

Výkonový driver pro motory 24 V

Ing. Ivo Stražil

Popisovaný driver slouží pro obousměrné řízení stejnosměrných kartáčových motorů 24 V pomocí PWM regulace. Zařízení je schopno dodávat trvale výstupní proud až 35 A bez aktivního chlazení (25 A v těsném uzavřeném rozvaděči).

Driver je vybaven dvojicí paralelně spojených výstupů, které je možné jednotlivě odpojit pomocí relé, pro použití v pohonech, kde pracují dva motory společně - typicky v jedné nápravě elektrického vozíku. Zařízení je řízeno po datové sběrnici RS-485 jednoduchými příkazy. Na jednu sběrnici je možné připojit až 16 driverů současně.

Technické parametry

Napájecí ss napětí:	16 až 29 V (max. napětí viz text).
Klídková spotřeba:	max. 0,1 A.
Výstupy:	2 paralelní výstupy, každý max. 25 A, celkem max 35 A trvale, předjistění max. 40 A.
Vstup:	sběrnice RS-485 pro řízení a diagnostiku.
Rozměry:	150 x 100 x 80 mm.
Provozní teplota:	-15 až 45 °C.

Popis zapojení

Zapojení jednotky je poměrně jednoduché (obr. 1). Srdcem zařízení je mikrokontrolér ATmega88 v pouzdře TQFP (IC1), taktovaný krystalem Q1 na frekvenci 16 MHz.

Mikrokontrolér přijímá řídicí data ze sběrnice RS-485 a generuje PWM signál pro řízení výstupních tranzistorů H-můstku.

Sběrnice RS-485 je připojena do bezšroubových svorek X2. Svorky jsou zdvojené, aby bylo možné sběrnici komfortně smyčkovat mezi více jednotkami.

Signály obousměrné sběrnice převádí do tří signálů (příjem, vysílání a směr dat) v úrovních CMOS 5 V budič IC4 (75ALS176). Dvojitý transil D2 s nízkou vnitřní kapacitou zajišťuje ochranu budiče proti napětovým špičkám; rezistory R11 a R12 definují klidovou úroveň na sběrnici.

Obvody sběrnice jsou galvanicky odděleny od zbytku zařízení oddělovačem IC3 (ADUM1301) a DC-DC měničem IC5 (ROE0505S). Tím eliminujeme rušení a zemní smyčky, které by při velkých proudech motory mohly zcela znemožnit komunikaci.

Oddělovač IC3 je poté běžným způsobem připojen na UART IC1.

Vlastní řízení motoru je uskutečněno modulací PWM pomocí H-můstku. H-můstek tvoří tranzistory N-MOSFET

T1 až T4, jejichž výrobce udává maximální proud až 120 A, a to jen pro omezení vývody pouzdra (čip samotný je dimenzován na 200 A). Můstek je tedy násobně předdimenzován, což je předpokladem dlouhodobého spolehlivého chodu.

Do středu můstku jsou přes výstupní relé K1 a K2 a pojistky v obou pólech výstupů připojeny svorky motorů X1 a X3. Napájení celého zařízení - tedy můstku, potažmo i motoru, a elektroniky, přivádíme na svorky X4.

Buzení tranzistorů H-můstku zajišťují integrované budiče L6384 (IC8, IC9). Rezistory R4 (resp. R6) nastavují „dead-time“ mezi zavřením jednoho (T1 resp. T3) a otevřením druhého (T2 resp. T4) tranzistoru na asi 2,7 μ s, aby se současně neotevřely oba tranzistory a tím nenastal chvilkový zkrat.

Proud motorem je měřen na bočníku vytvořeném na plošném spoji. Úbytek na bočníku je zesílen 22x operačním zesilovačem IC7B a přes filtr R19/C20 zaveden na vstup převodníku A/D IC1; nefiltrovaný signál je přiveden do komparátoru proudové ochrany tvořeného IC7A. Rozhodovací úroveň komparátoru a tím i maximální špičkový proud motorem nastavujeme trimrem R18. Na výstupu IC7A (měřicí bod OVC) je v klidu úroveň log. 1 a při přetížení log. 0.

