

# ***Stepper measurement***

# 1.Úvod

## Popis úkolu:

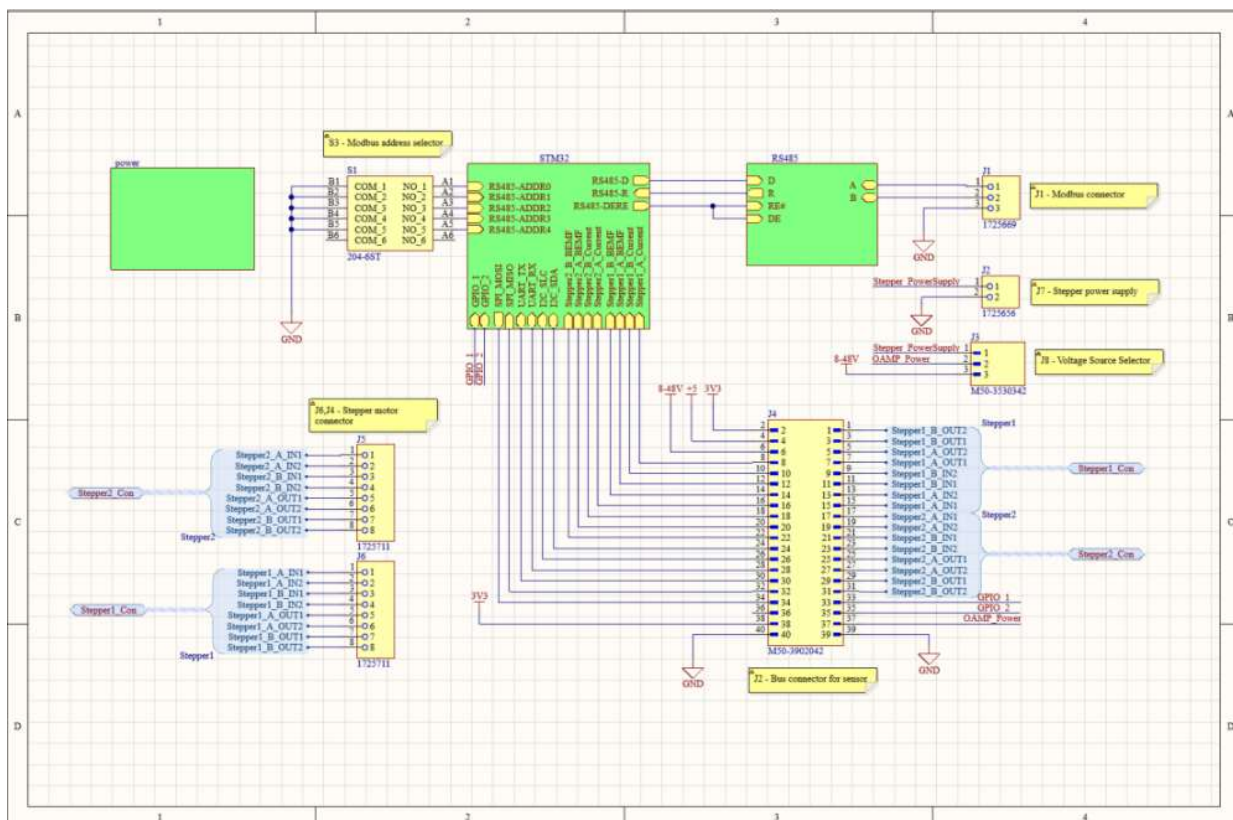
Cílem tohoto úkolu je navrhnout a vytvořit hardware s mikrokontrolérem STM32 a odpovídající firmware pro sledování buzení vinutí stejnosměrných krokových motorů bez Hallových senzorů. Měření bude probíhat pomocí vícekanálového ADC, který bude sledovat napětí a proud na obou vinutích motoru. Zařízení umožní připojení dvou motorů, tedy celkem čtyř vinutí.

