

Motorem sem, motorem tam

Od stejnosměrných elektromotorků většinou požadujeme, aby se otáčely rychlostí a směrem, které potřebujeme. Podívejme se, jak na to.

Následující zapojení fungují pouze s motory s permanentním magnetem, případně s motory s cizím buzením.

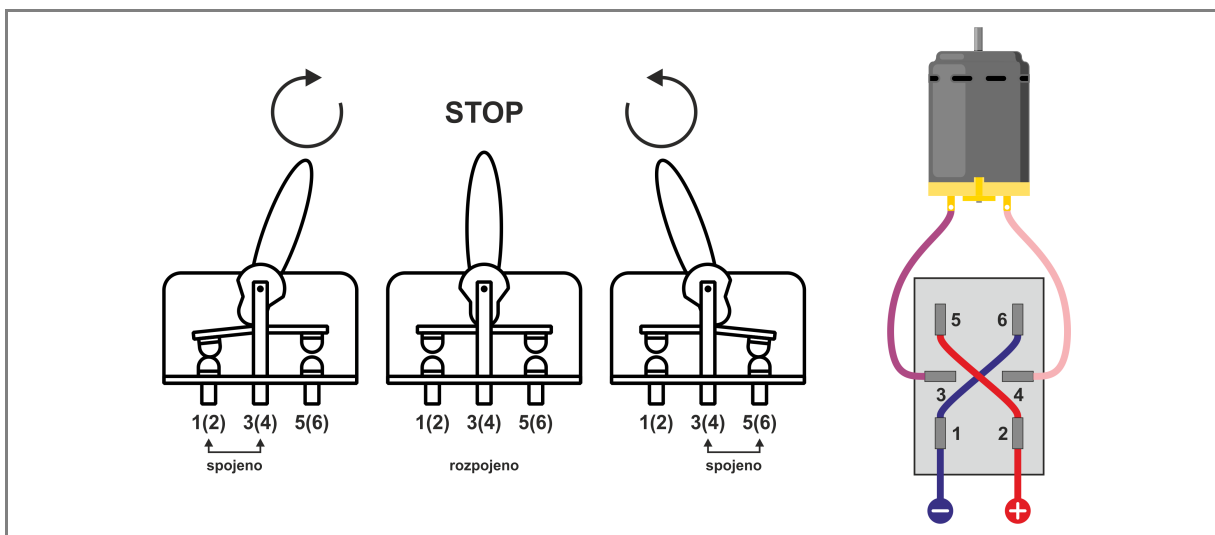
Mechanický přepínač

Nejjednodušším způsobem reverzace je použití trojpolohového¹ dvoupólového přepínače, který umožní nastavit otáčení motoru v obou směrech a ve střední poloze ho vypnout.



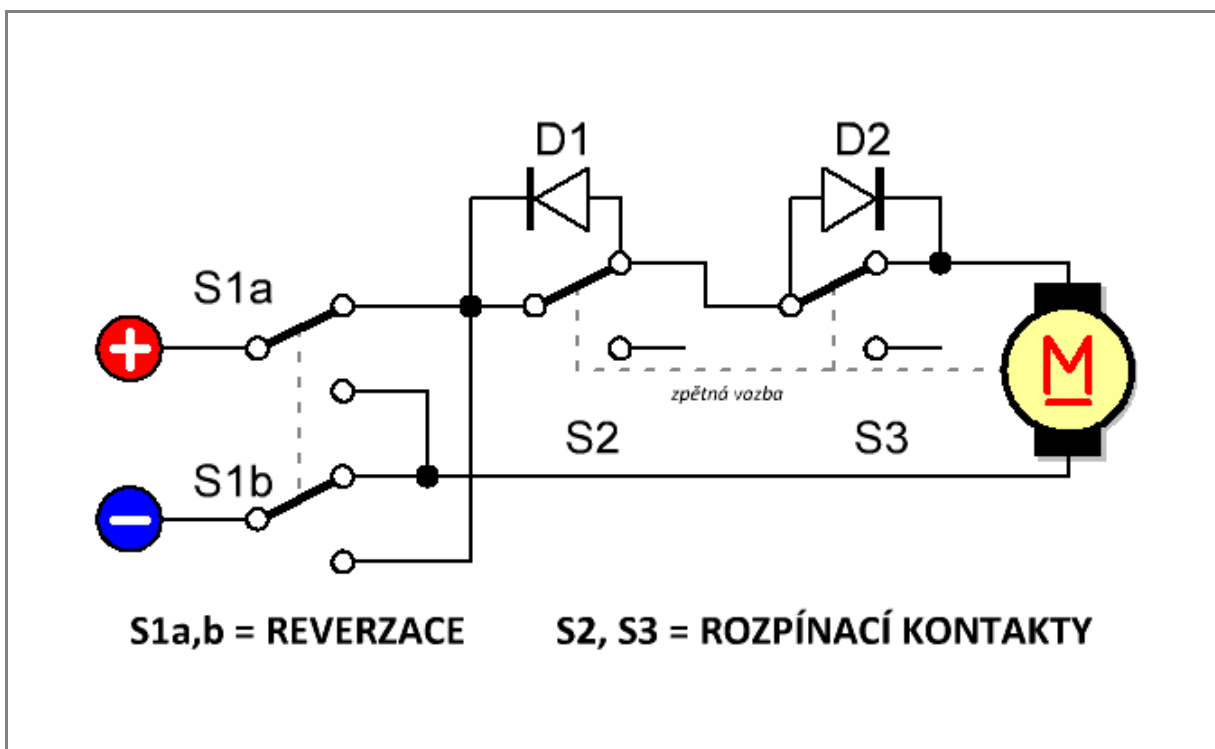
Obr. 2: Trojpolohový dvoupólový přepínač se značením ON-OFF-ON, který je použitelný pro reverzaci malých stejnosměrných elektromotorků

¹ Trojpolohový proto, že kromě poloh „vlevo“ a „vpravo“ musí mít také polohu „stop“.



Obr. 2: Vnitřní funkce přepínače a jeho elektrické zapojení

I s několika přepínači a dvěma diodami je možno vytvořit jednoduchý automat, který dobře poslouží například při otevírání rolet nebo žaluzií.

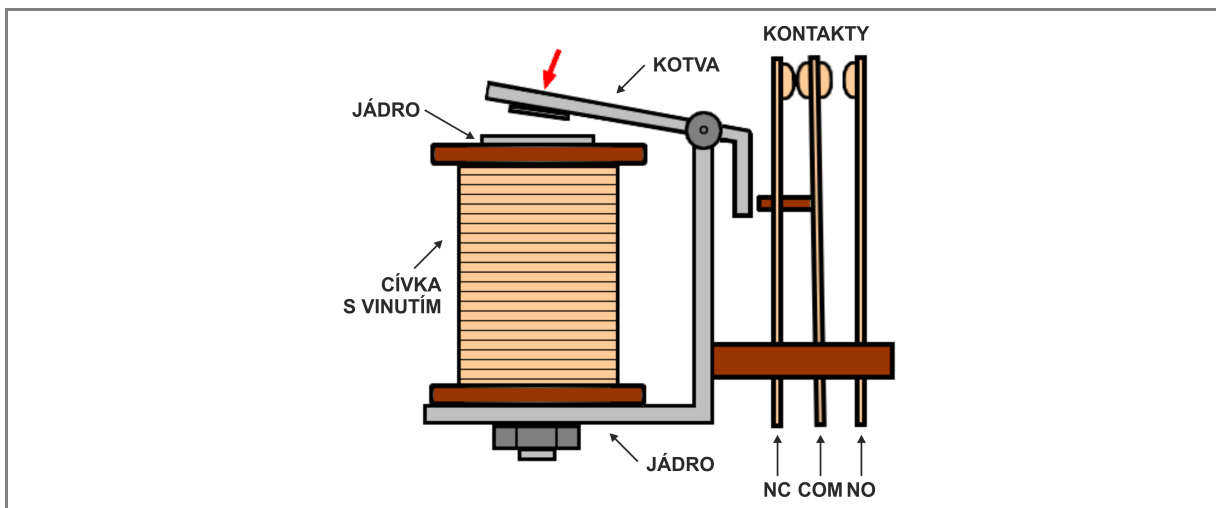


Obr. 3: Diodový automat

Přepínačem S1 volíme směr otáčení motoru (otevřeno, zavřeno, nahoru, dolů...). Spínače S2 a S3 jsou koncové rozpínací, a jsou umístěny tam, kde chceme, aby se poháněné zařízení zastavilo. Jakmile se zařízení dostane do koncové polohy, rozpojí se odpovídající koncový spínač a motor se zastaví. Diody zajišťují možnost zpětného otáčení motoru při změně polarity přepínačem S1.

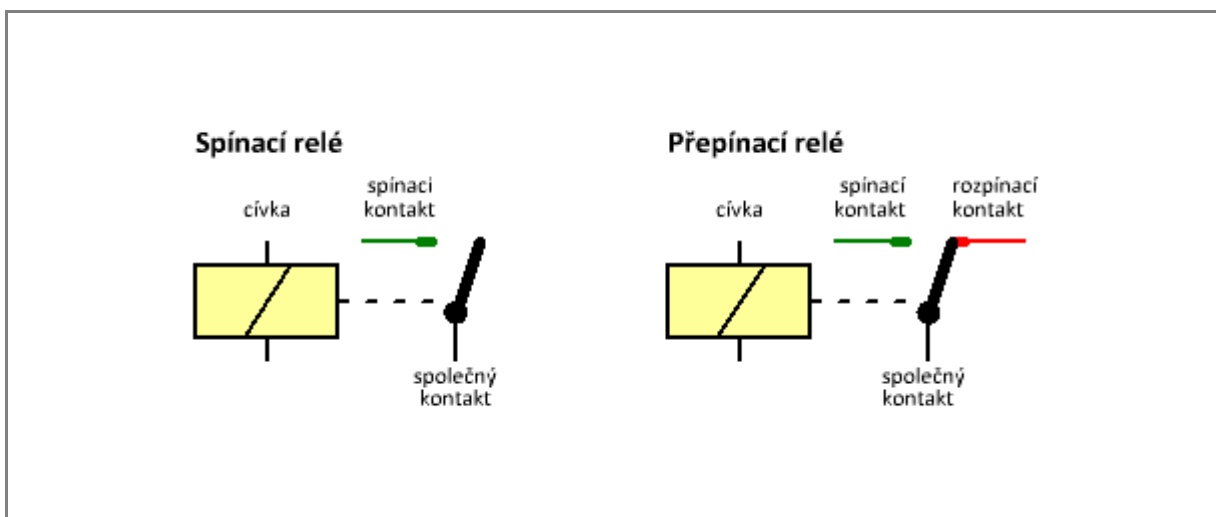
Elektromechanická relé

Relé (obr. 3) je ve své podstatě elektromagnet, který po přivedení elektrického proudu přitáhne kotvu a ta mechanicky spojí elektrické kontakty. Můžeme si ho tedy představit jako dálkově ovládaný spínač nebo přepínač.



