

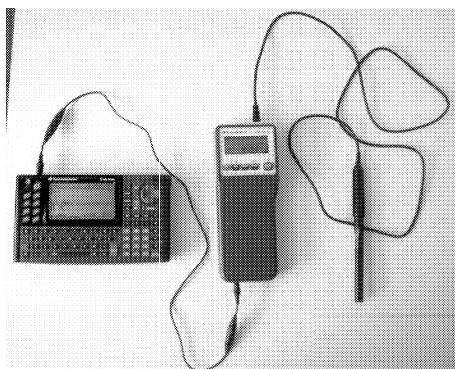
FYZIKA

Měření fyzikálních veličin pomocí Go! Link

VÁCLAV PAZDERA

Gymnázium, Olomouc – Čajkovského

Na Veletrhu nápadů učitelů fyziky IX v Brně jsem předváděl měření fyzikálních veličin (rychlost zvuku aj.) grafickým kalkulátorem TI-92 s datovým analyzátozem CBL (interface) od firmy Texas Instruments (obr. 1). Podrobné informace je možno nalézt ve sborníku z konference nebo v časopisu MFI (roč. 14, č. 6, s. 344). Další pokrok v měření při fyzikálních experimentech s použitím datového analyzátoru CBL přináší Go! Link.



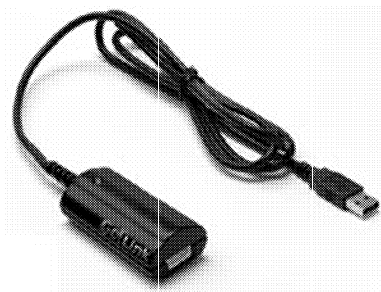
Obr. 1

Go! Link

K datovému analyzátoru CBL vyrábí snímače (senzory) firma *Vernier*. Dnes nabízí 51 snímačů (senzorů) a v její nabídce je i několik interfejsů: Go! Link, LabPro a CBL 2.

Go! Link (obr. 2) je jednoduchý interface, který umožňuje připojit do konektoru USB 41 snímačů (z celkových 51 vyráběných senzorů) k měření fyzikálních, chemických aj. veličin podporovaném počítači s OS Windows nebo Macintosh. V balení s interfejsem je přiložen („v ceně“ – „free“) i jednoduchý program *Logger Lite*, s kterým je možno provádět veškerá měření. Zakoupit lze i kvalitnější program *Logger Pro*, ale ten je určen hlavně ke kvalitnějšímu interfejsu *LabPro*.

Za zmínku stojí i to, že firma Vernier začala vyrábět snímače (zatím má dva), v kterých je Go! Link přímo obsažen: *Go! Temperature* a *Go! Motion* (obr. 3). Jak z názvů plyne, jedná se o snímač *teploty* a *pohybu* (vzdálenosti, rychlosti a zrychlení). Oba snímače se připojují přímo do USB a přiložen je rovněž program *Logger Lite*.



