

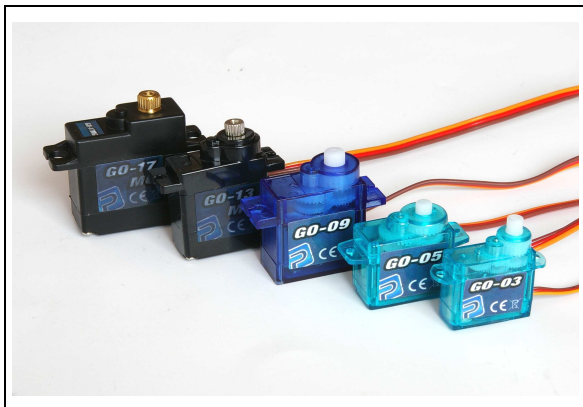


Serva v robotice

Tato příručka se zabývá především modelářskými servy a jejich použitím v jiných oblastech, než pro která byla původně určena. Snaží se poskytnout přehled o rozdělení serv, jednotlivých konstrukčních celcích a nejdůležitějších parametrech, které jsou podstatné pro správný výběr výrobku k danému účelu, uvádí i nejčastěji prováděné úpravy. Protože se modelářská serva velmi snadno řídí analogovými obvody i mikrokontroléry, jsou již tradičně prvkem běžně používaným v amatérské robotice, nastavují plošiny pro fotoaparáty a kamery, ovládají spouště přístrojů v podvodních pouzdrech, používají se při stavbě začátečnických CNC strojů, k nastavování polohy malých antén i dalekohledů, nachází uplatnění v prototypch průmyslových strojů atd. Představují nejjednodušší a v mnoha případech i nejlevnější řešení, má-li být výstupem elektronického zařízení mechanický pohyb, respektive výchylka.

Text je určen pro zájemce bez ohledu na věk, kteří zvládají základní pojmy jako jsou třeba napětí, proud, síla nebo moment, postačuje na úrovni fyziky základní školy.

Standardní servo



V mnoha případech najdeme na internetu i v konstrukčních popisech pojem „standardní modelářské servo“, ale co to vlastně je? Na rozdíl od „běžného pracího prášku“ z reklam toto servo je poměrně dobře technicky definované. Potíž je v tom, že odpovídá nejpoužívanějším modelářským servům z období 90. let 20. století, dnes ho budeme hledat obtížně. Jak se za 20 let změnil pohled na parametry, si asi každý dokáže představit, zejména když vezme jako měřítko pokrok ve výpočetní technice za podobné období.



Drtivá většina serv má výstupní unašec opatřený mnohohranem, na který se nasazuje výstupní kotouč nebo páka. Za základní parametry považujeme moment, maximální rychlost pohybu, napájecí napětí a odběr proudu, rozměry serva a hmotnost. „Standardní servo“ má rozměry kolem 40x40x20 mm a montuje se pomocí patek přes gumové silentbloky „na výšku“. Osa otáčení bývá svislá, ale servo může samozřejmě pracovat v libovolné poloze. Typické napájecí napětí je 4,8 V. Hmotnost standardního serva bývá kolem 50 g, moment na výstupu 3 kg.cm a rychlost přejezdu 0,2 s/60°. Často jmenovaným

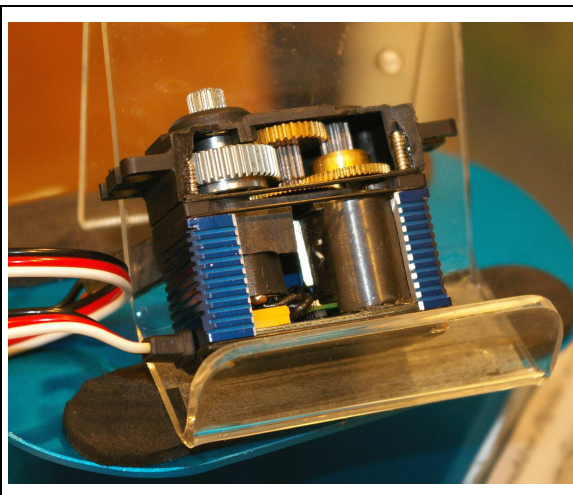
„standardním“ servem je dnes již nevyráběný typ HS-300 od korejské firmy Hitec, jeho pozici v sortimentu převzal současný typ HS-422 stejného výrobce, cena se pohybuje kolem 300 Kč.

Pohled na „standardní servo“ se v průběhu let měnil a není důvod, proč by tomu tak nemělo být i v budoucnu. Vždy ale vnímání parametrů „standardního serva“ mělo za aktuálním stavem techniky určité (a ne malé) zpoždění. Musíme si také uvědomit, že modelářská proporcionální serva nejsou novinkou, to na fotografii a bylo vyráběno v USA v roce 1964 a představuje tedy už více než půl století historie, přitom jeho konstrukce se od těch dnešních zas až tak propastně neliší.

Konstrukce serv

Typické servo obsahuje několik základních součástí v jednom plastovém, případně kovovém krytu. Je to především motor a na něj navazující vícestupňová převodovka, dále pak snímací potenciometr polohy mechanicky svázaný s výstupním hřídelem (unašečem) a elektronika servozesilovače, která podle vstupního signálu ovládá motor a tím odpovídající polohu výstupu.

Jedno ze základních dělení serv je na analogová a digitální. I když dnes už asi digitální serva převažují, „standardní“ servo je vždy analogové, poloha výstupu se v něm snímá z potenciometru jako napětí, porovnává se s napětím získaným ze vstupního (pulzního) řídicího signálu. Pokud jsou obě napětí stejná (s určitou tolerancí), motor stojí. Při odchylce napětí sepne elektronika motor, ten pootočí výstupem, na nějž je navázaný snímací potenciometr. Tím se odchylka dorovná. Nejde o nic jiného, než klasickou zápornou zpětnou vazbu, do níž je v tomto případě zahrnut i mechanický pohyb.



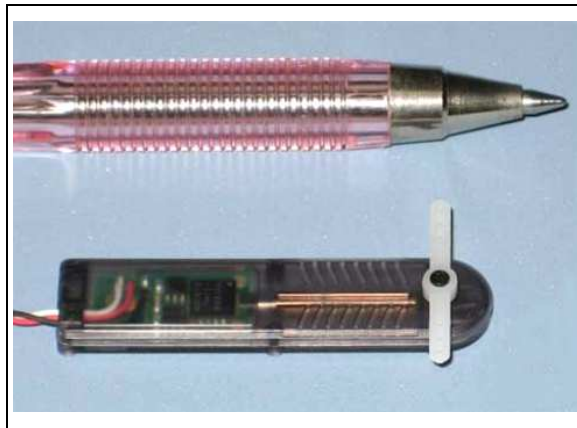
Bylo by logické, kdyby digitální servo mělo všechno digitální, snímání polohy, vyhodnocení mikrokontrolérem a konec konců i krokový (synchronní) motor. Taková serva skutečně existují, ale pod pojmem digitální servo se obvykle rozumí to, které má digitální (jen) vyhodnocení, tedy servozesilovač založený na mikrokontroléru. Snímání napětí potenciometrem i jednoduchý stejnosměrný komutátorový motor s permanentními magnety mu zůstávají. V označení digitálních serv najdeme většinou písmeno „D“ nebo je za typem uvedeno „digital“.

Modelářská serva se zpravidla netřídí podle rozměrů, ty jsou až druhořadé, ale do kategorií podle hmotnosti. Hmotnost je zejména pro modely letadel důležitější. Hranice nejsou naprosto přesně vymezeny a každý výrobce je bere trochu jinak, nicméně výrobky do 5 g obvykle označujeme jako nanoserva nebo sub-mikro serva, mikroserva mají 5 až 10 g, miniserva 10 až 30 g, standardní 30 až 60 g a nad 60 g jsou maxiserva. Hranice nejsou přesné i z toho důvodu, že musí korespondovat také s rozměry a vyrábí se různé odvozené varianty od základního typu serva, které logicky spadají do stejné kategorie, přestože se třeba kvůli kovové převodovce místo lehčí plastové liší o více než 10 g hmotnosti.

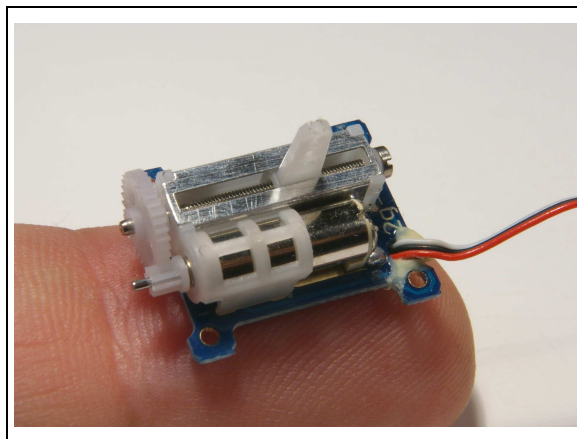
Na obrázku je levné mikroservo ve srovnání s maxiservem.



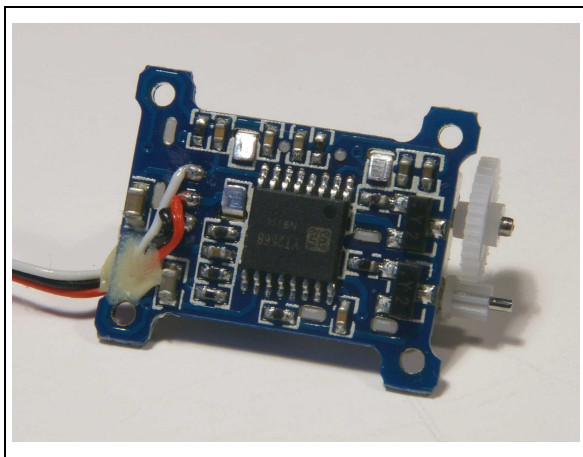
Nejlehčí serva, jako třeba ploché japonské Smart Servo RC-1, jsou relativně drahá, a jejich konstrukce je plně podřízena malé hmotnosti. Pracují na úplně jiném principu.



Nenajdeme v nich motor a převodovku, ale dvě smyčky z vláken BioMetal Fiber (BMF). Vlákná se vlivem změn teploty výrazně prodlužují a zkracují. Smyčky tahají za dvě ramena páky, která otáčí výstupním hřídelem, vždy jedna povoluje a druhá táhne. Rozdílu teploty a tím plynulé výchylky se dosáhne průchodem pulzního šířkově modulovaného proudu. Tato serva jsou využitelná opravdu jen pro extrémní aplikace, mají velmi malý moment, ale kupodivu standardní rychlost reakce.



Nanoserva obvyklé koncepce se vyrábí zhruba od hmotnosti 2 g, ale jsou obecně poruchovější a nelze počítat s vysokou životností a odolností. Stejně konstruovaná serva se často stávají součástí jednoúčelové elektroniky, jakou na jediné desce s plošným spojem v sobě mají třeba populární miniaturní vrtulníčky. Typický moment je 0,2 kgcm. Na fotografii je levný typ nanoserva položený na prstu, na spodní straně je kompletní servozesilovač.



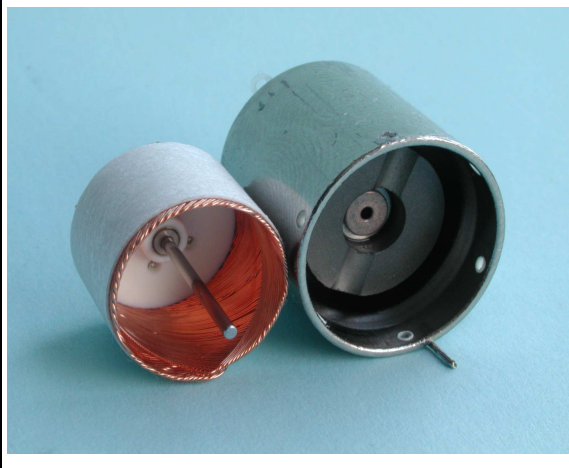
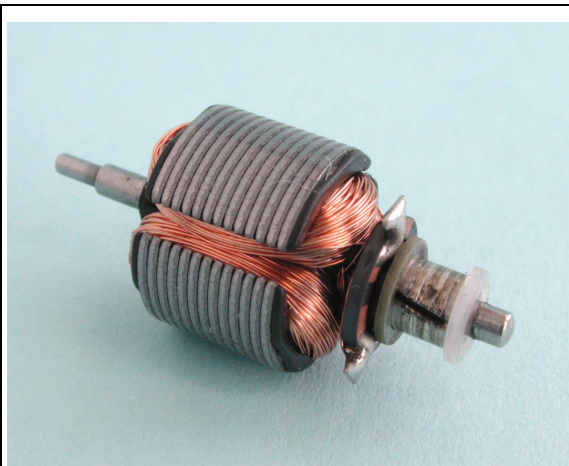
Nejlevnější serva najdeme na pomezí mikro a miniserv (hmotnost 10 g, moment 1,2 kgcm). Typickým představitelem je servo Turnigy TG9, které přijde při dovozu z Číny (www.hobbyking.com) na méně než 2 USD. Podobná serva lze koupit v tuzemských obchodech v ceně kolem 100 Kč. Tato velikost serv je už velmi dobře prakticky použitelná třeba pro malé robotické pokusy, musíme ale počítat s tím, že serva nejsou těsná, odolná proti vlhkosti nebo rázům, při přetížení snadno „vyhoří“ a mají subtilní převody z polyamidu. Jsou navržena jen pro malé zatížení. Vzhledem k ceně nikdo nepředpokládá, že by se opravovala. Někdy dokážou strhnout vlastní převodovku jen zablokováním výstupu.

Konstrukčně solidní serva s uložením výstupního hřídele do kuličkových ložisek, nepřímým náhonem snímače polohy (potenciometru) a dobře chlazeným servozesilovačem se najdou až mezi miniservy a servy standardní velikosti. U nichž většinou začíná platit, že kvalita odpovídá ceně, tedy přinejmenším v rámci sortimentu dané značky. Typický moment současných serv standardní velikosti se pohybuje kolem 10 kgcm.

Mezi maxiservy s momentem běžně 20 až 50 kgcm, jejichž cena výrazně roste, se prakticky nenajdou konstrukčně chybně navržené typy a serva jsou většinou velmi dobrá. U levnější části asijské produkce se však můžeme dost často setkat s chybami z výroby třeba toho typu, že uvnitř krytu se volně povalují odštípané kousky vodičů a dříve nebo později něco zkratují. Pokud se na podobná serva soustředíme, vyplatí se je ještě před prvním zapojením rozebrat, prohlédnout kvalitu spojů, odstranit případné kuličky pájky a zbytky vodičů, zkontrolovat namazání převodů či správné nasazení gumových těsnění.

Motory

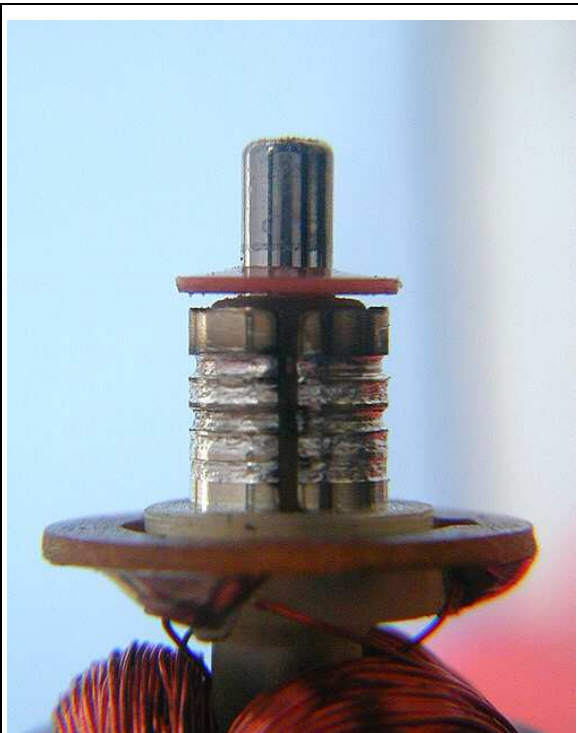
Levné typy serv používají stejnosměrné třípólové komutátorové motory s feritovými magnety.



