

Zažehování stupňů rakety pomocí elektroniky u motorů s kompozitní složí

23. Říjen 2003 [maňásek](#)

Hodně lidí se mě poslední dobou ptá, jakým způsobem řeším zažehování kompozitních motorů ve vícestupňových raketách. Na rozdíl od prachových motorů není zažehování více stupňů s kompozitními motory tak jednoduché. Metodu přímého zažehování nelze použít, protože neexistuje žádný booster s kompozitní náplní. Proč, to jsme si již [vysvětlili](#). Jedinou schůdnou cestou jak zažehnout další stupeň rakety, která je poháněna kompozitními motory, je řídit zážeh pomocí příslušné elektroniky. To je ovšem dost složité a je třeba nejprve pochopit několik základních zákonitostí. A právě o základních věcech pojednává dnešní článek. Čtenáři, kteří by chtěli znát detailní uspořádání vícestupňové rakety s kompozitními motory, si musí vyhledat doplňující informace sami.

Princip elektronického zažehování

Při elektronickém zažehování dalšího stupně musí nést raketa dodatečnou zátěž (tzv. payload), která se postará o zapálení následujících stupňů. V raketě budou umístěny tři komponenty: zdroj energie, palník a nějaká „černá skříňka“, která bude řídit zapálení následujících stupňů.

Zdroj energie

Většina lidí používá jako zdroj energie baterie. Jinou možností je kondenzátor, který je před odpálením rakety z rampy nabit. Velikost (kapacita) zdroje velmi závisí na použitém typu elektrického palníku. Čím více proudu k zapálení palník potřebuje, tím vydatnější musí být zdroj.

Palník

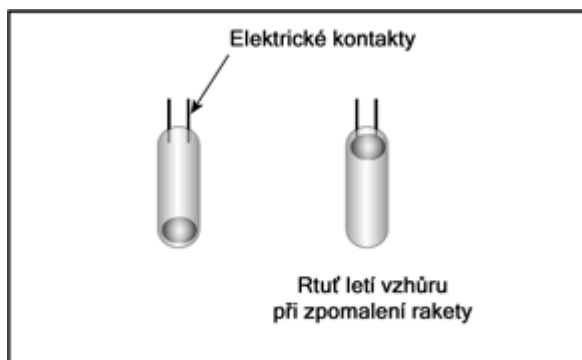
Ideální palník pro zážeh dalšího stupně bude takový, který potřebuje minimum proudu pro zapálení. Dá se použít běžný palník pro modelářské motory, nicméně zdatní raketýři dávají přednost něčemu spolehlivějšímu a energeticky méně náročnému. Palníkem s nejnižší spotřebou proudu je bezesporu výbojka klasického foto blesku. Při záblesku se baňka výbojky ohřeje natolik, že je schopná zapálit stopinu. Pro zvýšení spolehlivosti se stopina omotá páskou k výbojce. Stopina pak vyhoří v trysce motoru a způsobí jeho zážeh.

Tato metoda je použitelná tehdy, když je v následujícím stupni nasazen prachový motor. Pro kompozitní motory není příliš vhodná, protože stopina neshoří mžikově, ale nějakou dobu jí trvá, než prohoří až na konec kanálku. Potřebujeme mžikový zážeh, což u prachového motoru není problém, protože stopina je velmi krátká a čas pro oddělení stupňů je minimalizován. U kompozitního motoru musí být stopina dlouhá, aby dosáhla až na horní konec kanálku, takže trvá dlouho, než vyhoří a způsobí zážeh motoru. Více informací o palnicích různých výrobců a jejich úpravách naleznete [zde](#) (anglicky).

Záhadná „černá skříňka“

Jakmile jsme správně zvolili zdroj energie a palník, zbývá nám ona „černá skříňka“. Nazýváme ji černou skříňkou jednoduše proto, že to může být cokoliv. V zásadě ale tato komponenta určuje „kdy“ palník zapálí. S pomocí elektroniky lze vymyslet mnoho způsobů, jak a kdy nechat téct elektrický proud do palníku. Může posloužit rtuťový spínač (spíná při zpomalení letu), senzor zrychlení, časovač (jak elektronický tak mechanický), rádiový ovladač nebo různé „palubní počítače“.