Obr.4: Elektromechanické relé s přepínacím kontaktem

Pokud má relé jen dva kontakty, které se spojují, říkáme jim spínací (v anglické literatuře se tento kontakt označuje jako *normally open* – NO). Pokud má relé ještě další kontakt, který je v klidové poloze sepnut, pak mu říkáme kontakt rozpínací (v angličtině *normally closed* – NC), protože přivedením proudu do cívky se tento kontakt rozpojuje. Pohyblivému kontaktu, se kterým pohybuje kotva cívky relé se říká společný (v angličtině *common* – COM).



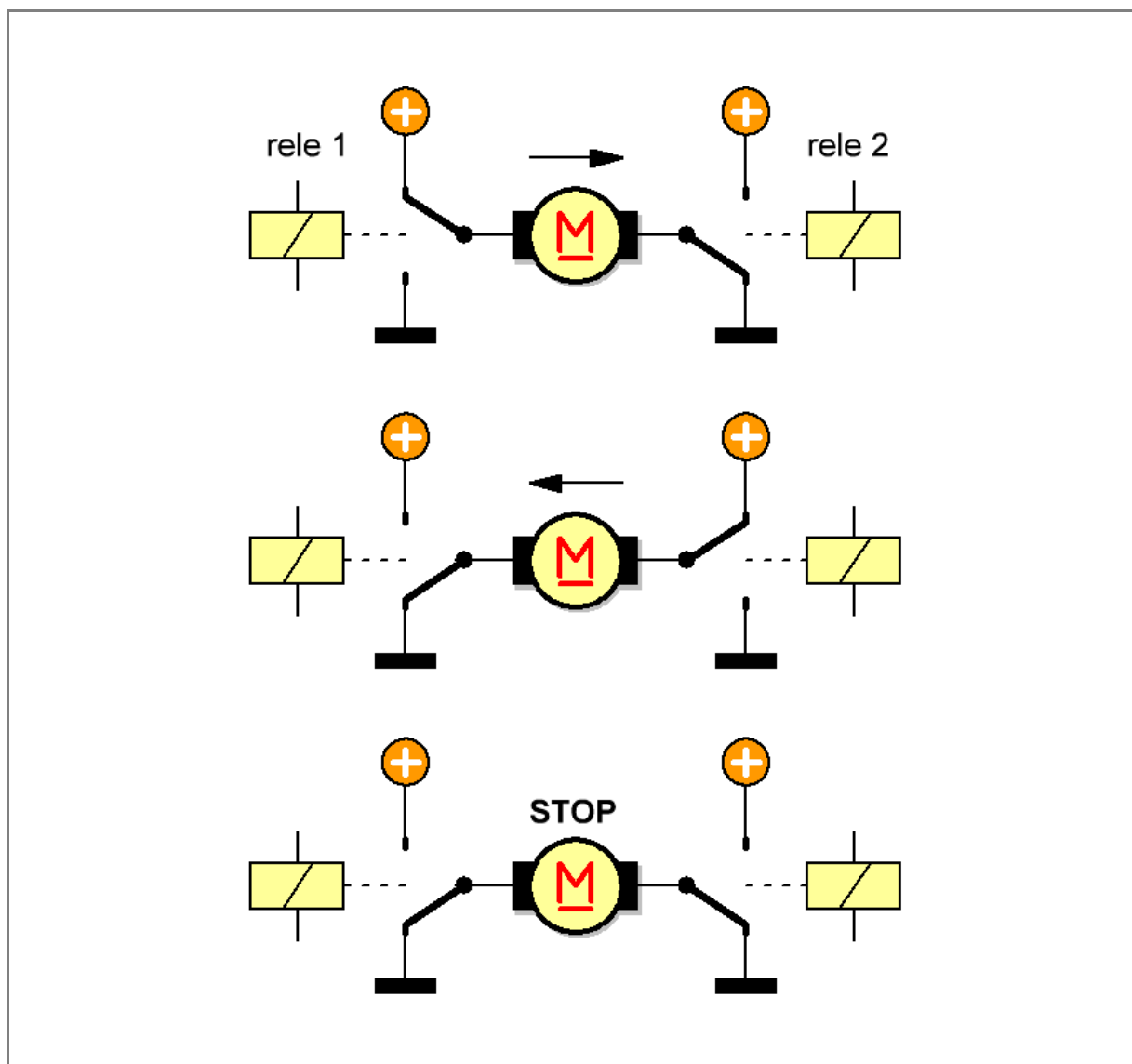
Obr. 5: Základní zapojení elektromechanických relé

Jedna šikmá čára ve značce cívky relé značí, že cívka má jen jedno vinutí. Samozřejmě existují i jiné konstrukce relé, ale pro účely přepínání směru otáčení elektromotorů není potřebné se jimi zabývat. Schématické značky pro spínací a přepínací relé jsou na obrázku 5.

Takovýchto dvojic nebo trojic kontaktů, ovládaných jednou elektromagnetickou cívkou, může mít relé v jednom pouzdře několik a pak se jim říká relé vícepólová.

Protože však relé mají jen dvě stabilní polohy, nemůžeme pro změnu směru otáčení motorku použít jediné dvojpólové relé, zapojené stejně jako výše zmíněný mechanický přepínač, který má polohy tři.

Nesnáz ale obejdeme tím, že použijeme dvě relé jednopólová s přepínacím kontaktem, která jsou ostatně na trhu dostupnější a také výrazně levnější. Pokud kontakty těchto relé zapojíme podle *obrázku 6*, budeme moci pomocí dvou elektrických signálů motor zapínat a vypínat a také měnit směr jeho otáčení. Jako bonus můžeme motor ještě elektricky brzdit.



Obr. 6: H-můstek, sestavený ze dvou elektromechanických relé

Takové zapojení obecně nazýváme H-můstek (anglicky H-bridge), protože, podíváme-li se na obrázek, vidíme, že připomíná velké tiskací písmeno H.

Jak je to tedy s tím ovládním? Pokud je sepnuto relé 1 a rozpojeno relé 2, pak se motor otáčí jedním směrem. Pokud je sepnuto relé 2 a rozpojeno relé 1, pak se motor otáčí druhým směrem. Pokud jsou obě relé rozpojena, pak je motor oběma svými vývody připojen k zemnímu vodiči a je tedy zkratován.

Pokud se nyní pokusíme zkratovaným motorem otáčet, zjistíme, že dojde dosti ztuhla a to tím hůře, čím se pokoušíme točit rychleji. Elektromotory, o nichž je zde řeč, fungují totiž také jako dynamo a při otáčení hřídelem generují elektrický proud. Tento proud se maří v odporu vinutí rotoru a přírodních vodičů a způsobuje brzdný efekt.

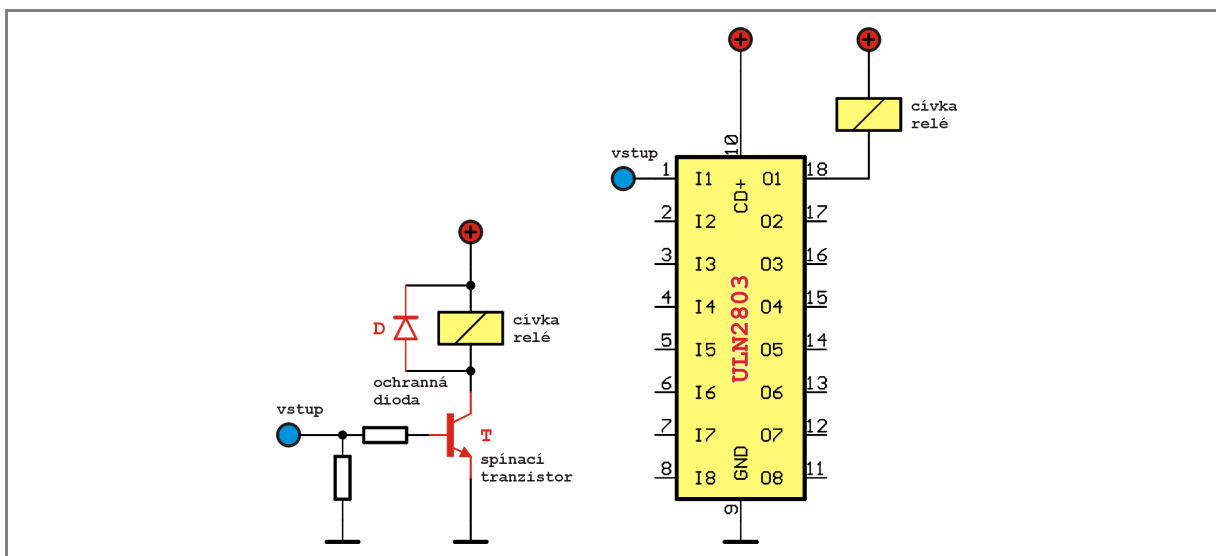
Podobným způsobem brzdí i tramvaje, elektrické lokomotivy a vůbec všechna vozidla, poháněná elektromotory.

Stejně bude motor brzdit, pokud obě relé sepneme a tedy ho připojíme ke kladné napájecí větvi, ale v tomto případě budeme jen zbytečně spotřebovávat elektrickou energii, potřebnou k napájení obou cívek relé.

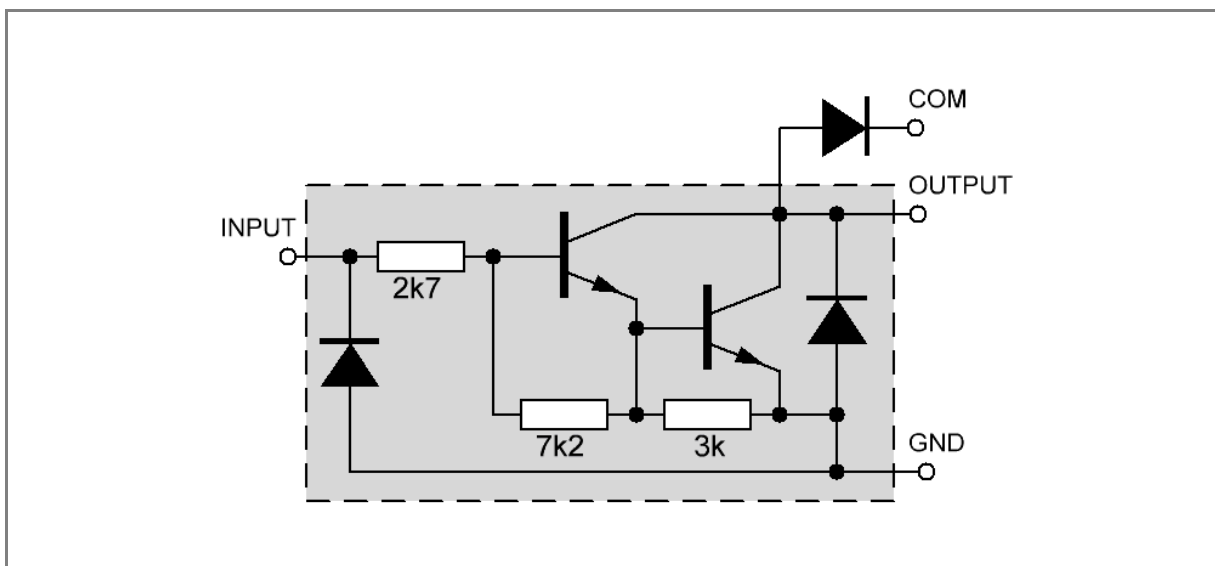
Kombinace relé a polovodičů

Jen jsme vyřešili jednu potíž, hned tu máme druhou: cívka relé odebírá větší proud a většinou je dimenzována i na vyšší napětí, než jaké nám může poskytnout výstupní pin řídicího obvodu. Navíc, spínání indukční zátěže, kterou cívka relé bezesporu představuje, má svá úskalí. Spokojíme se proto s tím, že si ukážeme jedno z možných řešení, které je dostatečně jednoduché pro začátečníky a nevyžaduje ani velké finanční náklady.