Ty sice sníží výrobní cenu, ale mají při otáčení nerovnoměrný průběh momentu a vysokou hmotnost rotoru, který svou setrvačností omezuje rychlost rozběhu a brzdění. Komutátor těchto motorů se stejně jako kartáčky otírá a i když kvalitní motory zvládnou řádově miliony přejezdů od dorazu k dorazu, je komutátor nejslabším článkem životnosti serv. Kvalitnější serva mají pětipólové motory s podstatně lépe vyrovnaným momentem. V nano a mikroservech se typicky používají motory o průměru 3 až 6 mm původně určené do vibračního vyzvánění mobilů. Princip je stejný, životnost podstatně nižší, ovšem v daném případě jsou důležité především malé rozměry a hmotnost.

Je-li servo označeno jako „coreless“, má motor se samonosně vinutým rotorem bez plechů. Tyto motory díky podstatně vylehčenému rotoru mají rychlý rozběh a brzdění, za to však platíme obecně vyšším odběrem proudu, který má výrazně pulzní charakter. Komutátory těchto motorů mají menší průměr a vzhledem k vyššímu proudu se více

opalují, tím více tvoří slabé místo z hlediska životnosti. Serva s coreless motory mají smysl tam, kde je při nevelkém růstu ceny důležitá vysoká rychlost rozběhu a zastavení. Typickým projevem poruchy komutátoru je zastavování serva, které dál nereaguje na povely, krátce „ožije“ po vnějším pootočení unašeče a po chvíli se opět zastaví.



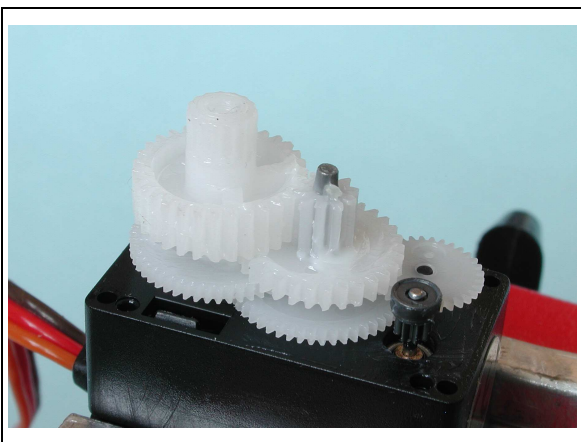
Značně opotřebovaný komutátor z motoru serva FP-148 i kartáčky na fotografiích odpovídají stavu zhruba po půl milionu cyklů pohybu od dorazu k dorazu s momentem kolem jedné třetiny udaného maximálního momentu serva.

Až v poslední době se objevila nejdražší serva se synchronními (střídavými) motory. Jejich výhodou je vyloučení mechanického komutátoru a tím nesrovnatelně vyšší životnost. Pokud jsou tato serva vybavena ochranou proti proudovému přetížení elektroniky a kvalitní převodovkou, stávají se jejich nejslabším místem ložiska, a ta, nejsou-li extrémně namáhána rázy, vydrží

nejméně 10x víc, než komutátor a kartáčky. Současně jsou tyto motory osazovány silnějšími neodymovými magnety. Synchronní motory mají vynikající parametry rychlosti rozběhu, brzdění i momentu, a dovolují i přechod do krokového režimu, i když toto se zatím běžně nevyužívá. S postupným zlevňováním synchronních motorů, které jsou konec konců výrobně jednodušší a levnější než motory s mechanickým komutátorem, se nepochybně bude tato koncepce rozšiřovat i mezi serva levnější kategorie.

Převodovky

Typická převodovka levného serva má 4 nebo 5 dvojitých ozubených kol odstříknutých z bílého polyamidu, pastorek na motoru bývá také plastový.



U nano a mikroserv je toto řešení obvyklé, kvalitnější výrobky mají pastorek z mosazi. Pokud je to možné (přes průhledný kryt je to někdy vidět), dáme kovovému pastorku vždy přednost, plastové často praskají a protáčí se na hřídeli. Polyamid časem ztrácí pružnost, starší serva jsou náchylná k praskání kol nebo odlamování zubů při rázech.



Dražší verze serv označené většinou písmeny M nebo MG (metal gear) mají převodovky kovové.

V malých servech se používá mosaz, ve větších slitiny hliníku, v ještě větších střídavě mosaz a ocel. Zvláštní kategorií jsou serva, která mají v označení písmena T nebo TG (titanium gear), jejich převody jsou z titanu nebo titanových slitin. Takové převodovky jsou suverénně nejdolnější a také nejdražší, dosáhnout u nich stržení zubů je téměř nemožné.



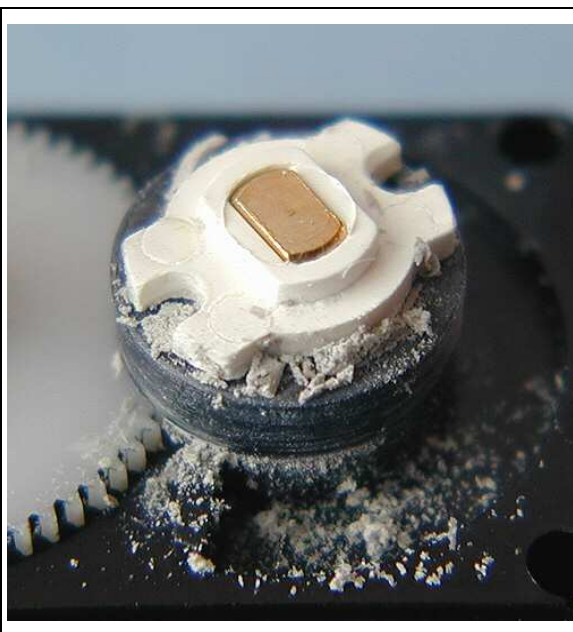
Je lepší plastová převodovka nebo kovová? Na první pohled jednoduchá otázka nemá jednoznačné řešení. Dnešní kvalitní plasty s vysokým podílem uhlíkových vláken (firma Hitec používá např. pojem „karbonitové“ převody) v kombinaci s mosazným pastorkem jsou podobně odolné jako běžné kovové převodovky, ale na rozdíl od nich je plast pružnější, takže převodovka má celkově menší až neznatelné vůle, zatímco na méně kvalitních (i když dražších) kovových převodovkách vždy vůle najdeme. Až ty nepřesnější a nejdražší kovové převody mají vůle zanedbatelné. Opakované rázy dobrá plastová převodovka pohltí a nezmění se, zatímco mosazná kola se nepatrně deformují a deformace se postupně hromadí, až začne převod drhnout.

Když se vyskytnou velké rázy, plast povolí dříve než kov, nicméně na kovové převodovce zůstává nevratné poškození i když je ještě schopná funkce. Pokud jde o lehce nebo běžně namáhaná serva, je asi lepší dát přednost kvalitní plastové převodovce, u hodně namáhaných kovové, a konečně: „Titan to jistí“. Plastové převodovky jsou obecně v chodu o dost tišší, i to může být významné. Značení co do druhu plastu použitého na převody není jednotné.

Pro přesnost respektive zanedbatelné radiální vůle výstupu (unašeče) je důležité, aby výstupní hřídel byl uložen nejlépe do dvou kuličkových ložisek. U levných serv to poznáme z označení BB (ball bearing), u dražších se ale toto neuvádí a považuje za samozřejmost. Levná serva mají třecí uložení do kovových kroužků, pro méně

náročné aplikace vyhoví. Pokud má servo unašeč uložený dole přímo na hřídel snímacího potenciometru a nahoře do plastového kroužku, nevydrží dlouho, dole se vyvíklá potenciometr a nahoře vznikne vůle vymačkáním kroužku.

Nemá-li servo ani samostatný samomazný plastový kroužek a unašeč je uložen přímo do plastu krytu (a nejde o nanoservo), vyhněte se mu, je velmi pravděpodobné, že už po řádově stovkách cyklů se bude plast vydírat, kolem spáry se objeví tmavý „prach“ a vzniknou výrazné vůle. Fotografie zachycuje podobný případ, odírání segmentu, který odděluje unašeč a hřídel potenciometru, z něj je vidět oboustranně zploštělá osa. K tomuto poškození stačily přibližně stovky cyklů.



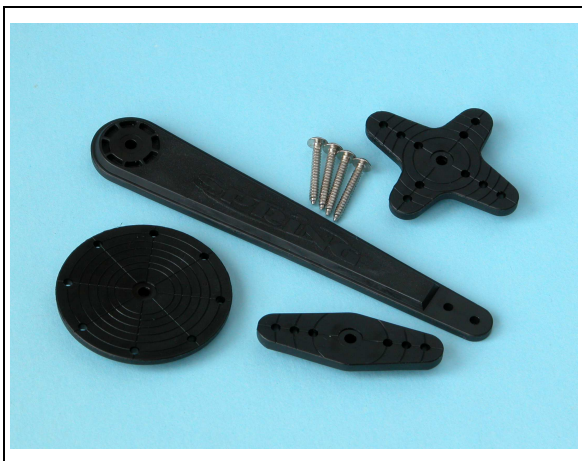
Výrobci obvykle dodávají převodovky (sady kol bez pomocných os) jako náhradní díl v sáčku, nicméně zničení převodovky nebývá na rozdíl od poruchy motoru (komutátoru) důsledkem přirozeného opotřebení serva používaného dlouhou dobu při správném zatížení, ale důsledkem nepřiměřené vnější síly (rázů) přenášených na unašeč. Větší poškození převodů bývá zjevné, je slyšet protáčející se motor a unašeč se nehýbe, drobná poškození se projevují nerovnoměrností chodu a vyniknou zejména při velmi pomalém a plynulém chodu (přeběh výchyly v průběhu několika minut).

Je časté, že příbuzné typy serv se liší třeba jen dvěma koly v převodovce, jedno je pak silnější a pomalejší (high torque), druhé slabší a rychlejší (high speed).



Je-li převodovka ohrožena vnějšími rázy na unašeč, je řešením tzv. „servosaver“, což je malé mechanické zařízení mezi unašečem a pákou (nebo přímo součástí páky), které rázy odpruží. Musí být nastavené tak, aby přeneslo maximální požadovaný moment serva (menší než mezní moment, při němž se servo zastaví). Servosavery najdeme v sortimentu výrobců v oboru modelů terénních aut, v nichž by serva řízení bez servosaveru dlouho nepřežila. Jsou-li rázy jen výjimečné, je další možností vložit do táhla pružný člen z tvrdé gumy.

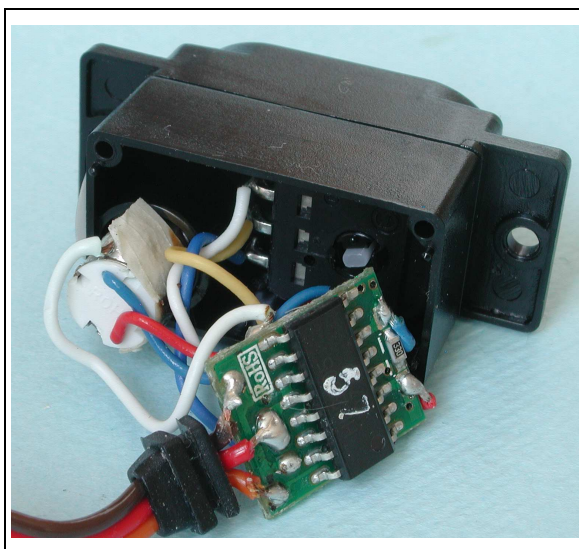
Není-li možné použít servosaver ani pružný člen v táhlu, někdy se záměrně dává plastová polyamidová páka na místo, pro které je jinak přiměřené použít páku s uhlíkovými vlákny (karbonitovou) nebo kovovou duralovou páku. Páka pak tvoří nejslabší článek řetězu, v podstatě mechanickou pojistku, při rázu se přelomí nebo se strhne její plastové ozubení na kovovém unašeči. Náhradní plastové páky se dají koupit za pár korun, ale pozor, jen ty pro běžně dovážená serva. Mnohokrany nejsou nijak unifikované, v podstatě každá firma je vyrábí mírně odlišně a nedají se zaměnit, takže tento postup je velmi nevhodný v případě, že používáme individuálně dovážená atypická serva, u nich pak náhrada páky vzhledem k nákladům na dopravu může být dost drahá.



Na fotografii je sada karbonitových pák dodávaná v příslušenství silnějšího serva standardní velikosti.

Snímání polohy

V drtivé většině typů v současnosti vyráběných serv natočení unašeče snímá potenciometr, který je velmi důležitý pro linearitu pohybu a případně pro přesný souběh více kusů serv. U nano a mikroserv se linearita pohybu při návrhu a výrobě příliš nesleduje, významná začíná být u serv standardní velikosti. Potenciometr by měl mít co největší průměr a vyplňovat celou šířku krytu serva.



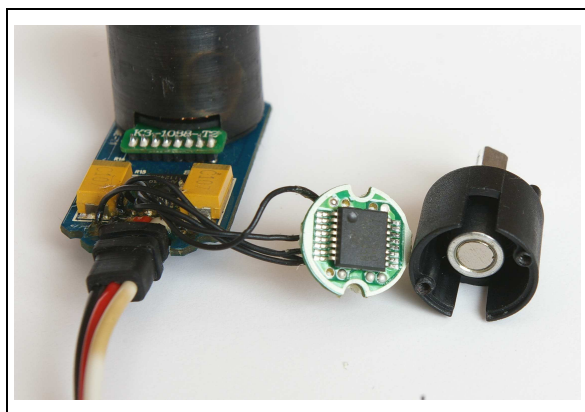
Na fotografii je mikroservo s malým motorem z vibračního vyzvánění telefonu, tedy nepříliš kvalitním, ale s velmi dobrým potenciometrem s vysokou životností, který vyplňuje šířku krytu. Pokud se naopak v krytu 20 mm širokém krčí uhlíkový trimr o průměru 6 mm, nelze čekat ani dobrou přesnost ani linearitu. V takovém případě je pravděpodobné, že se velmi rychle vydrže dráha potenciometru.

Opotřebení potenciometru je úměrné tomu, jak často se servo hýbe, a bývá největší u serv, která vykonávají neustále drobné pohyby. Naopak opotřebení potenciometru prakticky nezávisí na tom, jak je servo namáháno. U některých mikro a mini serv najdeme potenciometry s otevřenou konstrukcí (je volně vidět na jezdec i odporovou dráhu, chybí pouzdro). Takové potenciometry jsou podstatně náchylnější na poškození v prašném nebo vlhkém prostředí, protože kryty malých serv nebývají dostatečně těsné.