Rtuťový spínač



Obr. 1. Rtuťový spínač detekuje zpomalení rakety

Rtuťové spínače byly vůbec prvními systémy používanými pro zážeh následujících stupňů. Fungují tak, že jakmile začne raketa po vyhoření boosteru zpomalovat, spínač se aktivuje a pustí elektrický proud do palníku dalšího stupně. Aby to fungovalo, musí být rtuťový spínač v raketě orientován tak, aby kontakty směřovaly k hlavici. Velkou výhodou rtuťového spínače je jeho minimální váha a je také ze všech „udělatek“ pro řízení zážehu následujícího stupně tím nejjednodušším.

Ovšem má také několik podstatných nevýhod. Zaprvé, ke zkratování kontaktů dochází jen na krátkou dobu. Ze zkušenosti každý ví, že mnoho palníků vyžaduje, aby jimi elektrický proud procházel poměrně dlouhou dobu, než dojde spolehlivě k zážehu. Další velkou nevýhodou rtuťového spínače je jeho nebezpečnost. Spínač se může aktivovat kdykoliv, když raketa zpomalí. A to neznamená jen při vlastním letu. Pouhé prudké zvednutí rakety nebo její naklonění může způsobit aktivaci rtuťového spínače. Riziko stále zůstává i při vřazení bezpečnostního vypínače do obvodu rtuťového spínače.

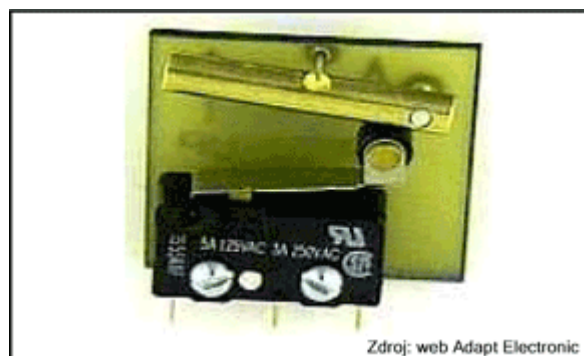
Jiným bezpečnostním problémem rtuťového spínače je, že může aktivovat další stupeň v nesprávné fázi letu. Model nemusí být ve chvíli aktivace spínače správně orientován a další stupeň se vydá po horizontální dráze namísto po vertikále. To není jen teorie, zde je konkrétní případ.

Řekněme, že booster po zážehu „odkašle“. Pro ty, kteří nevědí, co to znamená, krátké vysvětlení: motor po zážehu hoří jen kratičký okamžik a potom jeho hoření samo v mžiku ustane. Při tom vydá zvuk podobný lidskému zakašlání – odtud tedy název. Tento jev nastává pouze u motorů s kompozitní složí a může mít několik důvodů: palník nebyl úplně zasunut na konec kanálku motoru, nebo palník nepracoval správně a nevytvořil dostatečné množství tepla a tlaku uvnitř motoru, aby ten dokázal udržet hoření. V každém případě motor nedostatečně zažehne a zhasne. Byl jsem svědkem velmi divokých „odkašlání motoru“, které dokázaly raketu zvednout až ke konci vodící tyče odpalovací rampy. V těchto případech

je možné, aby rtuťový spínač detekoval zpomalení modelu a zapálil následující stupeň, ačkoliv se model nachází na startovací rampě. Pokud navíc následující stupeň nemá vodící oka (což není nemožné), odstartuje další stupeň horizontálně.

Tímto jsem chtěl zdůraznit, že použití rtuťového spínače s sebou nese určitá bezpečnostní rizika, která musí být při jeho použití vzata v úvahu.

Spínač na zrychlení



Obr. 2. Spínač na zrychlení

Firma Adept Electronic prodává speciální spínač na zrychlení, který eliminuje některé problémy rtuťového spínače. V zásadě jde o kovovou tyčku na čepu, která spíná klasický mikrospínač. Po celou dobu zrychlování letu rakety je spínač rozepnutý. Jakmile raketa začne zpomalovat, spínač sepne. Do jisté míry je to obdoba rtuťového spínače.