Tím řešením je integrovaný obvod **ULN2803**, který v jednom pouzdře obsahuje osm tranzistorových spínačů a k nim připojených osm ochranných diod, které tranzistor i celé elektronické zapojení chrání před přepětím a rušením. Výhodou tohoto obvodu je, že již okolo něj nepotřebujeme žádné další elektronické součástky, takže jeho zapojení je ve srovnání se zapojením běžného spínacího tranzistoru (na *obrázku 7* vlevo) velmi jednoduché i pro začátečníka. Vnitřní zapojení jednoho z osmi kanálů obvodu ULN2803 je na *obrázku 8*.



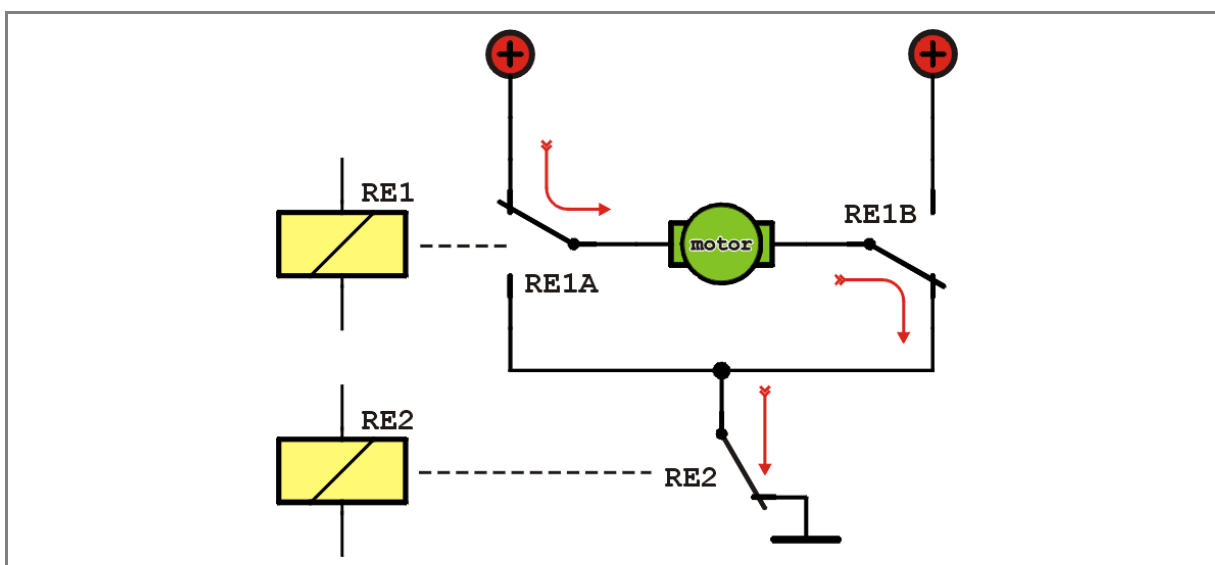
Obr. 7: Kombinace polovodičových a mechanických spínačů



Obr. 8: Vnitřní zapojení jednoho z osmi kanálů obvodu ULN2803

Tím máme tedy vyřešeno zapínání a vypínání proudu do cívky relé pomocí mikroprocesoru, nebo jiného elektronického obvodu a můžeme se věnovat vlastnímu zapojení reléového přepínače. Jak jsme si ukázali již na *obrázku 6*, nejjednodušeji to jde pomocí dvou relé pro jeden elektromotor.

Jde to ale také jinak. Můžeme použít to výše zamítnuté dvojpólové relé s přepínacími kontakty pro změnu směru otáčení motoru a jedno jednopólové spínací relé pro zapínání a vypínání elektromotoru, jak je vidět z *obrázku 9*.



Obr. 9: Kombinace dvou relé

Toto zapojení má některé výhody. Nejprve si ale musíme uvědomit, že i relé mají omezenou proudovou zatížitelnost, i když většinou značně větší než polovodiče. Důležitým parametrem relé je velikost takzvaného rozpínacího proudu, což je hodnota proudu, který může přes kontakty relé protékat v okamžiku, kdy se kontakty rozpojují. V tom okamžiku dochází totiž ke vzniku elektrického oblouku a ke značnému jiskření mezi kontakty, které se tak opalují, natavují a tím ničí. Proud, který prochází kontakty v sepnutém stavu, může být značně vyšší,

než proud rozpínací. Pokud tedy budeme dvojici relé z *obrázku 9* řídit tak, že budeme přepínat směr otáčení elektromotoru pomocí relé RE1 jen v okamžiku, kdy je spínací relé RE2 rozpojeno, pak můžeme jako přepínací relé (RE1) použít relé méně výkonné a tím menší a levnější. Relé na pozici RE2 s jedním spínacím kontaktem, která umožňují spínání opravdu velkých proudů (30 i více ampérů) jsou snadno dostupná v prodejnách s elektrickými součástkami pod společným názvem automobilová relé. Jednou z výhod tohoto zapojení je také přehlednější ovládání.

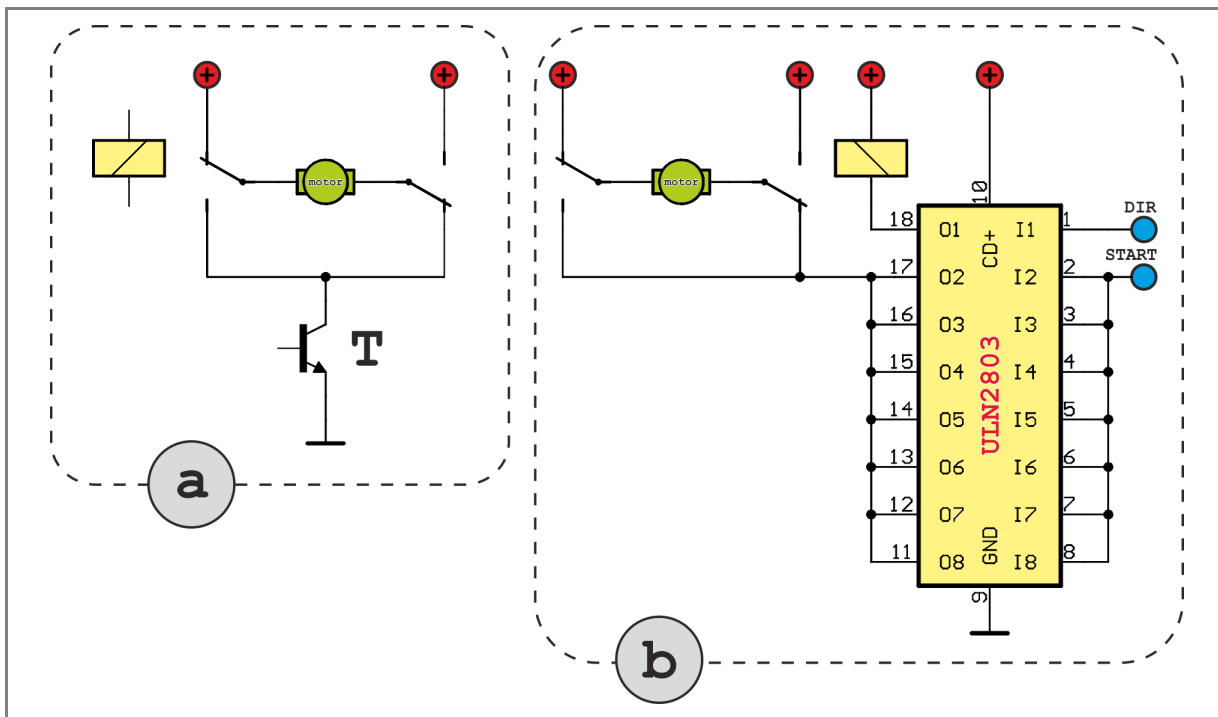
Jedním signálem – nazvěme ho **SMĚR** (nebo anglicky **DIR**) – spínáme relé pro změnu směru a druhým signálem – nazvěme ho **START** – spínáme relé, přerušující elektrický obvod. Nevýhodou tohoto zapojení je, že přijdeme o možnost elektrického brzdění, o kterém jsme se zmínili výše.

Reléový můstek s pomocným tranzistorem

Dosud uvedená zapojení s relé nám umožní měnit směr otáčení motoru a zastavit ho. Pokud bychom však chtěli měnit i rychlost jeho otáčení, nemáme k tomu zatím žádné prostředky. Na začátku jsme si řekli, že polovodičové prvky nejsou (odborníci odpustí toto zjednodušení) vhodné ke spínání větších proudů. Pokud se ale spokojíme s proudem, tekoucím přes elektromotor, který nepřesáhne 1 A, pak je možno použít zapojení z *obrázku 10a*. Vidíme, že spínací relé je zde nahrazeno tranzistorem. My ale, abychom se nemuseli zabývat výpočtem hodnot elektrických součástek, které jsou pro činnost takového tranzistoru nezbytné, využijeme jedné velmi výhodné vlastnosti integrovaného obvodu **ULN2803**.

Všech osm tranzistorových obvodů, které jsou v obvodu obsaženy, je vytvořeno na jediném křemíkovém čipu a a proto mají téměř shodné vlastnosti. Tím je zajištěno, že všechny spínače můžeme bez nebezpečí poškození zapojit paralelně. Jeden z osmi spínačů použijeme ke spínání cívky relé, dalším sedmi spojíme paralelně jak řídicí vstupy, tak jejich výstupy a zapojíme je na místo tranzistoru T z *obrázku 10a*.

Výsledné zapojení je na *obrázku 10b*.



Obr. 10 a, b: Kombinované zapojení

Velkou výhodou takto zapojeného obvodu je, že nyní máme místo spínacího relé **START**, které je pomalé, zapojen tranzistor, který může proud zapínat a vypínat během mikrosekund. Protože je tak rychlý, můžeme nyní řídit rychlost otáčení motoru pomocí takzvané pulzně šířkové modulace (anglicky *pulse width modulation* – **PWM**).