## Klíčové body úkolu:

1. **Návrh a výroba hardwaru** – výběr vhodného STM32 mikrokontroléru, návrh PCB a osazení komponent.
2. **Implementace ADC měření** – konfigurace a optimalizace měření napětí a proudu na vinutích motorů.
3. **Zpracování a analýza dat** – vytvoření algoritmu pro vyhodnocení chování motorů na základě naměřených hodnot:
  - a. zejména počet kroků/mikro-kroků, který odpovídá průběhům proudů na vinutích,
  - b. případně detekce dorazu motorů ze změny průběhů proudů a napětí.
4. **Komunikace s PC nebo jiným zařízením** – např. pomocí sběrnice Modbus, kterou často využíváme pro testovací nástroje.
5. **Optimalizace** – nastavení optimální vzorkovací frekvence, parametrů ADC, apod.
6. **Testování a validace** – ověření funkčnosti systému na reálných motorech, ladění softwaru a hardwaru.

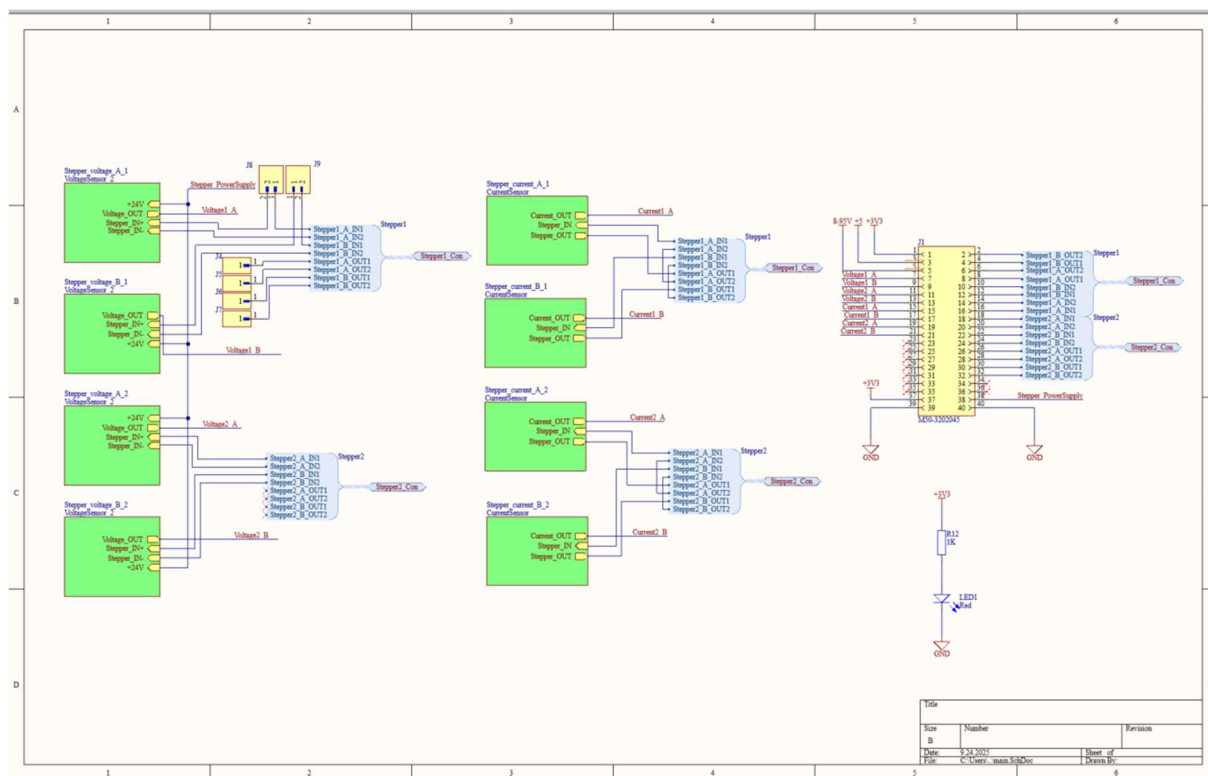
## 2. Hardware

Pro řízení byl použit mikrokontrolér **STM32F446RET**. Využívá se jeho **12bitový ADC převodník**, konkrétně osm kanálů nastavených pro sledování napětí a proudu na vinutích motorů. Každé vinutí je tak měřeno dvojicí kanálů – jedním pro napětí a druhým pro proud. Díky tomuto uspořádání lze současně vyhodnocovat čtyři vinutí, tedy dva krokové motory, a na základě naměřených dat sledovat jejich chování. Proud je snímán pomocí shunt rezistorů se zesilovači, které upravují signál do rozsahu vhodného pro ADC.