Je zde ale několik rozdílů. Čep kovové tyčky je stavitelný a při správném nastavení není možné spínač aktivovat při pouhém poponášení rakety. Spínač je navíc opatřen další elektronikou, která sleduje, zda došlo ke skutečnému startu a ne pouze k „odkašlání motoru“ či převržení modelu. Před aktivací spínače musí být detekováno déletrvající zrychlování (například vteřinu). Podle webových stránek Adept Electronic je spínač na zrychlení patentován. Sice neuvádějí číslo patentu, ale pokud si někdo chce vyrobit vlastní spínač na zrychlení, právo je zde aplikovatelné...

Nevýhodou spínače na zrychlení je jeho větší hmotnost a také jeho složitost (čím více komponentů v elektrickém obvodu, tím více šancí, že se něco pokazí). Jeho použití vidím spíše u velkých modelů raket.

Časovače

Jak mechanický tak elektronický časovač pracují stejným způsobem. Začnou odpočítávat čas, jakmile raketa opustí startovací rampu. Ve správný okamžik letu pustí elektrický proud do palníku a dojde k zážehu následujícího stupně.

Časovače jsou velmi levné a to je jejich výhoda. Navíc elektronické časovače lze vyrobit velmi malé a s minimální hmotností. Z tohoto důvodu již nevidím použití mechanických časových spínačů jako opodstatněné a můžeme je označit za morálně zastaralé.

Nevýhodou časovače je, že musí být nastaven podle konkrétně použitých motorů před startem rakety. Např. řekněme, že booster hoří dvě vteřiny. Chceme, aby zapálení horního stupně proběhlo přesně v čase vyhoření boosteru. V tomto případě se časovač musí nastavit tak, aby vydal povel k zapálení horního stupně po dvou vteřinách letu rakety. Ale to nemusí být vždy jednoduché...

Pokud je v horním stupni motor s kompozitní složí, chvíli trvá, než se motor natlakuje a dosáhne plného tahu. Z tohoto důvodu by měl dát časovač povel o něco dříve. Tímto chci říci, že při použití časovačů je třeba brát v úvahu mnoho okolností ve vztahu k fungování modelářských raketových motorů.

Také časovače mají svoje nevýhody. Největší z nich je skutečnost, že jakmile je jednou časovač nastartován, nelze ho nijak zastavit. To může být z pohledu bezpečnosti problém. Řekněme, že dvoustupňová raketa opouští startovací rampu (časovač začíná běžet) a v průběhu hoření motoru prvního stupně dojde k ulomení stabilizátoru. Raketa se v tomto okamžiku stane nestabilní. V ten moment nikdo nemůže odhadnout, jakým směrem bude raketa pokračovat v letu po zážehu druhého stupně. Nejpravděpodobněji – podle Murphyho zákonů – to bude dolů do davu přihlízejících diváků. Jinou nepříjemnou situací může být roztržení boosteru při startu. Druhý stupeň může být vymrštěn vzhůru, kde dojde k jeho zážehu. Ještě jednou: také při použití časovačů je třeba být opatrný.

Jak se časovač aktivuje?

Existuje hodně způsobů, jak časovač nastartovat. Určitě v následujícím krátkém výčtu všech metod na některou zapomenou. Proto neberte tento seznam jako vyčerpávající.

První z možností, která mě napadá, je vytrhávání zástrčky. Když je raketa připravena na odpalovací rampě, zástrčka (počítačový jumper, sluchátkový jack apod.) je zasunuta do zásuvky osazené na spodku rakety. Když se raketa zvedne, zástrčka je vytržena a časovač začíná odpočítávat. Někdy je zástrčka připevněna k lanku, takže raketa se musí nejprve zvednout do určité výšky než dojde k vytržení zástrčky. Jinou možností je klouzání mikrospínače po vodící tyči. Dokud vodící tyč tlačí proti spínači, časovač nestartuje. Jakmile raketa opustí vodící tyč, spínač sepne a aktivuje časovač. Také jsem v této úloze viděl použití optického LED snímače polohy.

