

# Výkonový servoz zesilovač

Ing. Ivo Stražil

Článek popisuje servoz zesilovač pro stejnosměrný motor 12 až 24 V/5 A, ovládaný standardním modelářským servosignálem a řízený mikrokontrolérem. Zpětná vazba je realizována potenciometrem. Konstrukce je uzpůsobena pro amatérskou stavbu, proto jsou použity integrované obvody v klasických pouzdech a jednostranná deska s plošnými spoji.

## Technické parametry

Napájecí ss napětí: 12 až 28 V.

Odběr proudu: klidový <70 mA,  
za běhu podle příkonu motoru.

Výstupní proud: 4 A trvale, 5 A špičkově.

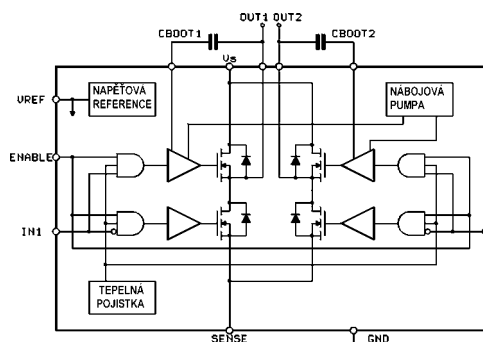
Rozměry: 107 x 88 x 38 mm,  
(bez držáku na lištu DIN, bez skříňky).

Parametry vstupního signálu:  
Modelářský PWM signál,  
nominální šířka pulsu 1,5 ms,  
opakování 20 až 30 ms,  
napětí pulsů 4 až 8 V.

## Použité komponenty

Výkonová část servoz zesilovače je založena na integrovaném MOSFET H můstku SGS-Thomson L6203 v pouzdru Multiwatt (viz jeho blokové schéma na obr. 1). Tento obvod je schopen napájet stejnosměrný komutátorový motor v obou polaritách i v režimu brzdění proudem až 4 A RMS a je vybaven vnitřní tepelnou pojistkou.

IO není vybaven žádným vlastním řízením - jednotlivé páry koncových tranzistorů spínají podle úrovně na logických vstupech IN1/IN2 obvodu; uvedením vstupu ENABLE do log. 0 můžeme všechny koncové tranzistory rozepnout. Aby výrobce obvodu umožnil implementaci proudové pojistky nebo řízení, závislého na proudu motorem, jsou elektrody source spodní dvojice koncových tranzistorů na vývodech SENSE, sloužících k připojení rezistoru pro snímání proudu výkonovým obvodem.



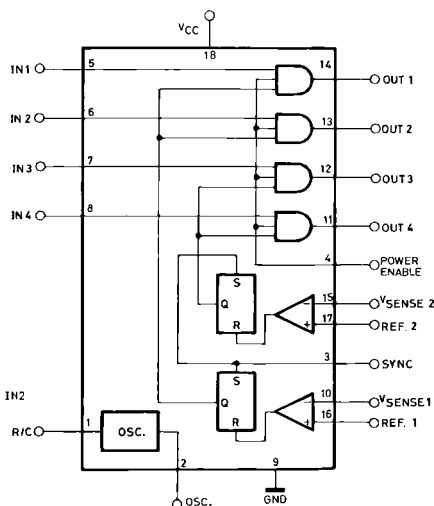
Obr. 1. Blokové schéma L6203

Obvod L6203 můžeme řídit buď přímo mikrokontrolérem, nebo můžeme využít jeden ze specializovaných obvodů pro podporu řízení koncových stupňů.