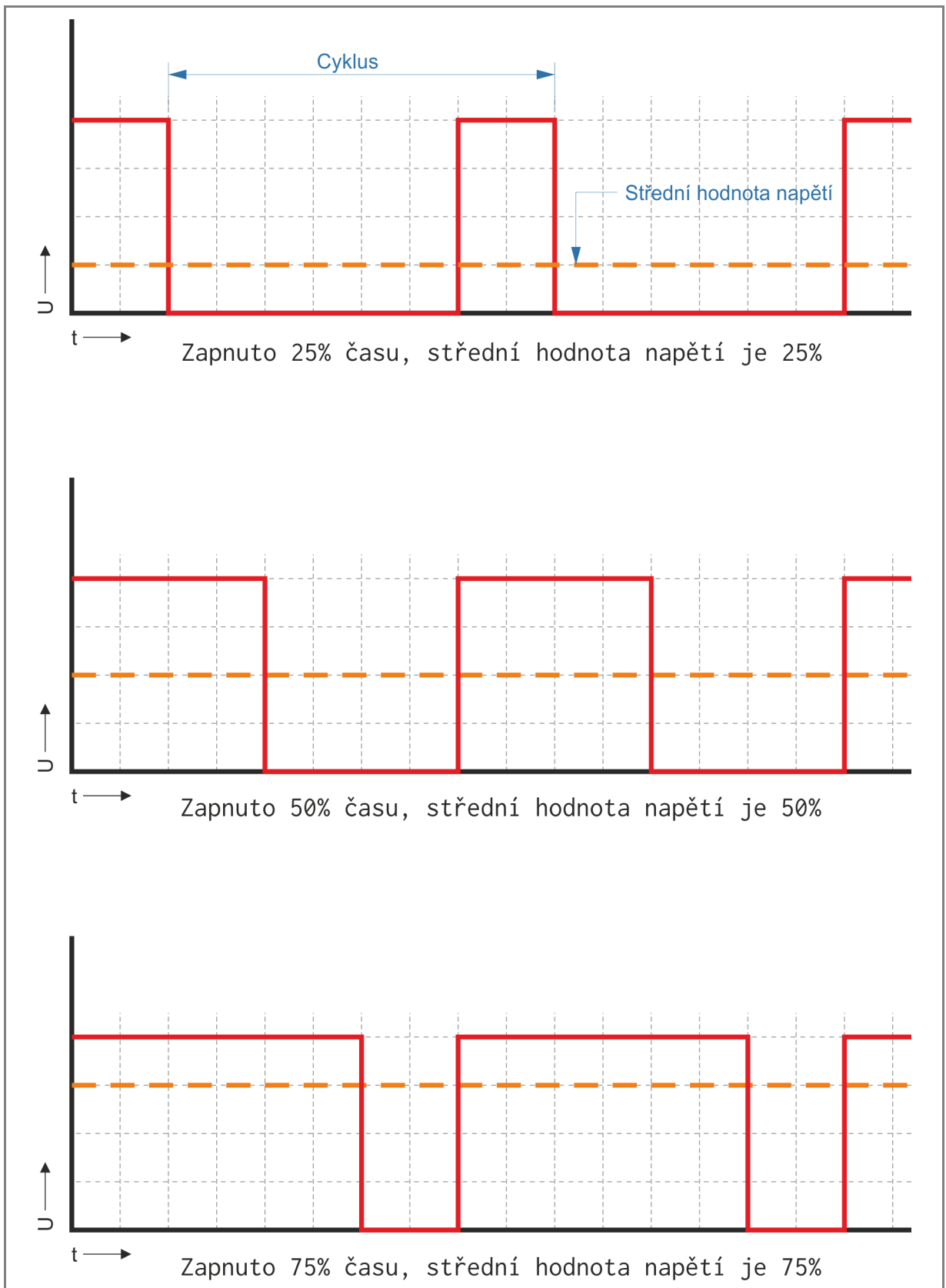
Pulzně-šířková modulace

Pulzně šířková modulace (PWM) je jedním z bezeztrátových způsobů řízení výkonu, dodaného do elektrické zátěže, běžně se používá k regulaci velikosti protékajícího elektrického proudu a proto je výhodná i pro změnu rychlosti otáčení stejnosměrných motorů.

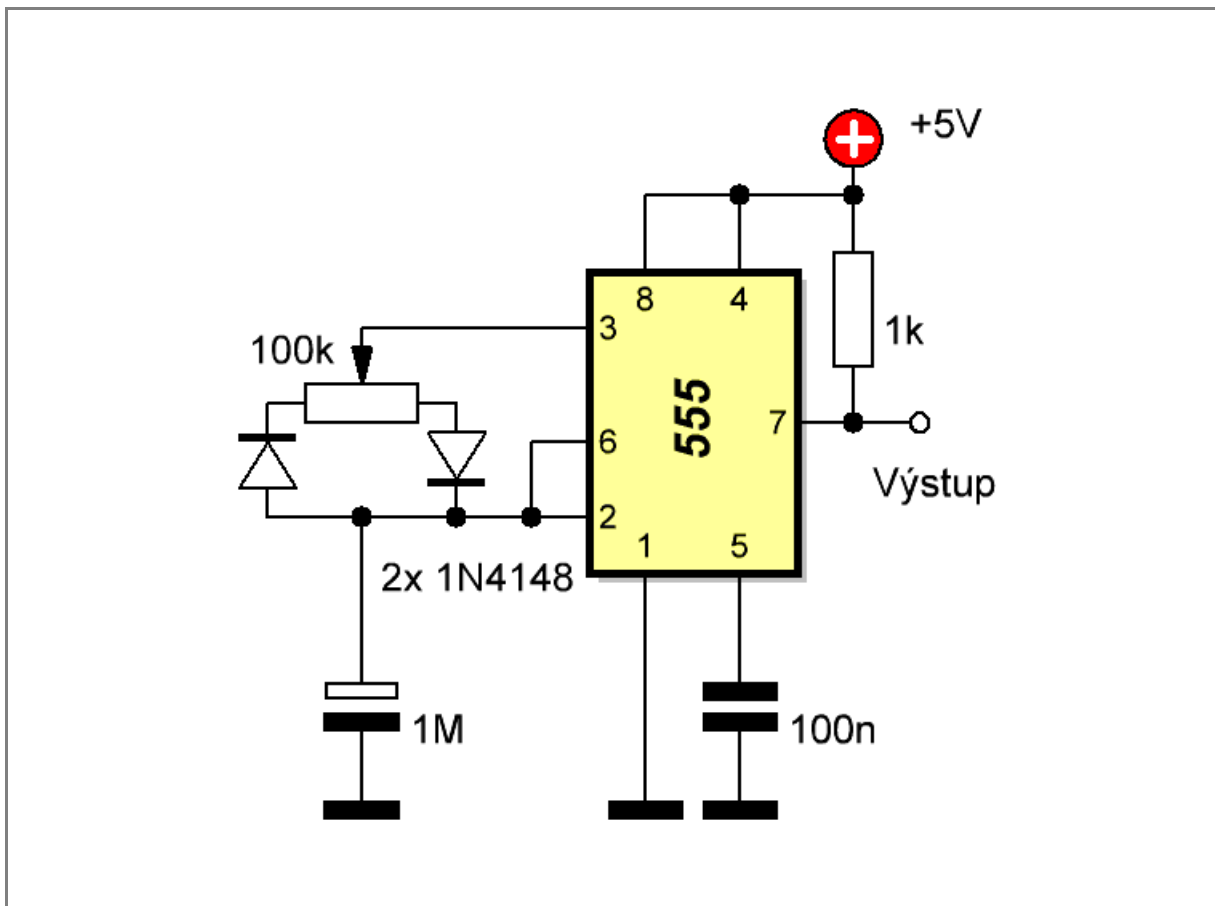
Základní myšlenkou je, že velikost střední hodnoty stejnosměrného napětí a tím i množství energie, které je za určitý čas dodáno do zátěže, se může měnit podle poměru doby zapnutí tohoto napětí k době celého cyklu.

Počet cyklů za jednu sekundu nazýváme opakovací frekvencí, jejíž jednotkou je hertz (Hz).

Pro poměr doby zapnutí napětí k době celého cyklu se používá název činitele plnění. Rozsah činitele plnění se může měnit od 0%, kdy je napětí trvale vypnuto a motor se neotáčí, až po 100%, kdy je napětí trvale zapnuto a motor se otáčí plnou rychlostí.



Obr. 11: Pulzně-šířková modulace



Obr.12: Jednoduchý PWM generátor s obvodem 555. Opakovací frekvence se nastavuje výběrem vhodného kondenzátoru (na obrázku 1M)

Elektronika také není k zahození

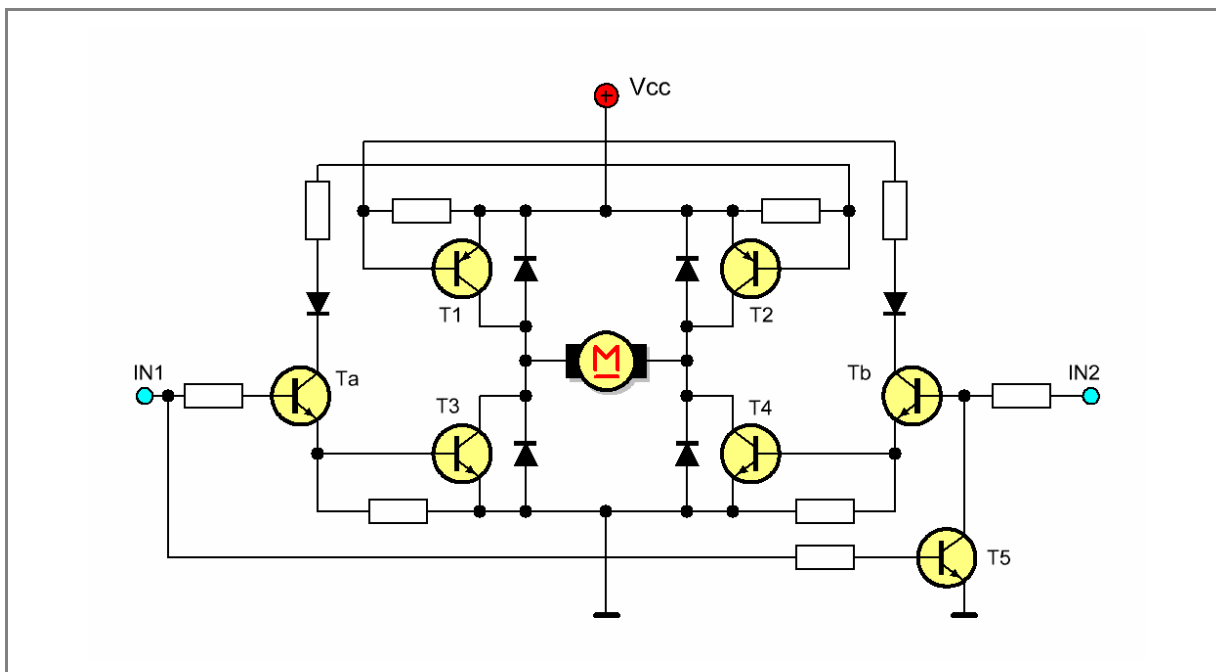
Z předchozích kapitol už víme, že elektromechanická relé jsou vhodná pro spínání větších proudů, ale jsou rozměrná a dosti hmotná. Ovšem velké množství elektromotorků najdeme dnes v téměř každém přístroji spotřební elektroniky a také v každém automobilu, takže je jisté, že přepínání směru otáčení a řízení rychlosti za nás už vyřešili konstruktéři těchto přístrojů.