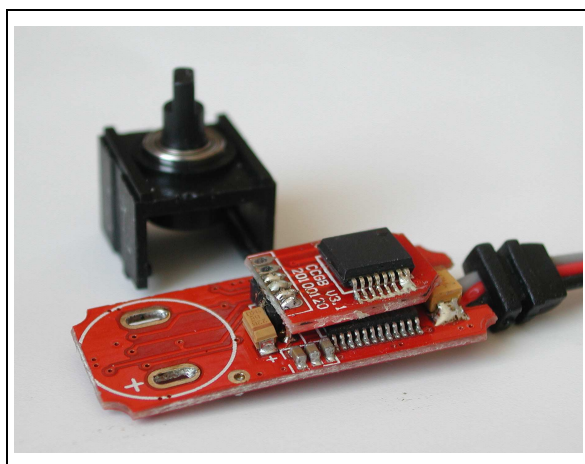
Obvykle je výchylka potenciometru mechanicky omezena na 270°, z toho se využívá kolem 180°. Mechanika serva musí mít dorazy, které omezí

výchylku dřív, než dojde na dorazy potenciometru, jinak velmi rychle dojde k jejich poškození. Vydřená odporová dráha se projevuje drobnými a postupně se zvětšujícími záškuby na unašeči, někdy servo nahodile kmitá kolem jedné určité polohy (nejčastěji kolem neutrálu), v jiných oblastech výchylky pracuje přesně. Opotřebení potenciometru je typickou „nemocí“ starších serv, která nebyla mechanicky přetěžována.

Teprve v posledních letech se v modelářských servech uplatnil jiný, a to bezkontaktní magnetický systém snímání. K unašeči je připevněn permanentní magnet, který se otáčí těsně nad integrovaným snímačem na principu dvou Hallových sond. Magnetický snímač může komunikovat přímo s mikrokontrolérem v servozesilovači a není omezen ani výchylkou 360°, není citlivý na vlhkost nebo znečištění a má dobrou linearitu.



Verze na první fotografii má z plastu, kovového unašeče s vlepeným magnetem a desky se snímačem vytvořenou samostatnou jednotku. „Magnetický potenciometr“ posílá data sériově.



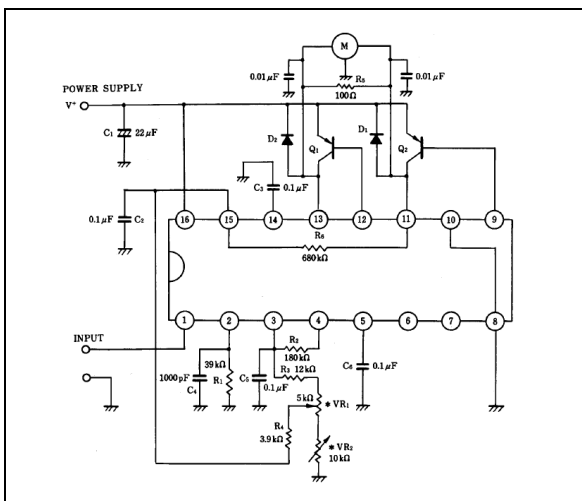
Na další fotografii je jiné používané řešení, snímač je pevnou součástí servozesilovače a držák s magnetem jen přiložen na něj.

Používají se snímací obvody jako třeba AS5145B od firmy Austriamicrosystems AG (www.ams.com). 12-bitový rotační magnetický enkodér má rozsah 360°, takže rozlišení polohy je 0,0879°, reálná přesnost včetně chyb nekompenzované nelinearity se pohybuje kolem 1°. Výstup polohy je poskytován jednak jako sériově přenášené digitální číslo, jednak jako širkově modulovaný pulz (1 – 4097 μ s) s opakováním 244 Hz. Tento signál se může velmi jednoduše převést na napětí. Kromě toho jsou k dispozici i inkrementální pulzy. Při maximálním rozlišení jde měřit pohyb až do 153 ot/min, se sníženou přesností až k 10 000 ot/min. Obvod je v prodeji na internetových stránkách výrobce nebo kusově například v sortimentu firmy Mouser Electronics (cz.mouser.com) asi za 9 EUR.

Nahradíme-li v servu potenciometr magnetickým snímáním polohy a současně komutátorový motor „střídavým“ motorem, je rozdíl v životnosti propastný, nejméně o jeden, spíše o dva řády proti „standardnímu“ servu. Firma Anderson například zaručuje více než 4 miliony cyklů v provozu, není-li servo vystaveno nadměrnému zatížení nebo vibracím, bývá to až 10x víc. Hlavním přínosem je tedy velké zvýšení spolehlivosti a životnosti, kromě toho servům bez kontaktů (označují se contactless – CLS) nevadí prach, mohou dokonce pracovat zalitá v oleji a mohou být i víceotáčková bez změny konstrukce. Samotné magnetické snímání polohy nemá jednotné značení, používají se třeba písmena M nebo Mi. Jedinou nevýhodou magnetického snímání je určitá citlivost na silné vnější magnetické pole, servo by proto nemělo být používáno v těsné blízkosti vodičů, jimiž teče proud řádově desítek ampérů.

Servozesilovač

Základní dělení je na servozesilovače analogové a digitální, rozdíl už byl vysvětlen na začátku, protože určuje i jedno z hlavních dělení serv. V analogových servozesilovačích se dnes používají téměř výhradně jed noučelové integrované obvody. Pokud se podaří najít od těchto obvodů dokumentaci, a to většinou jde, byť za cenu (strojového) překladu z čínštiny, najdeme v zapojení konkrétní popsané součástky, jimiž se nastavuje zesílení, pracovní kmitočet vstupu, šířka pásma necitlivosti i dynamické parametry. Pak už nic nebrání servozesilovač použít pro jiné účely a upravit si jeho parametry podle potřeby. Analogové servozesilovače mají podstatně horší linearitu, zejména překročíme-li základní rozsah šířky vstupních pulzů.



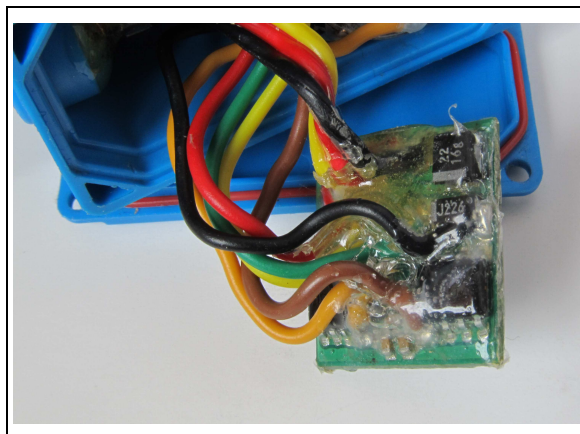
Stejnoseměrný komutátorový motor je buzen pulzy proměnlivé šířky, které jsou generovány synchronně se vstupními řídicími pulzy. V praxi to znamená, že zatížený motor bez pohybu „vrčí“ na kmitočtu přibližně 50 Hz a buzení motoru není z hlediska plynulého řízení a momentu optimální. Ale je to velmi jednoduché a levné. Příklad doporučeného zapojení jednoho z používaných jednoúčelových obvodů NJM2611 je na obrázku. Servozesilovač musí být malý, takže téměř vše je ukryto v obvodu, samostatné jsou většinou jen ty součástky, jimiž se nastavují parametry, odrušení motoru a často PNP tranzistory výkonové části, u výkonnějších serv někdy celý výkonový můstek ze čtyř tranzistorů.

Digitální servozesilovače jsou založeny na naprogramovaných mikrokontrolérech. Jejich vlastnosti neurčují vnější součástky a úpravy parametrů pro jiné účely jsou téměř nemožné. Program výrobce nezveřejňuje a dokumentace od „prázdného“ mikrokontroléru je k ničemu. PWM buzení motoru není synchronní s řídicími pulzy, využívá kmitočtů od 400 do 1200 Hz (nejčastěji 700 Hz), takže zastavený komutátorový motor nevrčí, ale píská. Použité frekvence také lépe korespondují s indukčností vinutí rotoru, moment je řízen plynuleji. Samostatně je nutné zmínit servozesilovače pro synchronní motory, ty jsou vždy digitální a jejich tři nebo šestivodičový výstup zapojením víceméně odpovídá budičům krokových motorů.

Nenápadná, ale dosti důležitá věc je to, jestli výkonové stupně servozesilovačů používají bipolární nebo FET tranzistory. FET mají v sepnutém stavu na sobě mnohem menší úbytek napětí, takže víc zbude pro motor. U serv provozovaných na malé napětí (kolem 3,5 V) tento rozdíl sám o sobě způsobí asi 30 až 40% nárůstu momentu, u serv na 6 V stále ještě kolem 20%.

Většina dnešních serv má v sobě FET spínače, bipolární najdeme ve starších typech, nanoservech nebo typech extrémně levných, ale v současnosti zdaleka ne ve všech. Výrobci použití FET uvádějí v parametrech jen někdy, postupně se víceméně považuje za samozřejmost.

Servozesilovače nemají ochrany proti přehřátí ani nadproudu, vychází se z předpokladu, že je lepší, když chvíli pracují na mezi možností nebo i za ní (a s trochou štěstí vydrží), než aby ochrana omezila činnost serva a byl téměř jistě zničen celý model. Tento přístup v jiných aplikacích asi nebude vyhovovat, případné ochrany proti přetížení a zničení servozesilovače se tedy musí zařídit jinak. Výjimku tvoří některá programovatelná serva; k tomu se ještě dostaneme. Na fotografii je pružným plastem impregnovaný servozesilovač vodotěsného serva, dva osmivývodové obvody dole v rozích jsou dvě výkonové dvojice FET tranzistorů.

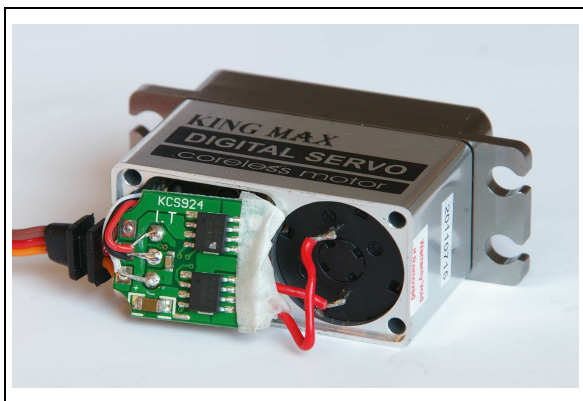


Typické servo má plochý třívodičový barevný kabel, černý (hnědý) krajní vodič je zem (záporný pól napájení), červený nebo oranžový střední vodič je kladné napájení typicky 4,8 V a bílý (žlutý) krajní vodič je signálový, vede řídicí pulzy. Na předchozí fotografii je tento kabel vidět jak vystupuje z horní části desky servozesilovače a jde nahoru.

Dříve osazoval každý výrobce své vlastní konektory, postupem času převládly dva typy, a to Futaba a Graupner/JR/Hitec. Liší se víceméně jen zkosením hran nebo plastovým „praporkem“ znemožňujícím neúmyslné otočení konektoru. Oba typy mohou jako protikus používat kontaktní „propojkové“ pájecí špičky se čtvercovým průřezem a roztečí 2,54 mm, které se levně prodávají v delších lištách a dají se nalámat na potřebné trojice. Otočení konektoru (prohodí se signál a zem) v naprosté většině případů nevede k poškození, servo samozřejmě nefunguje, případně může slabě vrčet (je napájeno řídicími pulzy).

Kryt serva a montáž

Většina serv má třídlílný plastový kryt. Patky pro uchycení šrouby (přes gumové silentbloky) jsou na horní tuhé části krytu s převodovkou, aby se namáhání od unašeče dobře přeneslo na držák. U nano a mikroserv bývá kryt barevný, často i průhledný, u větších je obvyklý černý plast. Barva nemá žádný význam, jen některé firmy ji používají pro odlišení svých výrobků, třeba serva Multiplex jsou obvykle červená. Nano a mikroserva se dají uchytit i z boku oboustranně lepicí páskou, větší je vhodné opravdu dobře přišroubovat.



Má-li servo prostřední díl krytu kovový, není to z estetických nebo pevnostních důvodů ale do této části je vsazen motor a drží v ní i servozesilovač, kovové tělo funguje jako jejich chladič. Tuto část nesmíme překrýt a izolovat, nechlazený motor by se při větším zatížení přehřál a spálil, předpokládá se přinejmenším volné proudění vzduchu kolem. Katalogové údaje serv jsou vždy udávány při 20°C. Jakmile je ale servo namáhané, zahřeje se a jeho moment (i rychlost) klesá. Změna není malá, může dělat 20 - 30%. Důvod je jednak ve zvýšení odporu měděného vinutí v motoru, jednak v servozesilovači a jeho spínacích polovodičích. Má-li servo zůstat silné, nesmí se výrazně zahřívát a musí být dobře chlazen.

Je-li u standardních nebo maxiserv horní část krytu z kovu, typicky duralu nebo oceli, je to proto, aby se převodovka nekroutila, neměnilo se ustavení pomocných hřídelů a tím i převodových kol. Při momentu přes 50 kgcm a titanové převodovce to není nic výjimečného, vlastní plastový kryt takové servo dokáže doslova rozervat, i když na pohled vypadá jako velmi tuhý. U těchto serv používáme vždy všechny čtyři upevňovací šrouby, dva nestačí!



Některá speciální serva mají vodotěsný kryt (dle definice krytí IP67), v jejich označení se vyskytují třeba písmena WP (water proof). Tato serva jsou obecně dražší ale nepatří mezi nejvýkonnější, těsný kryt zhoršuje možnosti chlazení. Na druhou stranu, pokud jsou skutečně ponořena do vody, jsou tím výborně chlazena a jejich parametry se se zatížením zhoršují jen málo. Konkrétně krytí IP67 znamená, že kryt znemožňuje dotek živých částí (pod napětím) jakoukoli pomůckou, zařízení je plně chráněno proti průniku prachu a má snést ponoření do vody do hloubky 1 m na dobu 30 minut, aniž by dovnitř pronikla voda.

Napájení serv

„Standardní“ servo je navrženo pro jmenovité napětí 4,8 V, což odpovídá čtyřem článkům NiCd. Tato serva zpravidla fungují od napětí 3,5 V a jsou schopna vydržet až 6,0 V, i když mohou být přetížena a neměla by takto pracovat trvale. Do značné míry se počítá s reálným vnitřním odporem zdroje (napájecích článků) a servokabelu a poklesem napětí při plném zatížení, takže servo schopné v modelářské praxi pracovat s napájením 6 V (4 alkalické články AA) při napájení z tvrdého stabilizovaného zdroje 6,0 V a zkrácení servokabelu může být přetíženo a vyhořet. Zvyšovat výkon serv zvednutím napájecího napětí na mez nebo i za ni je sice jednoduchý a účinný, ale velmi rizikový postup.

Současná serva mívají uveden rozsah napájení 4,8 až 6 V a také samostatné hodnoty momentu a rychlosti pro obě napětí. Pokud moment pro 6 V není výrobcem uveden, nemělo by se překračovat napájecí napětí 5 V. Některá speciální silná serva se vyrábí pro napájení 12 V a mají samostatné

drátové vývody silového napájení, servokabel slouží jen pro řízení a napájení elektroniky.