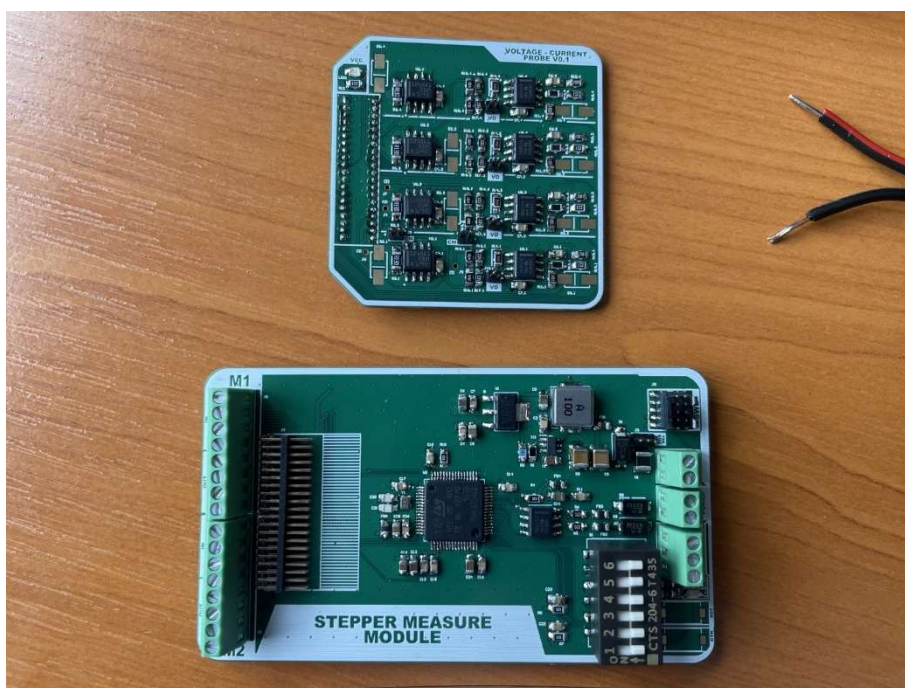


Obrázek 1: Schéma propojení STM32 s měřicí částí

V současné fázi vývoje je zhotovena první verze zařízení, ve které je měřicí modul k hlavní desce připojen pomocí konektorů. Toto řešení umožňuje snadnější testování a případné úpravy zapojení bez nutnosti výroby nové desky. Zároveň poskytuje možnost rychlé výměny měřicí části nebo doplnění dalších variant zapojení při ladění.



Obrázek 2: Schéma zapojení měřicího modulu pro snímání napětí a proudu vinutí



Obrázek 3: Foto reálného HW

### 3. Zpracování dat

Měření proudů a napětí na vinutích motoru je řešeno pomocí vestavěného 12bitového ADC mikrokontroléru STM32. Využívají se čtyři kanály, kde dvojice vstupů vždy odpovídá jednomu vinutí – jeden kanál snímá proud a druhý napětí. Naměřená data jsou průběžně zpracovávána ve funkci obsluhy přerušení od DMA převodu.

Hodnoty z ADC procházejí filtrem kombinujícím exponenciální průměr a klouzavý průměr, aby se snížil vliv šumu. Z vyfiltrovaných proudů obou fází se počítá aktuální elektrický úhel motoru pomocí funkce *atan2*, který se převádí na stupně. Tento úhel je pak využit pro detekci kroků a směru otáčení. Algoritmus rozpoznává jednotlivé krokové polohy na základě definovaných úhlových mezí a při jejich dosažení inkrementuje nebo dekrementuje čítač kroků podle směru rotace.

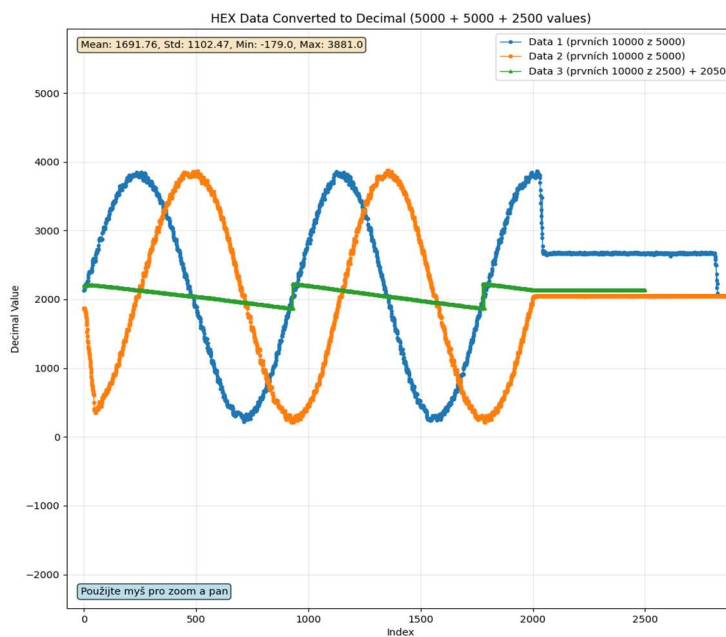
Součástí měření je také sledování okamžiků, kdy proudy přecházejí nulou. V těchto okamžicích se ukládají odpovídající hodnoty napětí do vyrovnávací paměti, odkud se následně počítají jejich průměry. Tyto údaje lze využít k detekci mechanických dorazů nebo k analýze zatížení motoru.