Prohledáním katalogů zjistíme, že integrovaných obvodů s funkcí H-můstku, ať už jednoduchých nebo vícenásobných, výrobci elektroniky opravdu nabízejí nepřeberné množství.

Hůře však jsme na tom, pokud nahlédneme do nabídky prodejců elektroniky. Tam už je sortiment značně omezen. Naštěstí se nerovná úplně nule a – znovu naštěstí – kromě velkých dodavatelů elektronických součástí existují i menší, kteří se zabývají dovozem a prodejem těchto a jim podobných speciálních součástí.

H-můstek s tranzistory

Jen letmo zmíníme o tom, že H-můstek je možno vytvořit z jednotlivých tranzistorů. Na obrázku 13 vidíme, že takové zapojení je celkem složité a proto náročné na místo.



Obr. 13: H-můstek, sestavený z diskretních tranzistorů

Přesto všechno se tahle zapojení dosud používají i v komerčních zařízeních, přesněji řečeno většinou v levných čínských hračkách. Použití zapojení ovšem není diktováno nějakými jeho výhodami, ale především snahou spotřebovat staré zásoby součástek, jejichž likvidace jiným způsobem by přišla mnohem dražší.

Přivedením napětí na vstup **IN1** se otevře tranzistor **Ta** a úbytkem napětí na rezistorech, zařazených mezi bázi a kolektor tranzistorů **T2** a **T3** se tyto tranzistory otevrou a motor se otáčí jedním směrem. Připojením napětí na vstup **IN2** se otevře tranzistor **Tb** a následně i tranzistory **T1** a **T4** a motor se otáčí opačným směrem. Z tohoto způsobu ovládní vidíme, že, pokud bychom přivedli zároveň napětí na oba vstupy (**IN1** i **IN2**), otevřely by se všechny čtyři tranzistory zároveň a přes ně se zkratoval napájecí zdroj. Tranzistory by se nepochybně v mžiku zničily a zdroji by to nejspíš také neprospělo. Proto je do zapojení přidán ještě tranzistor **T5**, který takové situaci zabraňuje. Jakmile se objeví napětí na vstupu **IN1**, otevře se kromě tranzistorů **Ta**, **T2** a **T3** také tranzistor **T5** a spojí bázi tranzistoru **Tb** se zemním potenciálem zdroje. Pokud bychom nyní přivedli napětí na vstup **IN2**, nic se nestane, báze tranzistoru **Tb** je blokována tranzistorem **T5** a veškerý proud, vstupující do vstupu **IN2** teče přes bázevý rezistor tranzistoru **Tb** a otevřený tranzistor **T5** do země. Blokování tranzistoru **Ta** už není potřebné, pokud bychom přivedli napětí nejdříve na vstup **IN2** a pak teprve na **IN1**, situace se bude vyvíjet stejně, jako v předchozím případě.

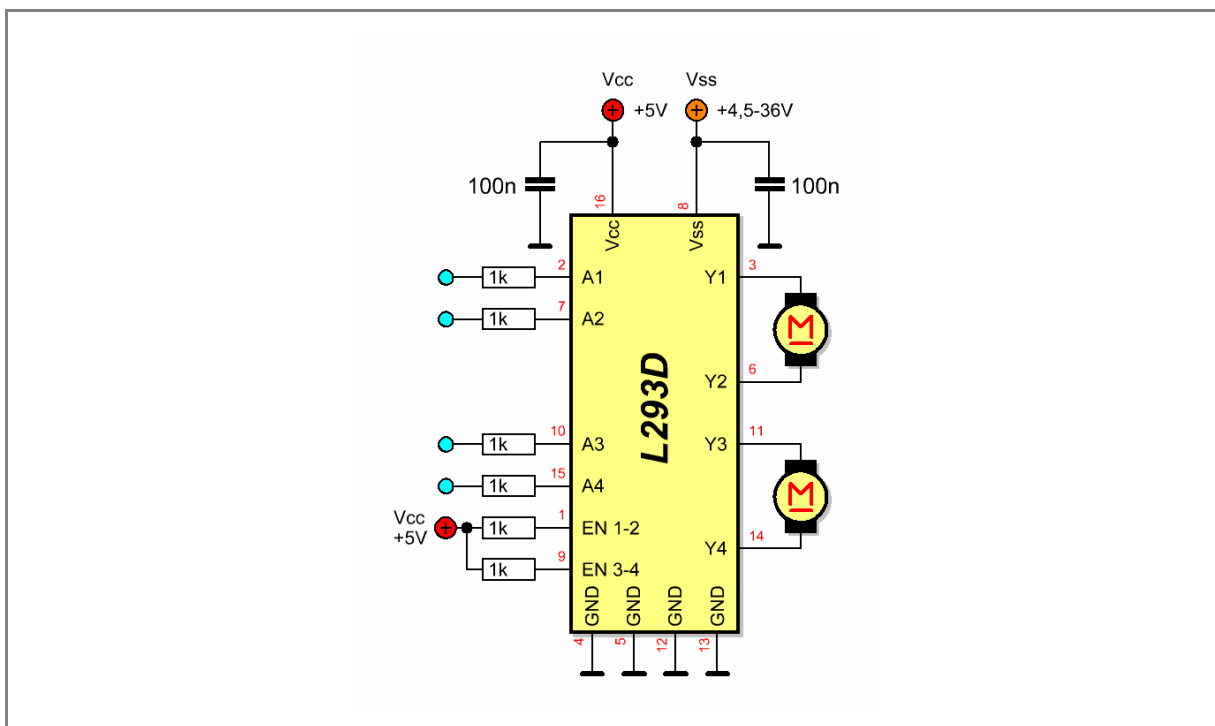
H-můstek s integrovaným obvodem L293

Integrovaný obvod **L293** patří mezi starší součásti z produkce firmy ST Microelectronic a původně byl určen k řízení dvoufázového krokového motoru v disketové mechanice pro diskety o velikosti 5,25 palce, určené pro první počítače třídy PC. Protože se disketové mechaniky rychle modernizovaly, obvod pro tuto funkci zastaral, ale pro řízení malých elektromotorů je stále dobře použitelný. Obvod se vyrábí v mnoha variantách, ale pro účely reverzace směru otáčení malých stejnosměrných elektromotorků je nejvhodnější varianta **L293D**, která obsahuje přímo na čipu ochranné diody, chránící výkonové tranzistory uvnitř obvodu před poškozením špičkami indukovaného napětí, které vzniká při běhu elektromotorku.

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí: 4,5 až 36 V
- Povolený výstupní proud jednoho můstku: 0,6 A
- Vstupní napětí řídicích vstupů: 2,5 až 6 V

Vnější zapojení obvodu je velmi jednoduché. Na *obrázku 14* jsou již nakresleny i další součásti, jejichž funkci si vysvětlíme dále.



Obr. 14: Integrovaný můstek L293 s ochrannými součástkami

Jak jsme již zmínili, v obvodu **L293D**, který je uložen v pouzdře DIL16, jsou k dispozici dva úplné H-můstky, každý se samostatným ovládáním. Tyto můstky jsou připraveny pro ovládání logickými signály v úrovních TTL, aby bylo možno je snadno připojit na další logický ovládací systém, případně mikrokontrolér. Způsob ovládání je podobný reléovému můstku se dvěma samostatnými relé, tedy přivedením **log.1** na vstup **A1** a **log.0** na vstup **A2** se

motor otáčí jedním směrem, přivedením **log.0** na vstup **A1** a **log.1** na vstup **A2** se motor otáčí druhým směrem. Pokud na oba vstupy přivedeme **log.0** nebo **log.1**, motor je zabrzděn (podrobněji o principu brzdění elektromotorů v předchozích kapitolách). Zcela stejně funguje i druhý H-můstek obsažený v obvodu, ale jeho ovládací vstupy se jmenují **A3** a **A4** a výstupy **Y3** a **Y4**. Protože ale občas potřebujeme, aby se motor volně protáčet, jsou nám k dispozici také vstupy **EN 1-2** a **EN 3-4** (zkratka z anglického **ENABLE** – povolení). Tyto vstupy po přivedení **log.0** úplně odpojí výstupy od vnitřní struktury obvodu, takže motor se od můstku odpojí; přivedením **log.1** se funkce můstků obnoví. Pro první můstek se používá vstup **EN 1-2**, pro druhý **EN 3-4**. Pro první pokusy s řízením motoru pomocí této součástky je nejvhodnější oba vstupy **EN** spojit přes rezistory o přibližné hodnotě 1k s napájecím napětím **Vcc** (tedy připojit je na +5 V). Pokud tyto vstupy necháme nezapojené, může se celý integrovaný obvod chovat podivně až nevyzpytatelně.

Integrovaný obvod **L293** ale také musíme napájet elektrickým proudem. Pro tento účel má obvod vstup označený **Vcc**, na který přivedeme napájecí napětí, které bude mít stejnou velikost jako napájecí napětí řídicích logických obvodů. Toto napětí je většinou 5 V, pro první pokusy ale vyhoví i napětí v rozsahu 4,5 až 6 V. Druhé napájecí napětí **Vss** je určeno k napájení připojených motorů a může se pohybovat v rozsahu 4,5 až 36 V. Protože proud musí také téci zpět ke zdroji, na jeho nulový potenciál připojíme čtyři piny, označené **GND**. Při pokusech s tímto obvodem se často zapomíná, že oba zdroje napájecích napětí (**Vcc** a **Vss**) musí mít propojený zemní potenciál (**GND**), tedy záporný pól, jinak obvod rozhodně nebude správně fungovat a mohl by se i zničit!

Každý z H-můstků v obvodu **L293** může dodat do zátěže proud až 600 mA. Protože obvod nemá žádnou ochranu proti zkratu na výstupu, doporučujeme vždy před zapojením napětí **Vss** pečlivě zkontrolovat celé zapojení. Zkrat na výstupu obvod spolehlivě zničí.

Jak jsme zmínili již v předchozí kapitole při popisu obvodu **ULN2803**, polovodiče, které jsou vytvořeny na jediném křemíkovém čipu, mají natolik shodné vlastnosti, že mohou být zapojeny paralelně a tím zvětšit své proudové zatížení. Podobně je to i u tohoto obvodu – spojením obou systémů paralelně lze zvětšit jeho proudové zatížení na dvojnásobek, to je na 1 A. Paralelní zapojení je jednoduché: spojíme vývod **A1** a **A3**, vývod **Y1** a **Y3** a podobně **A2**, **A4** a **Y2**, **Y4**.

