***Stepper measurement***

Vypracoval: Roušal Štěpán

# ***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:
   1. zejména počet kroků/mikro-kroků, který odpovídá průběhům proudů na vinutích,
   2. 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***

Obsah obrázku text, snímek obrazovky, diagram, Plán

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný.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 :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.

Obsah obrázku text, snímek obrazovky, diagram, Plán

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný.

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

Obsah obrázku elektronika, Elektronická součástka, Obvodoví součástka, Elektronické inženýrství

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný.

Obrázek : 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.

Obsah obrázku text, řada/pruh, Vykreslený graf, diagram

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný.

Obrázek : 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 cívce 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.

Obsah obrázku text, řada/pruh, diagram, Vykreslený graf

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný. 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 : detekce BEMF při normálním provozu

Obsah obrázku text, diagram, snímek obrazovky, řada/pruh

Obsah generovaný pomocí AI může být nesprávný. 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 : 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 mikrokoků. Funkce detekce dorazů je v tuto chvíli rozpracovaná a postupně se dolaďuje, 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.