

# Synergie mezi Hallovými a induktivními senzory magnetického pole pro budoucí fúzní reaktory

Matěj Ivánek

ČVUT v Praze, FJFI



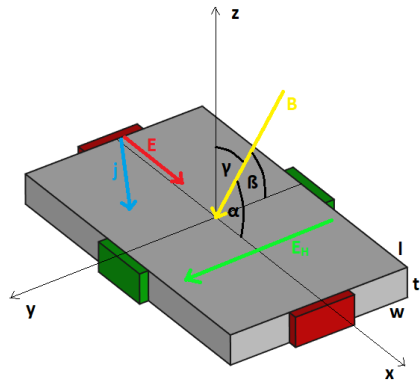
- 1 Halovy senzory a Vliv geometrických rozměrů citlivé vrstvy na jejich provozní vlastnosti
- 2 Návrh kombinovaného Hallova a indukčního senzoru
- 3 Vyhodnocení signálu z kombinovaného senzoru (data fusion)

## Princip Hallova senzoru

- $$U_{out} = -R_H \frac{I}{t} B \cos \gamma$$

- $$B = \frac{U_{out} t}{R_H I}$$

- $$U_{out} \sim B$$



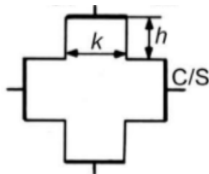
Obrázek: Schéma Hallova senzoru

# Výstupní napětí Hallova senzoru

- Výstupní napětí Hallova senzoru dané geometrie závisí na dvou parametrech  $G_H$  a  $G_R$

## Výstupní napětí Hallova senzoru

$$U_{out} = \frac{G_H}{G_R} R_H I B$$



Obrázek: Schéma křížového Hallova senzoru

- Geometrický faktor rezistivity  $G_R$

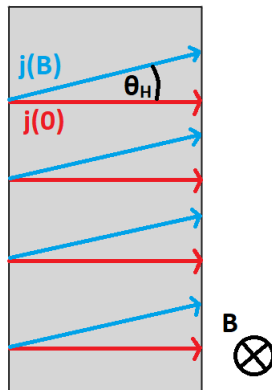
## Geometrický faktor rezistivity

$$G_R \in (1; 1 + \mu_H B)$$

- Geometrický faktor napětí  $G_H$

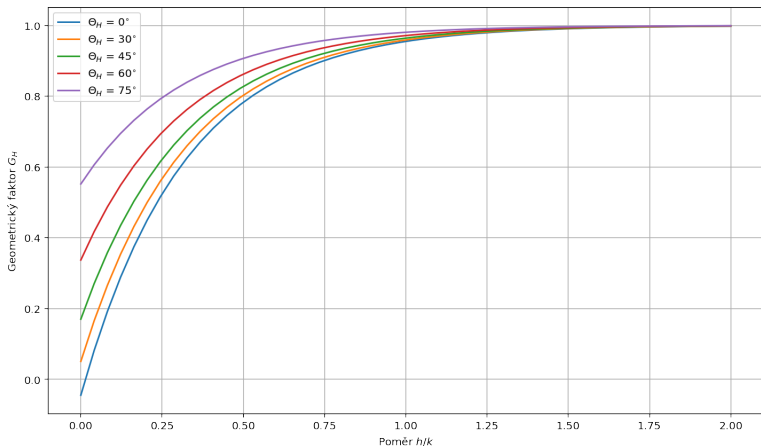
## Geometrický faktor napětí

$$G_H(h/k, \Theta_H) \approx 1 - 1,045 \exp\left(-\pi \frac{h}{k}\right) \left(1 - \frac{\Theta_H^2}{3}\right)$$



Obrázek: Schéma vysvětlující Hallův úhel

# Průběh geometrického faktoru napětí



**Obrázek:** Závislost geometrického faktoru napětí na rozměrech křížového Hallova senzoru

## Hallův senzor

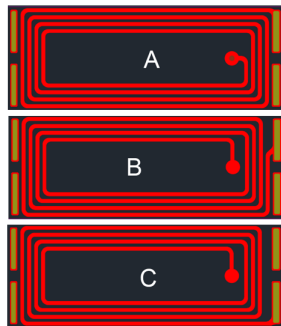
- $U_{out} \sim B$
- Není nutná integrace
- Bez offsetu
- Relativně špatné SNR
- Úzký frekvenční rozsah

## TPC cívka

- $U_{ind} \sim \frac{\partial B}{\partial t}$
- Nutnost integrace
- Offset
- Relativně lepší SNR
- Široký frekvenční rozsah

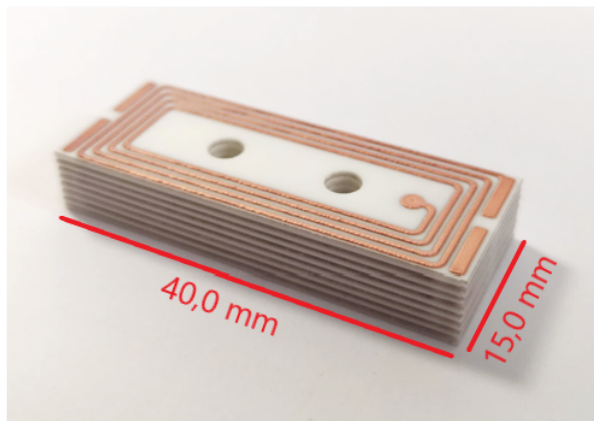


- TPC = Thick Printed Copper
- Tištěné měděné kontakty na keramickém podkladě
- Odolnost vůči teplotnímu cyklování
- Kompaktní (vysoká efektivní plocha při malých rozměrech)
- Tři druhy vrstev
- Uspořádání *ABABABAC*