Celý systém tak v reálném čase zajišťuje získávání a zpracování dat z vinutí motoru, filtraci signálů a odvozování parametrů, jako je počet kroků, směr otáčení a chování při zatížení.

### 4. Dosažené výsledky

Pro lepší analýzu výsledků jsou naměřené hodnoty z mikrokontroléru ukládány a následně zpracovávány pomocí jednoduché aplikace v Pythonu. Tato aplikace zajišťuje vykreslení průběhů proudů a napětí ve vinutích motoru.

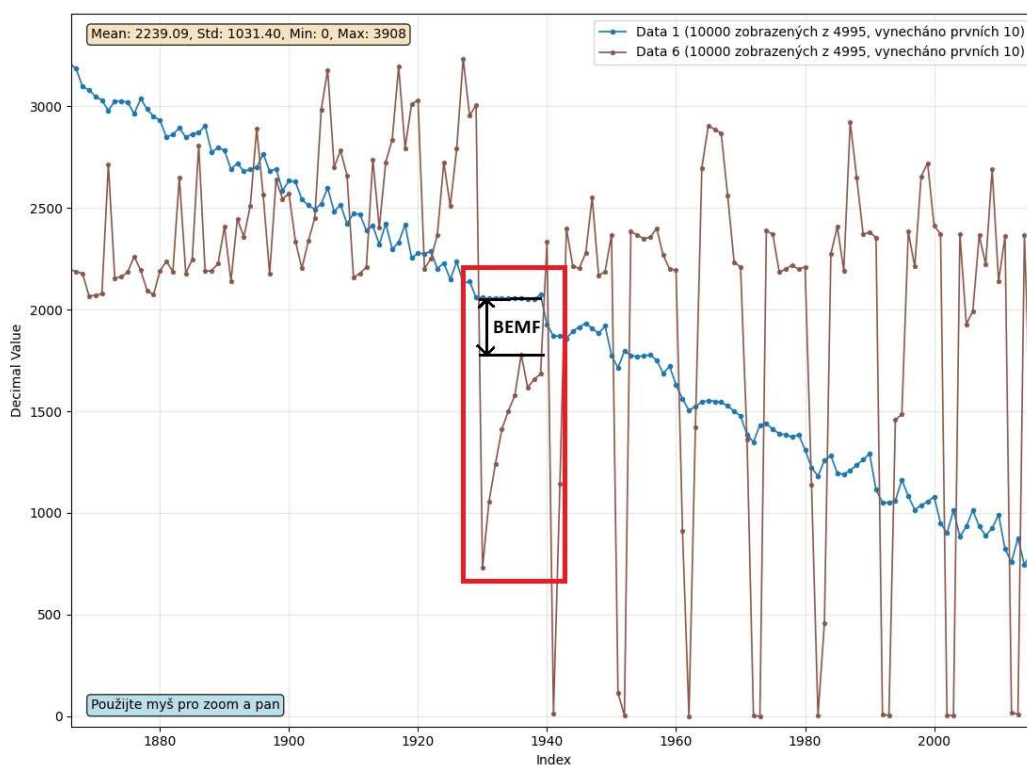
Na následujícím grafu jsou zobrazeny průběhy signálů získané z měřicího modulu. Oranžová a modrá křivka představují naměřené hodnoty proudu ve vinutích motoru. Zelená křivka odpovídá výstupu funkce *atan2*, která z proudů obou fází počítá okamžitý úhel motoru. Tento úhel je následně využit k určení jednotlivých kroků a směru otáčení.



