vzorkování signálů

Následující část programu zajišťuje vzorkování vstupního signálu. Program běží stále uvnitř podmínky while a sleduje náběžnou hranu na vstupu PTCD_PTCD0. Poté přičítá v každém cyklu hodnotu jedna do proměnné ch1. Vzorkování končí buď snížením logické úrovně 5V na vstupu PTCD_PTCD0 a zapsáním proměnné ch1 do h1, nebo při x=9000. To je kontrolní proměnná, kvůli zamezení zacyklení.

```
while(g==1) { switch(PTCD_PTCD0)  
  
    {  
  
    case 0: x++;a=1; if ( x==9000) {ch1=320;};  
  
            if(ch1=180){h1=ch1;ch1=0;a=0;g=2;x=0;};break;  
  
    case 1: if (a==1)ch1++;break; } }
```

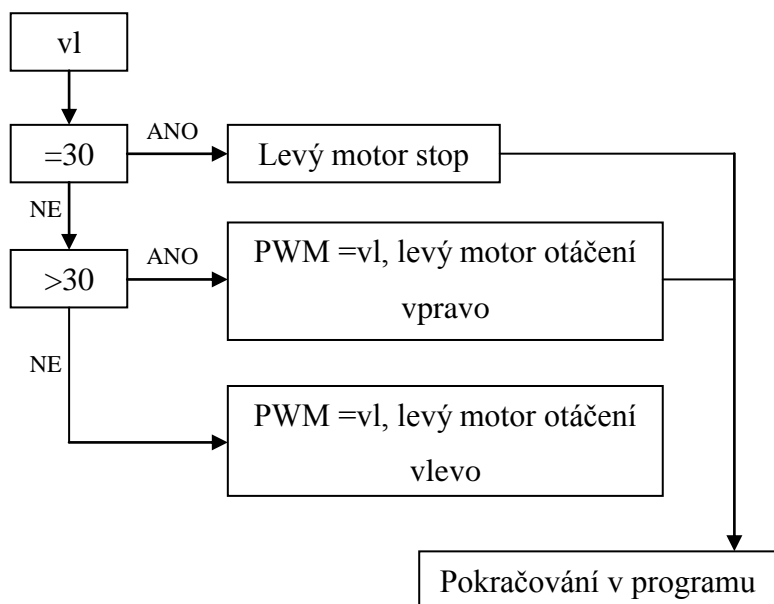
Zpracování signálů

Naměřené vzorky vstupních signálů z přijímače se následně ukládají do proměnných a ty se poté průměrují a přepočítávají na velikost 0-60 ukládaných do proměnných „vl“ a „vp“. Po přepočtu se nastavuje hystereze kolem nulového pracovního bodu.

```
t++;
switch(t) {
  case 1:b1=h1;c1=h4;ot1=h2;zd1=h5; break;
  case 2:b2=h1;c2=h4;ot2=h2;zd2=h5; break;
  case 3:b3=h1;c3=h4;ot3=h2;zd3=h5;t=0; break;
}
vl=((b1+b2+b3)6)-130;
vp=((c1+c2+c3)6)-120;
```

Volba směru a PWM

Z proměnných „vl“ a „vp“ se určují stavy pro ovládání výkonové elektroniky podle následujícího schématu:



Obrázek 50 Volba směru a PWM

V přerušení se mimo snímání otáček také provádí nastavování PWM a směru motorů. PWM se nastavuje ve 30 krocích. Zapnutí a vypnutí motoru tedy probíhá jednou za 30 kroků. Tím je tedy nastavena výsledná frekvence na 400Hz.

