

Řízení asynchronních motorů pomocí frekvenčních měničů Sinamics

Láryš Tomáš

✉ Katedra MaŘT-455, VŠB-TU Ostrava, FEI, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 33,
💻 tomas.larys.st@vsb.cz, 🌐

OBSAH

1	ÚVOD	2
2	ASYNCHRONNÍ MOTORY A JEJICH ŘÍZENÍ	2
3	ŘÍDICÍ SYSTÉM	2
4	DISTRIBUOVANÝ ZPŮSOB ŘÍZENÍ	3
5	LABORATORNÍ MODEL PRO ŘÍZENÍ OTÁČEK 3F. MOTORU.....	4
6	APLIKACE PRO ŘÍZENÍ MODELU.....	5
7	SCADA VIZUALIZACE ŘÍDICÍ APLIKACE	6
8	HMI VIZUALIZACE PRO TOUCH PANEL TP177A	8
9	ZÁVĚR.....	9
	POUŽITÁ LITERATURA	10

1 Úvod

Tato práce se zabývá řízením otáček nízko-výkonových trojfázových asynchronních motorů pomocí PLC SIMATIC S7-300 a měničů kmitočtu SINAMICS G110. Regulace chodu motorů spočívá v řízení jejich otáček, smyslu otáčení a pomocí indukčních senzorů snímání aktuálních hodnot otáček. Celý řídicí systém je koncipován jako distribuovaný. Pomocí průmyslové komunikační sběrnice PROFIBUS-DP jsou k PLC připojeny necentrální periferie ET 200M. Ty ovládají měniče kmitočtu, napájející asynchronní motory. Pro demonstraci technologického procesu byl vytvořen laboratorní model – soustava dvou frekvenčně řízených motorů. Na principu stroboskopického efektu je zde pak aplikována schopnost výše uvedeného řídicího systému synchronizovat rychlosti otáčení obou motorů. Kombinace řídicího systému a frekvenčních měničů pak nabízí mnohé další možnosti řízení těchto motorů. Řídicí aplikace byla realizována ve vývojovém prostředí SIMATIC Manager (STEP7). Pro celý řídicí systém byl vytvořen SCADA/HMI vizualizační systém. Na PC byla vytvořena vizualizace v prostředí Intoch, která komunikuje s řídicím systémem prostřednictvím Ethernetu. HMI aplikace je pak vytvořena pro touch panel v prostředí WinCC flexible.

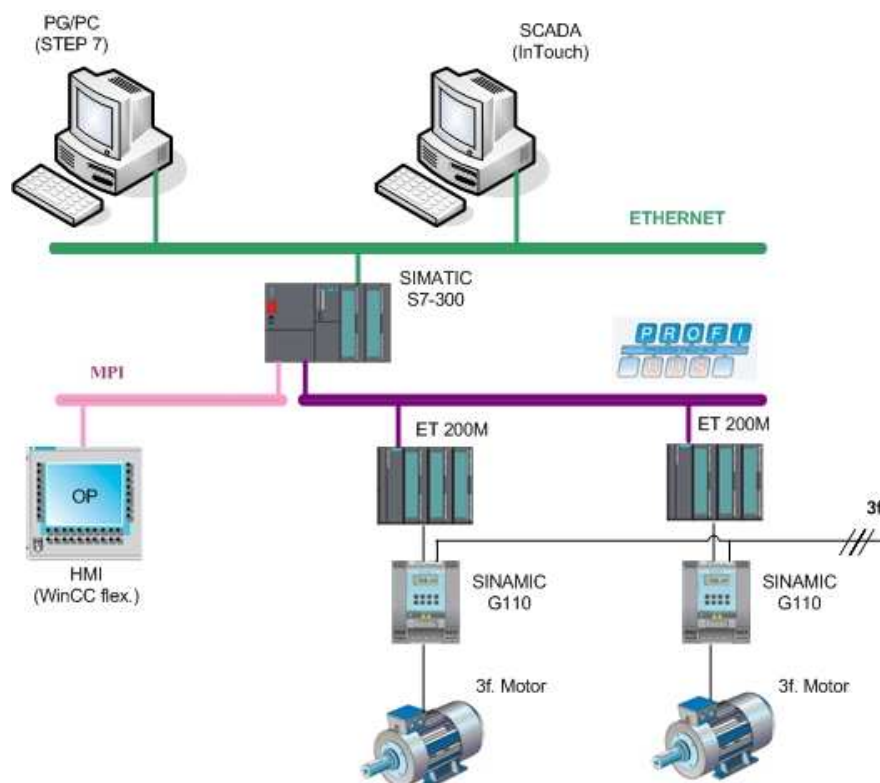
2 Asynchronní motory a jejich řízení

Řízeným akčním členem jsou zde 3-fázový asynchronní motor s kotvou na krátko firmy Siemens, o jmenovitém výkonu 0,25 kW a jmenovitých otáčkách 2830/ot/min. Jedná se o nízko-výkonový motor určený k pohonům běžných, průmyslových zařízení jako jsou například ventilátory, čerpadla, obráběcí stroje, lisy apod.