Protože, jak jsme již zmínili, jedná se o obvod starší konstrukce, má také své nectnosti, o kterých výrobce skromně mlčí. V tomto případě se jedná o nutnost oddělení vstupů **A1** až **A4** od ovládací logiky pomocí rezistorů o hodnotě 220 až 1000 ohmů, jinak, pokud se můstek dostane do některého z mezních stavů (například mírné přetížení výstupu), sníží se impedance vstupů a začnou pro připojené logické členy ovládacího systému představovat zkrat na zemní potenciál. Připojené rezistory nedovolí průtok nadměrného proudu a k problémům díky tomu nedochází.

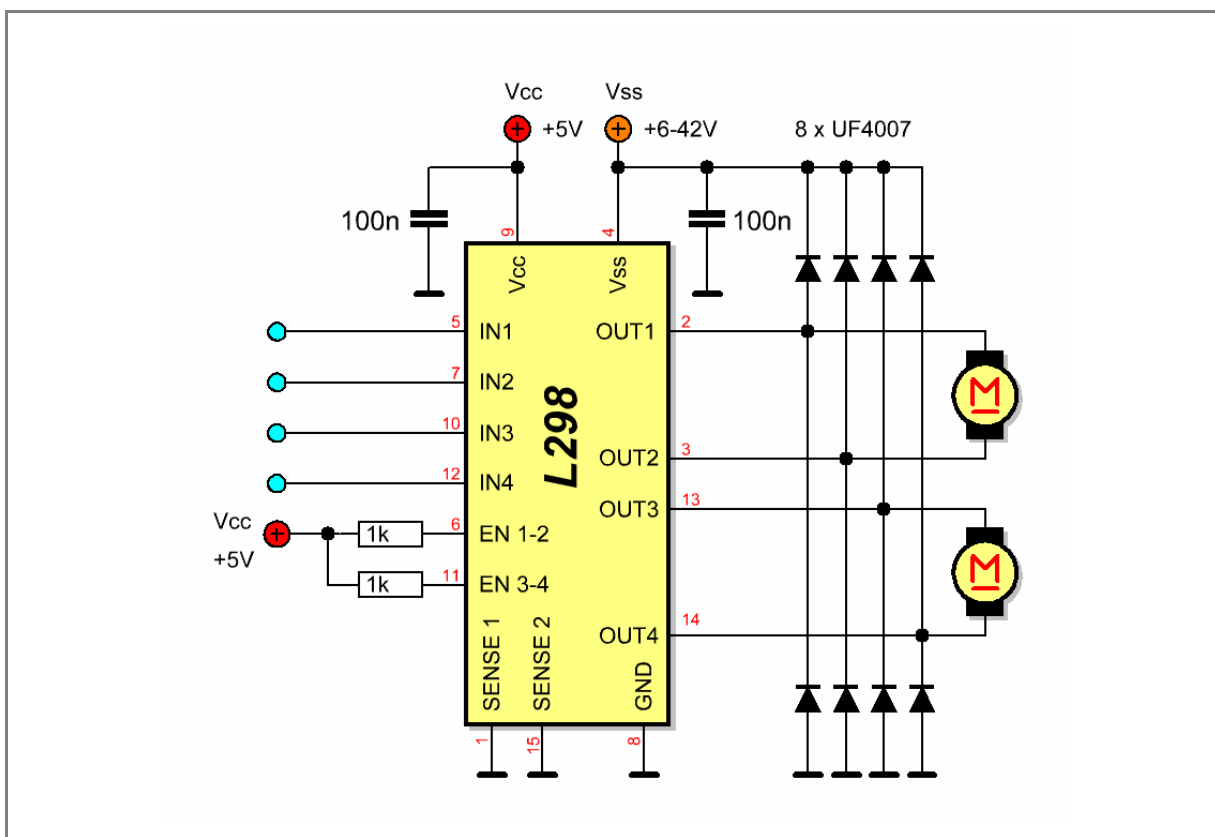
Je pochopitelné, že tato drobná vada na kráse nedala spát konstruktérům jiných elektronických firem a tak firma Texas Instruments přišla s obvodem **SN754410**, který je, co se týká funkce a zapojení pinů, přesnou kopií obvodu **L293D**, ale má jednak odstraněny jeho nectnosti a za druhé má díky modernějšímu vnitřnímu zapojení vyšší povolený proud jednotlivých můstků – 800 mA.

H-můstek s integrovaným obvodem L298

L298 je také obvod z dílny ST Microelectronics, také starší konstrukce a také původně určený pro řízení krokových motorů. Je též dvojkanálový, ale maximální povolený proud na každém výstupu je 2 A. Za větší výstupní proud ovšem platíme trochu větší složitostí zapojení (obrázek 15).

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí: 6 až 42 V
- Povolený výstupní proud jednoho můstku: 2 A
- Vstupní napětí řídicích vstupů: 2,5 až 6 V



Obr. 15: H-můstek L298 se všemi potřebnými vnějšími součástmi

Pro ochranu výkonových výstupů před indukovaným napětím z motoru je potřeba osm vnějších ochranných diod.

Vývody, označené **EN 1-2** a **EN 3-4** mají stejnou funkci, jako u obvodu **L293**, tedy odpojení výstupů. Za zmínku stojí ještě vývody, označené **SENSE**. Na tyto vývody jsou připojeny na spodní konce H-můstků v obvodu (v jiných obvodech bývá tento bod přímo spojen s GND) a umožňují tak připojení snímacích rezistorů, na které převádějí proud, můstkem protékající na úbytek napětí a tím je možno snadno měřit jeho velikost.

Aplikační poznámky k integrovaným H-můstkům L293 a L298

Přestože existuje množství modernějších a „chytřejších“ integrovaných obvodů pro řízení směru a rychlosti otáčení elektromotorů, mají obvody **L293D** a **L298**, díky své snadné dostupnosti, láci a snadno použitelnému pouzdru u amatérů stále své nezastupitelné místo.

V poslední době se však stále více setkáváme při použití tohoto obvodu s konstrukčními chybami, které jeho vlastnosti degradují a působí nejen různá „nevysvětlitelná“ selhání, ale často i zničení obvodu.

Ponechme nyní stranou šedou teorii a zaměřme se na některé aspekty návrhu zapojení, které přímo ovlivňují jeho funkčnost.

- Rekuperační diody. Tyto diody omezují na přípustnou hodnotu napěťové špičky, které nevyhnutelně vznikají při rychlém rozpínání indukční zátěže, kterou představuje klasický komutátorový motor. Aby tyto diody dokázaly skutečně ochránit výkonové tranzistory ve vnitřní struktuře obvodu L298 před přepětím, musí být jejich spínací čas (tj. čas, po kterém dioda teprve začne vést proud po přiložení napětí na její vývody) kratší, než 200 nanosekund (ns). Tak zní doporučení výrobce, které ovšem pochází ještě z dob, kdy diodu s kratším spínacím časem bylo obtížné vyrobit. V dnešní době však není problém obstarat diody s mnohem menším spínacím časem. Doporučení pro obvod L298 tedy zní: diody UF4007 (GMe 220-022) se spínacím časem 75 ns.
- Maximální povolený proud. Ve starších katalogových listech se uvádí maximální proud jednoho H-můstku 2,5 A, podle našich zkušeností (a podle oprav v novějších katalogových listech) není vhodné překračovat pracovní proud 2 A.
- Chlazení. Obvod musí být VŽDY opatřen chladičem, který zajistí, že teplota pouzdra nepřesáhne 70° C. Jeho plochu nelze přesně určit, protože závisí na mnoha faktorech, ale měla by být vždy nejméně 10 cm². S výhodou je ovšem možno využít například kovovou kostru zařízení, protože chladičí křídélko je možno spojit s nulovým potenciálem (0 V, GND).
- Obě napájecí napětí (napětí pro motor i napětí pro vnitřní logické obvody) musí být vždy blokována keramickými kondenzátory o hodnotě 100n a, pokud možno, k nim paralelně připojenými elektrolytickými kondenzátory. U napětí pro napájení vnitřních logických obvodů postačí hodnota elektrolytického kondenzátoru 10 M, u napětí pro elektromotory je vhodné použít alespoň hodnotu 470 M. Oba kondenzátory (bez ohledu na skutečné napájecí napětí obvodu) je vhodné dimenzovat na napětí alespoň 50 V.
- Ochrana proti zkratu. Obvod L298 má samostatně vyvedeny spodní konce obou H-můstků, takže mezi tento vývod a zem napájecího napětí je možno s výhodou připojit ochranný prvek. Může to být vratná polovodičová pojistka typu polyswitch, běžná tavná pojistka, vhodně dimenzovaná vláknová žárovka nebo jen rezistor, který omezí zkratový proud na hodnotu, která H-můstek přímo neohrozí. Úbytek napětí na tomto rezistoru je lineárně závislý na velikosti protékajícího proudu a je tedy možno ho s výhodou použít

jako snímací rezistor přídavné elektronické pojistky či regulátoru proudu. Pokud ve své konstrukci používáte zdroj napětí, který již ochranu proti zkratu má vestavěnou, pak tento vývod spojte přímo se zemí napájecího napětí.

- Drobnost, na kterou se často zapomíná: zemní spoje (0 V, GND) obou napájecích napětí musí být spojeny! Zní to možná samozřejmě, ovšem autoři už pomáhali oživovat několik zapojení s tímto obvodem, u kterých se na tento důležitý spoj zapomnělo...
- Ošetření vstupů. Všechny vstupy by měly být ošetřeny tak, aby na nich byla správná logická úroveň i v případě, že nejsou nikam připojeny. V případě vstupů IN1 až IN 4 to mohou být pull-up rezistory přibližně 10 kohm, v případě vstupů ENABLE je třeba se rozhodnout, zda nečekané náhodné zapnutí motorových výstupů můstků (náhodným přerušením přívodu, chybou v programu či selháním řídicího systému) nemůže způsobit nějaké škody. Pokud ne, ošetříme vstup ENABLE rezistorem pull-up² stejně, jako vstupy IN1 až IN 4. Pokud ano, pak je výhodnější tento vstup ošetřit rezistorem v zapojení pull-down³, který zamezí nečekaným nehodám.