Dokud je proměnná „w“ menší než proměnná „ml“ provádí se příkaz switch (l) a výstupy PTDDD se nastavují podle zvoleného směru. Jakmile proměnná w nabude větší hodnoty než proměnná „ml“, provede se příkaz else a výstupy PTDDD jsou nastaveny na 0. Při hodnotě w=30 je proměnná vynulována a celý cyklus se opakuje.

```

if (w<ml)
    {switch(l){
        case 1:PTDDD=17;break; // levý vystup dopředu
        case 2:PTDDD=68;break; // levý vystup dozadu
        case 3:PTDDD=65;break; // levý vystup stop }}
    else PTDDD=0;

w++;

if(w==28) w=0;

```

4.3.2 Regulace otáček spalovacího motoru

Otáčky jsou snímány v obsluze přerušení, toto přerušení je vyvoláváno při periodě 12 kHz. Snímač dává dva impulzy za otáčku. Motor má maximální otáčky 4000 ot/min. Takže při maximálních otáčkách je frekvence pulzů přibližně 133 Hz. Otáčky jsou přepočítávány pomocí následující části programu:

```

en++;

fr++;

switch (PTCD_PTCD6) {
    case 0: zd=1;if(cd==1) {imp++;cd=0; };break;
    case 1: if(zd==1) { cd=1; zd=0;};break; }

if (fr==6000) {
    if(h6>imp) PTFDD_PTFDD1=1;

```

```
else PTFDD_PTFDD1=0;
fr=0; }
if(en==500) {PTFDD_PTFDD3=0;en=0;}
else PTFDD_PTFDD3=1;
```

Pokud se proměnná rovná 6000(to odpovídá frekvenci 0,5Hz), provede se porovnání žádané hodnoty s otáčkami. Pokud žádaná hodnota je vyšší nebo nižší, výstupem PTADD_PTADD1 se zvolí směr krokového motoru ve směru, nebo v protisměru hodinových ručiček. Krokování se spouští proměnnou „en“ s frekvencí 24Hz.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout konstrukci a elektronické zapojení sekačky na dálkové ovládání. Celou konstrukci předcházelo studium odborných materiálů, které se týkaly dané problematiky. Na základě takto získaných informací byl zvolen typ sekačky splňující požadavky pro sečení rovinných ploch a jednoduchou ovladatelností a manévrovatelností. Dále byly zvoleny prvky pro pohon sekačky, mezi kterými byl spalovací motor, DC motor, krokový motor atd. K ovládání DC motorů byla navržena výkonová elektronika. Nakonec byl navržen regulátor otáček spalovacího motoru pomocí krokového motoru ovládajícího škrticí klapku. Tato regulace je prováděna přes mikropočítač od firmy FREESCALE. Tento mikropočítač byl naprogramován tak, aby zaznamenával signály z přijímače dálkového ovládání a na jejich základě obsluhoval elektrické a hydraulické prvky na sekačce.

Rám sekačky byl navrhnout a svařen podle výkresové dokumentace vytvořené v programu Autodesk Inventor. Na této konstrukci byly později upraveny některé části nevyhovující provozu. Celý rám byl zhotoven během několika dní.

Výkonová elektronika, navržená k ovládání motorů, byla několikrát celkově obměněna, vzhledem ke stálým poruchám a částečným vyhořením. První nejčastější poruchou byla velká proudová zátěž při rozjíždění motorů. Další častou poruchu způsobovaly špatné budiče tranzistorů neobsahující deadline a v neposlední řadě způsoboval poškození elektroniky špatně naprogramovaný mikropočítač. Tyto problémy byly vyřešeny předimenzováním výkonových prvků a správným a bezporuchovým naprogramováním mikropočítače s využitím ochrany proti ztrátě signálu, či zabránění reverzace motorů při pohybu sekačky.

Navržením, zkonstruováním a naprogramováním celé sekačky na dálkové ovládání bylo dosaženo cíle této diplomové práce.

CONCLUSION

The aim of this thesis was design to the construction and electronic circuit of remote controlled lawn mower. Studies of vocational materials about this problematic were proceed before the construction. The type of the lawn mower, which satisfies the criteria of a planar surface mowing, an easy control and maneuverability, was chosen on the base of these information. Elements for drive, which include combustion engine, DC motors and stepper motors, were chosen at the second step. The power electronic for motor control was designed. The speed controller for combustion motor was designed as a last step using stepper motor that control throttle valve. This regulation is performed by microcontroller from FREESCALE Company. The microcontroller was programmed for purpose of reading signals from remote control receiver and on their base control electric and hydraulics elements in lawn mower.