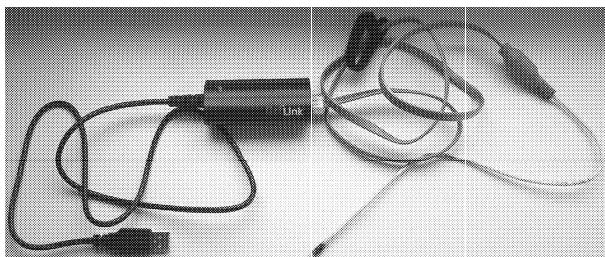
Obr. 2



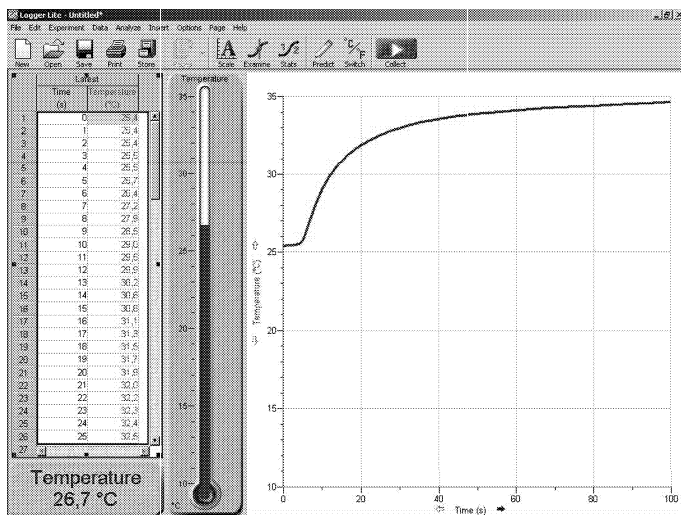
Obr. 3

Měření teploty

K měření teploty slouží Go! Link, ke kterému je připojen *snímač teploty* (obr. 4). Program *Logger Lite* po spuštění automaticky rozpozná zapojenou sondu a zvolí rozsahy os x (času) a y (teploty) a začne se měřit teplota. Po stisknutí tlačítka *Collect* se zobrazí i graf a měřené hodnoty se zapisují do tabulky. Na obr. 5 je záznam změn teploty po uchopení sondy do ruky.



Obr. 4

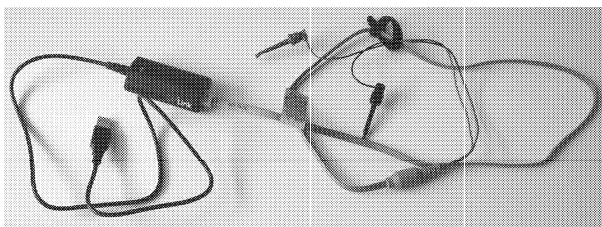


Obr. 5

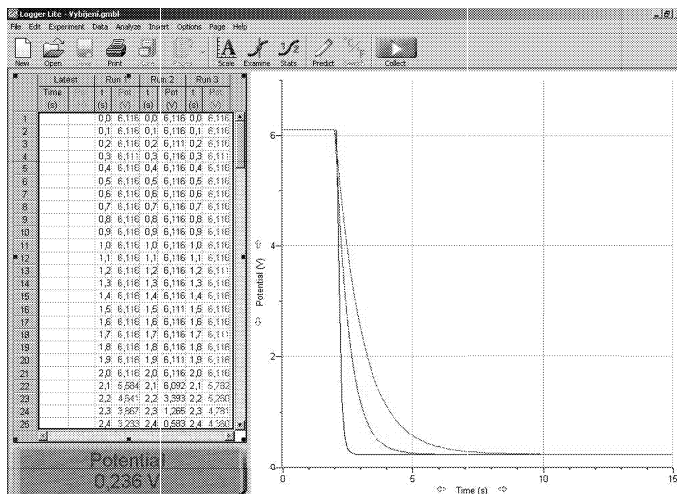
Stejně se postupuje při měření s jakýmkoliv jiným snímačem. Program Logger Lite má samozřejmě celou řadu zajímavých možností, ale jejich podrobnější popis přesahuje rozsah tohoto informativního příspěvku.

Měření napětí

Při měření napětí se ke Go! Link připojí *snímač napětí* (obr. 6) a opět se nainstaluje program Logger Lite. Program rozpozná zapojenou sondu, zvolí rozsahy os x (času) a y (napětí) a začne měření. Zařízení použijeme např. k demonstraci nabíjení kondenzátoru. Svorky snímače připojíme k paralelnímu obvodu RC s baterií a stisknutím tlačítka *Collect* začneme měřit



Obr. 6



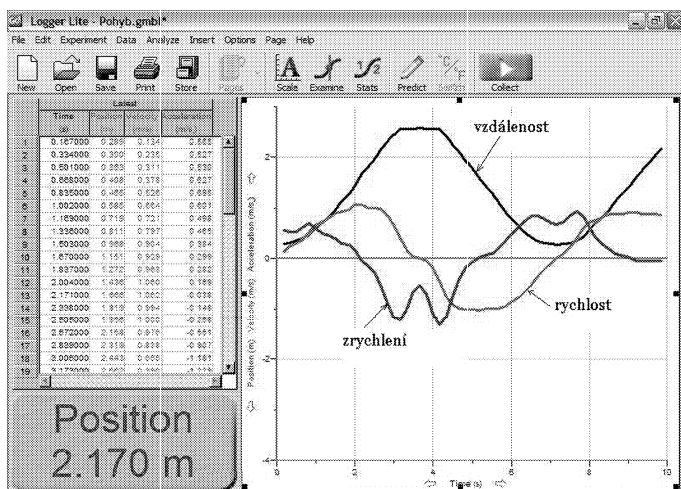
Obr. 7

napětí. Asi po dvou sekundách baterii odpojíme a kondenzátor se postupně vybíjí. Měření zopakujeme s třemi kondenzátory o různé kapacitě (obr. 7).