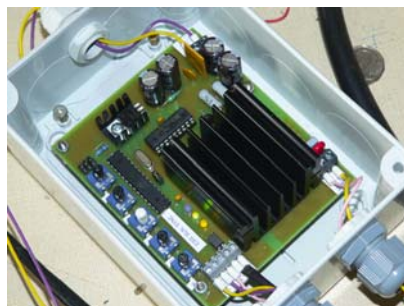
My jsme využili obvod SGS-Thomson L6506 (obr. 2). Obvod obsahuje 2 shodné sekce, skládající se z komparátoru, RS klopného obvodu a dvou hradel AND, a společný obvod oscilátoru, jehož výstup OSC obvykle připojujeme na vstup SYNC obvodu. Překročí-li napětí na příslušném vstupu SENSE napětí na vstupu REF, je signál na odpovídající dvojici výstupů OUT vnucen do úrovně log. 0. A to do okamžiku doběhu periody oscilátoru, kdy se RS klopný obvod nastavuje vstupem SYNC a opět umožní přechod výstupu OUT do úrovně log. 1 (je-li příslušný vstup IN v log. 1 a je-li signál POWER ENABLE v log. 1).

Pokud je vstup SENSE připojen k rezistoru snímajícímu proud výkonovým obvodem, napětím na vstupu REF můžeme přesně nastavit povolený špičkový proud vinutím motoru. Při jeho překročení bude proud vlastně impulsně stabilizován na nastavené hodnotě: jde o řešení, užívané zejména u zařízení s krokovými motory.

V našem případě užíváme obvod L6506 spíše jako proudovou pojistku a ochranu výkonového můstku L6203,



Obr. 2. Blokové schéma L6506



proudová regulace se mimo první okamžiky těžkého rozběhu motoru neuplatní.

Vlastní řídicí funkce má na starost mikrokontrolér ATmega88P, tedy inovovaná verze notoricky známého obvodu ATmega8. Jedním z nejdůležitějších vylepšení jsou doplnění ladičích rozhraní „debugWire“ a zmenšení spotřeby obvodu.

Zkušený čtenář by mohl namítnout, že kompletní vlastnosti obvodu L6506 bychom mohli zahrnout do řídicího mikrokontroléru: s tím nelze než souhlasit. Ovšem vzhledem k tomu, že servoz zesilovač byl navrhován také jako experimentální zařízení pro vývoj algoritmů regulace, raději jsem použil hardwarovou nadproudovou ochranu.