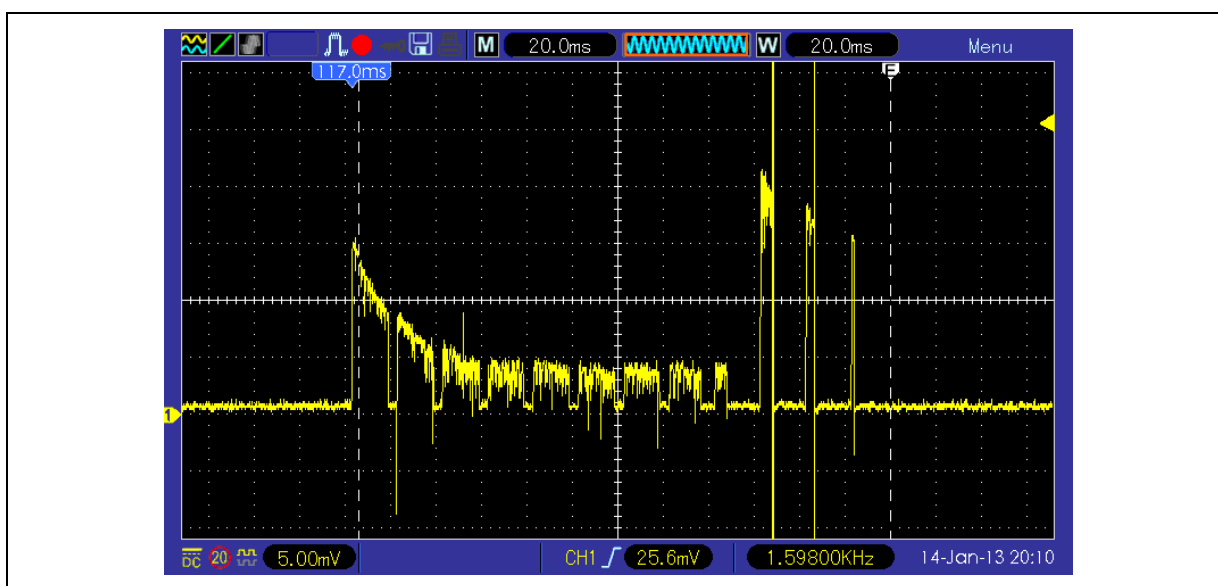
Vzhledem k tomu, že se postupně přechází od NiCd a NiMH k používání Li-pol článků, je už delší dobu na trhu řada „HV“ (high voltage) serv určených k napájení dvoučlánkem Li-pol (Li-ion), tedy jmenovitým napětím 7,4 V (7,2 V). Napájení těchto serv nikdy nesmí překročit 8,4 V (8,2 V), což odpovídá plně nabitým akumulátorům. Zvýšení napětí proti 4,8 V dovolilo zhruba dvakrát zvýšit moment serv při stejné velikosti a hmotnosti, takže pokud jde o výkon, je volba HV serv i přes vyšší cenu velmi rozumná.

Důležitá otázka je, jaký lze čekat proudový odběr serv dané velikosti. Správně zatížené servo (k tomu se dostaneme) ve velikosti nano (do momentu 1 kgcm) bude odebírat 100 až 200 mA, mini nebo standardní servo (do 5 kgcm) bude potřebovat asi 1 – 2 A a největší serva až 6 A. Pokud se servo nepohybuje (je zablokováno), odběr se proti uvedenému maximu zvýší nejméně dvakrát.

Z hlediska dimenzování zdroje si musíme uvědomit, že při každém pohybu serva musí rozjezd překonat nejen moment na unašeci, ale také všechny setrvačnosti a statické tření, takže každý pohyb serva začíná špičkou odběru odpovídající velikosti zablokování pohybu. To platí i v případě, že výstup serva vůbec není

zatížený. Zdůrazňuji znovu: Každý pohyb! U nanoserv můžeme čekat špičku odběru kolem 0,5 A, u maxiserv i přes 12 A. A aby toho ještě nebylo málo, ani rozběh serva není tím okamžikem, kdy je odběr největší. Když se málo zatížené servo při pohybu rychle blíží k požadované poloze, setrvačností ji přejede, začne brzdit a následně se vracet zpět. V tom okamžiku se sečte napětí, které motor generuje ve funkci dynama, a napětí připojené na motor servozesilovačem. Vyšší napětí na motoru vyvolá vyšší proud. Důsledkem je to, že proudové špičky při brzdění z rychlého pohybu jsou ještě o 30 až 60% větší, než špičky při rozběhu. Typický průběh odběru malého analogového serva při jednom přejezdu ukazuje následující obrázek.

V daném případě jeden dílek rastru na svislé ose odpovídá proudu 0,5 A. V první fázi proud prudce stoupne (1,5 A), motor se rozbíhá, postupně proud klesá až dosáhne ustálené hodnoty (0,5 A) při dosažení ustálené rychlosti. Jsou vidět pulzy proudu přibližně po 20 ms, to odpovídá ovládacímu signálu serva. Poslední z nich je viditelně zkrácený, servo se blíží k cílové poloze a ubírá výkon. Pak následuje výrazný proudový pulz (4 A), když servo na požadované poloze prudce brzdí. Brzdící pulzy jsou zde tři, postupně se zkracují.



Odběrové špičky trvají sice jen jednotky milisekund, ale musíme s nimi počítat. Je-li servo na dlouhém kabelu, je vhodné přímo k němu umístit kondenzátory se sníženým sériovým (vnitřním) odporem (low ESR, lépe polymerové), které odběr špiček pokryjí. Pokud jde o napájení z baterie (akumulátoru), je lepší vždy oddělit napájení serv od napájení řídicího mikrokontroléru

a použít buď zcela samostatné zdroje, nebo přinejmenším velmi účinnou filtraci napájení pro mikrokontrolér. Z hlediska špiček odběru tenké servokabely (typicky s průřezem vodičů 0,15 mm², zesílené 0,25 mm²) sice ubírají moment serv, ale také omezují jejich maximální odběr, a tím paradoxně prospívají.

Jakékoli pružinové pouzdro pro akumulátory velikosti AA nebo AAA zvyšuje už beztak velký vnitřní odpor zdroje a je velmi nevhodné, vede k „záhadným“ závadám a výpadkům mikrokontroléru. Když už musí být tužkové nebo mikrotužkové akumulátory použity, měly by být ve formě pájené sady. Žádný AAA článek není už kvůli své konstrukci dimenzovaný na odběr vyšší než 2 A (typicky ale většinou 0,5 A), žádný AA článek nezvládá bez výrazného poklesu napětí větší odběr než 8 A (typicky 1 A), a to musí být ještě opravdu kvalitní akumulátory. Pružinová pouzdra a AA (AAA) články jsou použitelná jen pro malé počty nejmenších serv a s rizikem problémů. Stručně řečeno: Nepoužívejte pružinová pouzdra, a když je používáte, tak se potom nedivte.

Všechny uvedené špičkové proudy platí pro jedno jediné servo. Je-li serv třeba v robotovi víc (ten na titulní stránce jich má 16), nesčítají se sice proudy vždy, ale statisticky k tomu opravdu dochází. Nechceme-li každé servo doplňovat masivními kondenzátory, které by jeho špičky vykryly, je nutné použít dostatečně tvrdý zdroj. Tato problematika svým rozsahem přesahuje možnosti této příručky, pro ilustraci musí postačit následující srovnání:

Použijeme-li pro napájení 6 tužkových článků (AA) kvalitních NiMH akumulátorů Sanyo Eneloop (jmenovité napětí 7,2 V) v pájené sadě, můžeme čekat, že zvládnou krátkodobě odběr kolem 6 A. Stejně velký dvoučlánekový akumulátor Li-pol (jmenovité napětí 7,4 V) bude lehčí, bude mít několikanásobně větší kapacitu a podobnou, při správném zacházení spíše větší životnost. A bude krátkodobě schopen poskytovat proud kolem 100 A.



Na fotografii je tříčláneková sada Li-pol „spotřební kvality“ s napětím 11,1 V a povoleným trvalým (od plného nabití do vyčerpání kapacity) odběrem 66 A, špičkový proud může být nejméně 2x vyšší. Pokud si nyní říkáte, že to není možné, že takový akumulátor by přece nashodil i osobní auto,

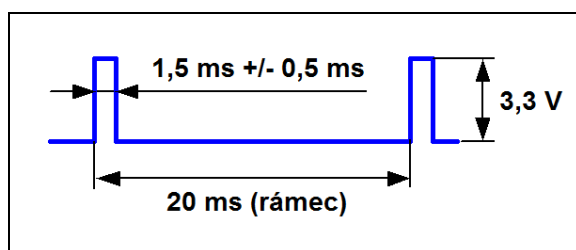
tak ano, bez problémů ho opravdu nashodí i v zimě, když autoakumulátor selže.

Na špičkový odběr serv má mnohem menší vliv moment než rychlost. Rychlá serva mají o hodně větší požadavky na proud, špičky jsou výraznější. Pomalá serva s velkým převodovým poměrem jsou úsporná. Není-li rychlost přeběhu a zejména zrychlení pohybu důležité, nepoužíváme „high speed“ serva a už vůbec ne serva s coreless motory.

Analogová serva nejsou sice nejlepší z hlediska přesnosti, ale většinou pracují spolehlivě a bez nepřiměřených nároků na odběr. Jak se někteří výrobci kvůli prodejnosti ženou za lepšími a lepšími parametry, přibližují se k technickým mezím, a pak stačí drobná chyba v programu, a servo, jehož servozesilovač spíná 700x za sekundu proud pro motor, otevře na okamžik (jednotky až desítky μ s) obě větve výkonového můstku do zkratu. Důsledkem je krátký odběr více než 30 A, který sice není problém zvládnout kondenzátorem, ale musíme o něm vědět. Velmi doporučuji, zejména při napájení zapojení z tužkových baterií nebo malých stabilizátorů, jako jsou třeba oblíbené 7805, věnovat pozornost poklesům napětí na zdroji. Je to možná a pravděpodobná příčina mnoha nečekaných a záhadných projevů řídicí elektroniky, které se objevují navíc jen když je připojeno třeba určité servo.

Řídicí signál pro serva

Standardní řídicí signál pro serva tvoří kladné pravoúhlé pulzy s proměnnou šířkou 1,5 ms $\pm$ 0,5 ms opakované po 20 ms, tomu odpovídá výchylka serva $\pm$ 60° od střední polohy. Na této úrovni naprostá většina pramenů informací o řízení serv končí, my na ní začneme.



Většina serv je schopná zpracovat pulzy v rozmezí 0,8 až 2,2 ms a úměrně rozšířit svou výchylku. Analogová serva zpravidla pracují v podstatně širší oblasti (až 0,5 až 2,5 ms) a mohou být řízena doslova od dorazu k dorazu, nicméně je v tom nebezpečí: pokud generovaný signál dovede servo k opření o doraz a dál plně táhne, nijak to není vidět a během sekund (nejvýš desítek sekund)

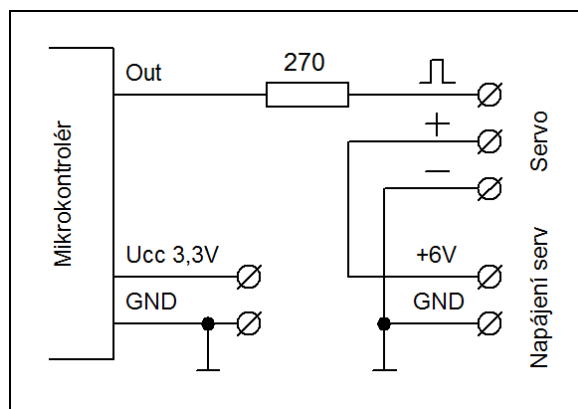
doslova vyhoří motor nebo servozesilovač. Jsou i serva, která si při nárazu na doraz strhnou silou motoru zuby vlastních převodů. Mimo rozsah 1 až 2 ms je pohyb analogových serv velmi výrazně nelineární.

Digitální serva v naprosté většině kontrolují vstupní pulzy, a pokud vstup překročí danou mez stanovenou tak, aby servo nemohlo najet na mechanický doraz, výchylku buď aktivně drží na mezi nebo uvolní (odpojí) motor a unašeč se může vnější silou pohnout. Co je lepší, to záleží na aplikaci. Každopádně digitální serva jsou v celém rozsahu svého pohybu výborně lineární a zničení chybnými řídicími pulzy u nich téměř nepřipadá v úvahu. Mechanické dorazy serv omezují rozsah někdy už na 190°, častěji až na 240 až 270°.

Šířka pulzů určuje polohu výstupu serva, na periodě jejich opakování (rámci) záleží u analogových serv jen málo, u digitálních téměř vůbec ne. Modelářské výrobce tlačily v průběhu vývoje dva protichůdné trendy: kvůli zrychlení reakce na zásah do řízení zkrátit rámec (periodu opakování) pulzů pro serva, a naopak kvůli zvětšení počtu funkcí prodloužit rámec, aby se do něj vešlo víc řídicích pulzů. Do standardního rámce 20 ms se jich vejde nejvýš 9 po 2 ms a jedna oddělovací 2 ms mezera. Výsledkem je, že současná serva nemají problém s rámcem délky od 9 ms do 30 ms, ale není příliš dobré, pokud při řízení mikrokontrolérem délka rámce výrazněji kolísá.

Analogovým servům zkrácením rámce mírně vzroste moment, s prodloužením klesá, až se projeví drobné poškubávání. U digitálních to má většinou vliv jen na rychlost odezvy. Je-li potřeba, aby servo zasahovalo s co nejmenším zpožděním (co nejrychleji), můžeme i při generování signálu mikrokontrolérem rámec zkrátit na 10 ms.

Vývoj šel ještě dál a ani uvedené zkrácení rámce nestačilo rychlosti serv, ta opravdu rychlá přeběhnou úhel 60° za 0,05 s. Prodávají se speciální serva využívající kratší pulzy třeba v rozsahu 0,5 až 1,0 ms opakované v krátkém rámci po 2,50 nebo 1,25 ms. Pokud jsou speciální extra rychlá serva potřeba, hledejte mezi vrtulníkovými servy pro ovládání ocasního vyrovnávacího rotoru gyrem (gyrostabilizátorem). Taková serva ale pak nelze ovládat standardním signálem. Podobné (méně radikální) zrychlení se začalo používat jako akceptovaná možnost i u většiny nových univerzálních digitálních programovatelných serv.



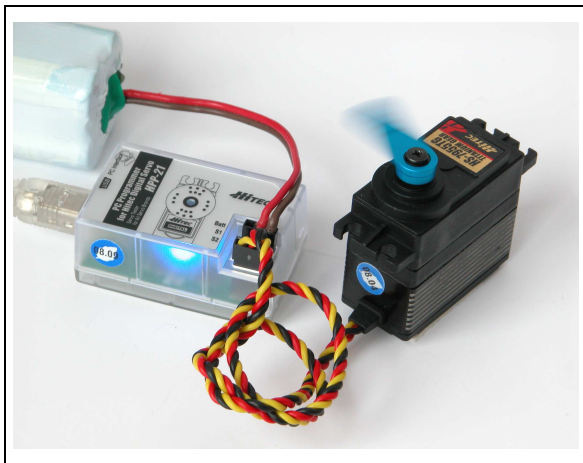
Co do úrovně napětí pulzů stará serva předpokládala víceméně plný rozsah napájecího napětí. Později odpovídaly požadavky vstupů logických obvodů řady HC (polovina napájecího napětí) a nebo HCT (mez kolem 1V). Všechna moderní serva počítají s tím, že jejich řídicí pulzy mají amplitudu 3,3V (napájení obvodů RC přijímače), pulzy 5V jim nevadí, ale větší už ano. Nejmenší velikost řídicích pulzů není nijak standardizovaná, 2V zvládne většina serv a některým stačí i méně než 0,5V. U starších serv bylo vyhodnocení pulzů stejnosměrné proti zemi napájení a vyskytovaly se problémy zejména s tím, že nízká úroveň pulzů byla vyšší, než servo vyžadovalo. U některých novějších serv je řízení odděleno přes kondenzátor a při dostatečné amplitudě v podstatě nezáleží na stejnosměrné úrovni pulzů, ale na přítomnosti kondenzátoru se nesmíme spoléhat, zdaleka nebývá použit vždy! S pulzy od 3 do 5V, jejichž úroveň jsou přimknuté k napájení, nikdy nepochybíme.