Měření pohybu

K měření dráhy a rychlosti pohybu různých těles použijeme Go! Motion, který zapojíme stejným způsobem jako v předcházejících měřeních. Go! Motion je ultrazvukový snímač pohybu, kterým je možno snímat např. pohyb člověka, kyvadla, vláčku, autíčka, volně padajícího míče apod. Rozsah měření je 0,15 m až 6 m; citlivost 1 mm s automatickou teplotní kompenzací.

Jako příklad uvedeme pohyb člověka, který se přibližuje a vzdaluje od snímače. Systém umožňuje zobrazit graf vzdálenosti, rychlosti, zrychlení nebo všech tří grafů dohromady. Samozřejmě každý graf má jinou barvu, kterou je možno zvolit. Zajímavý průběh má experiment, při němž „tužkou“ nakreslíme graf $s = f(t)$ nebo $v = f(t)$ a žáka potom vyzveme, aby se pohyboval podle nakresleného grafu. To zcela přirozeně vede žáky k pochopení závislosti dráhy, popř. rychlosti na čase. Z grafů na obr. 8 je vidět, že se člověk postupně vzdaloval až do vzdálenosti 2,5 m a pak zase přibližoval. Rychlost při vzdalování a přibližování je přibližně 1 m/s. U grafu zrychlení je patrné, že při chůzi je zrychlení přibližně „nulové“, což odpovídá rovnoměrnému pohybu a při změně pohybu zrychlení narůstá.



Obr. 8

Snímač Go! Motion může být použit současně v průběhu jednoho měření i s ostatními snímači. Např. se snímačem síly při měření závislosti velikosti síly na vzdálenosti. Podobné experimenty lze provádět i se snímačem světla, magnetického pole, teploty, tlaku atd.

Naměřené hodnoty v tabulce (vlevo na obrázku) je samozřejmě možné zkopírovat do jiného programu (např. Excel) a tam dále zpracovávat.

Závěr

Měření s interfejsem Go! Link, snímači a programem Logger Lite je velmi snadné, názorné a intuitivní. Technické provedení systému je na velmi vysoké úrovni (k propojení jsou použity konektory British Telecom, které jsou téměř nezničitelné). Záruka je pět let. Příznivá pro uživatele ze škol je i cena zařízení, která je přibližně poloviční a nižší ve srovnání s podobnou technikou na našem trhu. Velmi důležitá je možnost připojení k počítači přes USB, což je důležité pro majitele notebooků (není nutná instalace ADDA karty).

Všem zájemcům o měření fyzikálních veličin počítačem mohou interfejsy Go! Link a LabPro (kvalitnější) s bohatým výběrem sond doporučit. Dokonce interfejs LabPro je možno připojit k počítači přes USB i přes sériovou linku a je možné ho připojit ke grafickému kalkulátoru a k počítači do ruky (Palm OS handheld). U interfejsů LabPro a CBL 2 je vzorkovací kmitočet až 50 kHz.

V případě dalších dotazů mi napište: pvaclav@centrum.cz

Booster – proudové posílení výstupu ISES

MIROSLAV PANOŠ

Gymnázium J. Vrchlického, Klatovy

Školní experimentální systém ISES snad zde nemá cenu představovat. Jde o šikovného pomocníka nejen pro školní frontální výuku či pro praktika, ale i další aplikace, kdy je třeba propojit počítač s reálným experimentem. Intuitivní prostředí, celková jednoduchost a v porovnání s ostatními výrobky i poměrně nízká cena vytváří z ISES nástroj, který by na škole neměl chybět. Značnou výhodou je i fakt, že autoři nezůstali „spát na vavřínech“ a připravili i verzi, kterou lze provozovat na nových počítačích s PCI sběrnici a operačním systémem Windows XP (bohužel, tato verze zatím není příliš cenově příznivá).