Principem řízení otáček motorů, použitým v této aplikaci je změna frekvence napájecí soustavy motorů. Tu zde provádíme prostřednictvím frekvenčního měniče SINAMICS G110, jenž je opět produktem firmy Siemens. Jedná se o nepřímý měnič kmitočtu s napěťovým mezi-obvodem (střídačem). Tento frekvenční měnič patří pro své vlastnosti a dostupnost mezi nejpoužívanější měniče v technické praxi. Změnu frekvence výstupního napětí frekvenčního měniče (napájecí napětí motoru) můžeme řídit několika způsoby (operátorský panel, analogový vstup, pevný kmitočet). V tomto případě je využit analogový vstup, na nějž je přivedeno stejnosměrné napětí v rozsahu 0-10V. Podle tohoto napětí se bude měnit frekvence napájecího napětí motoru v rozsahu 0-50 Hz. A to proto, že maximální výstupní frekvence měniče je nastavena na 50Hz. Změnou řídicí analogové hodnoty frekvenčního měniče v rozsahu 0-10V řídíme frekvenci napájecího napětí motoru v rozsahu 0-50 Hz. A jelikož maximální frekvenci napájecího napětí motoru odpovídají maximální jmenovité otáčky motoru, budou se otáčky měnit v rozsahu 0-2830 ot/min. Změnu řídicí veličiny měniče bude mít za úkol řídicí systém, tedy PLC. Pomocí frekvenčního měniče lze měnit i směr otáčení obou motorů (změnou logické úrovně na příslušném digitálním vstupu měniče). [1], [2], [3]

3 Řídicí systém

Řídicím systémem je zde standardní PLC SIMATIC S7-300, firmy Siemens s CPU 315-2 DP. Programovatelný automat s tímto CPU je určen pro decentralizovaný způsob řízení technologických procesů a tedy celý řídicí systém je koncipován jako decentralizovaný. Decentrální řízení zde zabezpečují dvě periferní jednotky ET200M. Oba frekvenční měniče (motory) jsou řízeny samostatnou periferií. Každá periferie obsahuje moduly analogových a digitálních vstupů a výstupů pro sběr dat a také pro realizaci akčních zásahů do procesu. Komunikace mezi centrální řídicí jednotkou (PLC) a decentralními periferiemi (ET200M) je realizována prostřednictvím průmyslové komunikační sběrnice PROFIBUS-DP. Blokové schéma celého systému, tedy řídicího a řízeného systému je zobrazeno na Obr.1



Obr. 1 struktura řídicího systému

4 Distribuovaný způsob řízení

Důvodem vývoje a použití distribuovaných systémů řízení je snaha o flexibilnější, úspornější a přehlednější řízení technologických procesů. Podstatou je umístění vstupních a výstupních obvodů systému v těsné blízkosti připojených senzorů a akčních prvků. Konstrukce technologických zařízení se tím stává přehlednější, prostorově úspornější, rychleji lze identifikovat nejrůznější závady a díky minimálním délkám a prefabrikovaným kabelům s konektory rovněž klesají nároky na kabeláž. V případě použitého PLC se jedná se o samostatnou CPU jednotku, vybavenou komunikačním rozhraním MPI a PROFIBUS DP. Umožňuje tedy decentralizovaný způsob řízení a prostřednictvím MPI rozhraní pak připojení k programovací stanici a HMI zařízení (toch panel). [5] [6]

Profibus DP :

Jedna z nejpoužívanějších průmyslových sběrnic je **Profibus DP**. Slouží pro rychlou cyklickou komunikaci jednoduchých procesů na nižší systémové úrovni (senzor – akční člen) a ke komunikaci s decentralizovanými distribuovanými periferními zařízeními s vysokými nároky na rychlost přenosu a dobu odezvy mezi PLC a jejich decentralizovanými vstupy a výstupy. Síť může být typu monomaster nebo multimaster.

Distribuované periferie ET200M:

Řada distribuovaných periférií ET 200M je modulární podřízená decentrální stanice (DP SLAVE). V jedné sestavě lze nakonfigurovat až 8 modulů (multikanálové signálové moduly, např. s až 32 digitálními vstupy/výstupy, funkční moduly, nebo komunikační procesory řady S7-300). Zasouvání modulů do pozic nemá žádná pravidla, nebo omezení.