I když by bylo možné řešit proudovou pojistku softwarově nebo použitím mikrokontroléru se specializovanou vnitřní logikou pro řízení motorů (např. z řady dsPIC33fxxxMC), zvolili jsme hardwarové řešení za použití dvojitého klopného obvodu D 74HC74 (IC6).

IC1 generuje na vodiči signál PWM s proměnnou střídou, odpovídající požadované rychlosti běhu motoru, a nastavuje úroveň log. 1 na vodiči TAM nebo ZPĚT podle požadovaného směru pohybu. Signál z vodiče PWM je zapojen tak, že v log. 0 asynchronně resetuje klopné obvody D



vstupem CLR, který ovládá přes diodové hradlo AND (D10 a D4). Signál PWM je rovněž zaveden na hodinové vstupy CLK klopných obvodů.

Klopný obvod typu D přenesou na svůj výstup při náběžné hraně signálu na hodinovém vstupu CLK úroveň ze vstupu D obvodu. Na tyto vstupy jsou připojeny signály TAM a ZPĚT. Při přechodu signálu PWM z log. 0 do log. 1 tedy synchronně nastavíme do úrovně log. 1 výstup jednoho klopného obvodu podle požadovaného směru na vodičích TAM a ZPĚT. Výstupy klopných obvodů již přímo řídí budiče H-můstku; negované výstupy jsou využity pro ovládání signalizačních diod LED.

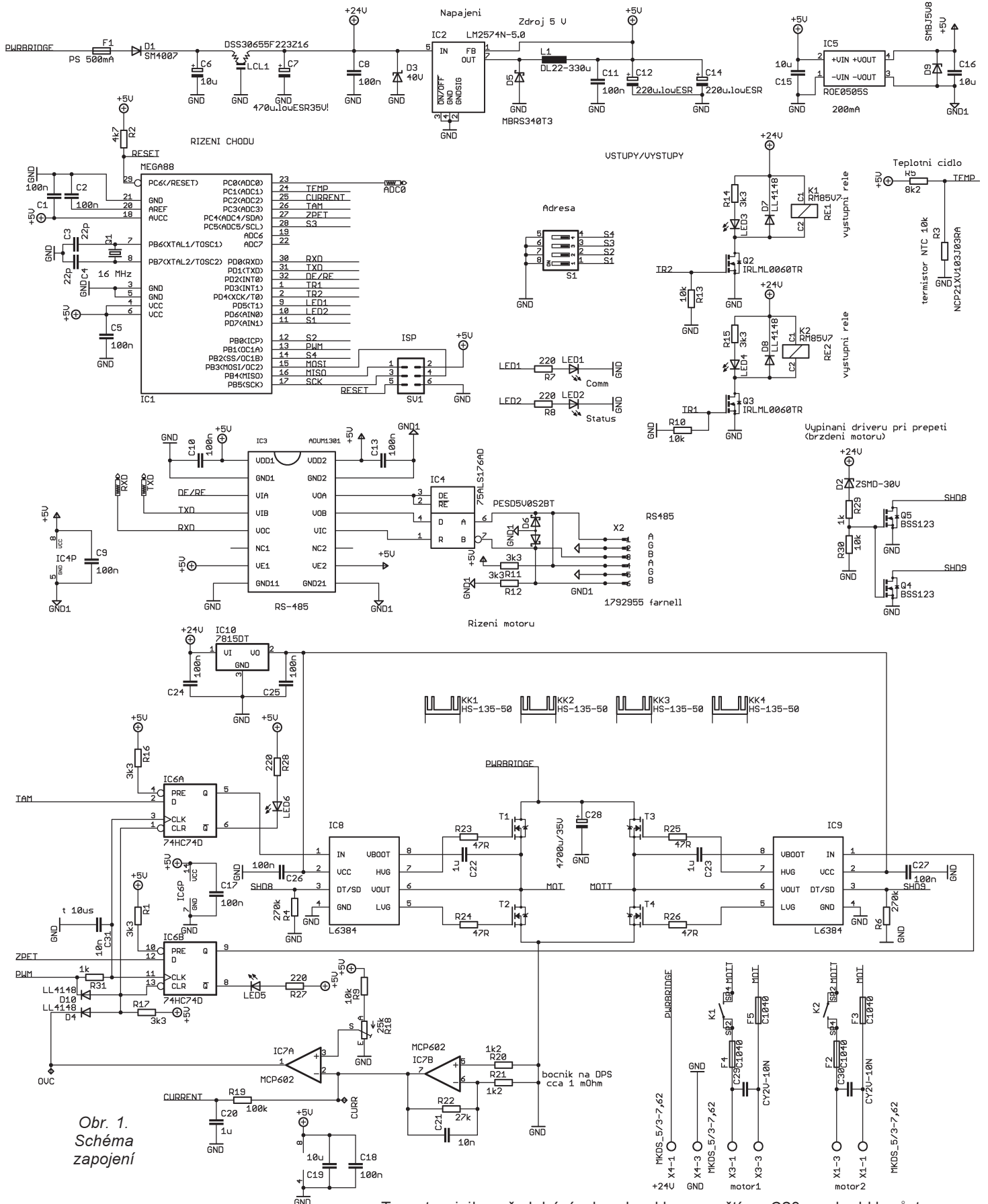
Zpoždovací člen R31/C31 zpožďuje náběžnou hranu na vstupech CLK o 10 μ s tak, aby nevznikal hazardní stav mezi uvolněním signálu CLR náběžnou hranou signálu PWM a příchodem náběžné hrany hodin.

