

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Studentská tvůrčí a odborná činnost (STOČ 2009)

Samonastavitelné regulátory v prostředí PLC

2009

Jiří Kocián

Obsah

1 Úvod	- 1 -
2 Metody samočinného nastavení konstant	- 1 -
3 Řídicí systém s PID Self Tunerem	- 3 -
3.1 PID Self Tuner	- 3 -
3.2 Řízený systém	- 3 -
3.3 Řídicí systém	- 3 -
3.4 Program v PLC	- 4 -
3.5 Vizualizace	- 5 -
4 Řídicí systém s reléovým a momentovým self tunerem	- 6 -
4.1 Řídicí systém REX	- 6 -
4.2 Řídicí systém	- 7 -
4.3 Vizualizace řídicího systému s momentovým a reléovým self tunerem	- 8 -
5 Ukázka návrhu regulátoru	- 9 -
6 Závěr	- 10 -

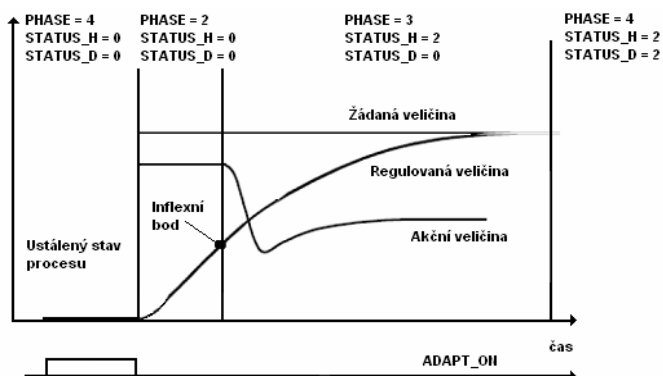
1 Úvod

Výchozím bodem nastavování konstant PID regulátorů je kromě algebraických metod jednoduchý experiment. Na jeho základě je vytvořen zjednodušený model systému. Z parametrů tohoto zjednodušeného modelu jsou vypočteny konstanty regulátoru. Myšlenka automatizovat tento postup je více než přirozená a naprostá většina v současné době se vyskytujících číslicových průmyslových regulátorů je proto vybavena nějakým algoritmem pro samočinné nastavení konstant regulátoru (self tunerem). V teoretické části práce jsou popsány nejpoužívanější metody návrhu konstant samonastavitelných regulátorů a implementace jednotlivých metod do PLC. Praktická část práce se zabývá návrhem řídicích systémů, které samonastavitelné regulátory obsahují.

2 Metody samočinného nastavení konstant

Metoda vycházející z přechodové charakteristiky

Tyto metody samočinného nastavení konstant jsou primárně určeny pro systémy s pomalou odezvou, například pro regulaci teploty. Základem je změření přechodové charakteristiky soustavy jako reakce na skok žadané hodnoty v otevřeném regulační smyčce. Řízená soustava je u PID Self Tuneru od Siemensu aproximována systémem 2.řádu a podle jeho parametrů je pak nastaven PI a PID regulátor.

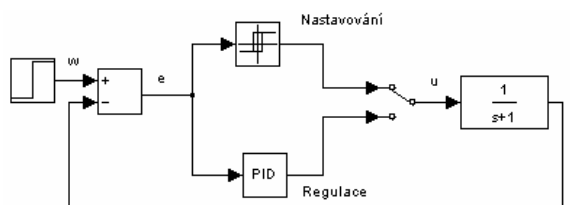


Obr.1 Průběh přechodové charakteristiky a jednotlivé fáze samočinného nastavení u PID Self Tuneru

Implementace: Siemens (PID Self Tuner pro Simatic S7 300/400), Rockwell Automation (PLC Allen Bradley), Bernecker&Rainer, ABB, Honeywell, Mitsubishi.