Vstupní odpor řízení serv je natolik velký, že nečiní problém jedním výstupem mikrokontroléru ovládat i pět serv paralelně. Není to ale vhodné, výstup obvodu je zatížen (nasčítanou) kapacitou a často se na něm objeví záškuby, které serva vyhodnocují náhodně. Důsledkem je drobné chvění až záškuby i bez změn řízení. Pokud možno je lepší ovládat jedním výstupem mikrokontroléru jen jedno servo, případně do řízení sériově vřadit rezistor řádu stovek ohmů (typicky 270 až 330 ohmů), který omezí kmity a špičky proudu při nabíjení vstupní kapacity serva.

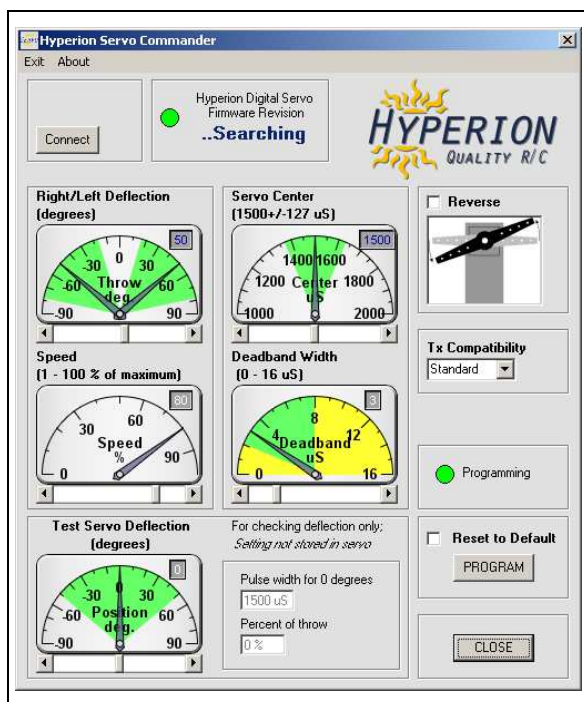
Programovatelná serva

Jakmile se staly součástí servozesilovačů mikrokontroléry, nebylo daleko k tomu, aby serva začala některé funkce zajišťovat sama. K programování, či lépe řečeno nastavování parametrů serv, se používají buď speciální

přípravky, nebo propojení s PC a názorný obslužný program. Oboustranná komunikace probíhá přes běžný třívodičový servokabel. Na prvním obrázku je programátor HPP-21 pro nastavování a zkoušení digitálních programovatelných serv Hitec, na druhém ovládací panel programu pro serva Hyperion.



Typické parametry, které se dají nastavit, jsou reverz (směr pohybu serva při daném řízení), poloha neutrálu (mechanická poloha při vstupních pulzech 1,5 ms) a velikost výchylky odděleně pro obě strany (pohyb serva nemusí být symetrický). Další velmi důležitou funkcí je „fail safe“, což znamená zadání polohy, do níž má servo přejet, pokud nebude mít na vstupu řídicí pulzy delší dobu (asi 0,5 s).



Tady se trochu zastavme. Je třeba předem vědět, co servo udělá, když nebude řízeno. Jeho náhodný

přejezd do krajní polohy může způsobit technické problémy, nehledě na to, že páka maxiserva pravě zlomí i prst, když se jí připlete do dráhy. Některá digitální serva při výpadku řízení drží polohu podle posledního platného zadání, tomu se říká fail safe typu „hold“, programovatelná dovolují zadat libovolnou polohu, kam mají jet.

Pokročilejší serva umožňují zpomalit přejezd například v rozmezí 100% až 10% maxima, takže servo samo při skokové změně řízení pomalu přejíždí do nové polohy. To značně zjednodušuje řízení mikrokontrolérem. Dalším parametrem je šířka pásma necitlivosti nastavitelná v širokém rozmezí třeba od 1,5 do 65 μ s. K významu tohoto parametru se podrobně dostaneme.

Existují i serva, která dovolují nastavit snížení proudu do motoru po určité době zablokování. Znamená to, že při běžných pohybech není výkon serva nijak omezen, ale pokud proud výrazně vzroste a trvá déle, než obvyklá špička při rozběhu a brzdění, servo samo ubere proud do motoru a tím zabrání jeho zničení. Když se překážka odstraní, servo pokračuje v pohybu. Ani tato serva ale nejsou navržena na to, aby mohla trvale pracovat s výstupem opřeným o mechanický doraz, ochrana jen podstatně prodlouží dobu, kterou to servo vydrží.

Moment serva

Je velmi důležité vědět, že výrobcem uváděný moment serva se měří těsně před okamžikem, kdy se unašeč vlivem zatížení na výstupu zastaví. Smyslem použití serva je vyvolání a řízení pohybu, takže uvedený maximální moment se vlastně nedá využívat, je to mez, kdy pohyb ustává. Ještě se můžeme (zejména u maxiserv) setkat s druhým pojmem, a to „přidržený moment“. Ten odpovídá okamžiku, kdy vnější síla působící na unašeč přemůže motor serva a výstup se začne otáčet opačným směrem, než se servo podle svého řízení snaží.

Správně by měl být moment uváděn jako síla působící na páce jednotkové délky, tedy v Nm, prakticky všichni výrobci serv však používají starší (rozměrem zcela nesprávné), ale stále dobře představitelné vyjádření v kgcm. Vyjadřuje, že když servo s momentem 5 kgcm upevníme s osou otáčení výstupu vodorovně a na jeho kotouč (páku) ve vzdálenosti 1 cm od středu otáčení zavěšíme závaží 5 kg (nebo na páku dlouhou 5 cm závaží 1 kg, to je jedno), mělo by být servo schopné přejet s tímto zatížením ze spodní výchylky přes střed do horní výchylky, byť za tu cenu, že kolem

vodorovné polohy se bude pohybovat velmi pomalu, téměř se zastaví.

Přesně tímto popsáním způsobem se dá moment serva i v domácích podmínkách ověřit. Je to však hodně zdoluhavá práce, protože před každým pokusem musíme nechat motor vychladnout na pokojovou teplotu, což trvá několik minut. Už během jednoho přejezdu se zatížením se totiž vinutí motoru natolik zahřeje, že následující pokus by byl neregulérní. Při výrazném zahřátí může rozdíl změřeného momentu dělat i desítky procent.

Rychlost serva

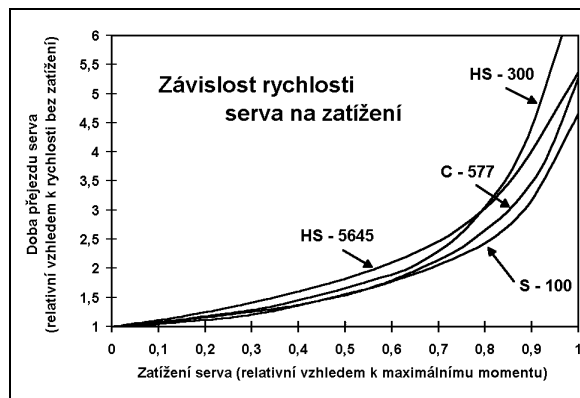
Rychlost serv se udává jako doba přejezdu úhlové výchylky 60° , výjimečně 45° , přepočít je snadný. Měří se vždy s „letmým startem“, takže nezahrnuje rozběh ani brzdění pohybu serva. Rychlost se vždy měří bez zatížení, u rychlých serv má dokonce vliv i odpor vzduchu při pohybu páky, takže někdy i bez páky. Z teoretického hlediska je výrobcem udávaná rychlost nedosažitelnou mezí, i když zatížení jen pákou na vzduchu je tak malé, že servo bez zátěže se těmito podmínkami velmi blíží.

Nyní je třeba upozornit na jeden dost častý nešvar a dá se říci i podvod, který výrobci používají. Rychlost serva určují tak, že vezmou jeho otáčky motoru při daném napájecím napětí, vydělí je převodovým poměrem celé převodovky a vypočtou úhlovou rychlost na výstupu. To ale samozřejmě neodpovídá skutečnosti, protože už samotná převodovka klade odpor a motor zpomalí. Jak se dá na toto přijít? Obvykle nedá. Ukáže se to, když si porovnáte dvě jinak zcela totožná serva od daného výrobce, jedno podstatně rychlejší, druhé podstatně silnější, která se liší jen převodovým poměrem. Když zjistíte, že hodnoty rychlosti a momentu jsou přesně v tom poměru, který odpovídá změně převodovky, výrobce to určuje takto. V praxi to rychlejší servo vždy bude méně rychlé, než by odpovídalo výpočtu.

Serva, která pracují jen občas a mají možnost přiměřeně vychladnout, zatěžujeme přibližně polovinou mezního momentu, pak lze očekávat asi o polovinu delší dobu přejezdu. Serva pracující velmi často až neustále není rozumné zatěžovat víc než čtvrtinou maximálního momentu. Mezi momentem a dobou přejezdu není jednoduchá přímá úměrnost, orientačně pokusně zjištěný vztah pro několik typů starších serv je v grafu.

Vztah momentu a rychlosti může vést k chybným závěrům a je potřeba mu věnovat pozornost. Představme si situaci, kdy potřebujeme, aby se servo zatížené momentem $5 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ pohybovalo

rychlostí $0,2 \text{ s}/60^\circ$. Osadíme-li servo s těmito parametry, možná se bude hýbat, ale velice pomalu, a možná ani to ne. Proč, to už jsme si vysvětlili.



S vědomím, že servo musí mít dostatečně velkou rezervu momentu i rychlosti vybereme typ, který má udávaný moment $10 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ a rychlost $0,1 \text{ s}/60^\circ$. Bude to stačit? Za studena možná ano, ale bude to na mezi a po zahřátí motoru pomalejší, než jsme původně chtěli. Moment zjevně stačí, servo se hýbe, to co chceme zlepšit, je rychlost. Logický, ale chybný závěr, je nasadit jiné servo, rychlejší s původním momentem $10 \text{ kg}\cdot\text{cm}$, tedy rychlostí třeba $0,07 \text{ s}/60^\circ$. To však k cíli nevede. Takové servo bude pracovat ve velmi nevýhodném režimu (příliš zatížené), nesplní očekávání co do rychlosti a ještě mu hodně klesne životnost. Řešením je naopak silnější a paradoxně třeba i podle parametrů pomalejší servo $20 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ s udávanou rychlostí $0,12 \text{ s}/60^\circ$, které bude ve výsledku dostatečně rychlé díky velké zásobě momentu.

Pásmo necitlivosti, přesnost

Když skutečná poloha výstupu serva nesouhlasí s požadovanou, elektronika sepne motor a unašec se otáčí. Těsně před dosažením požadované polohy je proud do motoru omezen, v ideálním případě servo setrvačností dojede přesně tam kam má a zastaví se. Skutečnost ale nikdy není ideální, při větším zatížení by servo nedojelo a zastavilo před cílem, což se stává, nebo naopak odlehčené servo by překmitlo a dojíždělo na polohu z druhé strany, i to se stává. Pokud by mez pro vyhodnocení polohy byla dokonale ostrá, výstup by stále kmital kolem požadované polohy, i to se někdy stává. Je potřeba, aby byl jasně stanovený interval, v němž se může výstup nacházet v klidu, a to je právě pásmo necitlivosti. Nevyjadřuje se jako úhel, ale v mikrosekundách jako změna šířky řídicího pulzu, která nevyvolá žádný zásah servozesilovače.

Levná analogová mikroserva mají pásmo necitlivosti až 20 μ s, což odpovídá přibližně úhlu 2,5°, další 2,5° nepřesnosti přinesou mechanické vůle převodovky, takže za přijatelnou se považuje nepřesnost 5°. Jasně to můžeme vidět, když se bude signál velmi pomalu měnit. Místo toho, aby servo pomalu plynule jelo, bude „poskakovat“ po docela velkých a nepravidelných krocích. Říká se, že takové servo „krokuje“, ale s krokovými motory to nemá naprosto nic společného. Kvalitní přesné servo nekrokuje, a když, tak sotva znatelně.

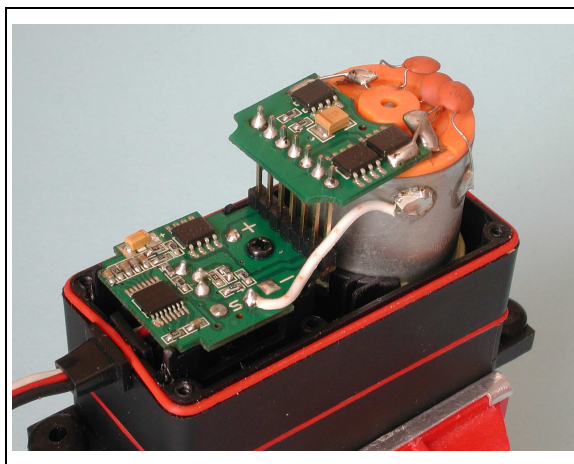
Solidní digitální servo standardní velikosti mívá pásmo necitlivosti asi tak 3 až 5 μ s a vůle pod 1°, přesnost je lehce horší než 1°. Pomalý pohyb je už poměrně plynulý a současně při zastavení je motor opravdu vypnutý, servo je zcela tiché. Nejpresnější serva mají pásmo necitlivosti kolem 1 μ s a vůle v desetinách stupně, takže přesnost je výrazně lepší než 1°. Tak úzké pásmo necitlivosti však znamená, že servo bude neustále nepatrně dorovnávat nepřesnosti, bude stále slyšet slabé pískání. Nevadí to, tato serva jsou na to navržena, ale třeba robot, který má v sobě podobných serv deset, bude neustále mnohohlasně „hrát jako varhany“, což může dost rušit. Navíc odběr proudu i bez pohybu je potom docela velký.

Nastavení šířky pásma necitlivosti využijeme u programovatelných serv právě tehdy, když je potřeba doladit, aby ani po rychlých přejezdech výstup nezakmitával a ustálil se do úplného klidu. Obětujeme část přesnosti. Pokud využíváme výrazné zpomalení chodu, je výhodné naopak zmenšit pásmo necitlivosti, chod serva je potom znatelně plynulejší.

Při generování řídicího signálu mikrokontrolérem se často stává, že některá serva trvale vrčí nebo až drobně zakmitávají. Je třeba si uvědomit, že digitální servozsilovač bývá schopen vyhodnotit změny šířky řídicího pulzu o přibližně 1 μ s, takže generovaný signál by měl mít odchylky výrazně menší. A to většinou nemá, třeba kvůli obsluze přerušení, ta je často příčinou drobných nepravidelností. V podobném případě se bude levné (nepřesné) servo s větším pásmem necitlivosti chovat „způsobně“ tak jak očekáváme (přesnost pohybu je málokdy natolik významná), zatímco kvalitní servo bude stále neklidné, dokud mu nenastavíme širší pásmo necitlivosti (pokud to jde), než odpovídá nahodilým změnám řídicího signálu.