The frame of the lawn mower was designed and welded together on the base of documentation that was created in the Autodesk Inventor. Some parts of this construction, which didn't fulfill an operation criteria, were changed lately. The full frame was produced within a few days.

The power electronics, which were designed for motor control, were generally changed because permanent faults occurred and electronics sometimes burned out. The first mostly fault was big current load when electric engines started. The inappropriate transistors drivers caused the other fault. These drivers didn't include deadline. Not properly programmed microcontroller caused damaged to electronics at finally. This problems were solved by appropriated dimensioning of power parts and correct programing of microcontroller that include protection against loss of signal or reverse of motor when the lawn mower is moving.

Objectives of this thesis were achieved by designing, constructing and programming of the remote controlled lawn mower.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]ROBO FLAIL dostupný z URL: <<http://profistroje.cz/model.asp?idmodel=1533>>
- [2]SPIDER ILD01 dostupný z URL: <<http://www.svahova-sekacka.cz/>>
- [3]TIMAN RC 750 dostupný z URL: <<http://www.vari.cz/novinky-zahradni-technika/detail-produktu/timan-rc-750.html#!prettyPhoto>>
- [4]Pohonná technika dostupný z URL: <<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/servo-motor>>
- [5]Krokové motory dostupný z URL: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>
- [6] Krokové motory dostupný z URL: <<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>>
- [7]MELICHAR, Jan, Karel BRADA a Jaroslav BLÁHA. Hydraulické stroje: konstrukce a provoz. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 378 s. ISBN 80-01-02657-4.
- [8]Stroje a zařízení dostupný z URL: <http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=15&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=15&id_set_test=&search=&kat=&startpos=6>
- [9]Elektricky ovládané přímočaré šoupátkové rozvaděče WE6 dostupný z URL: <<http://www.q-hydraulika.cz/cz/30/WE6.pdf>>
- [10]PEŇÁZ, V., BENŽA D. Tekutinové mechanismy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní. 1. vydání. 1990. 211 s. ISBN 802-14-0082-X
- [11]Výroba katalogových hydromotorů dostupný z URL: <<http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/eh>>
- [12]Mikropočítačově řízená ohýbačka trubek dostupný z URL: <<http://dSPACE.k.utb.cz/handle/10563/18127>>
- [13]DC servo driver dostupný z URL: <<http://www.cncshop.cz/dsc810a-dc-servo-driver-80v-20a-digital>>
- [14]Driver pro krokové motory dostupný z URL:< <http://www.cncshop.cz/am882-driver-pro-2-fazove-krokovy-motory-80v-8-2a>>