Základní verze ISES obsahuje několik skutečně základních a nepostradatelných modulů, zbylé si lze jednoduše dokoupit. Škoda, že základní verze hned neobsahuje modul pro proudové zesílení výstupního analogového kanálu. Pochopitelně autoři vycházejí vstříc tím, že lze již při nákupu sestavit sadu na přání, ale pokud s ISES nemáte již ucelenější zkušenost, důvěřujete standardní nabídce a až po několika měsících používání zjistíte, co byste ještě potřebovali.

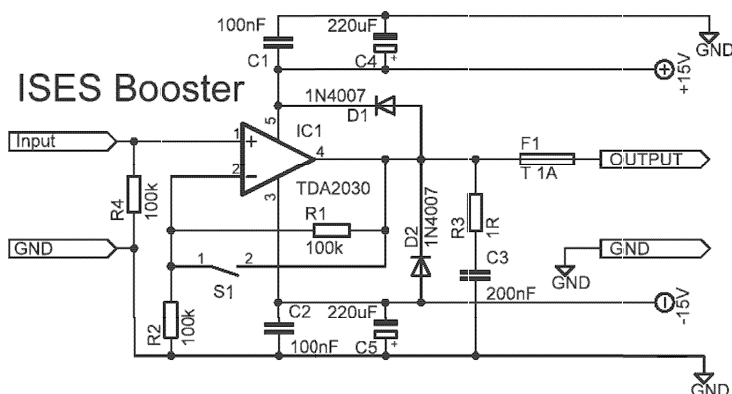
Tento článek by měl představit jednoduché řešení stavby modulu Booster (proudově posílený výstup), které by mohlo částečně pomoci těm, kteří tento modul ve své sadě nemají. Modul Booster je určen pro výstupní kanál E, umožňuje zvětšit proudový výstup až na hodnotu 1 A. Bez posílení je maximální hodnota na kanálu E asi 10 mA, což pro řadu experimentů stačí, ale chceme-li kanálem E spínat relé, rozsvěcet žárovičku či připojit k němu reproduktor, je tento proud nedostačující. Mnou navrhované zařízení, lze postavit zhruba za sedminu pořizovací hodnoty originálního modulu Booster. Z toho také vyplývá, že navrhované zapojení asi nebude zcela dosahovat kvality originálního modulu, ale že jde jen o jakousi náhradní alternativu. Byť zatím tento modul originální Booster zastupuje zcela bez problémů.

Návrh zapojení

Základní snahou stavby bylo dodržet všechny základní parametry originálního modulu (dle [1]). Modul by měl být schopen posílit výstup až na proud 1 A. Přepínačem $\pm 5 \text{ V}/\pm 10 \text{ V}$, by mělo být možné volit rozsah výstupního napětí, které lze odebírat z výstupních svorek modulu. Tedy při volbě $\pm 5 \text{ V}$ výstupní napětí proudového Boosteru zůstává nezměněno (je shodné s výstupním napětím kanálu E, co se týče velikosti i funkčního výstupu). V případě volby $\pm 10 \text{ V}$ je výstupní napětí proudového Boosteru dvakrát větší než výstupní napětí v kanálu E. Modul Booster musí mít zabudovanou vnitřní ochranu proti zkratu výstupního napětí a tepelnou ochranu. Modul vyžaduje externí napájecí zdroj (ovládací panel ISES nemůže poskytnout požadovaný proud 1 A). Za zdroj byl použit školní zdroj BK 126 ($\pm 12 \text{ V}$) či BK 125 ($\pm 15 \text{ V}$), popř. lze rovněž použít na školách rozšířený zdroj napětí BS 525.

Abych splnil tyto parametry, rozhodl jsem se pro zapojení zobrazené na obr. 1. Pro proudové zesílení je použit zesilovač TDA2030 či jeho ekvivalenty (A2030V apod.), se kterým mám dobré zkušenosti z jiných zapojení, a který se běžně používá jako levný a kvalitní audio zesilovač. Proud, který

lze z tohoto obvodu odebírat, může za zvláštních podmínek dosáhnout až hodnoty 3A!!! [2], [3]. Pro naše účely bohatě bude dostačovat maximální proud do 1 A. Pokud bychom chtěli proudový odběr větší, lze použít zesilovače TDA2040 či TDA2050, které jsou z hlediska zapojení naprosto shodné, jsou však výkonově silnější (díky tomu ale i dražší).