Speciální serva pro různé účely

Prachotěsná a vodotěsná serva



Od běžné konstrukce serv se nejméně odlišují vodotěsná serva krytovaná podle normy IP67. Mezi díly krytu mají gumové těsnění, kabel bývá utěsněný silikonovým kaučukem a nad horním ložiskem unašeče je tenký kroužek gufero, to je vše. Na obrázku je maxiservo s gumovým těsněním mezi díly krytu, ale s nětěsněným kabelem (má jen běžnou gumovou průchodku). Takové těsnění je účinné proti prachu, proti vodě ne. Vodotěsná serva mají vydržet ponoření do hloubky jeden metr, v praxi zvládají i dva metry. Bývají určena buď pro modely terénních aut, nebo závodní čluny, tam v případě potřeby má smysl hledat. Pro větší tlaky už je nutné brát nabídku průmyslových serv a dílů pro vojenskou techniku, jejich ceny jsou ale mnohonásobně vyšší.

Navijáky (víceotáčková serva)

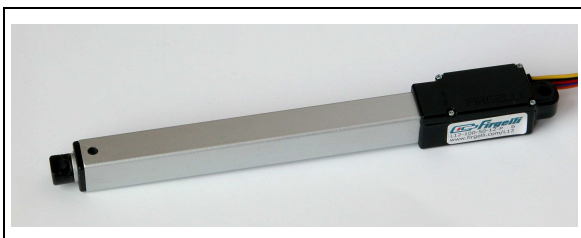
Zatím jsme uvažovali modelářská serva obvyklé konstrukce, některá se od ní však dost liší. Jako první si uvedeme navijáky typicky používané v modelech plachetnic. Na první pohled vypadají jako obyčejná maxiserva, ale mají při řízení pulzy 1 až 2 ms rozsah pohybu třeba 720 až 1 440°, jinak řečeno, vykonají více otáček. Tato serva se konstrukčně liší v tom, že nemají mechanické dorazy výchylky a na místě snímače polohy je víceotáčkový potenciometr nebo přídavný převod do pomala před standardním potenciometrem. Naviják by se snadno dal vytvořit i s magnetickým snímačem polohy, ale zatím takový na trhu nebyl. Současně mají tato serva „ostřejší“ nastavené zesílení servozsilovače a relativně velmi úzké pásmo necitlivosti.

Robotická serva



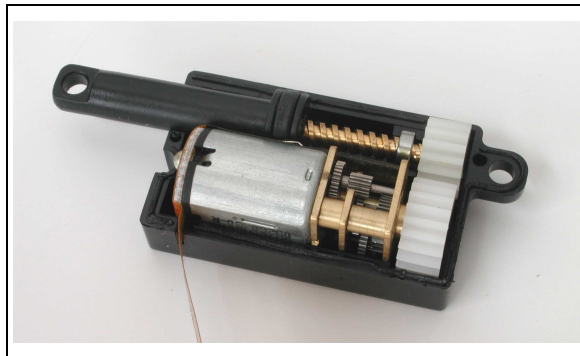
Další skupinu tvoří speciální robotická serva. Na první pohled se většinou poznají tak, že mají průběžný výstupní hřídel a unašeče s výstupními kotouči na obou stranách, což usnadňuje jejich použití ve funkci „kloubů“ nejrůznějších manipulátorů; příklad je dobře vidět na titulním obrázku. Tato serva obvykle mají zaručovanou výchylku větší než 180° při buzení 1 až 2 ms nebo širší rozsah vstupních pulzů, jinak se neliší. V některých případech jsou sice výstupní kotouče dva, ale poháněný je pouze jeden, druhý tvoří jen uložení.

Serva s lineárním pohybem



Uspořádáním zajímavá jsou serva s lineárním pohybem, která bývají zapouzdřená v hliníkovém nebo plastovém krytu, někdy vypadají jako tlumiče. Výstupem je buď unašeč, který se pohybuje v dlouhé rovné drážce, nebo se z těla serva vysunuje tyč s otvorem či kloubem na konci. Díky pohybovému šroubu a jeho velkému převodovému poměru jsou i při malé spotřebě proudu tato serva velmi silná a samosvorná, mají obrovský přídržný moment a spíš se zničí, než by povolila, ale jsou také pomalá. Často se dají použít jako přímá náhrada hydraulických válců nebo (při nižší rychlosti) dvoučinných pneumatických válců, na rozdíl od nich však v mezipoloze nepužijí. I když mají lineární serva některé výhodné vlastnosti,

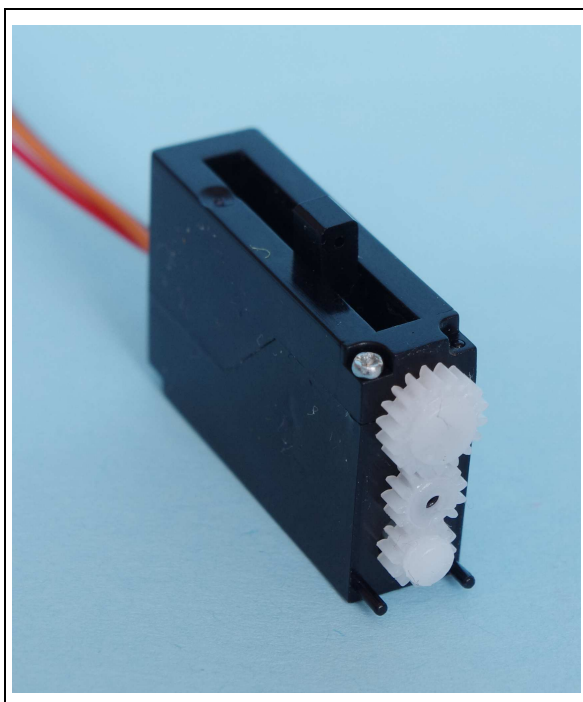
vyrábí se v podstatně menších sériích a bývají tudíž dost drahá.



Lineární serva nejsou žádnou novinkou, už v minulosti byla oblíbená právě proto, že délka pohybu je přímo úměrná šířce řídicích pulzů, zatímco obvyklejší serva s rotačním výstupem mají úhlovou výchylku přímo úměrnou šířce řídicích pulzů. Vyráběla se dokonce serva, která měla dvě výstupní páky v drážkách a páky se pohybovaly proti sobě, ve své době byla dokonce tato serva Varioprop tím, co se považovalo za standard. Na snímku jsou serva z roku 1974, větší šedá měla ještě starší koncepci a neobsahovala elektroniku (připojovala se pěti vodiči – 2 motor a 3 potenciometr), menší žlutá už měla vestavený servozesilovač a měla dnes obvyklé připojení třemi vodiči (napájení a řídicí signál).



Koncepce lineárních serv se po mnoha letech částečně vrací, a to zejména ve velikosti nano a mikroserv, jedno z těch nejmenších jsme si již představili. Lépe použitelné je například servo Vigoro VS-19, které má hmotnost 3,7 g, rychlost pohybu 12 mm/s a je navrženo pro napájení jmenovitým napětím 3,7 V (jeden článek Li-pol), čímž se zjednodušuje i spolupráce s mikrokontroléry. Tato serva jsou proti průmyslovým a speciálním robotickým verzím relativně levná, přitom výrobce předpokládá životnost kolem 500 000 cyklů.



Serva na sběrnici

Z historického hlediska, když se proporcionální serva začala používat k ovládání modelů, byla v modelu obvykle jen dvě, nejvýš čtyři, a byla soustředěná v těsném okolí RC přijímače, na delší vzdálenost se pohyb přenášel táhly. V současnosti zmenšení serv dovolilo dávat je přímo tam, kde mají působit, takže se prodloužily vodiče a zkrátila táhla. Zkrácení záhel a jejich větší tuhost je obecně příznivý trend při jakémkoli účelu použití serv. S růstem počtu ovládaných funkcí a také zvýšením požadavků na bezpečnost se začalo používat třeba i 20 a více kusů serv v jednom zařízení a k jejich propojení už sloužily celé svazky kabelů. To přineslo potíže, zejména když bylo nutné oddělitelné části modelu propojovat mnohanožovými konektory.

Logickou myšlenkou bylo vytvořit třívodičovou sběrnici, po níž se silnějšími vodiči rozvede napájení paralelně ke všem servům a současně si serva ze řídicího signálu vyberou jen to, co každému z nich patří. Serva musí mít přidělené obvykle jednoznačné (ale ne nutně jednoznačné) adresy a jednotlivé povely předávané vysokou rychlostí sériově musí být opatřeny adresou příjemce. A protože souběžně s tím nastal čas, kdy je běžné, že model je nejen řízen RC vysílačem, ale také čidla na něm měří různé hodnoty a předávají informace zpětně člověku, sběrnice může sloužit i k obrácené komunikaci.

S prvním a zatím jediným komerčně více rozšířeným systémem postaveným na podobné myšlence přišla firma Robbe Modellsport a pojmenovala ho S.BUS. Serva určená pro S.BUS mají zcela jiný systém řízení, musí se předem připojit k počítači, nastavit každému adresu a případně funkční parametry podobně jako u jiných digitálních serv. Adresa pro různé funkce musí být samozřejmě unikátní a v tomto případě je dána polohou v protokolu. V případě, že je více serv připojeno paralelně k jednomu ovládanému prvku (třeba kvůli zvýšení momentu), může mít více serv nastavenou stejnou adresu, to záleží na účelu. Sběrnice nemusí být lineární, může se libovolně větvit.

Serva toho typu, kterými jsme se dosud zabývali, se nedají na S.BUS připojit přímo, je to však možné přes adaptér, který dekóduje řídicí signál vysílaný rychlostí 100 000 bit/s a vytvoří PWM signál pro jedno nebo více „standardních“ serv. Prodávají se i kodéry, které mají na vstupu až 10 standardních servosignálů a vytvoří z nich signál pro sběrnici S.BUS. Určitou nevýhodou S.BUS je omezení počtu ovládaných funkcí na 16.

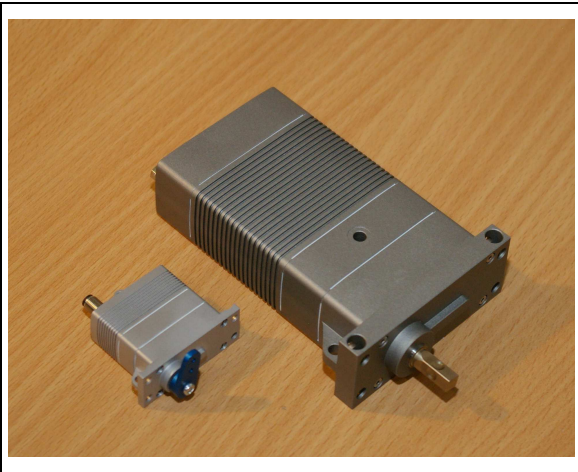
Aby mohla být serva pro S.BUS použita jinak než v součinnosti s S.BUS přijímačem firmy Robbe (nebo profesionálním kódérem), musí mikrokontrolér generovat příslušný signál. Výrobce z pochopitelných důvodů nepodporuje jiná než vlastní zařízení a definici komunikačního protokolu nezveřejnil, nicméně vše lze zjistit a dekódovat, takže se s podrobnostmi můžete seznámit třeba na stránkách [1]. Na stejném místě najdete i další odkazy na knihovny programů a použití S.BUS serv třeba ve spojení s Arduinem. Poloha jednotlivých serv je vysílána na 11 bitů (rozlišení 2048 poloh), S.BUS nepodporuje zpětnou komunikaci od koncových zařízení k člověku.

[1] - mbed.org/users/Digixx/notebook/futaba-s-bus-controlled-by-mbed/

Průmyslová a armádní serva

Při potřebě získat serva schopná dlouhodobě pracovat ve velmi náročných podmínkách s vysokou spolehlivostí už musíme opustit modelářské výrobky a poohlédnout se mezi servy průmyslovými a speciálními, přesněji řečeno určenými pro armádní účely.

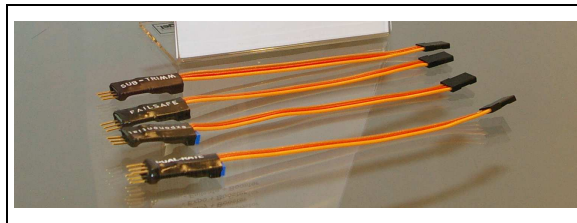
Jako příklad si uvedeme firmu Volz (www.volz-servos.com) a její dvě serva na snímku, menší DA 15 a větší DA 26. Obě serva jsou vodotěsná, s ochranou proti působení elektromagnetického pulzu vznikajícího při výbuchu jaderných bomb, mohou předávat zpět informaci o poloze a jsou ve velmi tuhém kovovém krytu. Menší je určeno pro napájení 5 V a při hmotnosti 26 g zvládne moment 6 kgcm, větší se napájí 12 nebo 30 V a při hmotnosti 270 g zvládá 50 kgcm.



Uvedená serva jsou určena především do malých bezpilotních průzkumných prostředků, nicméně v sortimentu Volz se najdou i výrobky pro jiné použití, třeba servo DA 22-SUB s krytem z námořního bronzu přizpůsobené trvalé práci pod hladinou moře v hloubce až 100 metrů. Nebude ovšem nic překvapivého, že cena takových serv je v desítkách tisíc korun.

Úpravy serv

Úpravy serv se zpravidla dělají na levných analogových servech právě kvůli tomu, abychom nemuseli používat podstatně dražší digitální (programovatelná) serva nebo speciální pohony. Vždy je určité riziko poškození serva při úpravě, nicméně dělá se to a pro úplnost je třeba možnosti zmínit.



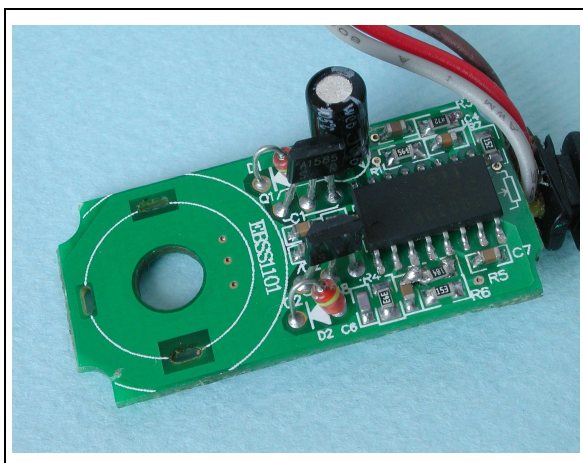
Je-li potřeba změnit (dodat) jen jednu vlastnost, používá se ještě jedna cesta, a tou jsou přídavné moduly s levným mikrokontrolérem, předřazené před servo do servokabelu. Jsou určeny především pro RC ovládání modelů a některé z funkcí nemají v případě, že signál pro servo generuje náš program, větší význam, protože je jednodušší změnu zařídit už v programu, ale jiné funkce mohou mít praktické užití, protože jejich obsluha programem je relativně složitá a může zdržovat hlavní běh. Typické funkce, které najdeme v modulech, podobných těm na fotografii, jsou:

- **posunutí** středové polohy serva respektive rozsahu pohybu proti rozsahu buzení (může se hodit v případě, kdy zkrácení pulzů třeba do rozsahu 0,1 až 1,1 ms uvolní čas našemu mikrokontroléru)
- **fail safe** – pokud nejsou řídící pulzy, nejprve podrží modul poslední platnou polohu, kterou přijal, a trvá-li výpadek déle, přejede s výstupem serva do předem stanovené polohy
- **zpoždění** pohybu serva znamená, že servo vykonává stejné příkazy (pohyby) podle povelů od mikrokontroléru, ale posunuté v čase, odložené o desetiny sekund až jednotky sekund
- **zpomalení** pohybu serva respektive omezení rychlosti jeho pohybu bývá potřeba dost často. Obvyklý rozsah nastavení je zpomalení přeběhu serva na čas 0,1 až 30 sekund. Servo reaguje na povel okamžitě, ale pohyb je pomalý, pokud v jeho průběhu přijde změna, servo se neprodleně svou (zpomalenou) rychlostí vydá do nové požadované výchylky
- **sekvencery** se poněkud liší, na rozdíl od předchozích zařízení mají jeden vstup řízení, ale více výstupu pro serva. Jejich úlohou je na povel provést celou sérii pohybů s několika servy, sekvence se někdy dá přerušit, jindy je to nežádoucí a musí se dokončit před přijetím dalšího povelu. Typickým příkladem je robot na nohách vybavených servy, který má vykonat krok. Na jeden povel (jednu změnu pulzu) na vstupu se udělá celý krok složený z několika fází. Krok musí skončit ve stejné poloze jako začal, jinak by následující krok nemohl proběhnout úspěšně, takže v tomto případě se

sekvence nedá přerušit. Důvodem k použití je opět uvolnění času a případně i několika výstupů řídicího mikrokontroléru, když vlastní chůze (respektive jeden každý krok) je obslužen sekvencí.