Reléová metoda

Další z metod pro samočinné nastavení konstant regulátoru je metoda vycházející z kritického zesílení a kritické periody, tzv. reléová metoda. V nastavovacím režimu je regulátor odpojen a místo něho je zapojena dvoupolohová reléová nelinearita, tzn. dvoupolohový regulátor. V obvodu s dvoupolohovým regulátorem regulovaná veličina kmitá kolem žádané hodnoty. K přibližné analýze systému s reléovou zpětnou vazbou se využívá skutečnosti, že regulované soustavy se z hlediska frekvenčních vlastností většinou chovají jako dolní propusti.



Obr.2 Regulační obvod s regulátorem a relé

Odpovídající kritickou periodu lze snadno změřit pomocí jednoduchého algoritmu detekujícího okamžiky průchodu signálu regulační odchylky nulou. Kritické zesílení lze počítat podle vztahu

$$r_k = \frac{4M}{\pi A}. \quad (2.1)$$

Amplituda na výstupu reléové nelinearity M je známá a amplitudu vstupního signálu A lze snadno změřit. Stanovení kritického zesílení a kritické periody je tak možné bez nutnosti obvyklým iteračním postupem zvyšovat a opětovně snižovat zesílení P regulátoru a regulační obvod uvádět na mez stability. Výsledkem identifikace je dvojice kritických parametrů: zesílení a perioda. Z těchto parametrů je pak sestaven regulátor.

Implementace: Siemens (Simatic S7 200), Bernecker&Rainer, PMA, Tecomat, ZAT, knihovna funkčních bloků Rexlib pro Matlab-Simulink.

Momentová metoda

Momentová metoda je metoda vyvinutá prof. Schlegelem ze ZČU Plzeň.

Odměření a zpracováním odezvy řízeného systému na vhodně definovaný obdélníkový puls se získají první tři tzv. charakteristická čísla procesu: K_0 , μ , δ . Tato charakteristická čísla, pomocí kterých se navrhne regulátor, mají jasný fyzikální význam: K_0 je statické zesílení, μ je zpoždění a δ je doba reakce.

Úloha robustního návrhu regulátoru pak spočívá v nalezení takového regulátoru, který zajistí splnění stanovených požadavků pro libovolný systém patřící do množinového modelu a který současně minimalizuje jisté optimalizační kritérium.

Tento self tuner lze tedy použít pro seřízení PI nebo PID regulátoru statického či astatického procesu, který je libovolně složitý (má libovolný řád) a obsahuje libovolně velké dopravní zpoždění. Ve srovnání s reléovým self tunerem má výhodu v tom, že jeho identifikační experiment je podstatně kratší.

Implementace: PMA, Tecomat, ZAT, knihovna funkčních bloků Rexlib pro Matlab-Simulink.

Metoda EXACT

Metoda EXACT (Expert Adaptive Controller Tuning) je metoda, která sleduje tvary průběhů odezvy na změny žádané hodnoty a poruchových veličin a snaží se navrhnout takové parametry regulátoru, s nimiž by tyto průběhy nabyly žádoucí podoby.

Implementace: PLC Foxboro.

Latzelova metoda

Latzelova metoda vychází z aproximace regulované soustavy systémem s přenosem

$$G(s) = \frac{K}{(\tau \cdot s + 1)^n} \quad (2.2)$$

Tato metoda je použita u staršího číslicového regulátoru SIPARD DR21 firmy Siemens. Změřená přechodová charakteristika je aproximována přenosem (2.2), který ovšem navíc může obsahovat i dopravní zpoždění. V důsledku toho nejsou nutné příliš vysoké aproximace a lze vystačit s modely nejvýše osmého řádu. Na základě tohoto modelu jsou pak navrženy parametry PI a PID regulátoru metodou optimálního modulu.

Implementace: Siemens (SIPARD DR21)

3 Řídicí systém s PID Self Tunerem

3.1 PID Self Tuner

PID Self Tuner je funkční blok knihovny Step 7 Siemensu, který nabízí možnost samočinného nastavení konstant regulátoru. Lze jej využít pro nastavení konstant PID regulátoru ve spojení s funkčními bloky FB41, FB42, softwarovými balíčky Standard PID Control, Modular PID Control a funkčním modulem FM 355C v programovacím prostředí Step 7.

