

# Lze měřit hladinu pomocí dvou izolovaných trubek?

T. Zikmund\*, D. Daříček\*\*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1\*

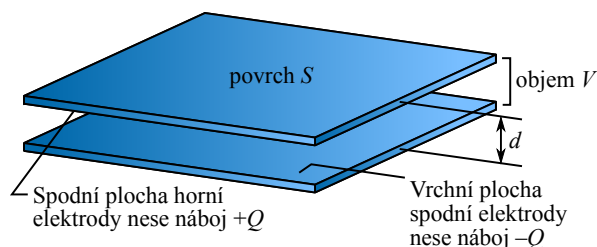
Fakulta vojenských technologií, Kounicova 65, 662 10 Brno\*\*

tomaszikmund@me.com\*, daricek.dalibor@seznam.cz\*\*

## Abstrakt

Příspěvek prezentuje výrobu kapacitního palivoměru použitého při modernizaci motocyklu JAWA 350. V automatizaci se pro měření zpravidla využívají některé vlastnosti látek: změna odporu podle teploty, roztažnost kovů, index lomu světla a další. V tomto případě se využívá relativní permitivita, vlastnost, která říká, o kolik se změní kapacita kondenzátoru, použije-li se látka jako výplň mezi elektrody kondenzátoru. Výhodami takového palivoměru jsou jednoduchá konstrukce a mechanická odolnost. Nalezneme je v závodních vozech, nákladních automobilech nebo v letadlech.

můžou tvořit dvě vhodně uspořádané elektrody. Takový kondenzátor (viz. Obrázek 1) nazýváme deskový kondenzátor. Přiložením elektrického



**Obrázek 1:** Deskový kondenzátor tvoří dvě elektrody ve vzdálenosti  $d$ , každá má plochu  $S$ . Na přilehlých plochách nesou stejně velké elektrické náboje  $Q$  navzájem opačných znamének. [3]

## 1 Úvod

Podnětem k této práci byla možnost modernizovat starší typ motocyklu Jawa 350. Jedná se o motocykl nižší výkonové kategorie, který plně vyhovuje po motorové stránce pro ježdění, ale zaostává v základní elektrické instalaci a možnosti sledování parametrů motocyklu. Docela velkou nevýhodou je absence ukazatele paliva, kdy neznalost množství paliva v nádrži může být dost nepříjemná, zejména při delších cestách.

## 2 Rozbor úlohy

### 2.1 Kondenzátor

Základem celé konstrukce je kondenzátor. Jedná se o elektrickou součástku, která slouží jako akumulární prvek. V nejjednodušším případě jej

napětí  $U$  se do kondenzátoru nashromáždí elektrický náboj  $Q$ <sup>1</sup>. Závislost uskladněného elektrického náboje  $Q$  v kondenzátoru na přiloženém napětí  $U$  popisuje následující vztah [3]:

$$Q = CU \quad (1)$$

kde:  $Q$ ... elektrický náboj,  
 $C$ ... kapacita kondenzátoru,  
 $U$ ... elektrické napětí na svorkách.

**Kapacita** Z rovnice (1) je zřejmé, že náboj  $Q$  je přímo úměrný napětí  $U$ . Směrnice  $C$  je kapacita kondenzátoru. Hodnota kapacity závisí na velikosti a tvaru kondenzátoru. Čím větší je kapacita kondenzátoru, tím větší náboj bude obsahovat, bude-li nabit na určité napětí. [3]

<sup>1</sup>Uvažuje se náboj na jedné z elektrod. Součet nábojů obou elektrod je roven nule.