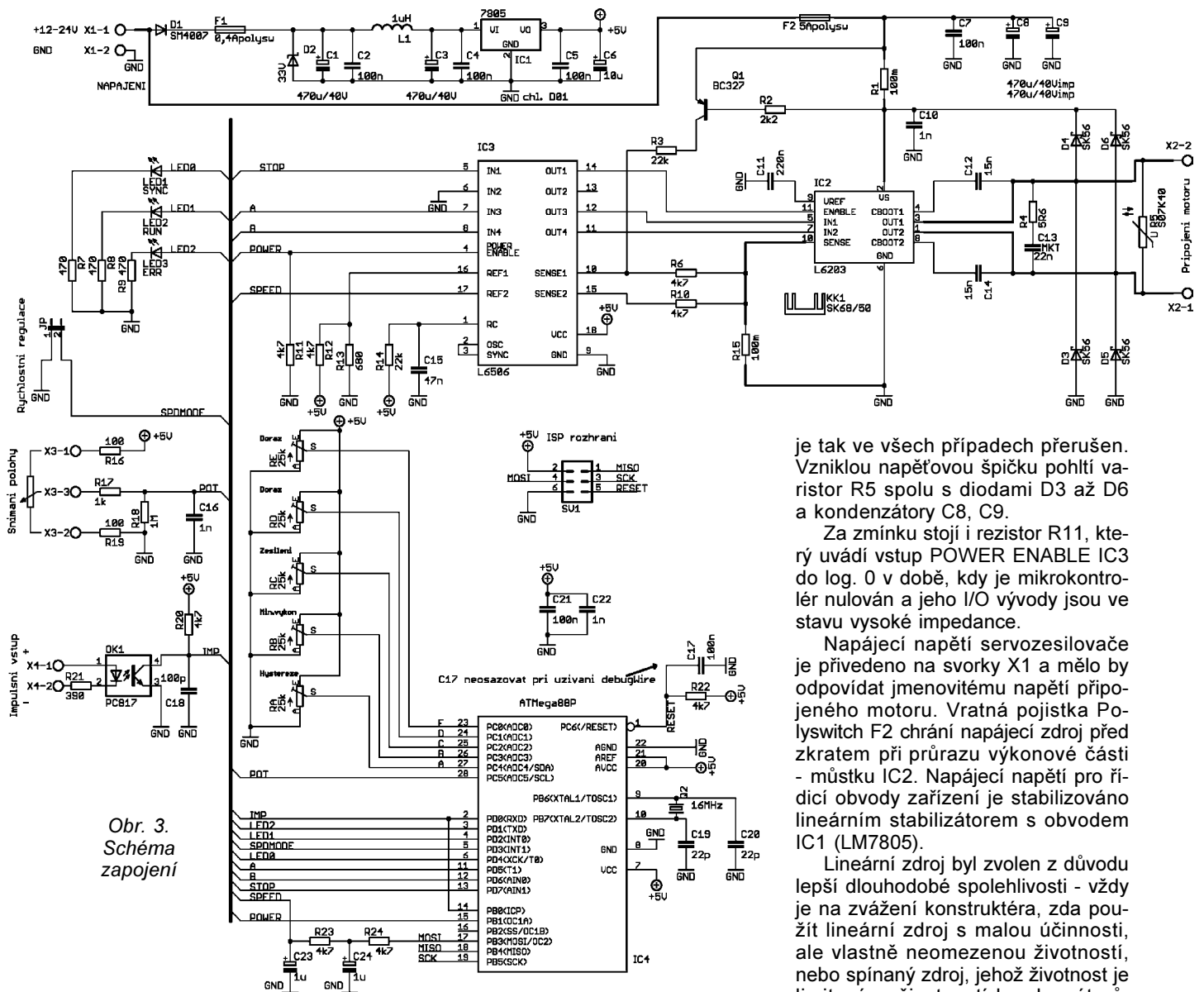
## Popis zapojení

Servoz zesilovač je řízen mikrokontrolérem ATmega88P (IC4, viz schéma na obr. 3), běžícím na hodinové frekvenci 16 MHz.

Servosignál je přiveden na svorkovnici X4, galvanicky oddělen optičným členem OK1 a přiveden na vstup ICP mikrokontroléru, který umožňuje měření šířky pulsů s hardwarovou podporou časovače. Signál je rovněž přiveden na vstup sériového portu IC4 (RXD) pro případ, že by bylo třeba řídit zařízení zasláním informací některým z asynchronních sériových protokolů (v tom případě by ale bylo nutné upravit firmware IC4).

Informace o poloze servopohonu je zprostředkována potenciometrem 10 kΩ, připojeným na svorky X3. Potenciometr tvoří napěťový dělič, jehož výstupní napětí měří interní převodník A/D IC4. Tento převodník rovněž snímá nastavení servopohonu, které je určeno polohou pěti odporových trimrů RA až RE.

Výkonový obvod je založen na popsaných IO L6203 a L6506 (IC2, IC3) v katalogovém zapojení. Motor je připojen ke svorkovnici X2.



Obr. 3. Schéma zapojení

Za zmínku stojí obvod nadproudové ochrany: napěťový úbytek na snímacím rezistoru R15 (vývod SENSE IC2) je přímo přiveden na vstup SENSE2 IC3. Napětí na odpovídajícím vstupu REF2 IC3 je řízeno mikrokontrolérem: PWM modulace na výstupu PB3 IC4 je filtrována pomocí dvojitého integračního článku R23/C23, R24/C24 a přivedena na tento vstup. Pokud proud motorem překročí mikrokontrolérem nastavenou hranici, IC3 uvede vstupy IN1 a IN2 IC2 do log. 0, IC2 sepne oba spodní tranzistory můstku a tím odpojí vinutí motoru od napájecího zdroje a uvede jej do zkratu. Proud vinutím motoru poté postupně klesá do okamžiku, kdy oscilátor IC3 opětovně nastaví vnitřní RS klopný obvod IC3 a umožní tak opětovné připojení vinutí motoru k napětí. Při tomto způsobu práce obvodu omezení proudu motorem není servozesilovač ani motor namáhán napěťovými špičkami.