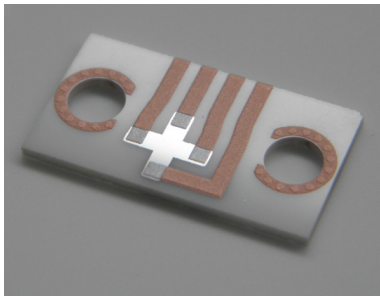
Obrázek: Schéma vrstev TPC cívky

## Rozměry TPC cívky

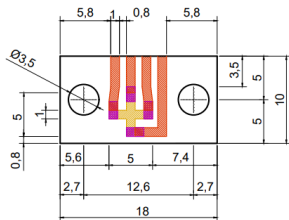


Obrázek: Fotografie TPC cívky

# Hallův senzor



Obrázek: Fotografie Hallova senzoru



Obrázek: Schéma Hallova senzoru

- Odhaduje budoucí stav systému na základě stavu současného
- Bere v potaz informace z měření systému a jeho případného modelu
- Při sensor fusion můžeme brát jeden signál jako "správný"
- Druhý pak volíme jako korekční
- Můžeme volit míru penalizace odchylky od tohoto signálu
- Rovnice pro kombinaci senzorů magnetického pole

## Rovnice cívky a Hallova senzoru

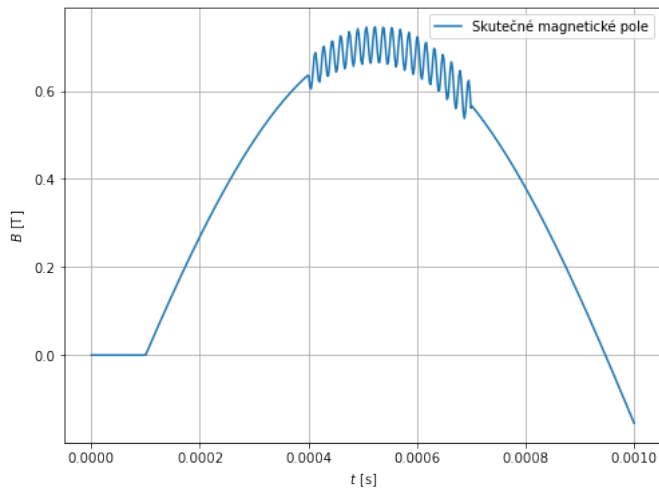
$$\dot{B} = \dot{B}_c - d_c$$

$$B_H = B + d_H$$

## Výsledná rovnice

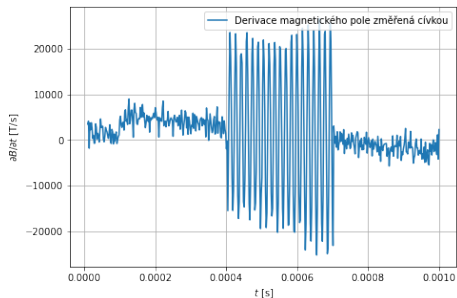
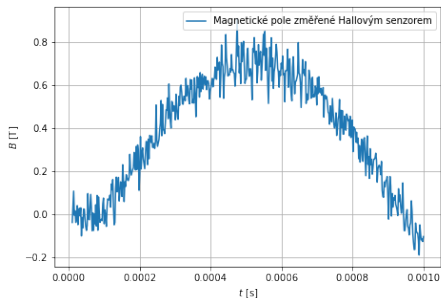
$$\dot{\hat{B}}(t) = \dot{B}_c(t) + \mathbb{L}(t)(B_H(t) - \hat{B}(t))$$

# Použitý průběh magnetického pole



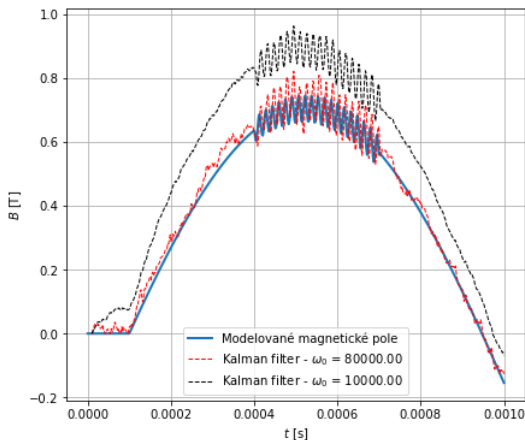
Obrázek: Časový průběh magnetického pole s magnetickým ostrovem

# Měření numerickým modelem senzoru



Obrázek: Průběhy signálů z jednotlivých senzorů

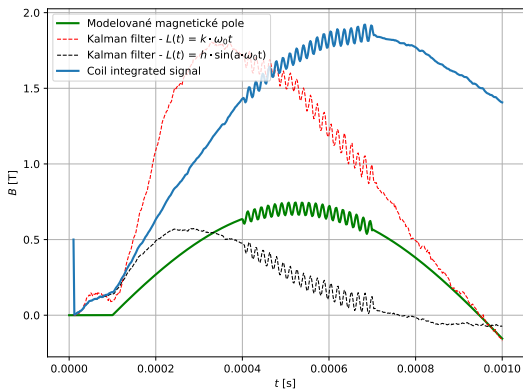
# Vývoj chyby Kalmanova filtru pro druhý průběh



Obrázek: Časový průběh Kalmanova filtru pro různé hodnoty gainu.



# Nekonstantní gain



Obrázek: Možnosti volby při určování gainu Kalmanova filtru.

- Hallové senzory jako komplementy indukčních senzorů
- Návrh konstrukce kombinovaných senzorů
- Návrh algoritmu pro kombinaci signálů z kombinovaných senzorů
- Testování kombinovaných senzorů na reálných datech