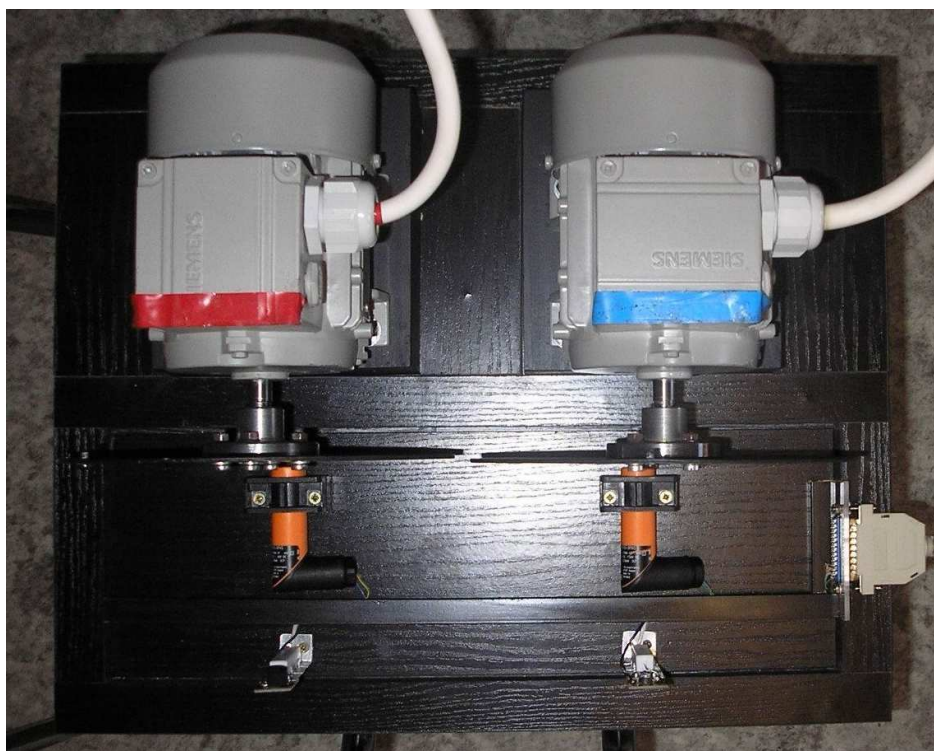
5 Laboratorní model pro řízení otáček 3f. motoru

Pro praktické ověření možností řízení 3f motorů a následné vyhodnocování chodu celého procesu byl vytvořen laboratorní model (Obr.2.) Základními prvky modelu jsou dva 3-fázové asynchronní, nízko-výkonové motory řady 1LA7, firmy SIEMENS, umístěné a upevněné na pevné podložce z laminované dřevotřískové desky. Na hřídelích obou motorů jsou pomocí jednoduchých kovových přírub upevněny dva plastové kotouče o průměru 20 cm. Na každém kotouči je zasazena jedna kovová značka. Na podložce pod ochranným krytem v ose motorů jsou umístěny dva indukční senzory určené pro snímání impulsů.

Pro snímání otáček 3f. motorů jsou použity dva indukční senzory IA5062 firmy IFM Electronic Tyto senzory jsou typu DC PNP a jejich výstupní funkcí je spínač (NO) s maximální spínací frekvencí 300 Hz. Z toho vyplývá nejmenší možná indikovaná perioda spínání senzoru, která je 3.33 ms. Pro správnou činnost vyžadují napájecí napětí v rozmezí 10-34V DC. Maximální spínaná vzdálenost je 8 mm. Maximální proudová zatížitelnost je 250 mA.

Naproti kotoučům jsou upevněny dvě vysoce svítivé LED diody s předřazeným rezistorem, reagující na polohu rotoru (resp. kovové značky). Tyto LED diody jsou určeny k osvětlování rotujících kotoučů, za účelem vytvoření tzv. stroboskopického efektu. Proto je na kotouči použita pouze jedna kovová značka. Nejvhodnější volbou z hlediska složitosti a požadavků byly LED diody značky LUXEON: LXHL-BW02. Jedná se o LED modul o výkonu 1W, svítivosti 500cd a barevné teplotě světla 5500K. Modul je doplněn optikou, která zúží vyzařovací úhel modulu na 110°

Celá dynamická část modelu je z důvodu bezpečnosti umístěna pod ochranným krytem z plexiskla, pod nímž se taky nachází obě LED diody a dva indukční senzory. Na pravé straně ochranného krytu (z předního pohledu) je upevněn konektor CANON 25 pin. Ten umožňuje připojení všech technologických vstupů a výstupů laboratorního modelu k řídicímu.[5]