Zbývá vyřešit omezení proudu při zkratu jednoho z kabelů k motoru na napájecí napětí servozesilovače nebo na zem GND (kostru). V prvním přípa-

dě by proudová pojistka sice zareagovala, ale z principu její funkce, kdy při vybavení komparátoru připojeného k vstupu SENSE2 spínají oba spodní tranzistory můstku IC2, by se nepřerušil průchod proudu. V druhém případě není vůbec snímací rezistor R15 v cestě poruchového proudu a tak na něj pojistka nemůže zareagovat.

Proto byl využit i druhý komparátor IC3, který porovnává napětí na snímacím rezistoru R15 na vývodu SENSE1 s pevně danou referencí z odporového děliče R13/R12, připojenou na vývod REF1 a odpovídající proudu 6,3 A. Pro případ zkratu kabelu k motoru na zem je osazen snímací rezistor R1 v kladné napájecí větvi IC2. Při úbytku napětí na R1 vyšším než asi 0,6 V (6 A) se otevírá tranzistor Q1, který přes rezistor R3 vnucuje napětí na vývod SENSE1 IC3.

Při vybavení této pojistky je přerušen signál ENABLE do IC2, všechny výstupní tranzistory IC2 se uzavírají a průchod poruchového proudu

je tak ve všech případech přerušen. Vzniklou napěťovou špičku pohltí varistor R5 spolu s diodami D3 až D6 a kondenzátory C8, C9.

Za zmínku stojí i rezistor R11, který uvádí vstup POWER ENABLE IC3 do log. 0 v době, kdy je mikrokontrolér nulován a jeho I/O vývody jsou ve stavu vysoké impedance.

Napájecí napětí servozesilovače je přivedeno na svorky X1 a mělo by odpovídat jmenovitému napětí připojeného motoru. Vratná pojistka Polyswitch F2 chrání napájecí zdroj před zkratem při průrazu výkonové části - můstku IC2. Napájecí napětí pro řídicí obvody zařízení je stabilizováno lineárním stabilizátorem s obvodem IC1 (LM7805).

Lineární zdroj byl zvolen z důvodu lepší dlouhodobé spolehlivosti - vždy je na zvážení konstruktéra, zda použít lineární zdroj s malou účinností, ale vlastně neomezenou životností, nebo spínaný zdroj, jehož životnost je limitována životností kondenzátorů, přičemž zejména spolehlivostní typy renomovaných výrobců jsou velmi drahé a ani ty nemusí zaručit zcela bezproblémový provoz.