Není-li proudová pojistka aktivní, kopíruje tedy výstup klopného obvodu zvoleného směru signál PWM generovaný IC1 - budič zvoleného směru spíná střídavě oba výstupní tranzistory ve zvoleném poměru PWM; do budiče opačného směru přichází trvale úroveň log. 0: je tedy trvale sepnut „spodní“ tranzistor můstku.

Přejde-li však výstup komparátoru proudové pojistky IC7A do log. 0, přes diodu D4 jsou klopné obvody okamžitě vynulovány, spínají oba „spodní“ výstupní tranzistory můstku - motor je elektricky zkratován, proud motorem nyní generuje reaktivní odezva indukčnosti vinutí; proud postupně klesá.

Přechod proudu bočníkem ustává již v okamžiku uzavření „horního“ tranzistoru můstku, výstup komparátoru proudové pojistky se vrací zpět do log. 1 a obvod je připraven pro opakování cyklu s další náběžnou hranou modulace PWM. Vzhledem k indukčním a mechanickým vlastnostem motorů se při tomto způsobu zapojení pojistky omezující proud motoru spolehlivě a s dostatečným momentem rozbíhá i pokud je při těžkém rozběhu pojistka aktivována.

Při postupném elektrickém brzdění přechází motor z motorového do generátorového režimu. Tedy při snižování střídavé PWM rychlosti vyšší než je přirozený pokles rychlosti mechanického systému běžícího setrvačností motor elektricky brzdí, proud prochází H-můstkem v opačném směru - do zdroje. Tento proud vyvolává růst napětí na kondenzátoru C28; po-