Obr. 2 laboratorní model úlohy

6 Aplikace pro řízení modelu

Pro tvorbu řídicí a vizualizační aplikace je do procesu zapojen běžný uživatelský PC. Řídicí aplikace je vytvořena ve vývojovém prostředí SIMATIC Manager. Toto prostředí umožňuje konfigurovat použité hardwarové prostředky řídicího systému a v programovacím prostředí Step7 pak vytvářet samotnou aplikaci. Jedním s programovacích jazyků, který byl použit při tvorbě této aplikace je LAD diagram. Jedná se grafický jazyk založený na principu reléových schémat.

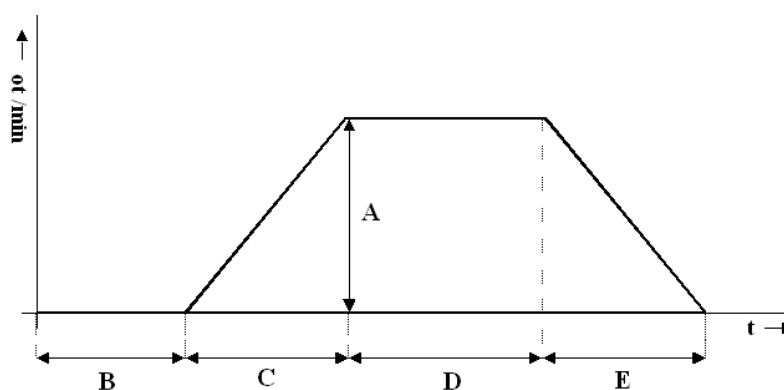
Základním požadavkem na řídicí aplikaci je schopnost řídit otáčky 3f. morů, jejich směr a spínat a vypínat frekvenční měniče (a tedy i motory). Dále pak měřit a zobrazovat otáčky motoru. Tím se vytvoří jakási zpětná vazba díky níž můžeme určit s jakou přesností jsou otáčky měřeny. Předpokládáme-li však, že schopnost frekvenčního měniče přesně řídit motor je dost vysoká.

Měření otáček motoru je prováděno prostřednictvím indukčních snímačů připojených k digitálním vstupům decentrální periferie. Snímače jsou napájeny přímo z PLC a na přiblížení kovové značky (na kotouči rotoru), reagují sepnutím svého vnitřního obvodu. Tento signál je přiveden na digitální vstup PLC. Tyto DI umožňující detekovat pulsy s velmi krátkou periodou, je možno jimi vyvolávat hardwarové přerušení programovatelného automatu. Obslužná rutina přerušení pak bude vyhodnocovat rychlost otáčení a detekovat natočení rotorů. Spínání LED diod bude taktéž realizováno na základě zpracování těchto impulsů. Reakce akčních členů (LED diod) je závislá na schopnosti ŘS zaznamenávat a řídit rychlost (popř. směr) otáčení rotorů asynchronních motorů. [4]

Aplikace umožňuje provozovat laboratorní model pro řízení otáček 3f. asynchronního motoru ve čtyřech režimech nezávislých a dvou režimech kooperativních.

Režimy řízení motoru jsou následující:

- Režim 1** - Tento režim umožňuje **kontinuální běh motorů**, přičemž lze za chodu dynamicky měnit hodnotu otáček motoru a směr otáčení.
- Režim 2** - Tento režim umožňuje chod motorů, jejich spouštění a zastavování podle předem definovaných parametrů rampy. (viz Obr. parametry A- E) Tyto parametry jsou uvedeny níže a znázorněny na Obr. 5.2. Řídicímu systému lze také určit, zda se rampa provede jen jedenkrát, nebo zda se bude cyklicky opakovat.



Obr. 3 popis rampy motoru v režimu 2

- Režim 3** - Tento režim umožňuje spustit motory s danými otáčkami na dobu, která je dána zadaným počtem otáček. Motory se poté, co dosáhnou maximálního počtu otáček, automaticky zastaví.

- d) **Režim 4** - Tento režim umožňuje přerušovaný chod motoru, přičemž je nutné zadat časové konstanty, určující intervaly chodu a pauzy motoru.
- e) **Režim 5** - Tento režim umožňuje vzájemně střídavý chod obou motorů. Zadávají se pouze časové konstanty běhu každého motoru a každý motor je zastaven po dobu, kterou se druhý točí.
- f) **Režim 6** - Tento režim je v podstatě současný nezávislý chod obou motorů v režimu 1. Nijak se neliší od prvního režimu, Je podstatný spíše pro vizualizační aplikace. kdy bude možné regulovat a sledovat oba motory na jedné obrazovce. Tento režim je nezbytný pro synchronizaci otáček motorů na základě stroboskopického efektu. Tato schopnost byla jedním z hlavních požadavků na řídicí systém.