**Dielektrikum** Prostor mezi deskami kondenzátoru nemusí být prázdný. Jestliže vyplníme prostor mezi elektrodami dielektrikem, elektricky nevodivým materiálem, vzroste kapacita kondenzátoru. Kolikrát vzroste kapacita kondenzátoru udává relativní permitivita  $\varepsilon_r$  a je charakteristická pro každý materiál (viz. Tabulka 1):

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

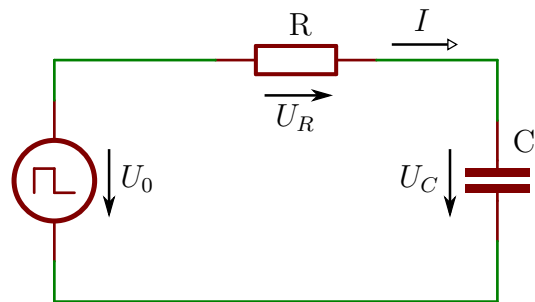
kde:  $\varepsilon_r$  ... relativní permitivita,  
 $C$  ... kapacita s dielektrikem,  
 $C_0$  ... kapacita bez dielektrika.

| Materiál               | $\varepsilon_r$ |
|------------------------|-----------------|
| vzduch                 | 1,00054         |
| benzín                 | 2,1             |
| polystyren             | 2,6             |
| transformátorový olej  | 4,5             |
| pyrex (varné sklo)     | 4,7             |
| slída                  | 5,4             |
| porcelán               | 6,5             |
| křemík                 | 12              |
| germanium              | 16              |
| ethanol                | 25              |
| voda (20 °C)           | 80,4            |
| voda (25 °C)           | 78,5            |
| titanová keramika      | 130             |
| titaničitan strontnatý | 310             |

**Tabulka 1:** některá dielektrika [3]

## 2.2 Měření kapacity

K měření kapacity využijeme časového průběhu při nabíjení kondenzátoru. Na obrázku 2 je schéma elektrického obvodu pro nabíjení/vybíjení kondenzátoru. Obsahuje zdroj pulzujícího elektrického napětí, rezistor a kondenzátor, který se společně s pulzujícím napájecím napětím  $U_0$  střídavě nabíjí a vybíjí. Nabíjecí (resp. vybíjecí) proud do kondenzátoru je omezen zapojeným rezistorem. Proud je přímo úměrný napětí na rezistoru, který odpovídá rozdílu mezi napětím zdroje a napětím na kondenzátoru. To znamená, že nabíjecí (resp. vybíjecí) proud je tím menší, čím více je kondenzátor nabit. Průběh nabíjení (resp. vybíjení)



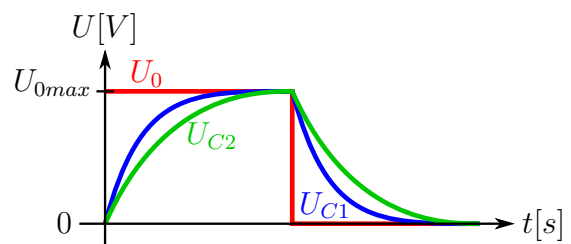
**Obrázek 2:** RC článek. Rezistor omezuje rychlost nabíjení kondenzátoru.

při změně pulzu napětí ze zdroje popisuje jako funkci napětí na kondenzátoru  $U_C$  následující vztah [1]:

$$U_C(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) + U_C(0) \quad (3)$$

kde:  $U_C$  ... napětí na kondenzátoru,  
 $U_0$  ... napětí ze zdroje,  
 $R$  ... odpor rezistoru,  
 $C$  ... kapacita kondenzátoru,  
 $U_C(0)$  ...  $U_C$  v okamžiku změny  $U_0$ ,  
 $t$  ... čas od změny  $U_0$ .

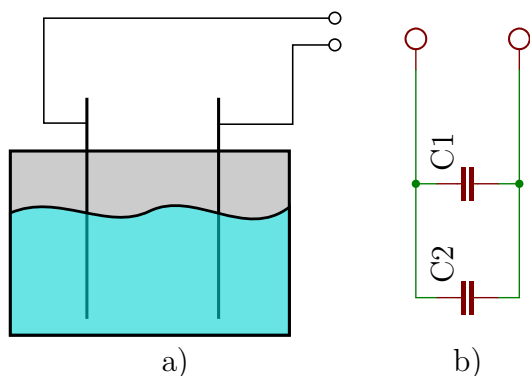
Zobrazený časový průběh (viz. Obrázek 3) ukazuje nabíjení a vybíjení kondenzátoru  $C$ , kdyby měl kapacitu  $C_1$ , nebo  $C_2$ :  $C_1 < C_2$ . Použitím prahových napětí (např. napět'ovým komparátorem) je možné tento časový průběh převést na časový impuls závislý na kapacitě.