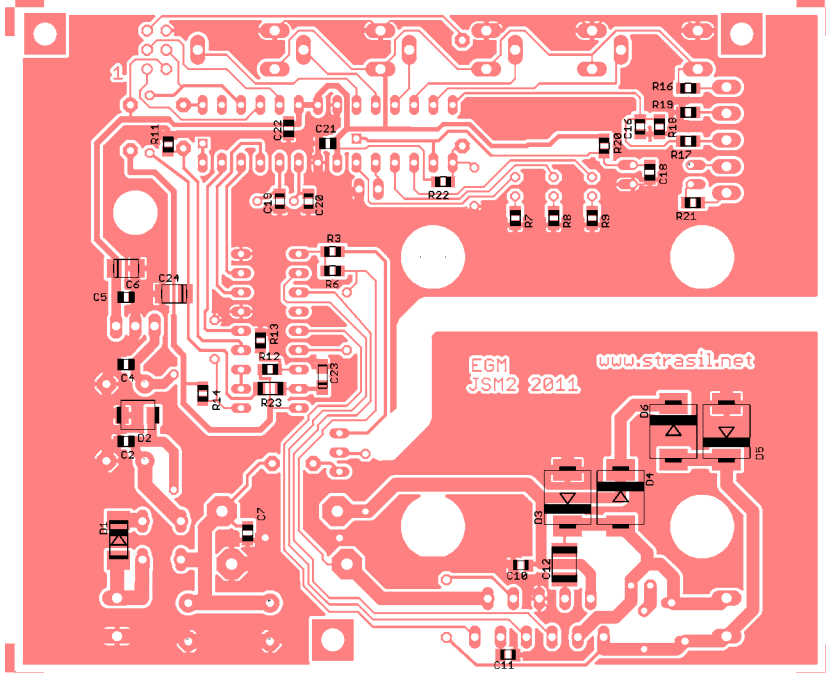
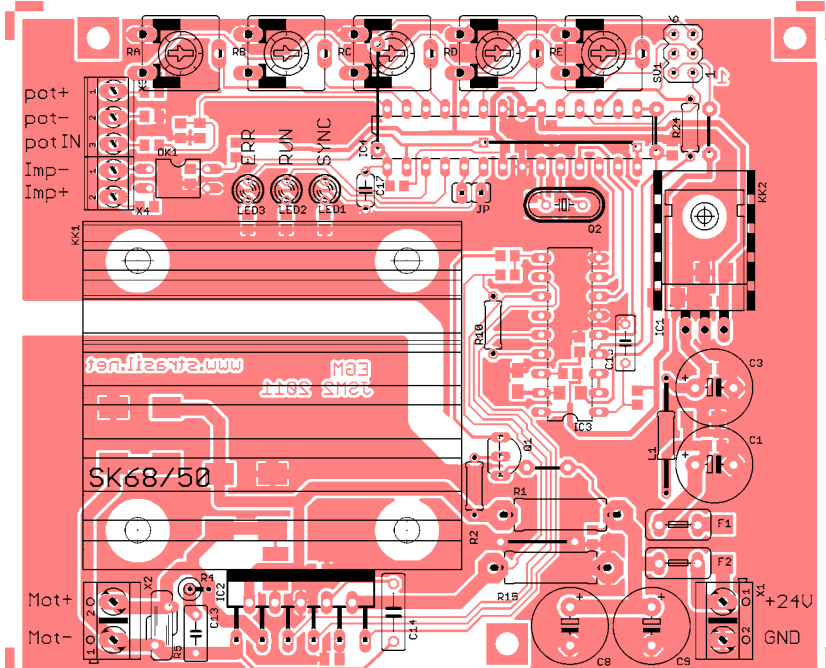
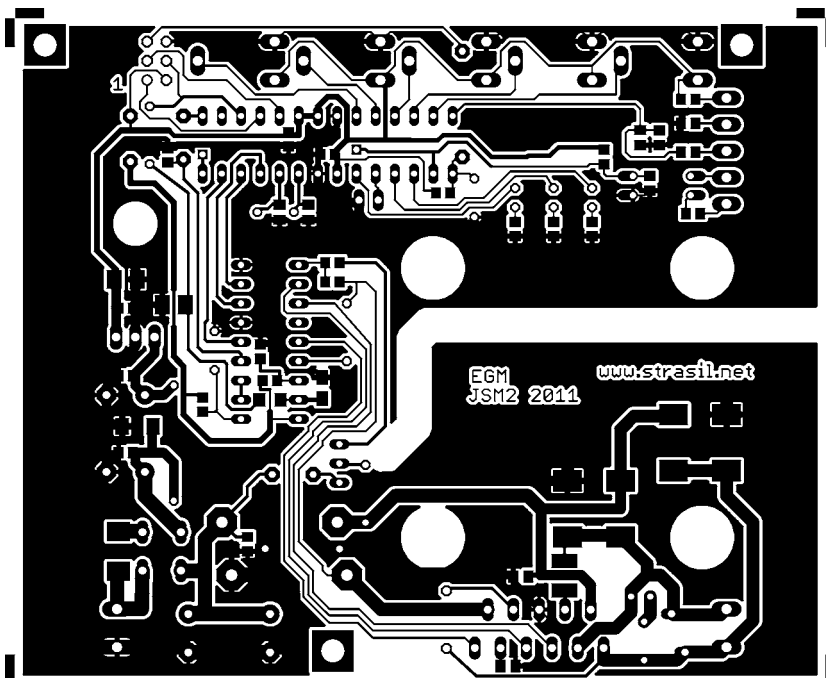
Dioda D1 odděluje napájecí zdroj řídicích obvodů od silového napájení tak, aby krátkodobé poklesy napájecího napětí při rozběhu motoru neodebíraly uloženou energii z kondenzátorů C1, C2 a nemohly tak způsobit nechtěný restart zařízení.