První aplikovanou metodou měření otáček byla inkrementální metoda. Na základě přerušení od indukčního senzoru se v obslužné rutině přerušení inkrementuje systémová proměnná, která se poté cyklicky každou sekundu zpracovává. Z její hodnoty se následně podle známých vztahů vypočítávají otáčky a frekvence motorů. Tato metoda je spíše vhodná pro měření vyšších otáček motorů, neboť přesnost závisí na počtu indikovaných pulsů za jednotku času.

Další použitá metoda je založena na odečítání aktuálního systémového času ŘS v okamžiku příchodu pulsu ze senzoru (pomocí systémové funkce „TIME_TCK“). Tyto hodnoty jsou ukládány při každých dvou, po sobě následujících impulsech a zároveň se od sebe odečítají. Rozdílem obou časových hodnot získáme periodu mezi dvěma pulsy, ze které se pak vypočítávají otáčky a frekvence otáčení motorů. Jelikož je časová základna použité funkce 10ms, měří tato metoda otáčky s tímto rozlišením. Je tedy vhodná spíše pro měření nižších otáček. Obě použité metody mají své výhody i nevýhody avšak vždy při jiných otáčkách. Lze tedy s výhodou kombinovat jejich dobré vlastnosti a vylučovat ty špatné.

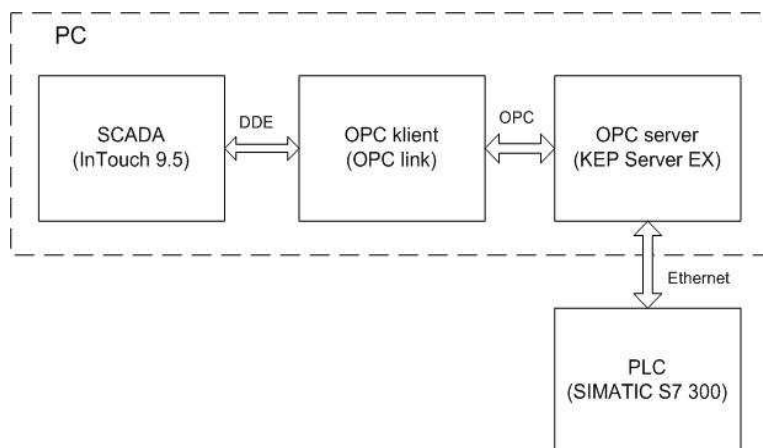
Další požadovanou funkcí na řídicí systém byla realizace metody pro synchronizaci otáček obou motorů. Tato metoda je založena na na takzvaném **stroboskopickém efektu**. V principu se jedná o pozorování pohybujících se předmětů osvětlených zdrojem, který je periodicky zapínán a vypínán. Rovná-li se frekvence záblesků frekvenci pozorovaného děje (rotačního pohybu), nebo jejímu násobku, pohyb pro pozorovatele zdánlivě ustane. Budou-li otáčky obou motorů rozdílné, bude se objevovat na některém z kotoučů, mimo „pozastavenou“ značku v horní úvratí, taky „pobíhající značka“.

7 SCADA vizualizace řídicí aplikace

Pro potřeby sledování a akční zásahy do systému řízení je vytvořeno grafické uživatelské rozhraní ve vizualizačním prostředí Wonderware Intouch. Jedná se o objektově orientovaný software pro vizualizaci, sběr dat a supervizní řízení technologických procesů. Je to systém kategorie SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), který poskytuje jednotný a integrovaný pohled na řízené technologie a výrobní procesy. InTouch umožňuje v reálném čase sledovat a reagovat na průběhy veškerých výrobních operací prostřednictvím názorného grafického znázornění libovolných technologických procesů.