Změna smyslu výchytky

Změny smyslu výchytky serva při daném buzení dosáhneme tak, že servo rozebereme, prohodíme napájecí vodiče motoru serva a současně prohodíme krajní vývody snímacího potenciometru, pak servo zase smontujeme. Výsledek je plnohodnotný a bezproblémově fungující.



Potíž je v tom, že jednoduše lze uvedené dva úkony udělat jen u starých nebo nejlevnějších „spotřebních“ serv, v nichž je motor a také potenciometr připojen kablíky. U nových serv je konstrukce odlišná a čím dál častěji je motor přímo zapájen do desky servozesilovače a pak při montáži serva ve výrobě vlepen do plastového krytu. Je případně možné odsát pájku a oddělit motor od desky s plošným spojem, ale otočit motor bez zničení krytu zkrátka nejde. Podobně je to s potenciometrem, nově bývají jeho dlouhé přívody z pevného drátu zapájené do desky až po jejím usazení do krytu. Opět se dá odsát pájka a deska uvolnit, nastavit vývody a překřížit je, to však už chce hodně šikovnosti. Vývody se do značné míry podílejí na upevnění potenciometru, takže výsledek není plnohodnotný a usazení potenciometru je třeba podpořit třeba zakápnutím silikonovým tmelem. Na obrázku je servozesilovač po odpájení z motoru, potenciometr je v tomto případě na kablíku, který vede nahoru.

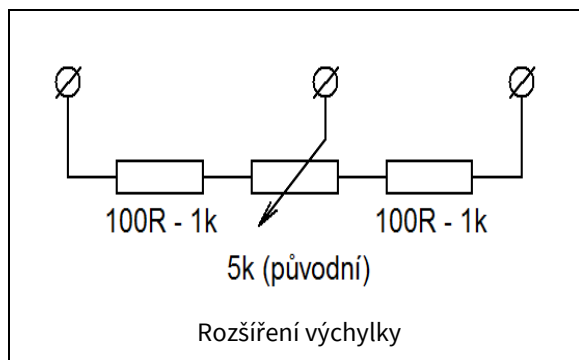
Odrůšení

Odrůšení je úprava, kterou si levná serva někdy přímo vynucují. Rušení je dvojí, jednak vysokofrekvenční od jisker na komutátoru motoru,

to nepůsobí problémy z hlediska našeho použití, ale vadí okolí, nejčastěji znehodnocuje příjem rádia a televize. Do značné míry pomohou dva kroky, přidat malý keramický kondenzátor s kapacitou kolem 10 nF mezi vývody motoru. Za druhé ohmmetrem ověřit, jestli je kovový plášť motoru spojený se záporným napájecím vodičem (což je lepší a bývá to vidět, protože na plášť jde samostatný třetí většinou bílý kablík) nebo alespoň s jedním z napájecích vývodů motoru. Pokud ne, pocínujeme na okraji pláště motoru a spojíme ho se zemí na servozesilovači (záporným pólem napájení). Je to prosté, ale ve stísněných poměrech uvnitř malých serv současně velmi obtížné udělat tak, aby se dal kryt serva zase zavířit.

Druhý způsob rušení se šíří po napájení. Jde nejčastěji o výrazné špičky odběru proudu, které způsobují pokles napětí na zdroji a někdy i resetování řídicího mikrokontroléru. Mohou se vyskytnout i špičky zpětného proudu, které zvýší na nepatrný okamžik napětí téměř na dvojnásobek, a mikrokontrolér opravdu není rád, když „dostane šok“ 10 V místo 5 V. Důsledkem zase bývají problémy se „zakusováním“ nebo resetováním mikrokontroléru, a to i když má třeba samostatný stabilizátor napětí; tyto jevy někdy projdou i přes stabilizátor.

Optimálním řešením bývá přidat do serva přes jeho napájecí vodiče tantalový kondenzátor s kapacitou nejméně 100 μ F. Výrobci tam právě takové kondenzátory už dávají, jenže aby ušetřili místo, omezují kapacitu třeba na 10 μ F, což nestačí. V praxi se do serva přidavý kondenzátor vejde jen málokdy, takže ho přesuneme ke konektoru na kontroléru, kam je servo připojeno. Není to tak účinné, ale lepší něco, nežli nic. Radikálním, ale v nejhorších případech jediným účinným řešením je zcela oddělit napájení řídicích obvodů na jedné straně a na druhé straně serv, a to nejen samostatnými stabilizátory. Zkrátka jedny akumulátory pro elektroniku, druhé pro serva, řídicí signály galvanicky oddělit přes optické členy.



Je-li potřeba mírně rozšířit výchylku serva při buzení 1 až 2 ms, otevřeme servo, přerušíme krajní vývody snímacího potenciometru a vřadíme do nich rezistory podle potřeby v řádu stovek ohmů, maximálně asi 1 kohm. Problém se stejný jako v případě obracení výchylky, je-li potenciometr zapájen přímo do desky s plošným spojem servozsilovače, může to být obtížné, někdy i nemožné.

Zúžení výchylky

Zúžení výchylky serva jednoduchým způsobem udělat nejde. Změna napětí z jezdeckého potenciometru by se musela zesílit vzhledem k úrovni, kterou má při neutrálu. Takové úpravy se do serva nevejdou a ani nevyplatí. Proč chtít vůbec něco jiného, než jen omezení rozsahu řídicích pulzů, které se logicky nabízí? Omezením rozsahu klesá také relativní přesnost serva, takže pokud je to možné, využíváme plný rozsah řídicího signálu a pokusíme se omezit výchylku třeba tím, že použijeme kratší páku na výstupu serva nebo delší ovládané straně, což ale neřeší případy, kdy využíváme úhlovou výchylku přímo. Obvykle se tento problém řeší zmíněným zúžením intervalu řídicího signálu, pokud to nejde, náhradou serva za programovatelné digitální, které má obvykle současně velkou rezervu přesnosti.

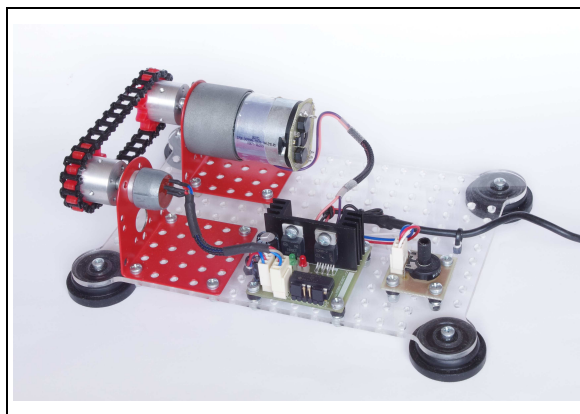
Víceotáčkové servo

Chceme-li získat víceotáčkové servo, napodobíme konstrukci vyráběných navijáků. Servo rozebereme, vyjmeme potenciometr a nahradíme jej víceotáčkovým. Protože není využíván celý rozsah dráhy, bude mít servo při standardním buzení asi poloviční počet otáček na výstupu, než kolik má potenciometr. U malých serv se tato úprava nedělá, protože náhrada potenciometru se do nich nemůže vtěsnat a vždy je hodně náročné vyřešit mechanické spojení unašeče a nového potenciometru.

To ještě není vše, musíme odstranit mechanické dorazy serva a zjistit, jestli se vůbec může unašeč otáčet o 360°. V některých případech totiž na posledním převodovém kole nejsou vytvořené běžně nepoužívané zuby a potom úpravu provést nelze. Jako poslední krok je třeba upravit servozsilovač, zvýšit strmost zesílení a zmenšit pásmo necitlivosti. Ani pokud se podaří najít dokumentaci od řídicího obvodu analogového servozsilovače, není to snadné, u běžných digitálních to nejde vůbec (ale také to není tolik třeba), naopak u programovatelných by mělo stačit nastavení parametrů v povoleném rozsahu.

Bez úpravy servozsilovače nedojíždí servo až na polohu, zůstává před ní a píská nebo vrčí.

Víceotáčkové potenciometry se spíše než k úpravám serv používají ke konstrukci vlastních víceotáčkových serv ve zcela jiné podobě, se silnějšími motory a pomalejšími převodovkami. Jinou možností je, že víceotáčkový potenciometr není spojen s výstupem serva přímo, ale na odbočku z převodovky, pak při malých mechanických vůlích podstatně zpřesní snímání a nastavení polohy.

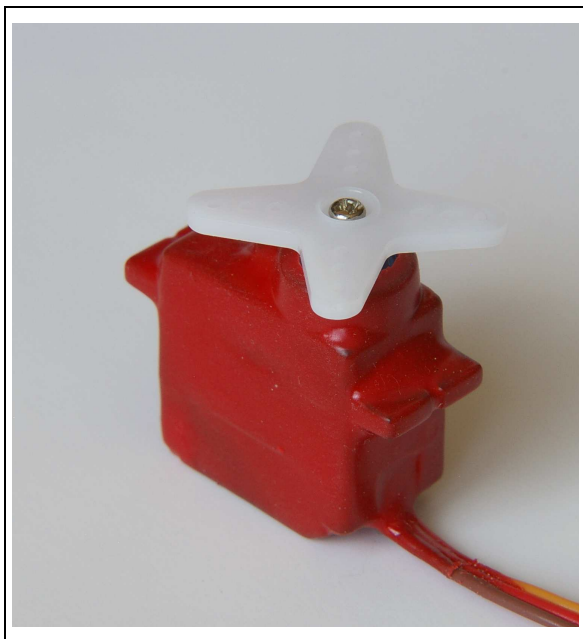


Malý pohon

Asi nejčastěji popisovanou úpravou je přeměna serva na malý pohon. Podstata je v tom, že se ze serva vyjme potenciometr a nahradí děličem z pevných rezistorů nebo trimrem. Při signálu 1,5 ms by měl motor stát, už při malé odchylce se však rozjede jedním nebo druhým směrem. Pak se stejně jako u úpravy na naviják musí odstranit mechanické dorazy, aby se výstup mohl protáčet o 360°.

Tady většinou úprava končí, výsledek ale nebývá moc dobrý, protože oblast, v níž motor stojí, je velmi úzká a s teplotními změnami se „stěhuje“. Motor se občas rozjíždí nebo vrčí a je třeba upravovat řídicí signál. Aby byla změna opravdu plnohodnotná, musí se snížit strmost zesílení a rozšířit pásmo necitlivosti servozsilovače, přesně opačně, než u navijáku. Pak bude servozsilovač při 1,5 ms opravdu stát a v jistých mezích kolem dokonce fungovat jako regulátor, nejen motor spínat, dokáže i měnit jeho výkon (rychlost).

Těsnění serva



Poslední úpravou, o níž má smysl se zmínit, je těsnění serva proti prachu, případně i proti vodě. Malá a levná serva nejsou těsná a v prašném prostředí se zanášejí, pokud mají navíc potenciometr s otevřenou dráhou, což je časté, prach hodně přispěje k jejímu vydření. Typicky má smysl těsnit čtyři místa: průchod kabelu do krytu, šrouby krytu, spáry mezi díly krytu a průchod unašeče. První tři místa se nepohybují a dostatečně účinně je uzavře bandážování gumovou vulkanizační páskou nebo smršťovací bužírka podložená tenkou vrstvou tavného lepidla. Velmi elegantní i spolehlivé je namočit servo do „tekuté gumy“ Plasti Dip a nechat pružnou vrstvu vyschnout.



Unašeč se pohybuje, to je větší problém. Proti prachu a většinou i proti odstříkující vodě pomůže podložka z plsti nasycené tukem mezi unašečem a

krytem. Tuk se musí doplňovat (podložka vyměňovat) nejdéle po půl roce. Opakovanému ponoření do vody a pohybu odolá až gumový kroužek nebo lépe gufero na místě původního ložiska. Nevýhodou je, že potom není možné výstup serva namáhat výstup serva jinak, než pouze rotačním momentem.

Serva na sběrnici I²C

V robotice i pro průmyslové účely je někdy potřeba ovládat velké množství serv (mnoho desítek až stovky) ovládaných po jedné sběrnici, i když třeba v jeden okamžik se bude moci měnit poloha jen jednoho ze serv. V takovém případě se aplikují adaptéry, které se postarají o adresování a přeměnu signálu například ze sběrnice I²C a opět vyrobí PWM pulzy pro běžná serva, případně se nahradí celý servozesilovač novým, který je připojen na I²C. Jedno z takových řešení včetně zapojení, které ještě vychází z modelářského serva, najdete včetně podkladů pro desky s plošnými spoji a programu na stránkách [1]. Od modelářských serv se odpoutává například konstrukce uvedená v [2].

Dekodéry, které mají na vstupu signál I²C vysílaný mikrokontrolérem a ovládají například 16 serv, nejsou nic výjimečného, příkladem je třeba výrobek Adafruit [3]. Podobná zařízení jsou asi nejlepším i nejlevnějším řešením v případě, že mikrokontrolér má řídit větší počet serv.

[1]

www.micovo.cz/robotika-robot-biped-i2c-servo.htm

[2]

www.franksworkshop.com.au/Robots/servocontroller/ServoController.htm

[3]

www.adafruit.com/products/815

Open Servo



Mezi úpravami serv je těžko možné vynechat projekt Open Servo, který se snaží o vytvoření kvalitního inteligentního serva pro robotiku. Nový servozesilovač obsahuje výkonný osmibitový AVR mikrokontrolér, řídí se přes rychlou sběrnici I²C a stejnou cestou poskytuje informace o poloze výstupu, rychlosti, napětí a výkonu. Výkonové obvody jsou osazeny MOSFET tranzistory. Vnitřní paměť dovoluje uložit parametry nastavení. Podle podkladů se dá servo postavit doma nebo podstatné části koupit. Bližší údaje najdete na internetových stránkách www.openservo.com.

Servotestery



Pod názvem servotester se obvykle rozumí zařízení, které umožňuje zkoušet funkci serva samostatně mimo jeho obvyklé prostředí, tedy především generátor řídicího signálu pro servo.