## Mechanická konstrukce

Servozesilovač je umístěn na jednostranné desce s plošnými spoji o rozměrech 107 x 88 mm (obr. 4). Rozměr desky je zvolen tak, aby ji bylo možné nasunout do nosníku Italtronic Support E107 pro montáž na rozvaděčovou DIN lištu.

## Osazení a oživení

Vlastní osazení a oživení jednotlivých dílů zařízení nemá žádné záludnosti. Nejprve osazujeme součástky



SMD, poté šest drátových propojek a následně klasické součástky. Při montáži chladiče nejprve na chladič namontujeme obvod IC2, upevníme chladič šrouby M3 do desky s plošnými spoji a až poté pájeme.

Vzhledem k jednoduchosti zapojení není nutné postupně oživováni. Pouze při prvním připojení zařízení k napájení můžeme pro jistotu místo motoru připojit voltmetr, použít zdroj s proudovým omezením nastaveným na asi 300 mA a hrubě vyzkoušení uskutečnit takto bez rizika poškození obvodů zkratovým proudem z výkonějšího zdroje.

### Seřízení a provoz servopohonu

Funkce servozesilovače se nastává pomocí pěti trimrů (RA až RE) a jedné propojky (JP).

Propojka JP slouží k volbě provozního režimu: je-li spojena, pracuje regulátor v rychlostním režimu (tj. motor se pohybuje rychlostí podle výchytky ovladače a snímače potenciometru pracuje pouze jako snímač dorazů). Při rozpojení propojky pracuje regulátor v polohovém režimu, poloha servopohonu tedy sleduje polohu ovladače.

Trimry D a E slouží k nastavení hraničních poloh servomechanismu („provozní doraz“). Trimmer E určuje krajní polohu, ve které je jezdec potenciometru nejbližší konci odporové dráhy, připojené ke svorce Pot-; trimr D určuje hraniční polohu opačnou. Trimmer D musí být vždy vytočen více ve směru hodinových ručiček než trimr E („maximální“ poloha musí být dále než „minimální“). Není-li toto pravidlo dodrženo, rozsvítí se LED ERR a RUN a regulátor nebude spouštět motor.

Trimmer B nastavuje minimální úroveň výkonu motoru. Trimmer B nastavíme tak, aby nemohl nastat při konečném přibližování k žádané poloze (v polohové regulaci) nebo k poloze provozního dorazu (při rychlostní regulaci) stav, kdy motor pouze „bzučí“ a nemá sílu pohybovat s mechanismem. Otáčením ve směru hodinových ručiček se zvyšuje úroveň minimálního výkonu motoru. Nastavením na doraz ve směru hodinových ručiček se přepne na dvoustavovou (vypnuto/zapnuto) regulaci.

Trimmer A se uplatní pouze v polohovém režimu; trimr nastavuje míru hysterese v požadované poloze. Otáčením ve směru hodinových ručiček se zvětšuje hysterese.

Trimmer C se uplatní pouze v polohovém režimu; trimr nastavuje zesílení regulátoru. Otáčením ve směru hodinových ručiček se regulace stává přesnější, nicméně méně odolná vůči mechanickým nepřesnostem systému.

Obr. 4. Desky s plošnými spoji



Obr. 5. Fotografie servopohonu

Regulátor je vybaven „nouzovým dorazem“ - funkcí, která při dosažení polohy snímacího potenciometru asi 2 % od konce dráhy vypne motor a zablokuje regulátor, aby se nepoškolil potenciometr. Další chod je umožněn jen po (ručním) posunu mechanismu nebo potenciometru z této krajní polohy. Aktivita funkce „nouzový doraz“ je indikována současným svitem diod LED ERR, RUN a SYNC.