- [15]DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 203 s. ISBN 80-7300-161-6.
- [16]Integrovaný obvod VNH3SP30 dostupný z URL: <<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00134336.pdf>>
- [17]MIKROPOČÍTAČOVÉ ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY I, Autor: Petr Palacký, Dostupný z URL: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/MRS1/Palacky_MRS_elerning.pdf>
- [18]Momentové charakteristiky krokových motorů řady SX16, SX17, SX23 Dostupný z URL: <<http://www.microcon.cz/pdf2013/20-21.pdf>>
- [19]BESM18MI_POC50B_BV02 data Sheet, dostupný z URL http://www.balluff.com/Balluff/.../BESM18MI_POC50B_BV02_en.pdf
- [20]MOSFET driver dostupný z URL: <<http://www.tme.eu/cz/Document/d8d1feaf5cef12df266227cae44be4ba/irs2184.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CPU	Procesor (Central Processing Unit)
DC	Stejnoseměrný proud
CPU	Procesor (Central Processing Unit)
Hz	Hertz jednotka frekvence
N	Newton jednotka síly
A	Ampér jednotka proudu
V	Volt jednotka napětí
W	Watt jednotka výkonu
MCU	Mikropočítač, mikrokontrolér (Multipoint Control Unit)
MOSFET	Polem řízený tranzistor (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
MPa	Pascal jednotka tlaku
ROM	Paměť pouze pro čtení (Read-Only Memory)
RWM	Paměť pro čtení i zápis (Read-Write-Memory)
PM	Permanently magnetizovaný motor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rádiem řízená pásová svahová sekačka Robo FLAIL [1]	12
Obrázek 2 Žací ústrojí Robo FLAIL.....	12
Obrázek 3 Svahová sekačka Spider ILD02 [2].....	14
Obrázek 4 Žací ústrojí Spider ILD02 [2].....	14
Obrázek 5 Pásový mulčovač Timan RC 750 [3]	16
Obrázek 6 Detail cepových nožů pásového mulčovače Timan RC 750 [3]	16
Obrázek 7 Charakteristika PM motoru při konstantním napětí [4]	18
Obrázek 8 Charakteristika PM při odmagnetizování [4]	19
Obrázek 9 Konstrukce hybridního krokového motoru [6].....	21
Obrázek 10 Konstrukce rotoru u hybridního	22
Obrázek 11 Schéma unipolárního řízení [5]	22
Obrázek 12 Schéma bipolárního řízení [5]	23
Obrázek 13 Schéma zubového hydrostatického stroje [8].....	25
Obrázek 14 Elektricky ovládaný šoupátkový rozvaděč WE 6 [9]	25
Obrázek 15 Dvojčinný přímočarý hydromotor [11]	26
Obrázek 16 Schematické zapojení hydraulických prvků pro ovládání posuvného hydromotoru	27
Obrázek 17 DCS810 DC servo driver [13].....	28
Obrázek 18 AM882- driver pro krokové motory [14].....	29
Obrázek 19 Idea unipolárního tranzistoru [15 s.84]	31
Obrázek 20 Typy unipolárních tranzistorů [15]	31
Obrázek 21 Struktura tranzistoru MOSFET [15]	33
Obrázek 22 Symbolické značky MOSFET.....	33
Obrázek 23 MOSFET indukovaným kanálem N, kanál nevznikl	33
Obrázek 24 MOSFET indukovaným kanálem N, vytvoření kanálu napětím U_{GS}	33
Obrázek 25 Blokové schéma VNH3SP30-E	35
Obrázek 26 Blokové schéma mikropočítače	37
Obrázek 27 Mulčovací nůž	40
Obrázek 28 Vysokopevnostní třmen typu D.....	40
Obrázek 29 Horizontální hřídel se zavěšenými mulčovacími noži	41
Obrázek 30 Způsob řízení sekačky	42
Obrázek 31 Hydraulické schéma zadní nápravy.....	43

Obrázek 32 Uchycení levého zadního kola	44
Obrázek 33 Nákres sekačky - pohled shora.....	45
Obrázek 34 Nákres sekačky – pohled zprava	46
Obrázek 35 Regulátor napětí pro alternátor.....	47
Obrázek 36 Šneková převodovka TRANSTECNO.....	48
Obrázek 37 Hydraulický agregát Bosch	50
Obrázek 38 Momentová charakteristika	50
Obrázek 39 Dálkové ovládání HK-T6A V2	52
Obrázek 40 Program T6config	52
Obrázek 41 Výstupní signál přijímače 1ms.....	53
Obrázek 42 Výstupní signál přijímače 2ms.....	53
Obrázek 43 Indukční snímač BALLUFF.....	54
Obrázek 44 Schéma zapojení indukčního snímače BALLUFF [19].....	54
Obrázek 45 Zapojení budiče IRS2184.....	56
Obrázek 46 Vstupně/výstupní.....	56
Obrázek 47 Schéma zapojení ovládání DC motorů.....	58
Obrázek 48 BL-TB6560	59
Obrázek 49 Struktura programu	60
Obrázek 50 Volba směru a PWM.....	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Pravdivostní tabulka ovládání vstupů VNH3SP30-E [16]	36
Tabulka 2 Parametry DC motoru	48
Tabulka 3 Výstupní hodnoty hnacího kola	49
Tabulka 4 Parametry indukčního snímače BALLUFF [19]	54
Tabulka 5 Parametry IRFP3077PBF	55