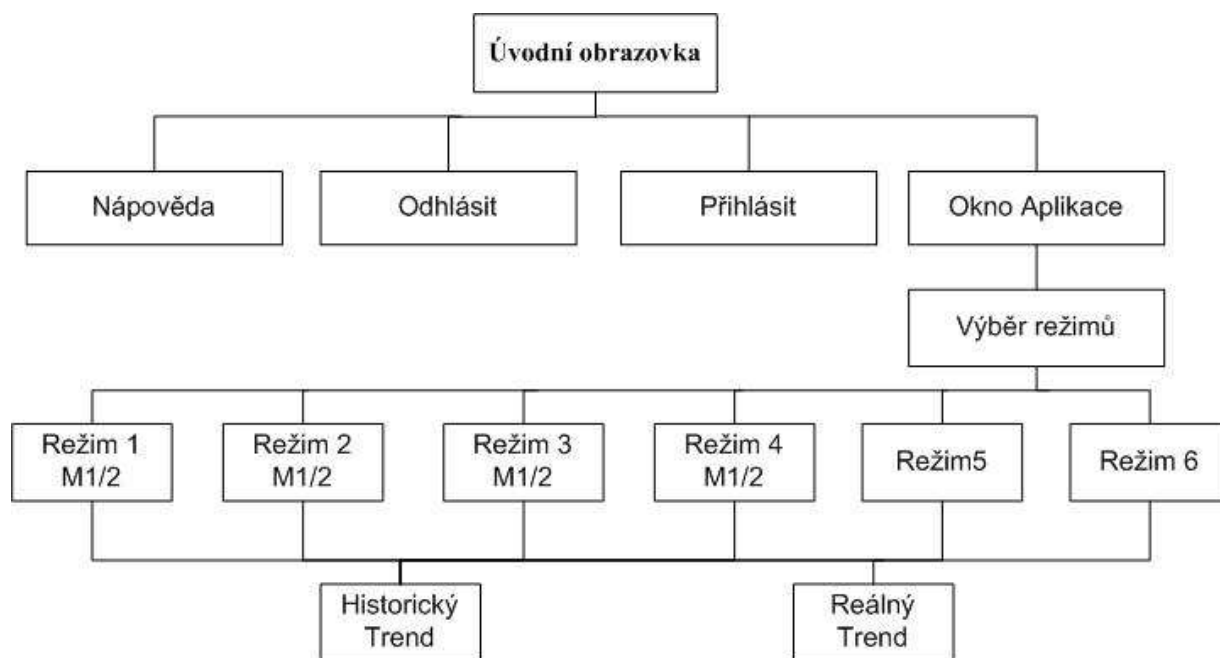
Komunikace mezi vizualizační aplikací a řídicím systémem probíhá v několika krocích. Jedná se o komunikaci typu **klient – server**. Klientem je v tomto případě vizualizační software (vizualizace v Intoch 9.5) a serverem je PLC. Jelikož prostředí Wonderware Intouch 9.5 neobsahuje OPC klienta, musí se OPC klient spustit samostatně. K tomu slouží software OPCLink, který je součástí Wonderware Factory Suite. Vizualizační program Intouch pak komunikuje s OPC klientem pomocí komunikačního protokolu DDE, který slouží k výměně dat mezi procesy v operačních systémech Microsoft Windows. Komunikaci mezi

PLC a PC zajišťuje OPC server (KEPServerEx), prostřednictvím komunikační sítě Ethernet . Jedná se o program, který umožňuje přenos dat mezi širokou škálou průmyslových zařízení a klientských aplikací běžících v OS Windows na PC. Komunikace na této úrovni umožňuje zapisovat, nebo číst proměnné z paměti PLC. Samotná komunikace mezi aplikacemi KEPServerEX a OPCLink je typu OPC. Jedná se o standard pro komunikaci mezi systémy SCADA a řídicími systémy. Blokové schéma komunikačního procesu je zobrazeno na Obr.4 [7]