H-můstek s obvodem TB6612FNG

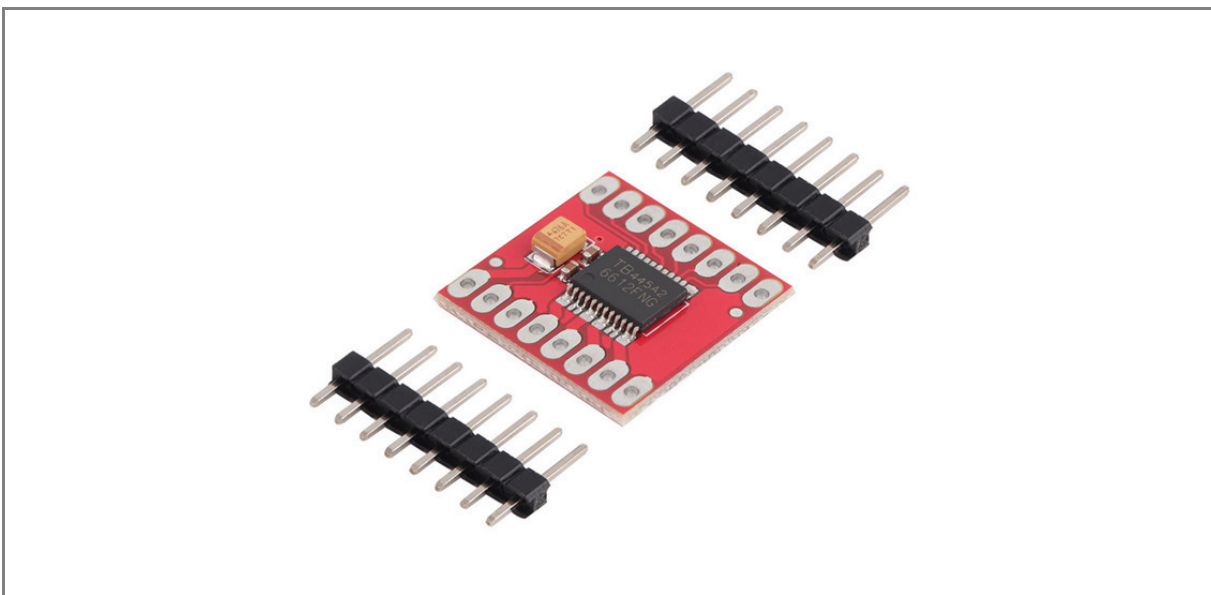
Obvod TB6612FNG obsahuje ve vnitřní struktuře dva H-můstky včetně ochrany proti přehřátí a přetížení. Koncový stupeň na bázi FET tranzistorů ve vnitřní struktuře tohoto obvodu má mnohem větší účinnost než výše uváděné starší obvody s bipolárními tranzistory. Proto také může být pouzdro obvodu při zachování stejných parametrů mnohem menší.

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí motorů (VM): 2,5 až 13,5 V
- Napájecí napětí logických obvodů (VCC): 2,7 až 5,5 V
- Výstupní proud: 1 A na kanál (2 A impulzně)
- Maximální frekvence PWM: 100 kHz

² Rezistor pull-up je zapojen mezi logický vstup obvodu a napájecí napětí a zaručuje, že na tomto vstupu bude vždy – i v nezapojeném stavu – správná logická úroveň H.

³ Rezistor pull-down je zapojen mezi logický vstup obvodu a nulový potenciál napájecího napětí a zaručuje, že na tomto vstupu bude vždy – i v nezapojeném stavu – správná logická úroveň L. Hodnoty rezistorů je třeba určit při návrhu zapojení, ale ve většině případů pro napájecí napětí 5 V vyhoví jako pull-up rezistor s hodnotou 10k a jako pull-down rezistor s hodnotou 1k.



Obr. 16: Můstek TB6612FNG, umístěný na modulu (viz příloha)

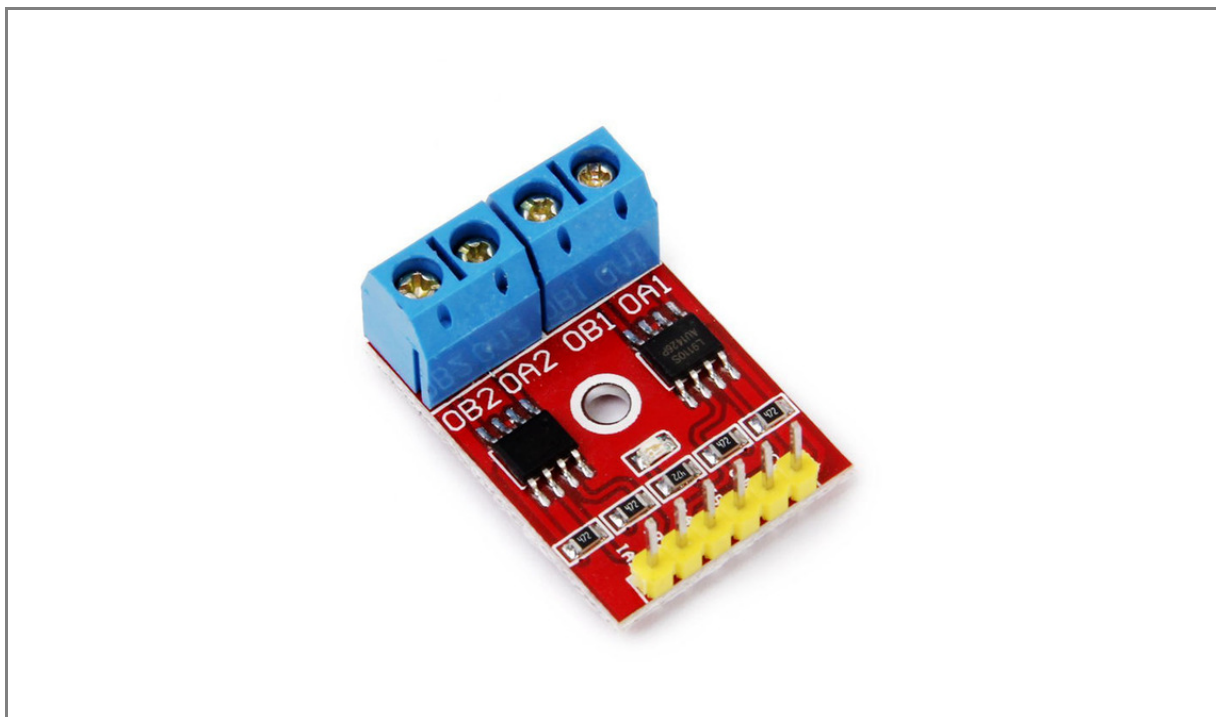
H-můstek s obvodem L9110

Tento H-můstek platí za svou jednoduchost a nízkou cenu tím, že není chráněn proti proudovému přetížení, zkratu, zvýšenému napětí ani prepólování.

Obvod L9110, se vyrábí v klasickém pouzdru DIP8 nebo v SMD provedení SOP8.

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí: +2,5 až 12 V
- Maximální výstupní proud jednoho můstku: 0,75 A
- Vstupní napětí řídicích vstupů: 2,5 až 5 V

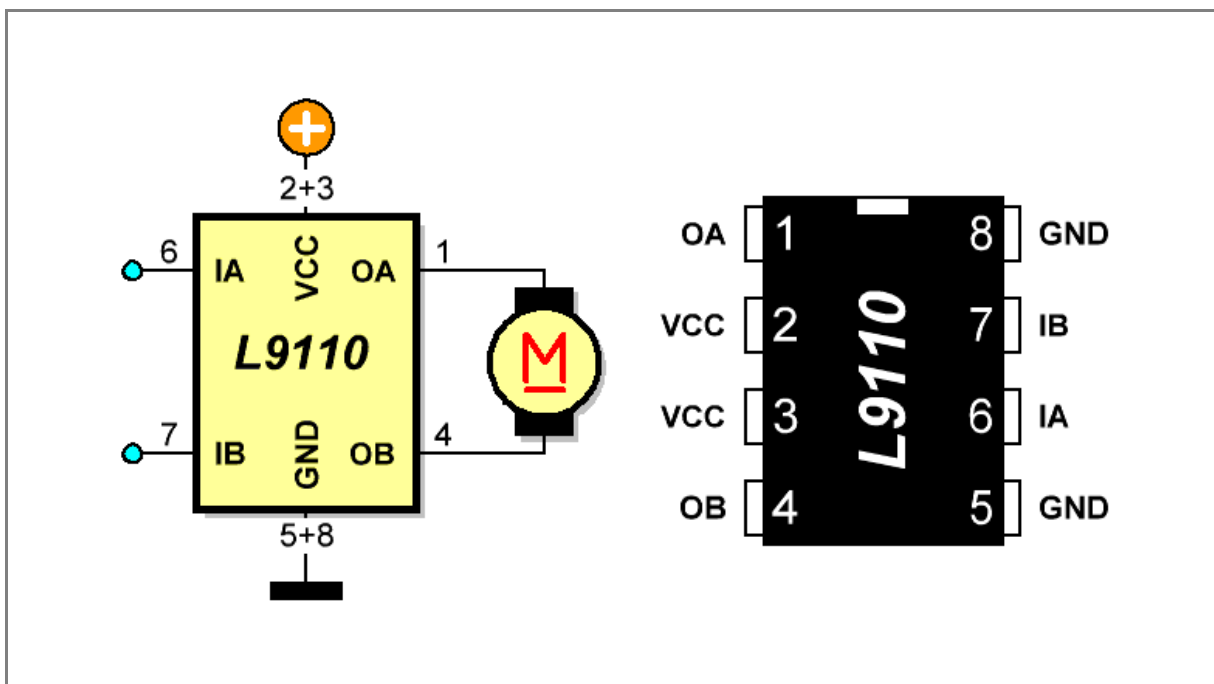


Obr. 17: Dva můstky L9110, umístěné na modulu (viz příloha)

Obvod má dva vstupy pro chod motoru vpřed a vzad, motor se zapojuje přímo mezi výstupy obvodu. Nezapojené vstupy drží spolehlivě úroveň L, v úrovni H do nich teče proud kolem 1 mA. Úroveň napětí pro L je nejvýše 0,7 V, pro úroveň H typicky kolem poloviny napájecího napětí. Proud motorem smí být trvale 0,75 A, ve špičce 1,5 A.

V katalogovém listu je uvedena tabulka logických hodnot vstupů a výstupů, vyžaduje však doplnění. Pokud je právě jeden vstup v úrovni H, je příslušný výstup a úroveň H a druhý v úrovni L, motor se točí. Pokud jsou však oba vstupy v H nebo v L, jsou oba výstupy v podstatě ve třetím stavu, nikoli v L, jak je uvedeno. Znamená to tedy, že obvod nedokáže připojený motor brzdít zkratováním jeho vinutí.

Na výstupech jsou trvale zapojeny ochranné diody.



Obr. 18: Základní zapojení H-můstku s obvodem L9110

Můstek v typickém zapojení nevyžaduje žádné přidavné součástky. Vstupy mohou být připojeny přímo k mikrokontroléru, v případě výstupů s otevřeným kolektorem je nutný pull-up rezistor, při napájení 5 V je vhodná hodnota $\leq 1 \text{ k}\Omega$. Dynamicky zvládá L9110 bez problémů kmitočty do 40 kHz, pro PWM by měl být nejkratší čas sepnutí kolem 15 μs .