Obr. 1 Elektronické schéma zapojení modulu Booster

Zapojení obvodu je téměř katalogové. Rezistory R1 a R2 společně se spínačem S1 nastavují dva režimy napěťového zesílení. Pokud je spínač rozeprt, má obvod dvojnásobné napěťové zesílení. Pokud je rezistor R1 zkratován spínačem, pracuje obvod jako klasický napěťový sledovač. Výstup obvodu je opatřen Boucherotovým členem (RC člen – R3 s C3), který zabráňuje nežádoucímu rozkmitání obvodu TDA2030 a který je v zapojení nutný (viz „oživení zapojení“). Diody D1 a D2 chrání výstup obvodu proti zpětným napěťovým špičkám způsobeným případnou indukční zátěží (cívka, motor apod.) na výstupu. Kondenzátory C1, C2, C4 a C5 filtrují napájecí napětí. Pokud pro napájení použijeme dostatečně stabilizovaný zdroj, můžeme kondenzátory C4 a C5 vynechat. Po praktických zkouškách muselo být zapojení doplněno o rezistor R4. V případě, že na vstupu zesilovače nebyl připojen kanál E soupravy ISES, výstup zesilovače přecházel do saturevaného stavu cca +13 V. K tomu by mohlo při výuce dojít, kdybychom se snažili „za chodu“ různě modifikovat připojený

pokus a přitom odpojili vstup modulu. Pokud by na výstupu bylo zapojeno zařízení, které vyžaduje maximální napětí menší než 13 V, mohlo by dojít k jeho poškození. S rezistorem R4 k tomu již nedochází, neboť při nezapojeném vstupu rezistor zaručí, že je vstup obvodu spojen s napětím 0 V.

Nespornou výhodou použitého obvodu TDA2030 je jeho integrovaná tepelná a protizkratová ochrana. Na obojí však nelze příliš hřešit a obvod proto raději nebudeme zbytečně nepřetěžovat. Pro jistotu je do obvodu zapojena ještě pojistka klasická a obvod musí být pochopitelně opatřen adekvátním chladičem. Dokonce nejen varování v [3], ale i mé osobní zkušenosti ukazují, že je nutné zapojovat obvod VŽDY s chladičem, byť by měl být tvořen jen kouskem plechu. Díky své vysoké vnitřní integraci se obvod bez chladiče uvnitř zahřeje na čipu pouze lokálně a dojde k jeho zničení dříve, než by obvod tepelné pojistky, který je na jiné části čipu, mohl zareagovat [4].

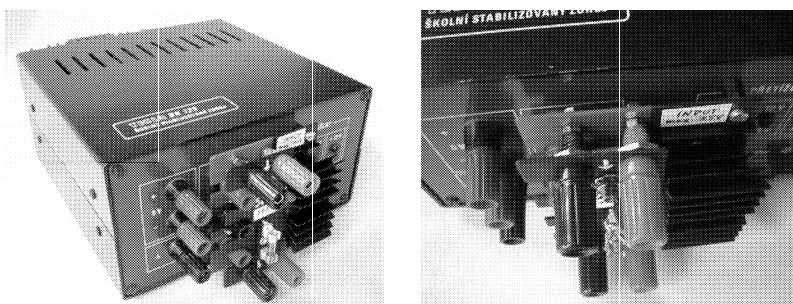
Oživení zapojení

Oživení obvodu není složité. Jediné nebezpečí je, aby obvod nezačal v zapojení kmitat. Tomu by měl zabránit Boucherotův člen na výstupu, ale může se stát, že i přesto ke kmitání dojde. Pak je třeba zvětšit kondenzátor C3 a zmenšit rezistor R3. Například u obvodu A2030V stačí $R3 = 5,5 \Omega$ a $C3 = 220 \text{ nF}$, v případě obvodu TDA 2030 musí mít R3 při stejné kapacitě kondenzátoru C3 hodnotu 1Ω . Kmitání výstupu můžeme pozorovat na osciloskopu, ale dokážeme jej odhalit i bez něj. Pokud dojde k rozkmitání obvodu, je jeho klidový proudový odběr okolo 1,5 A (!) a obvod se výrazně zahřívá. Po sestavení modul připojíme s uzemněným vstupem ke zdroji symetrického napětí a změříme klidové proudy v obvodech kladného a záporného napájecího napětí. Pokud obvod nekmitá budou se oba proudy pohybovat pod hranicí 100 mA. Zkoušku funkčnosti provedeme jednoduše. Na výstup zapojíme voltmetr, na vstup připojujeme různá napětí z rozsahu -5 V až $+5 \text{ V}$. Na výstupu bychom měli naměřit napětí stejná popř. dvojnásobná (dle polohy přepínače). Není-li na vstupu zapojeno žádné napětí, mělo by být na výstupu napětí 0 V. Proudové zesílení lze ověřit připojením nějaké zátěže (např. žárovky) na výstup.