**Obrázek 3:** Časový průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Červené  $U_0$  je pulzující napětí ze zdroje. Exponenciální průběhy jsou napětí na kondenzátoru  $C$ , kdyby měl menší kapacitu  $C_1$  (modře), nebo větší kapacitu  $C_2$  (zeleně). [1]

## 2.3 Závislost kapacity kondenzátoru na výšce hladiny

Ponořený kondenzátor můžeme pomyslně rozdělit na ponořenou a neponořenou část. Každou tuto část můžeme vnímat jako kondenzátor ( $C_1$  a  $C_2$  viz. obrázek 4), který má



**Obrázek 4:** Částečně ponořený kondenzátor a) můžeme vnímat jako dva paralelně zapojené kondenzátory b) s rozdílným dielektrikem.

určitou velikost a homogenní dielektrikum [2]. Označme  $p$  poměr zanořené části k celkové výšce a  $C_0$  jako kapacitu při úplném vymoření. Uvažujme, že kondenzátor je umístěn kolmo ke hladině, pak plocha je přímo úměrná výšce. Kapacita paralelně zapojených kondenzátorů se sčítá. Výsledná kapacita částečně ponořeného kondenzátoru je popsána tímto vztahem:

$$C = \underbrace{\varepsilon_r C_0 p}_{C_2} + \underbrace{C_0(1-p)}_{C_1} \quad (4)$$

Ze vztahu (4) je zřejmé, že závislost kapacity na výšce hladiny (ponoru)  $C(p)$  je lineární.

## 3 Konstrukce

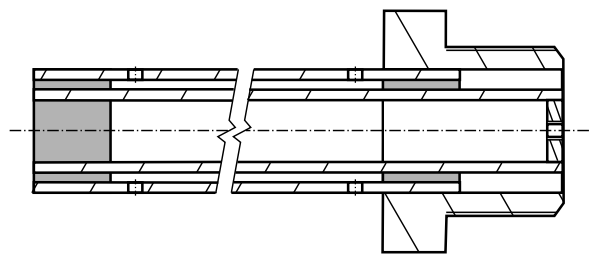
### 3.1 Palivoměr

Palivoměr je vyroben jako válcový kondenzátor<sup>2</sup> ze dvou hliníkových eloxovaných trubek. Trubky jsou uspořádány soustředně, jejich konce jsou utěsněny a jsou uchyceny do šroubení, které zajišťuje montáž do nádrže. Vnější trubice je opatřena otvory tak, že palivo může vtékat do prostoru mezi trubícemi.

Palivoměr je připojený k monostabilnímu klopnému obvodu (viz. Obrázek 6). Ten převádí kapacitu na časový interval (kap. 2.2). Po spuštění klopného obvodu odpoví dlouhým impulzem. Impulz je přímo úměrný kapacitě.

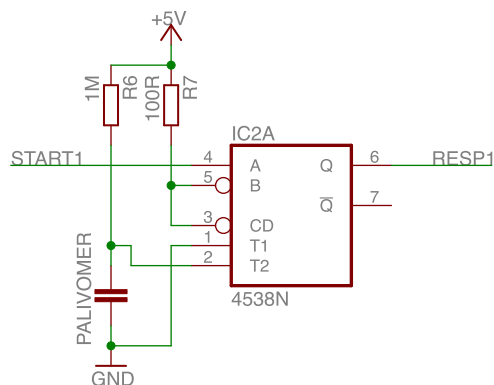
Klopný obvod je zapojen v bezprostřední blízkosti kapacitního palivoměru. Slouží jako

<sup>2</sup>Válcový kondenzátor je principiálně stejný jako deskový kondenzátor. Rovina deskového kondenzátoru je stočena do kruhu.