Obrázek 4: graf zobrazující průběhy proudů jednotlivými cívkami

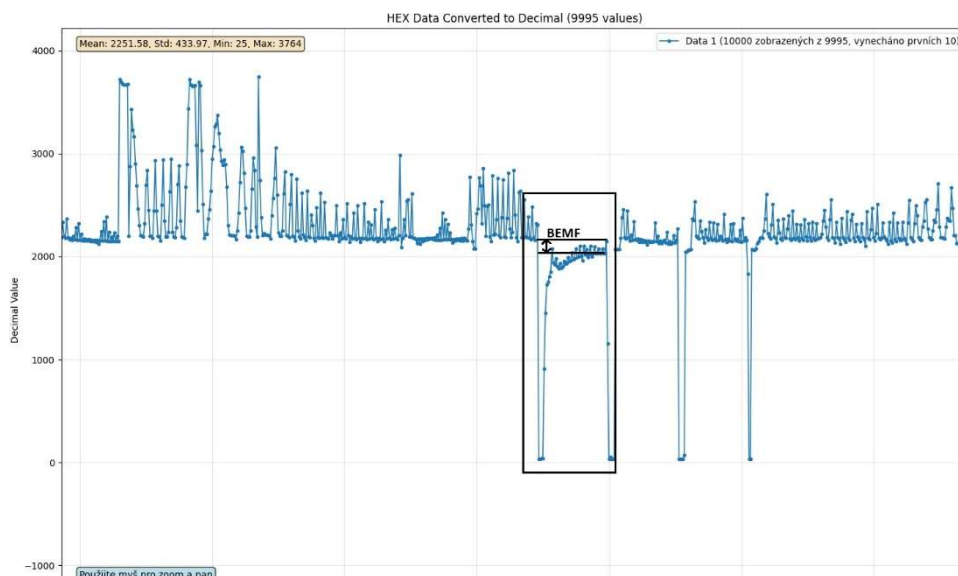
Kromě toho firmware provádí také detekci dorazů pomocí sledování změn napětí na vinutích. Princip funguje tak, že pokud proud v cínce klesne k nule, začnou se do vyrovnávací paměti ukládat aktuální hodnoty napětí. Po nashromáždění dostatečného množství vzorků se z těchto dat vypočítá průměrná hodnota, na jejímž základě lze vyhodnotit, zda se motor nachází v mechanickém dorazu nebo pracuje v běžném režimu.

Na následujícím obrázku je uvedena ukázka z měření na jednom z vinutí motoru. Je zde patrný průběh proudu a napětí v okamžiku, kdy motor pracuje v normálním chodu. Při průchodu proudu nulou je zároveň možné pozorovat vznikající napětí zpětné elektromotorické síly (BEMF), které lze využít k vyhodnocení stavu motoru a dalšímu zpracování v algoritmu.



Obrázek 5: detekce BEMF při normálním provozu

Na následujícím měření je vidět chování motoru při mechanickém dorazu. V tomto stavu se výrazně mění průběh napětí na vinutí a hodnota zpětné elektromotorické síly (BEMF) je oproti normálnímu chodu motoru znatelně menší. Tento jev lze využít k detekci dorazu a tím i k rozpoznání omezení pohybu motoru.



Obrázek 6: detekce BEMF při dorazu

## **5. Plánované úpravy a optimalizace**

V rámci dalších kroků vývoje je plánováno provést úpravy hardwaru, zejména odstranit dočasná řešení realizovaná pomocí drátování a navrhnout kompletní desku, na které bude měřicí modul integrován přímo s řídicí částí. Na úrovni firmwaru bude potřeba doladit algoritmus detekce dorazů a správné zapisování hodnot do registrů pro čtení pomocí modbus,

## **6. Závěr**

V aktuálním stavu, již zařízení spolehlivě zajišťuje detekci kroků i směru otáčení motoru a je také možnost rozpoznávání mikrokroků. Funkce detekce dorazů je v tuto chvíli rozpracovaná a postupně se doladuje, aby byla použitelná i v praktických aplikacích. Co se týče komunikace přes Modbus, ta je již funkční, je však potřeba ještě upravit strukturu registrů a případně doplnit možnost přenosu celého bufferu naměřených hodnot. Díky tomu by bylo možné snadno vykreslit kompletní průběhy signálů a dále tak analyzovat chování motoru.