Technická a konstrukční realizace

Návrh tištěného spoje i celkové zpracování jsem podřídil úpravě, ve které Booster provozujeme na naší škole. Jako zdroj proudu používáme

školní zdroj BK 125 či BK 126, které mají stejné čelní panely. Modul jsem řešil tak, aby jej bylo možné přimontovat přímo na napěťové zdířky, aniž by byl nutný jakýkoliv zásah do konstrukce zdroje. Dále jsem se snažil, aby modul nebránil přístupu k napěťovým zdírkám zdroje. Díky této koncepci modul se zdrojem tvoří jednu součást, která má své místo na pracovním stole a nikterak nepřekáží práci. Oproti originálnímu Boosteru je zde jen změna v připojení k panelu ISES. Originální modul Booster se k ovládacímu panelu připojuje zasunutím modulu do konektoru Canon kanálu E. V mém provedení propojuji vstup Boosteru vodiči s banánky do přístrojových zdírek kanálu E. Díky tomu není modul Booster automaticky detekován systémem ISES, ale je nutné nastavit jeho přítomnost ručně v daném menu (ale i to lze dořešit).



Obr. 2 Montáž Boosteru na školní zdroj BK 125/126 (a), detail (b)

Všechny elektronické součástky pro stavbu Boosteru jsem koupil u firmy GM Electronic, ale lze je koupit i u jiných prodejců, neboť se nejedná o žádné exotické součástky. U této firmy jsem koupil i potřebnou „bižuterii“ jako distanční sloupky, zdířky, chladič apod. Celková cena všech komponent byla pod hranicí 250 Kč, z toho byl paradoxně nejdražší položkou použitý chladič asi 80 Kč. Více podrobností o stavbě modulu, jako je schéma ve formátu programu Eagle, masku a výkresy pro vytvoření DPS, seznam součástek, řešení automatického rozpoznání modulu systémem ISES, naleznete na internetových stránkách Komise fyziky GymKT (<http://kabinet.fyzika.net>) v sekci Dílna.

Nemyslím si, že by tento návod měl vyvolat vlnu euforické domácí výroby modulů Booster pro ISES. Ale naopak si myslím, že by mohl být návodem pro některého fyzikáře-bastlíře či studenta, který by si chtěl se

stavbou modulu pohrát. Celkové pojetí bylo řešeno tak, aby bylo možné za co nejmenší náklady a s minimem součástek docílit modulu, který lze využít ve výuce stejně dobře jako modul originální. Pochopitelně lze modul dále modifikovat a upravovat, jak kdo uváží za vhodné. Navržení designu modulu přímo pro zdroje BK 125/126 má tu nevýhodu, že pak Booster nelze použít na zdroji jiného typu. Ale to vše jsou věci, které si musí každý zvážit sám a popřípadě realizovat elektronické zapojení na jiné desce plošných spojů. S ohledem na nízké náklady, jednoduché oživování a mechanickou proveditelnost, kterou lze realizovat doslova „na koleně“, myslím, že jde o řešení, které si svou pozornost zaslouží.

L i t e r a t u r a

- [1] Internetové stránky systému ISES – <http://kdt-12.karlov.mff.cuni.cz/index1.html>
- [2] Katalogový list obvodu TDA 2030.
- [3] *Testka, V.*: Nová generace obvodů pro BTV, Amatérské rádio B5/90, str. 162 – 199.
- [4] *Stráž, V.*: Operační zesilovače a výkonové operační zesilovače v nf technice, Amatérské rádio (příloha 1990), str. 72 – 80.