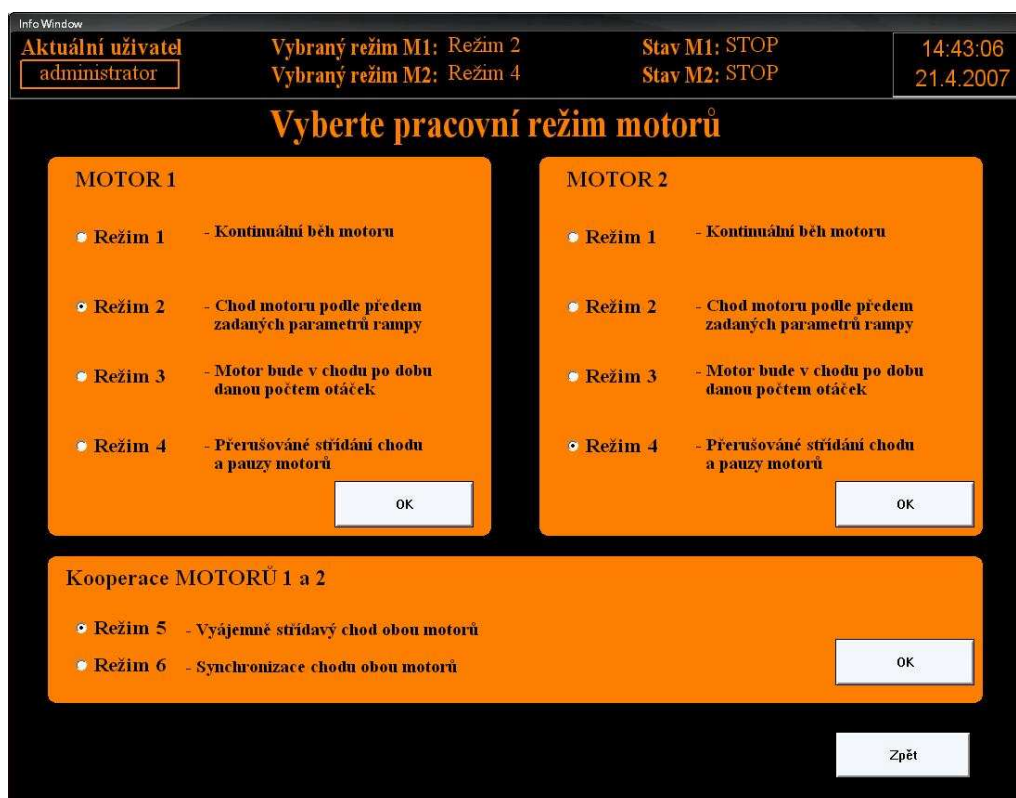
Obr. 4 Blokové schéma komunikačního procesu vizualizace

Struktura vizualizační aplikace je znázorněna na Obr.5. Směr návaznosti jednotlivých oken je shora dolů. Pro pracovní režimy motorů 1-4 je struktura totožná. A každý z šesti režimů umožňuje přechod do okna reálného a historického okna.



Obr. 5 struktura vizualizační aplikace

Po spuštění aplikace v runtime režimu, se zobrazí úvodní obrazovka, jenž umožňuje další větvení aplikace. V celé aplikaci je vytvořen čtyř-úrovňový uživatelský systém, který umožňuje jednotlivým uživatelům různé možnosti zásahu do aplikace. V hlavičce aplikace je také zobrazen aktuální čas a datum, aktuálně zvolený režim obou motorů a stav vybraného režimu (STOP/RUN). Tedy je-li režim aktivní, nebo ne. Obrazovka pro výběr pracovních režimů motorů je zobrazena na Obr.6.