Při ožiování pohonu je nutné ověřit správnou orientaci chodu potenciometru vůči chodu motoru. Pokud během ožiování pohon v režimu rychlostní regulace stále najíždí do polohy „nouzového dorazu“ a ignoruje dorazy, nastavené trimry D a E, přepóluje vodiče k motoru.

Podrobnější návod k obsluze (včetně tabulky významu diod LED) je z důvodu velkého rozsahu umístěn na [www stránkách autora](http://www.strasil.net).

### Seznam součástek

R1, R15	0,1 $\Omega$ /2 W, 309
R2	2,2 k $\Omega$ , 207
R3, R14	22 k $\Omega$ , SMD 0805
R4	5,6 $\Omega$ /2 W, 309
R5	varistor S07K14
R6, R11, R12,	
R20, R22	4,7 k $\Omega$ , SMD 0805
R7, R8, R9	470 $\Omega$ , SMD 0805
R10, R23,	
R24	4,7 k $\Omega$ , 207
R13	680 $\Omega$ , SMD 0805
R16, R19	100 $\Omega$ , SMD 0805
R17	1 k $\Omega$ , SMD 0805

R18	1 M $\Omega$ , SMD 0805
R21	390 $\Omega$ , SMD 0805
RA, RB,	
RC, RD, RE	25 k $\Omega$ , CA9V
C1, C3	470 $\mu$ F/40 V, 105 $^{\circ}$ C
C2, C4, C5,	
C7, C21	100 nF, X7R, SMD 0805
C6	10 $\mu$ F, X7R, SMD 1206
C8, C9	470 $\mu$ F/40 V, 105 $^{\circ}$ C, impulsní
C10, C16,	
C22	1 nF, NP0, SMD 0805
C11	220 nF, X7R, SMD 0805
C12	15 nF, X7R, SMD 1206
C13	22 nF/100 V, MKT
C14	15 nF, X7R
C15	47 nF, X7R
C17	100 nF, X7R
C18	100 pF, NP0, SMD 0805
C19, C20	22 pF, NP0, SMD 0805
C23, C24	1 $\mu$ F, X7R, SMD 0805
D1	SM4007
D2	P6SMBJ33
D3 až D6	SK56
F1	Polyswitch 0,4 A
F2	Polyswitch 5 A
IC1	LM7805
IC2	L6203
IC3	L6506
IC4	ATMega88P
JP	lišta 2 piny
KK1	Fischer SK68/50
KK2	D01
L1	1 $\mu$ H/0,5 A, axiální
LED1 až LED3	3 mm
OK1	PC817
Q1	BC327
Q2	16 MHz, nízký (HC49U/S)
SV1	lišta dvouřadá, 2 x 3 piny

X1, X2	ARK500/2
X3	ARK550/3
X4	ARK550/3

Součástky mimo DPS: držák na DIN lištu Italtronic Support E107 (volitelně)

### Závěr

Zařízení bylo původně vyrobeno pro speciální aplikaci v servopohonu zpětnovazebního řízení příčného posuvu netkané textilie na převíjecím a řezacím stroji, kde je denně v provozu již několik let a projevuje tak svou provozní spolehlivost.

Zvědavým čtenářům doporučuji vyzkoušet si úpravy firmwaru servozesilovače - jde o krásný příklad regulační smyčky, na které je možné odzkoušet různé typy diskretních regulátorů a jejich optimální nastavení. Zdrojové kódy jsou dostupné na níže uvedeném [www serveru](http://www.strasil.net).

Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na [ivo@strasil.net](mailto:ivo@strasil.net)

Podklady pro výrobu DPS a případné doplňující informace jsou dostupné na [www.strasil.net/pe](http://www.strasil.net/pe)

### Literatura

- [1] Souček, P.: *Servomechanismy*. Dotisk. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1984. 207 s.  
 [2] *Jak fungují modelářská serva* [online]. [cit. 2011-02-17]. Dostupné na <http://vlastikd.webz.cz/bastl/serva.htm>.