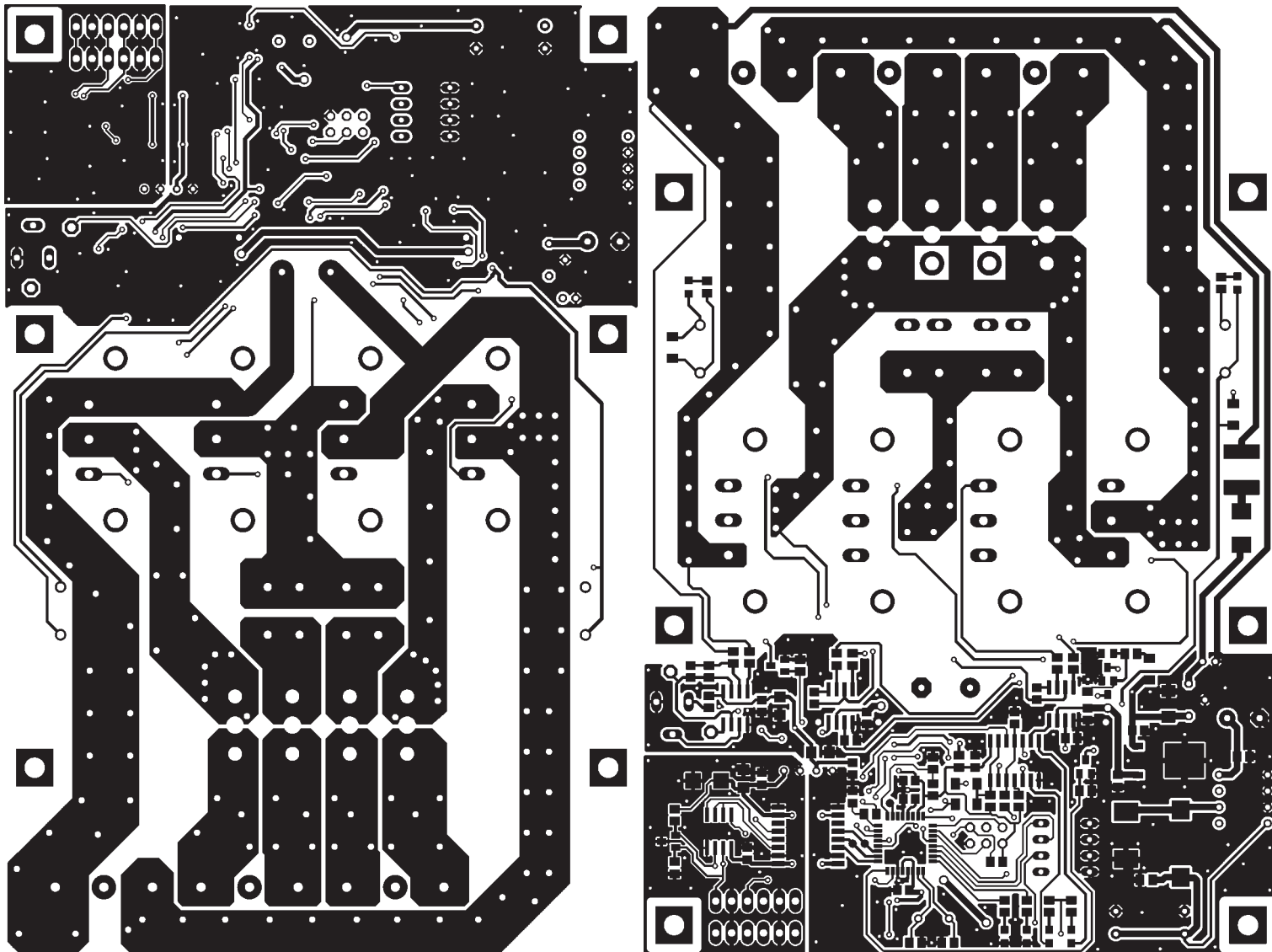


Obr. 1. Schéma zapojení

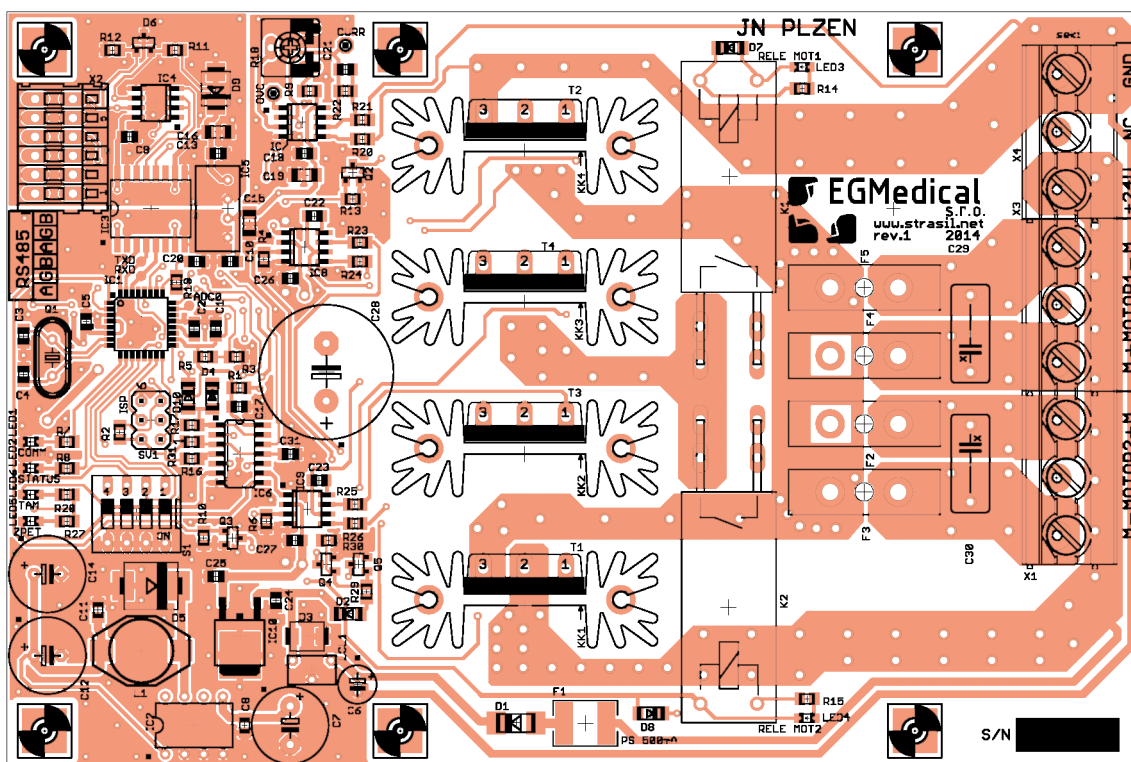
kud je zařízení napájeno z akumulátoru, akumulátor se dobíjí. Je-li však zařízení napájeno ze zdroje, který není schopen energii absorbovat a růst napětí omezit nebo je-li například zdroj za běhu odpojen spínačem či jističem, hrozí nárůst napětí na nad 60 V a poškození napájecího zdroje, C28 či samotného H-můstku.

Tomuto riziku předchází obvod přepětové ochrany s tranzistorem Q4 a Q5, který při nárůstu napájecího napětí jednotky nad asi 31 V přepne spojení vývodu DT/SD do země oba budiče IC8/IC9 do úsporného režimu. Budiče v tomto režimu rozepnou všechny tranzistory můstku: proud motorem přestává procházet, mechanická soustava dobíhá setrvačností. Po po-