SEZNAM PŘÍLOH

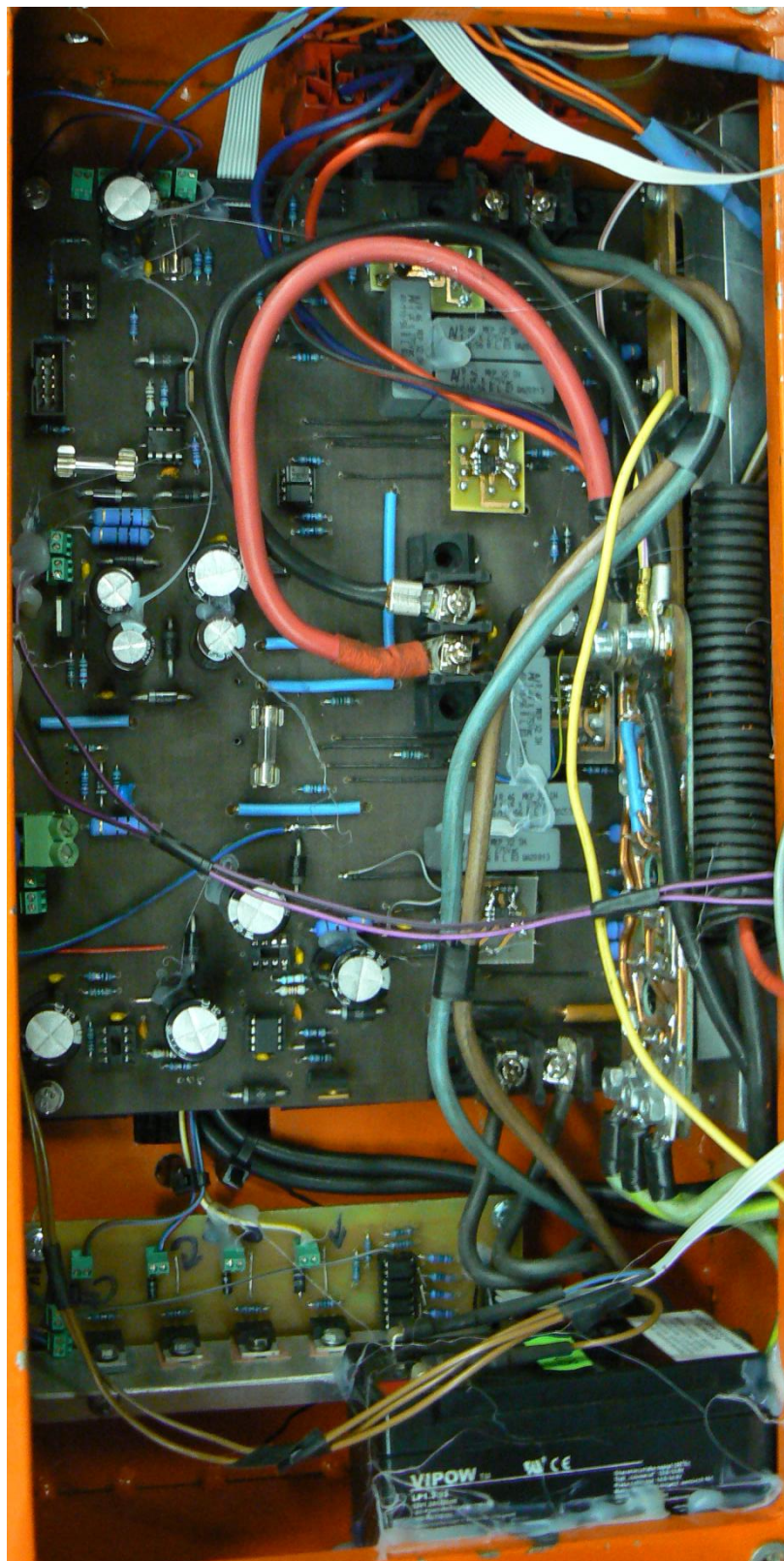
PŘÍLOHA P I: TESTOVACÍ ZAPOJENÍ VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