Další H-můstky

Jen pro zajímavost si uveďme ještě některé další integrované obvody, které mohou být pro daný účel použity.

Jsou to například:

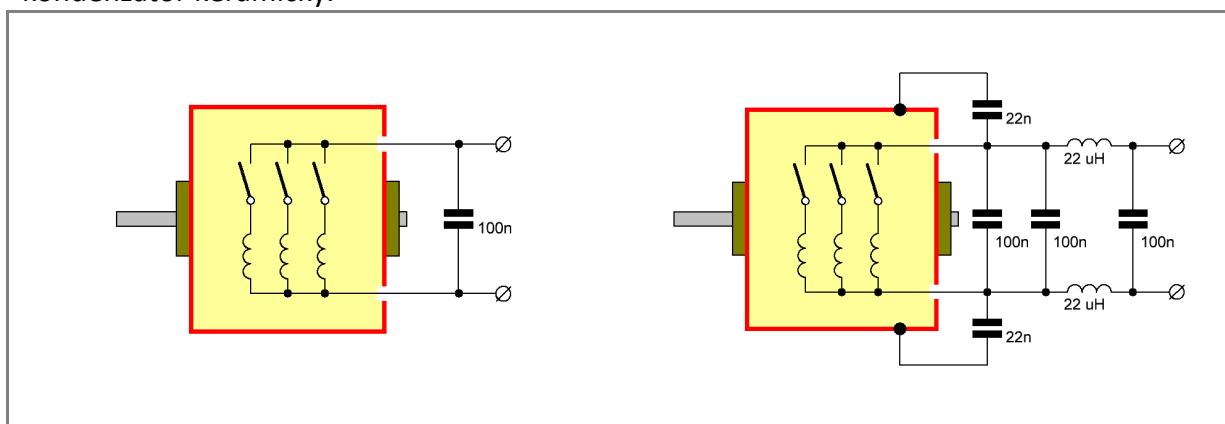
- **L6203** (ST Microelectronic)
- **HT6751B** (Holtek)
- **SM1836M** (Sanyo)
- **VNH3SP30** (ST Microelectronics)
- **A3952** a **A3953** (Allegro Microelectronic)
- a mnohé další.

Odrušení elektromotoru

Aby zařízení fungovalo co nejlépe a nerušilo ani vlastní elektronická zařízení, ani další elektrické a elektronické spotřebiče, musíme k motorkům zapojit několik levných součástek. Odrušení je velmi důležité, vyvarujeme se tak různých „záhadných“ poruch, výpadků programu a podobných problémů.

Rušení v klasických stejnosměrných elektromotorech vzniká především při odsakování sběračů (= kartáčků) od komutátoru motoru. Malé elektrické oblouky, projevující se jiskrami, které přitom vznikají, generují elektromagnetické širokopásmové rušení. Základním odrušovacím prvkem je kondenzátor, zapojený podle *obrázku 19* mezi oba vývody motoru.

Jeho hodnotu volíme přibližně 100 nF, provozní napětí na které je kondenzátor určen, zvolíme nejméně dvojnásobné, než je provozní napětí motoru a rozhodně použijeme kondenzátor keramický.



Obr. 19: Základní odrušení komutátorového motoru keramickým kondenzátorem Obr. 20: Úplné odrušení komutátorového motoru

Dalším stupněm odrušení je zapojení dvou tlumivek do přívodu proudu k motoru a dvojice keramických kondenzátorů s hodnotou (přibližně) 47 nF vždy mezi jeden vývod motoru a plášť motoru (*obrázek 20*).

Protože pláště motorů bývají povrchově upravené a špatně se pájí, je potřeba je před pájením očistit – nejlépe oškrábáním až na lesklý kov a pak pocínovat s použitím kalafuny.⁴

⁴ Varujeme před používáním agresivních pájecích prostředků, i po opláchnutí občas způsobují korozi. Hlavně ale výpary, vznikající při pájení s takovýmto pájecím prostředkem narušují smaltovou izolaci drátu, kterým je navinuto rotorové vinutí elektromotoru. Toto narušení je příčinou mezizávitových zkratů ve vinutí, zvětšení odběru proudu a v nejhorším případě i spálení elektromotoru.

Předstih

Tento termín se obvykle spojuje se spalovacími zážehovými motory. Co to vlastně je? Pokud by spalovací motor byl symetrický, došlo by k zapálení směsi jiskrou přesně když je píst v hodní úvratí. Jenže ono reálně nějakou dobu trvá, než se směs jiskrou zapálí, než shoří, než stoupne tlak ve válci. Když má tlak horkých plynů nejlepší podmínky konat práci, byl by už píst o kus dál, už by mu „utekla“ nejlepší poloha. Motor bez předstihu by také nějak běžel, ale s malým výkonem. Je žádoucí, aby k zážehu došlo o trochu dřív, ještě před horní úvratí pístu, aby až palivo shoří a tlak stoupne, byl píst právě za úvratí, v optimální poloze. Předstih je úhel pootočení, o který je třeba posunout zážeh před horní úvratí. Takto by to stačilo vyjádřit, kdyby motor pracoval ve stále stejných otáčkách, protože se ale otáčky mění, je často lepší vyjádřit předstih jako čas, o který se musí zapálení posunout před dosažení horní úvratí.

U elektromotorů je podstata naprosto stejná, místo pohybu pístu máme otočení rotoru vůči orientaci magnetického pole statoru, u malých motorů je to vlastně vůči poli permanentních magnetů statoru. Předstih je úhel pootočení komutátoru, který zajistí, že k přepnutí proudu dojde dřív. Proč dřív? Protože rychlost nárůstu proudu ve vinutí motoru je omezen mimo jiné indukčností vinutí a ihned po přepnutí nedosáhne plné velikosti (analogie doby hoření směsi).

Je-li elektromotor bez předstihu, bude se v obou směrech otáčet stejně, ale nebude mít příliš dobrou účinnost. Zavedeme-li předstih, účinnost se v jednom (předpokládaném, vyznačeném, ...) směru citelně zlepšší, ale v druhém zase zhorší. A to je podstata věci.

Uhlíky vs. kartáčky

Stejnosměrné motory často nejsou konstruovány jako symetrické. Když otočíme polaritu napájení, budou se sice točit obráceně a dají se takto použít, ale jejich vlastnosti nejsou v obou směrech stejné. První asymetrie vyplývá už třeba z konstrukce komutátoru. Jsou-li v motoru použity ke kontaktu s komutátorem uhlíky vedené v šachtě kolmé na osu rotoru, chová se tento kontakt převážně symetricky, je jedno, na kterou stranu se rotor otáčí (malé rozdíly mohou být třeba v tom, jak jsou chodem zaoblené hrany kontaktů komutátoru).

Malé motory ale nemívají uhlíky, najdeme v nich kartáčky s pružného plechu. Kartáčky jsou uchycené na jedné straně, takže při jednom směru otáčení jsou komutátorem taženy a klouzají po něm, při druhém směru otáčení jsou komutátorem tlačeny, a i když většinou pracují také dobře, přece jen kladou o něco větší odpor. Typicky se rozdíl výkonu při obou směrech otáčení, které do motoru vnese nesymetrické uspořádání kartáčků, vejde do 3%.

Jak velký vůbec předstih elektromotorů je?

Obecně čím je motor určený pro vyšší otáčky, tím větší. Běžně se pohybuje v jednotkách stupňů (typicky 3 až 5 stupňů), ale u speciálních motorů může být až v desítkách stupňů.

Dá se nějak předstih motoru změnit nebo nastavit? Většinou se změnit nedá bez poškození motoru, protože je nastaven ve výrobě pootočením a zalisováním zadního čela motoru proti plášti motoru. V plášti jsou pevně usazeny magnety starotu, zadní čelo nese držáky uhlíků (kartáčků).

U některých motorů, zejména průmyslových, najdeme na čele prvky, jimiž se dá předstih nastavit. Na dalším obrázku je takový malý stejnosměrný elektromotor na 24V, který má vyznačený směr otáčení a polaritu napájení, seřízení předstihu v rozsahu asi ± 10 stupňů se dá udělat po povolení šroubů a pootočení zadního čela proti plášti (proto jsou také napájecí vývody ve velkých oválných otvorech).



Nastavení předstihu u motoru z MEZ Náchod

Další obrázek ukazuje totéž v jiném provedení, výkonný modelářský motor VM-24/12 má na zadním čele (zadním dílu motoru) rysku, na těle je stupnice, seřízení se dá nastavit plynule na obě strany.



Stupnice a ryska pro seřizení motoru

Některé motory mají v plášti proti kraji zadního čela tři drážky, na čele je výstupek, který zapadne do jedné z nich. Podle natočení ve výrobě se pak motor nastaví jako levý, symetrický nebo pravý, a následně zalisuje. Uživatelská změna je mírně řečeno problematická. Mnoho levných stejnosměrných motorů se dělá s malým pevně nastaveným předstihem bez možnosti změny, přitom předpokládaný směr otáčení je ten, který odpovídá šipce na motoru nebo vyznačené polaritě napájení. Změna není možná, ale můžeme maximálně zjistit, zda motor se chová různě v obou směrech (je nesymetrický), nebo ne (je symetrický).

Jak na to?

Jak optimální předstih stejnosměrného motoru nastavit? Roztočíme motor v požadovaném směru s přiměřeným zatížením. Napájíme jej ze zdroje konstantního napětí, měříme odebíraný proud a otáčky. Začneme pomalu posunovat časování motoru proti smyslu otáček. Otáčky stoupají a roste i příkon (proud), poté přestanou otáčky růst a roste už jen proud. Vrátime se do bodu, kdy otáčky přestaly růst (nebo velmi těsně před něj) a polohu zaaretujeme. Typický úhel bývá 10 až 15° proti neutrálnímu motoru.

Jak velký je vliv správného nebo nesprávného předstihu?

Proti neutrálně nastavenému malému stejnosměrnému motoru s permanentními magnety dokáže správně nastavený předstih získat kolem 10% účinnosti. Stejný předstih ale při opačném směru otáčení zhruba o 10% účinnost zhorší. Takže když máme oba motory optimálně nastavené, ale jeden z nich v obráceném režimu, je rozdíl v účinnosti až kolem 20%, a to je hodně velký rozdíl, který se hned pozná na chodu i na spotřebě.

Co z toho všeho plyne?

I když si asi jen málo uživatelů troufne předstih elektromotoru seřizovat a většinou to vůbec nejde, je dobré rozumět tomu, proč jsou vlastnosti motorů různé při změně směru otáčení. Jde-li o co nejlepší účinnost, ať už kvůli omezení spotřeby energie a prodloužení doby činnosti, nebo je cílem co nejvyšší výkon, pak nemá v dané aplikaci symetrický motor co dělat. Potřebujeme motor s optimálně naladěným předstihem provozovaný jen v jednom (nebo přinejmenším v převažujícím) směru otáčení a když se směr otáčení musí často měnit, je na místě nasadit motor, který to umí, tedy motor s elektronickou komutací.