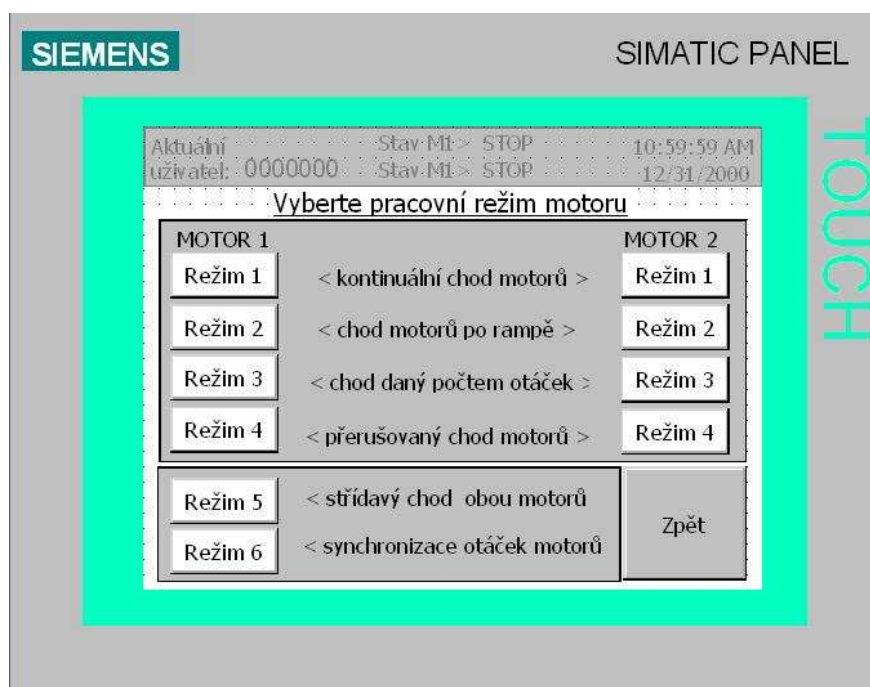


Obr. 6 okno SCADA vizualizace pro výběr režimů

8 HMI vizualizace řídicí aplikace

Důvodem použití HMI vizualizaci s operátorskými panely, je především vyšší odolnost vůči okolním vlivům. Dále pak snazší přístup k řízení systému přímo z průmyslu, ale i také rychlý přehled o stavech systému. Tyto panely tedy slouží ke zobrazování a zadávání procesních hodnot, zobrazování událost, alarmů a práce s recepturami. Jako prostředek HMI aplikace tohoto řídicího systému byl použit operátorský panel TP177A. Jedná se o monochromatický displej s aktivní dotykovou plochou nižší třídy (úhlopříčka 6“). Aplikace pro tento panel byla vytvořena ve vývojovém prostředí WinCC flexible. Jelikož je tento software produktem stejné firmy, je podporován vývojovým prostředím STEP 7 a lze být do něj integrován. Výhodou této integrace je přístup z WinCC flexible k proměnným řídicí aplikace a tedy jednodušší tvorba aplikace.

Struktura vizualizace na tomto panelu je v podstatě stejná jako na PC, jen jednodušší, ochuzena o okna reálného a historického trendu. Obrazovka pro výběr režimů je uvedena na Obr.7.



Obr. 7 okno HMI aplikace pro výběr režimů

9 Závěr

Poměrně složitou částí celé řídicí aplikace se ukázalo měření otáček obou motorů. I když existuje více metod pro jejich spolehlivé určení, ne všechny nabízejí požadovanou přesnost a rychlost. To platí více než jinde právě v tomto řídicím procesu. Problém se vyskytl v okamžiku, kdy jsem začal snímat velmi vysoké otáčky, nebo otáčky obou motorů současně. Modul hardwarových přerušovacích vstupů, určený k tomuto snímání, umístěný na jedné decentrální periférii, vykazoval chybu, způsobenou ztrátou přerušování. Bylo to v důsledku velmi krátké periody přicházejících přerušování. K těmto ztrátám docházelo při přenosu informací po sběrnici PROFIBUS. Tato karta má minimální dobu přístupu 2ms a když si uvědomíme, že určitou dobu bude probíhat přenos po sběrnici a samotné zpracování obslužné rutiny, dojdeme k závěru, že impulsy z čidla by neměly přicházet častěji, než asi 15ms. Tento požadavek však není splněn v případě, kdy snímáme maximální otáčky motoru, nebo přibližně poloviční a vyšší otáčky obou motorů najednou. Z tohoto důvodu bylo ustoupeno od původní koncepce řídicího systému a byla navržena koncepce nová. Změnil se typ CPU z 314C-2 DP na 315-2 DP a modul přerušovacích vstupů byl přesunut do slotu k tomuto CPU. Tím se jistým způsobem omezila decentralizovanost celého systému, ale byla zajištěna potřebná funkčnost. Jinou možností by bylo použití necentrální periferie s vlastním CPU pro zpracování těchto přerušování.

Co se týče frekvenčního způsobu řízení obou motorů, respektive brzdění, aplikovaná metoda je použitelná pouze pro brzdění motorů bez, nebo s velmi malou, fyzickou zátěží na hřídeli motoru. Energie motoru se v tomto případě maří ve stejnosměrném mezi-obvodu frekvenčního měniče a při brzdění velkých setrvačných hmot by hrozilo zničení měniče, i když má implementovanou přepětovou ochranu.

Jinou možností jak řídit celý technologický proces je použití frekvenčního měniče integrovaného do distribuovaných periférií ET200S FC. Tato jednotka umožňuje prakticky stejně distribuovaný systém řízení pohonů v jednotném provedení. Tento měnič disponuje momentovým (vektorovým) řízením a má integrován PID regulátor a rekuperační jednotku pro brzdění motorů.

Použitá Literatura

- [1] NEBORÁK, Ivo – SLÁDEČEK, Václav. *Elektrické pohony KE pro kombinované a distanční studium*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FEI, 2005
- [2] *Nízkonapěťové Motory: Trojfázové asynchronní motory nakrátko*, Praha: Siemens AG, 2005, K 02 – 0605 CZ
- [3] *SINAMICS G110: Návod k obsluze*, Praha: Siemens AG, 2003, 6SL3298-0AA11-0BP0
- [4] KOZIOREK, Jiří. *Logické systémy řízení – přednášky*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FEI, 2003
- [5] *Siemens Automatizace a pohony* [online], [cit.15-03-07],
<http://www1.siemens.cz/ad/current/prezentace/as/pas/plc/s7300/index.php>
- [6] *Průmyslová sběrnice Profibus* [online], [cit.12-01-07],
<http://www.hw.cz/Rozhrani/ART1028-Prumyslova-sbernice-Profibus.html>
- [7] KOZIOREK, Jiří. *Navrhování a vizualizace řídicích systémů - sylaby k předmětu distančního studia*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FEI, 2003