Vrtulník

VLADIMÍR LYSENKO

Přírodovědecká fakulta OU, Ostrava

Létání – to byl jeden z největších snů lidstva. Už významný renezanční umělec *Leonardo da Vinci* vytvořil nákresy prvních létajících strojů. Trvalo ale více než 400 let, než se první stroje vznesly. V r. 1738 švýcarský matematik a doktor *Daniel Bernoulli* objevil, že když se tekutina nebo plyn pohybuje rychle, vzniká menší tlak, než když se pohybuje pomalu. Zjistilo se, že když ptačí křídlo narazí na proud vzduchu, ten se rozdělí, a proudí nad a pod ním. Jelikož horní strana křídla je vyklenutá, musí horní proud urazit větší vzdálenost a pohybuje se větší rychlostí, než dolní proud. Nad křídlem vznikne tak menší tlak než pod ním. Rozdíl těchto tlaků je vztlak.

První funkční kluzák postavil a vyzkoušel r. 1853 Sir *George Cayley*. V 90 letech 19. století američtí bratři *Wilbur* a *Orville Wrightovi* zkonstruovali křídlo těžší vzduchu, které umožňovalo kontrolovaný let. Problémem zůstávalo zajištění potřebného vzlaku. Použili proto motor, který poháněl sadu vrtulí ve tvaru nosné plochy křídla, které se otáčely ve svislé poloze. Bratři Wrightovi uskutečnili svůj první let v takto poháněném letadle 17. prosince 1903 v Kitty Hawk v Severní Karolině [4]. Úspěšně tak demonstrovali princip používaný u všech pozdějších návrhů letadel.

1. Pohony letadel

Princip letadel jako zařízení, která se mohou pohybovat ve vzdušném obalu Země, může být *aerostatický* nebo *aerodynamický*. Na aerostatickém (Archimedově) principu jsou založeny vzducholodi a balony, které jsou lehčími vzduchu.

Aerodynamický princip využívají letouny těžší vzduchu. Ty se dělí podle způsobu, jakým je dosahováno vzlakové síly:

- a) Letadla s pevnými křídly – za současného dopředného tahu motoru (vrtulové, tryskové) nebo využívající vzdušné proudy (větroně) nebo složku tíhy (kluzáky).
- b) Letadla s rotujícími křídly – s motorovým pohonem rotoru (vrtulník, helikoptéra) nebo s využitím tíhy (vírníky, autogíra).

2. Tah vrtulníku

Uvažujme zjednodušený tvar vrtulníku (obr. 1) a stav, kdy vrtulník tzv. visí ve vzduchu.

Tento stav je dosažen tehdy, jestliže bude platit $\mathbf{F}_G + \mathbf{F}' = 0$, kde $\mathbf{F}_G$ je vektor tíhové síly vrtulníku, $\mathbf{F}'$ je vektor kompenzační síly vyvozené vrtulníkem. Pro velikost kompenzační síly platí

$$F' = ma = m \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(mv),$$

kde v je rychlost urychleného prostředí (vzduchu) a m je jeho hmotnost. Hmotnost urychleného prostředí (vzduchu) rotorem je

$$m = \rho V = \rho S s = \rho S v t,$$

kde ρ je hustota prostředí, S je aktivní plocha rotujícího křídla (vrtule) při zanedbání okrajových jevů, s je délka vzduchového válce za čas t . Po dosazení dostaneme

$$F' = \frac{d}{dt}(\rho S v^2 t) = \rho S v^2.$$


$$v_G = \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}}.$$
Matematika - fizika - informatika **15** 2005/2006

potřebný pro stoupání rychlostí v_s , P_G je výkon potřebný pro stav visení, P_s je výkon potřebný k zajištění stoupání rychlostí v_s . Je zřejmé, že při stoupání je nutno překonávat tíhovou sílu F_G . Rychlost stoupání je

$$v_s = \frac{P_{\text{celk.}} - P_G}{F_G} = \frac{P_s}{F_G}.$$

5. Numerické ověření

Pro ověření vztahů jsem si vybral vrtulník střední nosnosti (obr. 2), k němuž byly publikovány potřebné technické parametry [3].