Radiový systém

K řízení zažehování jednotlivých stupňů lze použít také radiový systém (modelářský). V tomto případě je v raketě namontován přijímač, který na základě povelu ze země aktivuje bezkontaktní spínač a ten přivede elektrický proud do palníku následujícího stupně.

Samozřejmě i tento systém má některé nevýhody. Zaprvé, radiový systém je drahý a zadruhé, přijímač je ve srovnání s časovači či spínačem na zrychlení těžší. Třetím problémem se může stát interference

od jiných vysílačů, které se nacházejí v dosahu. Již se staly případy, kdy někdo jiný používající stejnou frekvenci omylem zažehnul motor v jiné raketě.

Výhodou radiového systému je, že člověk má let rakety do určité míry pod kontrolou v případě, že nastanou nepředvídané skutečnosti během letu na booster. Jakmile raketa během letu na booster přestane být stabilní, nemusíme dávat povel k zážehu dalšího stupně. To je v tomto případě bezpečnější, než další stupeň nasměrovat plnou parou na hlavy diváků.

Palubní počítače

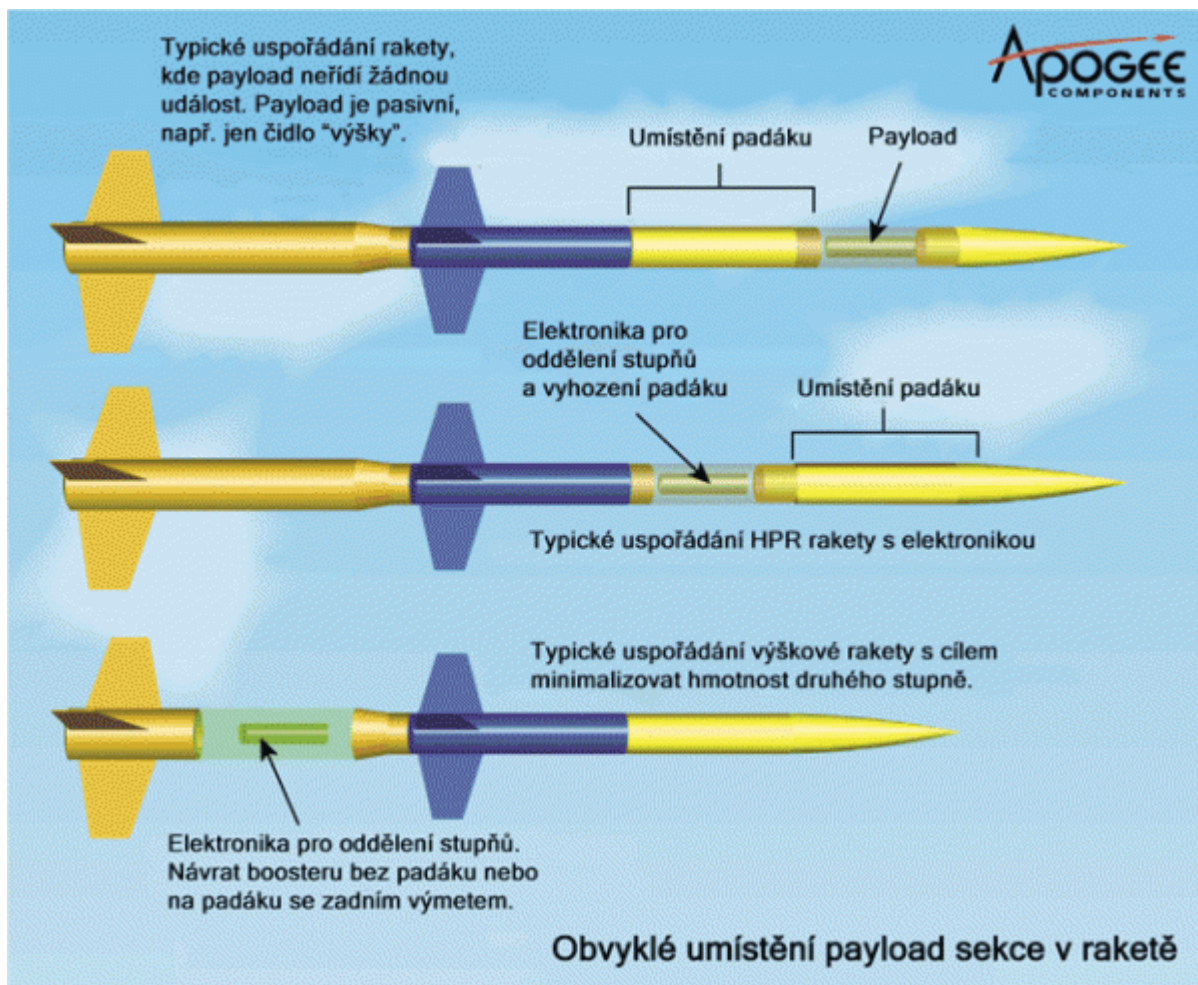
Palubní počítače jsou nejsložitějším zařízením používaným pro zažehování dalších stupňů. Jsou drahé, těžší, objemnější a mají náročnější požadavky na elektrické napájení. Na druhou stranu poskytují více kontroly (tedy i bezpečnosti) nad letem rakety.