**Obrázek 5:** Konstrukce palivoměru. Dvě soustředné eloxované hliníkové trubice jsou na koncích utěsněny a jsou uchyceny do šroubení. Vnější trubice je opatřena otvory tak, aby palivo mohlo vtékat do prostoru mezi trubícemi.

tvarovač signálu, aby nebyl náchylný na rušení a bylo možné jej rozvést po motocyklu až k palubnímu počítači, který signál vyhodnotí a zobrazí na palubní desce. Jinak, použitý jednočipový počítač má integrované periférie, jež by funkci klopného obvodu zastaly.



**Obrázek 6:** Zapojení palivoměru do obvodu. Integrovaný obvod 4538 po spuštění vygeneruje impulz dlouhý podle kapacity připojeného kondenzátoru.

### 3.2 Zpracování a zobrazení signálu

Celé měření řídí jednočipový počítač. Jedná se o součástku, která v jednom čipu obsahuje počítač, vše co potřebuje ke své činnosti a některé další měřicí periférie. Funkce této součástky se řídí podle programu nahraného v její paměti. Pouhou změnou softwaru je možné změnit funkci bez zásahu do zapojení.

Počítač v určených intervalech spouští měření paliva<sup>3</sup> a měří odezvu. Získanou odezvu porovnává

<sup>3</sup>generuje pulzy pro klopný obvod

s tabulkou uloženou v paměti za účelem linearizace. Palivoměr změří pouze výšku hladiny, objem je závislý na výšce podle tvaru nádrže. V naší konstrukci jsme linearizaci nakonec nevyužili, protože nelinearita byla pod rozlišením palivoměru. Kromě měření paliva slouží počítač též k měření otáček motoru, zobrazení hodnot, diagnostice a zabezpečení.



**Obrázek 7:** Ukazatelé. Jsou hnány servomotorky se zpětnou vazbou. Ukazatel vlevo zobrazuje otáčky motoru a ukazatel vpravo zobrazuje palivo v nádrži.

K zobrazení slouží ukazatelé hnané servomotorky se zpětnou vazbou. Výstupem jsou tedy ručičkové ukazatelé. Počítač zadá pozici a servomotorek sám na ni přesune ukazatele. Zde se projeví výhoda digitální konstrukce, protože na stupnici je možné s pomocí počítače přesně označit konkrétní hodnoty.

## 4 Závěr

Hliníkové eloxované trubice je možné zakoupit v hobby marketu. Dvě soustředné trubice jako palivoměr jsou jednoduchá konstrukce v porovnání s plovákovými systémy. Navíc nemá pohyblivé části a je tak mechanicky odolnější proti otřesům. Odtud je zřejmé využití kapacitních palivoměrů v náročnějších podmínkách jako jsou letadla, nákladní a závodní vozy.

Dost velkým problémem bylo utěsnění otvoru v nádrži, kterým byl palivoměr do ní zasazen. Tento problém se nakonec podařilo vyřešit vhodnou kombinací těsnění (silikonový těsnící tmel a klingeritové kroužky) a úpravou kon-

strukce šroubení kondenzátoru (zesílení dovovalo zvýšit utažení šroubení v nádrži).

V průběhu cejchování nádrže se ukázalo, že benzínové výpary nemají vliv, a také, že vyrobený kondenzátor má poměrně malou kapacitu. Změna délky impulsu se projevuje až u změny paliva o půl litru. Nelinearita hladiny a objemu se tedy nemohla ani neprojevit. Za toto může nedostatečné nastavení snímacího časovače v počítači. Správným nastavením je možné zvýšit citlivost až 20 krát. Tuto chybu lze odstranit softwarově, ale zatím k tomu nedošlo. Nicméně i současná citlivost je dostatečná pro primární účel motocyklu.

## Reference

- [1] Hájek, K.; Sedláček, J.: *Kmitočtové filtry*. Praha: BEN - technická literatura, první vydání, 2002.
- [2] ANDRLE, M.: *Základy leteckých elektrotechnických systémů*. Brno: Univerzita obrany, 2007.
- [3] Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J.: *Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. VUTUM a Prometheus, 2000.