PŘÍLOHA P II: HYDRAULICKÝ AGREGÁT

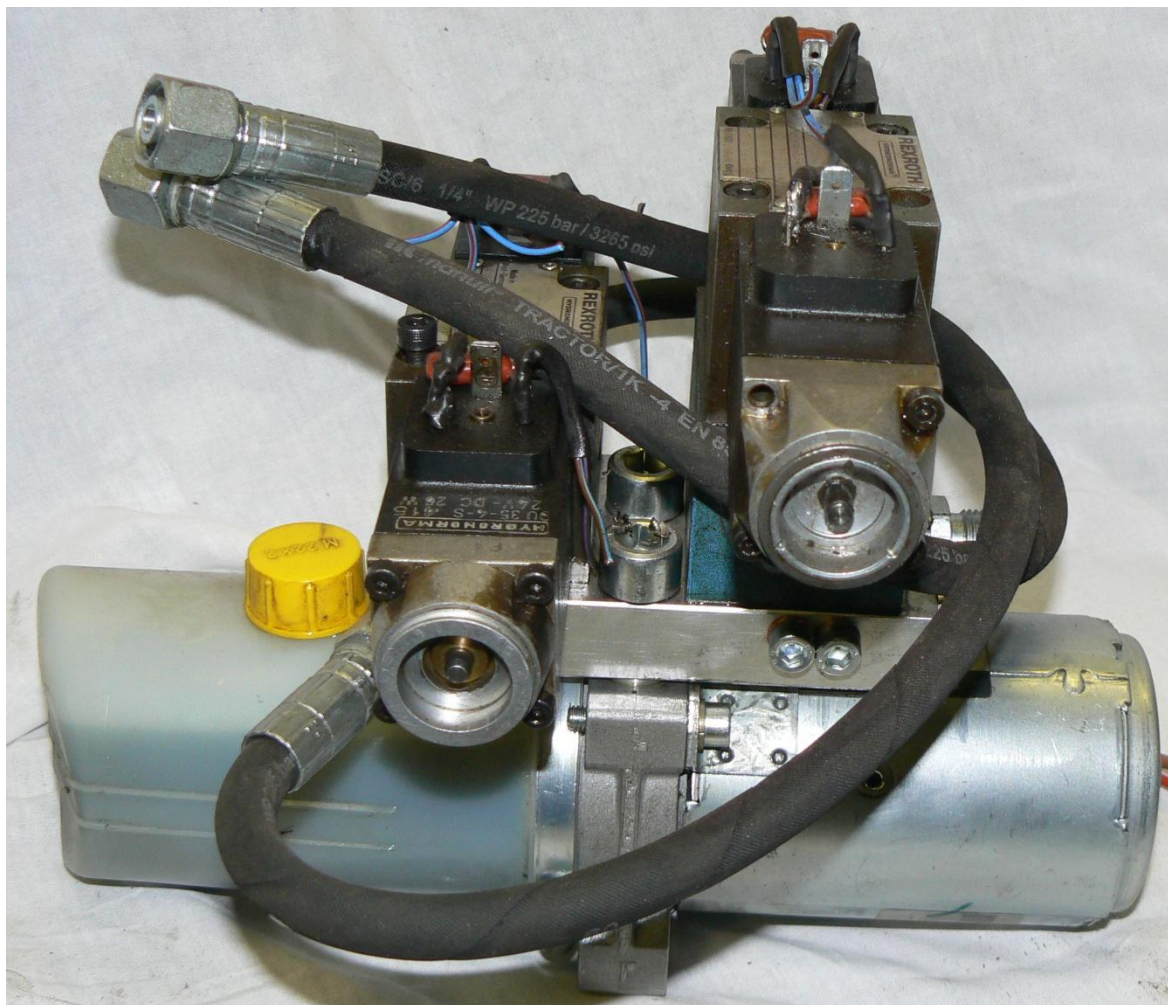
PŘÍLOHA P III: ŠNEKOVÁ PŘEVODOVKA S ELEKTROMOTOREM