Země původu	SRN
Výrobce	Messerschmitt
Typ	Eurocopter BK117-B2
Motor	2 × Lycoming LTS101 (2 × 442 kW)
Rotor	Levotočivý, D = 11 m, 4 listy
Vrtulka	Tlačná, 2 listá
Nosnost $M/M_{\max}$	1 740 kg/3 350 kg
Spotřeba	320 l/hod. JET A - 12
Osádka	Pilot + 7/9 cestujících
Použití	Všeobecné, záchranná služba
Cena	4,2 – 4,5 mil. euro (podle výbavy)

Stanovení rychlosti proudění pro stav visení

Použijeme vztah pro rychlost proudění a dosadíme za jednotlivé parametry $M = 1\,740$ kg, $M_{\max} = 3\,350$ kg, $\varrho = 1$ kg · m⁻³, $g = 9,81$ m · s⁻², $S = \pi D^2/4 = \pi \cdot 11^2/4$ m² = 95 m², takže dostaneme

$$v_G = \sqrt{\frac{Mg}{\varrho S}} = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{1 \cdot 9,5 \cdot 10^1}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 13,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v_{G\max} = \sqrt{\frac{M_{\max}g}{\varrho S}} = \sqrt{\frac{3,35 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{1 \cdot 9,5 \cdot 10^1}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 18,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 67 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$



Obr. 2

Vypočtené rychlosti proudění je potřeba dosáhnout pro zajištění stavu vísení jmenovité a maximální nosnosti.

Stanovení potřebného výkonu motoru pro stav vísení

Použijeme vztah pro výkon motoru a dosadíme za jednotlivé parametry

$$P_G = F_G v_G = 1,74 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 13,4 \text{ W} = 2,29 \cdot 10^5 \text{ W} = 229 \text{ kW}$$

$$P_{G\max} = F_G v_{G\max} = 3,35 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 18,6 \text{ W} = 6,11 \cdot 10^5 \text{ W} = 611 \text{ kW}$$

Je dostatečná výkonová rezerva pro maximální nosnost nákladu ($2 \times 442 \text{ kW}$).

Stanovení rychlosti stoupání

Výkon potřebný ke stoupání pro jmenovitou nosnost je

$$P_s = P_{\text{celk.}} - P_G = (884 - 229) \text{ kW} = 655 \text{ kW.}$$

Výkon potřebný ke stoupání pro maximální nosnost je

$$P_s = P_{\text{celk.}} - P_G = (884 - 611) \text{ kW} = 273 \text{ kW.}$$

V obou případech je nutno překonávat tíhovou sílu F_G .

Platí tedy $P_s = F_G v_s$, z čehož pak bude rychlost stoupání $v_s = \frac{P_s}{P_G}$. Po dosažení pak dostaneme:

$$v_{s \max} = \frac{6,55 \cdot 10^5}{1,74 \cdot 10^3 \cdot 9,81} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 34,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v_{s \min} = \frac{2,73 \cdot 10^5}{3,35 \cdot 10^3 \cdot 9,81} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 8,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

V případě jmenovité nosnosti i maximálního zatížení je u vrtulníku zajištěna dostatečná rychlost stoupání a tím také jeho manévrovací schopnost.

Závěr

V příspěvku je proveden návrh vztahů potřebných pro stanovení rychlosti proudění vzduchu vyvozených vrtulemi rotoru při zanedbání okrajových jevů na koncích vrtulí. Dále je stanoven vztah pro určení potřebného výkonu pro kompenzaci tíhové síly (stav visení) a podmínek pro určení rychlosti stoupání. Na příkladu jednoho typu vrtulníku je provedeno porovnání výsledků výpočtů s tabulkovými hodnotami zvoleného typu vrtulníku. Lze konstatovat, že vypočtené parametry jsou v relaci s tabulkovými hodnotami zvoleného typu vrtulníku.

Příspěvek se nezabývá případem tzv. autorotace, tj. pohybu vrtulníku s vypnutým motorem [5].

Literatura

- [1] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: Technická fyzika, SNTL, Praha, 1961.
- [2] Halliday, D. – Resnik, R. – Walker, J.: Fyzika, Část 1, – Mechanika, Vutium, Brno, 2000.
- [3] <http://www.vrtulnik.cz>
- [4] <http://letadla.aktualne.cz>
- [5] <http://www.vrtulnik.cz/pilotaz-hc.htm>