Palubní počítač je malá zátěž (payload) namontovaná v trupu rakety. Protože počítač potřebuje získávat údaje o probíhajícímu letu, vždy k němu budou připojena nějaká čidla. Nečastějšími čidly jsou elektronické snímače atmosférického tlaku a měřiče zrychlení. K počítači lze připojit i další udělatka jako jsou při startu vytrhávané zástrčky, spínače na zrychlení, optické spínače apod.

Palubní počítač je mozek uvnitř rakety. Zpracovává informace přicházející od čidel a rozhoduje kdy (a pokud vůbec) dojde k zážehu dalšího stupně. Představme si, že čidlem připojeným k počítači je například měřič zrychlení. Počítač bude sledovat údaje z měřiče a na jejich základě bude posuzovat, zda zrychlení, které detekuje, patří skutečnému stratu rakety z rampy, nebo zda jde jen o „odkašláni motoru“ nebo jeho protržení v momentě zážehu. Pokud půjde o „odkašláni motoru“, počítač zablokuje zapálení dalšího stupně. Pouze pokud sledovaná data z měřiče zrychlení vypadají „rozumně“ dojde k iniciaci následujícího stupně.

Pokud bude k počítači připojen snímač atmosférického tlaku, počítač může hlídat předem zvolenou výšku. Například nemusí na základě údajů ze snímače tlaku povolit iniciaci následujícího stupně, dokud raketa nedosáhne výšky 200m.

Palubní počítač je všestranný pomocník, zejména když jsou k němu připojena čidla různých typů. Pokud je k němu například připojen jak měřič zrychlení, tak snímač atmosférického tlaku, počítač je schopen řídit během letu více věcí, říkáme událostí, najednou. Událostmi mohou být odpálení následujícího stupně nebo vyhazování více padáků v různých výškách. Pokud jsme postavili velkou raketu, palubní počítač je určitě ta správná volba. Může být naprogramován k řízení mnoha událostí a má dobré vlastnosti z hlediska bezpečnosti.



A to je konec mého základního pojednání o elektronickém zažehování stupňů rakety. Doufám, že v něčem a někomu bude užitečné. Kdo chce získat další informace, tomu doporučuji projít weby výrobců elektronických zařízení pro rakety. Níže také uvádím seznam některých článků, které jsem sám shledal užitečnými.

Výrobci a dodavatelé elektroniky:

- **Missile Works** prodává programovatelný časovač
- časovače a palubní počítače **Perfectflite**.
- **GWiz Partners** prodávají palubní počítače

Články na webu:

- základní článek o různých **způsobech zažehování** následujících stupňů pomocí elektroniky

O autorovi:

Tim Van Milligan je majitel **Apogee Components** a nového **výukového webu** o raketovém modelářství .
Je také autorem knih Model Rocket Design and Construction a 69 Simple Science Fair Projects with

**Model Rockets: Aeronautics. Mimo jiné vydává FREE e-zine newsletter o raketovém modelářství.
Přihlásit se lze e-mailem s předmětem SUBSCRIBE zaslaným na ezine(zavináč)apogeerockets.com.**

Překlad: Roman Maňásek