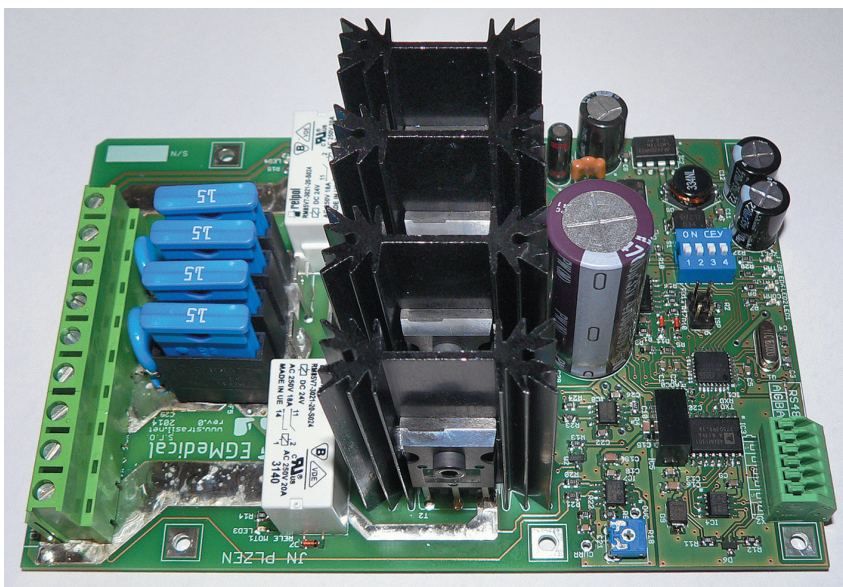
klezu napětí na C28 se chod H-můstku automaticky obnoví. Spínací úroveň ochrany nastavíme hodnotou stabilizační diody D2; požadujeme-li provoz při vyšších napájecích napětích, je nutné spínací úroveň ochrany upravit a otestovat. Pomocné obvody desky zahrnují teplotní senzor - termistor R3, programovací konektor ISP SV1, sadu



Obr. 2. Deska s plošnými spoji



Obr. 3. Rozmístění součástek



Obr. 4. Osazená deska

DIP spínačů S1 pro nastavení adresy na sběrnici RS-485, signalizační LED diody LED1 a LED2 a ovládání obou výstupních relé tranzistory Q2 a Q3.

Napájecí zdroj elektronické části desky je oddělen od výkonového napájení diodou D1 a LCL filtrem LCL1 spolu s kondenzátory C6, C7 a C8. Přepětovou ochranu zajišťuje transil D3.

Napájecí napětí 5 V pro řídicí obvody vytváří integrovaný „step-down“ měnič LM2574N-5.0 (IC2) v katalogovém zapojení; napájecí napětí 15 V pro budiče IC8 a IC9 dodává stabilizátor IC10. Budiče IC8 a IC9 jsou schopny pracovat v rozsahu napětí 12 až 15,5 V, proto je možné desku napájet i takovým napětím, při němž již není IC10 schopen dodávat na výstupu plných 15 V (to je podle katalogového listu IC10 17,6 V na větvi +24 V). Při dalším poklesu napájecího napětí budičů pod 10 V se budiče samočinně bezpečně odstaví interní podpětovou ochranou.

Konstrukce

Driver je konstruován jako deska s plošnými spoji (150 x 100 mm) pro vestavbu do kovového rozvaděče, kde je uchycena na šesti distančních sloupcích M3. Tranzistory H-můstku jsou opatřeny chladiči HS-135 o délce 50 mm (kompatibilní profil Fischer SK104).

Deska s plošnými spoji (obr. 2, 3) je oboustranný prokovený se zvýšenou tloušťkou mědi na 50 μm .

Osazení a oživení

Osazení desky neskrývá žádné záležitosti. Prokovy a vysokými proudy zatěžované cesty na je vhodné propájet, resp. silně pocínovat.

Při ožívování napájíme driver z laboratorního zdroje s proudovou pojistkou 0,5 A. Po ověření funkce napájecích zdrojů naprogramujeme IC1,

připojíme komunikační rozhraní, místo motoru připojíme například antiparalelně zapojené diody LED s příslušným rezistorem a odzkoušíme chování můstku. Zvýšením napájecího napětí na 35 V vyzkoušíme, zda pracuje přepětová ochrana. Následně zkusíme připojit výkonný napájecí zdroj schopný dodat alespoň 40 A a zátěž (např. regulovatelné rezistory), pomocí nichž otestujeme seřídíme vypínací proud proudové pojistky trimrem R18.