PŘÍLOHA P IV: MULČOVACÍ ÚSTROJÍ

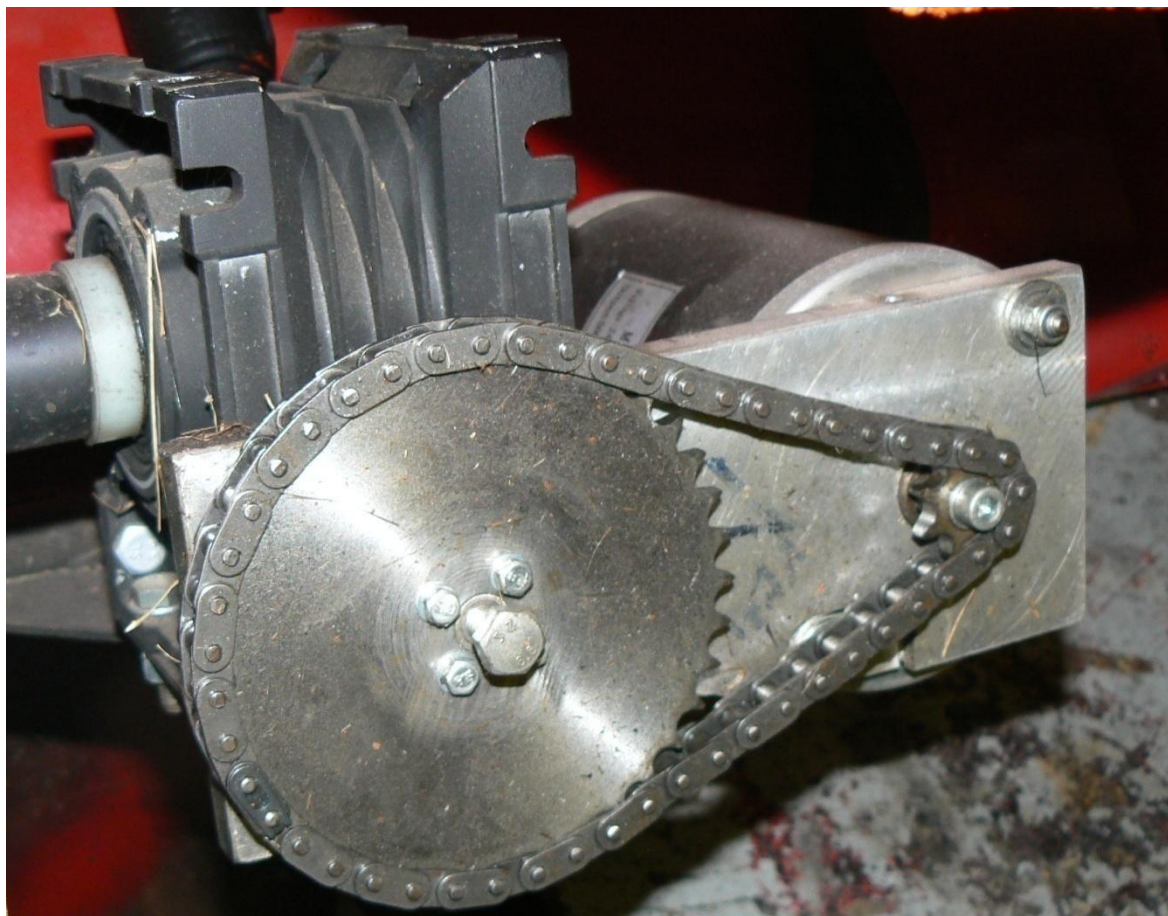
PŘÍLOHA P I: TESTOVACÍ ZAPOJENÍ VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY



PŘÍLOHA P II:HYDRAULICKÝ AGREGÁT



PŘÍLOHA P III: ŠNEKOVÁ PŘEVODOVKA S ELEKTROMOTOREM



PŘÍLOHA P IV: MULČOVACÍ ÚSTROJÍ