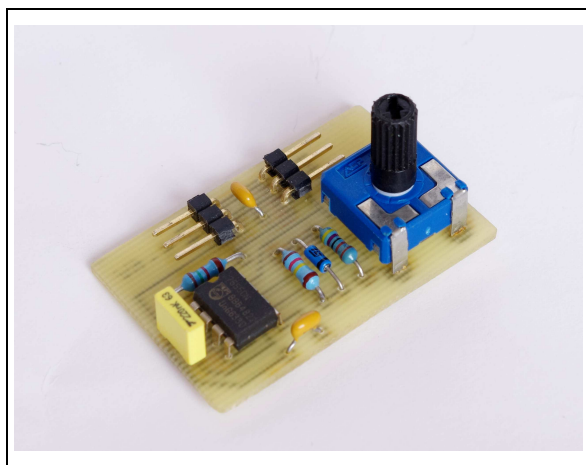
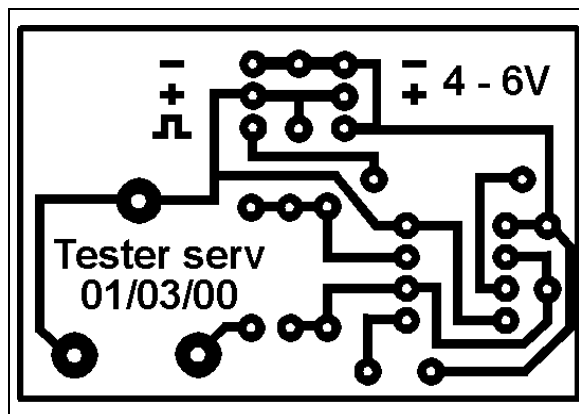
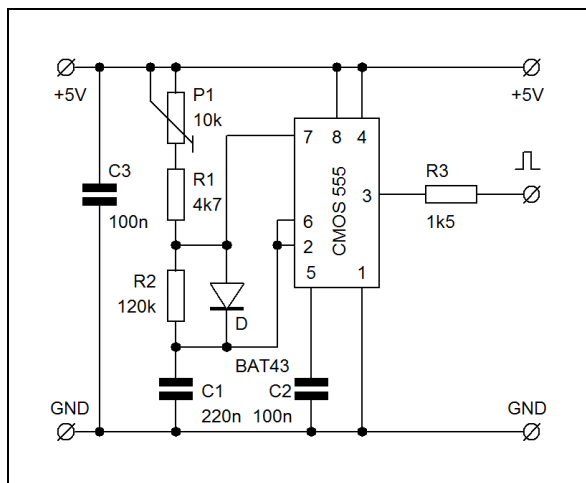


V nejjednodušším případě servotester umí plynule otáčet servem podle toho, jak natočíme potenciometr servotesteru. Je pochopitelné, že na této úrovni vyzkoušíme pouze to, zda servo nějak reaguje, nejde o měření nebo testování vlastností v pravém slova smyslu, přesto je podobné zařízení velmi praktické a má smysl si jej pořídit, uplatní se zejména při oživování zařízení se servy.

Dále si uvedeme jednak návod na stavbu právě takového jednoduchého servotesteru, jednak si rozebereme požadavky, které by měl mít servotester, abychom s jeho pomocí mohli serva opravdu seriózně zkoušet.

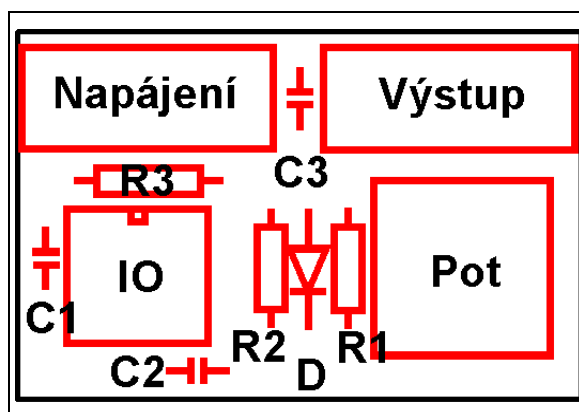
Jednoduchý servotester s IO 555

Schéma zapojení je na obrázku. Funkčně jde o astabilní klopný obvod s velmi známým obvodem 555 v provedení CMOS. Doba nabíjení časovacího kondenzátoru C1 je ovládána nastavením potenciometru a odpovídá délce aktivního (kladného) pulzu pro servo. Kondenzátor C1 je svitkový s malou teplotní závislostí, jinak by se funkce zapojení s teplotou měnila. V uvedeném zapojení lze nastavit pulzy nejméně v rozmezí 0,8 až 2,2 ms, střed na potenciometru by měl přibližně odpovídat středu pohybu serva. Vybíjecí doba kondenzátoru C1 určuje opakovací frekvenci impulzů, která je kolem 50 Hz. Diody D způsobuje, že se R2 uplatní jen při vybíjení kondenzátoru, ne při nabíjení. Na místě D musí být použita Schottkyho dioda, jinak se začne velmi výrazně projevovat závislost výstupních pulzů na napájecím napětí. Ostatní součástky nejsou kritické.



Tester je osazen na plošném spoji o rozměrech 45 x 30 mm. Připojení ke zdroji proudu, obvykle to asi budou 4 články NiMH nebo stabilizovaný síťový zdroj 5 V, a také k servu zajišťují dva tříkolíkové zlacené univerzální konektory. Při připojování servokonektoru musíme dbát na správnou orientaci, zem (obvykle černý nebo hnědý vodič) patří k okraji desky, + napětí je na středním kolíku a signál na kolíku nejvzdálenějším od kraje. Ostatně ze strany spojů je přímo na desce zapojení vyznačeno. Otočení konektoru napájení nevede k poškození ani testeru, ani serva.

Kdo chce, může modul po oživení uzavřít do plastové krabičky přibližně o velikosti krabičky od zápalek. Většinou asi zůstane při používání modul bez krytu. Aby nedošlo ke zkratu při práci, je výhodné nalepit ze strany spojů přímo na desku asi 5 mm silnou měkkou pryž (pěnovku) a oříznout ji podle okrajů desky. Kromě izolace zajistí pryž i to, že přípravek nebude tak snadno klouzat po stole.



Seznam součástek:

IO	CMOS 555
D	BAT43
Pot	10k typ CA14V + osička 11 mm
R1	4k7
R2	120k
R3	1k5
C1	220n svitkový rozteč vývodů 5 mm
C2, C3	100 n keramický, rozteč vývodů 5 mm
-	konektorové kolíky 3*1 z lišty S1G20W
-	2 ks
-	Deska s plošným spojem

Požadavky na kvalitní servotester

Přesnost – Nejde jen o to nějak se servem hýbat, ale vědět přesně, jaký řídicí signál do serva právě jde. Servotester by měl mít displej se zobrazením šířky pulzu, a to nejméně na 3 platná místa (tedy s rozlišením desítek mikrosekund). Přesnost generování signálu by ale být 10x lepší, na jednotky mikrosekund, to proto, aby bylo možné zjistit i šířku pásma necitlivosti serva. Rozlišení displeje na 3 místa stačí na nastavování krajních mezí pohybu.

Stabilita – Pokud na testeru nastavíme nulovou polohu (1,500 ms) a totéž uděláme za měsíc, musí

být signál opravdu stejný. To znamená, že tester nesmí podléhat především změnám napájecího napětí teploty, optimální je, pokud je stabilita (stejně jako přesnost) odvozena od kmitočtu krystalu a tester je plně digitální.

Rozsah napájecího napětí – Tester by měl být schopen pracovat s rezervou v celém rozsahu, v němž pracuje i servo, aby bylo možné zkoušet rychlost i moment serva při různém napětí i meze funkce. Tento požadavek je prakticky nerealizovatelný, protože některá serva pracují od napětí 2,5 V a speciální typy při napětí přes 12 V, proto je lepší, když servotester umožňuje oddělit své vlastní napájení a napájení serva (dva samostatné zdroje).

Regulace amplitudy výstupních pulzů – Pro základní funkci vyhoví, když mají výstupní pulzy amplitudu 3 V a jsou odvozeny od napájecího napětí mikrokontroléru v testeru. Pro zkoušky minimálního budicího napětí ale potřebujeme, aby bylo možné omezit amplitudu až na 0,2 V. Řídící pulzy také nesmí být větší, než odpovídá napájecímu napětí serva, takže u testerů, u nichž je amplituda výstupu odvozena od napájecího napětí, je regulace úrovně výstupu víceméně nutností.

Rychlé přeběhy – V mnoha případech, například při zkouškách rychlosti přeběhu nebo momentu, potřebujeme, aby se výstupní signál změnil mezi dvěma krajními (nastavenými) hodnotami s absolutní rychlostí, tedy jeden pulz třeba 0,800 ms a druhý 2,200 ms, mezi nimi žádné mezihodnoty. Rychlost otáčení potenciometru rukou pro tato měření v žádném případě nestačí.

Pomalé přeběhy – Velmi pomalé (rozsah pohybu za 1 až 5 minut) a současně naprosto plynulé přeběhy (jejich podmínkou je schopnost generovat signál s rozlišením 1 μ s a lepším) slouží ke zjišťování stavu převodovky i chování servozesilovače v těsném okolí pásma necitlivosti. Každý mechanický odpor v převodovce, znečištění, poškození zubů nebo dokonce prasklina, se projeví nepravidelností chodu mnohem dříve, než poznáme problém v praxi. Známe-li konstrukci serva (obvykle každý uživatel provozuje více serv, ale jen omezeného sortimentu typů) a zjistíme-li, že se nepravidelnosti opakují v průběhu přejezdu několikrát, můžeme dokonce určit, na kterém převodovém kole je problém, a to i bez demontáže převodovky.

Výpadky řídicích pulzů – Servotester by měl mít možnost vynechat jeden nebo více řídicích pulzů. Tímto způsobem se zjišťuje chování serva při nepravidelném buzení, případně chování funkce

fail safe. Odpojení řídicího signálu vypínačem nebo vytažením příslušného kontaktu servokonektoru nestačí, musí být zaručeno, že poslední pulz před výpadkem i první pulz po výpadku přišly v celé délce jako všechny ostatní.

Měření proudu – Servotester by měl umožňovat měřit proud odebíraný (jen) servem bez vlivu vlastní spotřeby testeru. Není vhodné, aby měřený proud musel projít přes více konektorů, které do měření přinesou svůj přechodový odpor a tedy i chyby. Je třeba si uvědomit, že měření musí být rychlé, tedy na bezindukční odporovém bočníku s odporem 1 až 10 miliohmů, protože někdy jde o pulzy proudu až řádu desítek ampérů a trvající jednotky μ s až jednotky ms (magnetické hallové sondy většinou kvůli požadavkům na rychlost nevyhoví).

Počítání cyklů – Pro zkoušky zahřívání serv a poklesu jejich rychlosti i momentu při daném zatížení se hodí, když servotester umí vykonat předem nastavený počet cyklů s danou prodlevou mezi jednotlivými cykly. Pro menší zkoušky zahřívání stačí nastavení v rozsahu desítek až stovek cyklů. Náročnější zkoušky životnosti, kdy se vykonává několik desítek až stovek tisíc cyklů naopak potřebují, aby šlo nastavit cyklování bez omezení a současně se měří čas nebo se počítají vykonané cykly.

Měření vstupního signálu – Velmi často se stává, že hledáme chybu v servu, ale ve skutečnosti není chyba v něm, ale už v generování řídicího signálu. Z tohoto důvodu je praktické, když máme někde stranou odložené „referenční servo“, takové, o němž s jistotou víme, jak se chová, a že je plně funkční. To je asi nejjednodušší a nejrychlejší způsob kontroly, i když jen orientační. Tester serv splňující většinu předchozích požadavků může mít i režim, v němž měří a zobrazuje délku řídicích pulzů a to pokud možno s rozlišením jednotek mikrosekund, aby bylo vidět i kolísání délky na této úrovni. Tuto funkci je možné a snadné nahradit samostatnými přístroji, buď čítačem s měřením délky aktivního pulzů, případně digitálním osciloskopem, ale měření testerem serv je praktičtější (a levnější na vybavení).

Nastavení rámce – Musím přiznat, že neznám jediný vyráběný tester serv, který by dovoloval nastavit opakovací frekvenci řídicích pulzů, tedy „rámec“. Obvykle je nastaveno 20 ms a tento interval není ani zaručovaný, ani stabilní. Spolu s tím, jak speciální serva umožňují práci v rozsahu od 5 ms do 30 ms ale roste význam měření, které by prozradilo, co dané servo (servozesilovač) ve skutečnosti zvládne. Tato měření se v současnosti dělají zpravidla pomocí jednoúčelových přípravků.

Serva budoucnosti

V průběhu delší doby se dají vypořádat určité trendy vývoje. Zkusme odhadnout, kam se bude ubírat vývoj serv v dohledné budoucnosti. U levných serv nelze čekat větší změny, ještě nějakou dobu bude stále platit, že stejnosměrný motor, plastové převody, potenciometr ke snímání polohy a jednoduchý jednoúčelový obvod vytvoří nejlevnější kombinaci součástí serva. Mezi kvalitními a výkonnými servy se bude téměř jistě více rozšiřovat podíl střídavých (synchronních) motorů a jednoúčelových obvodů pro jejich řízení, ty na rozdíl od univerzálních mikrokontrolérů budou v menších typech serv obsahovat i výkonové prvky. Ve velkých servech bude nutné zachovat kvůli chlazení výkonové prvky samostatné.

Myšlenka jediné sběrnice, která rozvádí napájení i řízení k mnoha servům, má nepochybně budoucnost, musí však jít o sběrnici, která dovolí připojit více serv a umožní obousměrnou komunikaci, aby stejnou cestou mohly putovat i naměřené údaje od telemetrických čidel, která v oblasti modelářství zažívají velký rozmach a nepochybně se začnou využívat i v dalších

aplikacích. I jednotlivá serva budou schopna předávat základní údaje o své činnosti: polohu, výkon nebo proud respektive zátěžový moment, rychlost pohybu a teplotu.

Je pravděpodobné, že vzniknou serva ještě menší a lehčí (a na druhé straně větší a silnější) než ta současná, a souběžně s tím ta, která nyní považujeme za extrémní, zlevní, což povede k jejich rozšíření. U nejmenších serv lze očekávat více technických inovací a využití nových technologií, velká spíše bude čekat další zvýšení napájecího napětí jako podmínka růstu výkonu.

Závěr

Sortiment modelářských serv je velmi bohatý jak co do rozměrů, momentu, rychlosti pohybu, tak z hlediska kvality provedení, odolnosti, přesnosti i cen. Často uváděné parametry „standardního“ serva vyvolávají příliš zjednodušené až klamné představy, skutečné možnosti serv se od nich liší často více než o jeden řád. Nabídka je tak široká, že vybrat si může téměř každý, stačí správně určit, jaké servo k danému účelu potřebujeme, a samozřejmě také tušit, kde takové servo hledat.

Obsah

Standardní servo	2
Konstrukce serva	2
Motory	4
Převodovky	5
Snímání polohy	7
Servozesilovač	8
Kryt serva a montáž	10
Napájení serva	10
Řídící signál pro serva	12
Programovatelná serva	13
Moment serva	14
Rychlost serva	15
Pásmo necitlivosti, přesnost	15
Speciální serva pro různé účely	16
Prachotěsná a vodotěsná serva	16
Navijáky (víceotáčková serva)	16
Robotická serva	17
Serva s lineárním pohybem	17
Serva na sběrnici	18
Průmyslová a armádní serva	19
Úpravy serva	19
Změna smyslu výchylky	20
Odrušení	20
Zúžení výchylky	21
Víceotáčkové servo	21
Malý pohon	21
Těsnění serva	22
Serva na sběrnici I ² C	22
Open Servo	23
Servotestery	23
Jednoduchý servotester s IO 555	23
Požadavky na kvalitní servotester	24
Serva budoucnosti	26
Závěr	26
Obsah	27