Komunikační protokol

Drivery komunikují po sběrnici jednoduchým protokolem rychlostí 38400 b/s v režimu 8N1. Vzhledem k rozsahu dokumentace protokolu uvádím jen příklady některých zpráv: *Ovládání motoru: ![adresa][pož. rychlost][pož. rampa][směr][CRC]#*
Požadavek čtení diagnostiky: ![adresa]A[CRC]#
Odpověď diagnostiky: !0[stav pohonu][rezerva][proud motoru][teplota jednotky][CRC]#

Seznam součástek

R1, R11, R12,	
R14 až R17	3,3 k Ω , 0805
R2, R19	100 k Ω , 0805
R3	NCP21XV103J03RA
R4, R6	270 k Ω , 0805
R5	8,2 k Ω , 0805
R7, R8,	
R27, R28	220 Ω , 0805
R9, R10,	
R13, R30	10 k Ω , 0805
R18	25 k Ω , CA6V, trimr
R20, R21	1,2 k Ω , 0805
R22	27 k Ω , 0805
R23, R24,	
R25, R26	47 Ω , 0805
R29, R31	1 k Ω , 0805
C1, C2, C5,	
C8 až C11,	
C13, C17, C18,	
C24 až C27	100 nF, X7R, 0805
C3, C4	22 pF, NP0, 0805

C6	10 $\mu\text{F}/50\text{ V}$ (E2-5)
C7	4700 $\mu\text{F}/35\text{ V}$, Low ESR
C12, C14	220 $\mu\text{F}/16\text{ V}$, Low ESR
C15, C16,	
C19	10 $\mu\text{F}/16\text{ V}$, X5R, 1206
C20, C22,	
C23	1 $\mu\text{F}/16\text{ V}$, X5R, 0805
C21, C31	10 nF, X7R, 0805
C29, C30	CY2V-10N
D1	SM4007
D2	ZSMD-30V
D3	SMBJ40A
D4, D7, D8, D10	LL4148
D5	MBRS340T3
D6	PESD5V0S2BT
D9	SMBJ5A
IC1	Atmel ATmega88A-AU
IC2	LM2574N-5.0
IC3	ADUM1301
IC4	75ALS176AD
IC5	ROE0505S
IC6	74HC74D
IC7	MCP602
IC8, IC9	L6384
IC10	7812DT
LCL1	DSS30655F223Z16
LED1 až LED6	SMD, 0805
Q1	16 MHz
Q2, Q3	IRLML0060TR
Q4, Q5	BSS123 (SOT23)
T1 až T4	IRFP3077PBF
F1 polyfuse	500 mA, SMD 2920
F2, F3, F4, F5	pouzdro nožové auto-pojistky C1040, poj. 15 A
K1, K2	RM85V7
KK1 až KK4	HS-135-50
L1	DL22-330u
S1 4páčkový	THT DIP SWITCH
SV1	MA03-2
X1, X3, X4	MKDS_5/3-7,62
X2 6řadá svorkovnice	PTSA0,5/6-2,5-Z (Phoenix)

Závěr

Jednotky popsaného provedení jsou úspěšně nasazeny v dálkové řízených plošinách.

Při použití jednotky dbejte na bezpečnostní požadavky na strojní zařízení - jednotka nezajišťuje bezpečné odpojení (resp. zastavení) motoru při poruše elektroniky, je proto nutné použít vhodný externí způsob odpojení napájení jednotky při požadavku na nouzové zastavení. Typicky se používá sériová kombinace dvou stykačů, hlídaná certifikovaným bezpečnostním modulem nebo bezpečnostním PLC.

Pokud máte náměty, dotazy nebo připomínky - vyvojar@strasil.net

Podklady pro DPS a firmware je dostupný na <http://www.strasil.net/pe>.

Literatura

- [1] SEN, Sunit Kumar. Fieldbus and networking in process automation. pages cm. ISBN 978-146-6586-765.
 [2] Krishnan, R.: Permanent magnet synchronous and brushless DC motor drives. Boca Raton: CRC Press/Taylor, c2010, 575 p. ISBN 08-247-5384-4.