Optimalizace parametrů regulátoru se provádí pomocí vstupních parametrů *ADAPT_ON* nebo *ADAPTIST*. Prvotní samočinné nastavení regulátoru se zahájí přepnutím *ADAPTIST = TRUE*. PID Self Tuner pak nastaví automaticky *ADAPT_ON = TRUE*.

Algoritmus nastavení konstant regulátoru se dělí na fáze. Průběh přechodové charakteristiky soustavy, nastavení konstant regulátoru a jednotlivé fáze samočinného nastavení jsou zobrazeny na Obr.1.

3.2 Řízený systém

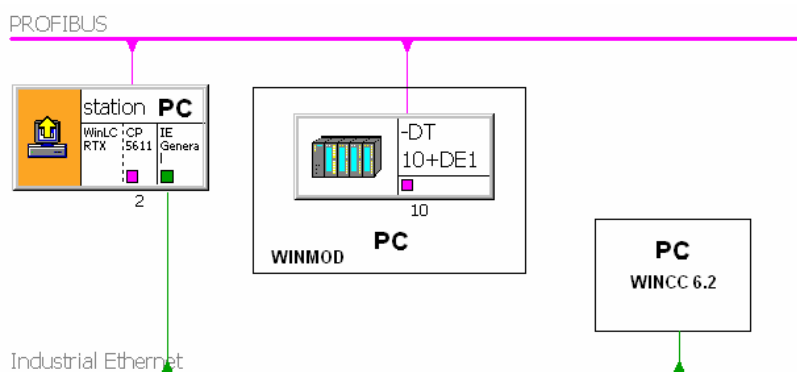
Řízený systém je nasimulován v simulačním programu WINMOD.

S ohledem na požadavky na řízený systém je pro simulaci zvolen přenos soustavy (3.1).

$$G(s) = \frac{1}{(16 \cdot s + 1) \cdot (2 \cdot s + 1)} \quad (3.1)$$

3.3 Řídicí systém

Na Obr.3 je znázorněno blokové schéma řídicího systému – PC se softwarovým PLC WinAC RTX 2005, PC se simulací řízeného systému a PC s vizualizací řídicího systému. Vizualizace řídicího systému řízení modelu soustavy byla vytvořena v programu WinCC 6.2.



Obr.3 Blokové schéma řídicího systému a softwarové PLC

Na softwarové PLC je přes sběrnici Profibus připojeno PC se simulací modelu soustavy. Komunikace mezi PC se softwarovým PLC a PC s vizualizací probíhá přes rozhraní Industrial Ethernet.

Softwarové PLC SIMATIC WinAC RTX 2005 je vhodné pro řízení aplikací vyžadujících výkonný řídicí systém, přenosy a zpracování větších množství dat, či rychlou odezvu v reálném čase.

WinAC RTX 2005 funguje na standardních PC s operačním systémem Windows XP Professional nebo Windows XP Embedded. Protože tyto operační systémy nejsou deterministické, výrobce softwarového PLC tuto konfiguraci považuje za soft-real time řídicí systém.

3.4 Program v PLC

V rámci popisovaného řídicího systému byly vytvořeny dva programy pro PLC.

První program se skládá z organizačního bloku OB35, ve kterém je umístěn PID Self Tuner (FB50), PID regulátor (FB 41) ze Step 7 Library, funkce *SCALE* (FC105) pro analogový vstup a *UNSCALE* (FC106) pro analogový výstup.

Místo standardního PID regulátoru FB41 byly v rámci práce také navrženy a otestovány autorovy vlastní PID regulátory. Druhý program se tudíž skládá z organizačního bloku OB35, ve kterém je stejně jako v prvním programu umístěn PID Self Tuner (FB50), funkce *SCALE* (FC105) pro analogový vstup a *UNSCALE* (FC106) pro analogový výstup, ale pro regulaci jsou místo PID regulátoru (FB41) ze Step 7 Library použity autorovy vlastní PID regulátory.

V rámci této práce je implementován regulátor s přenosem (3.2), který sice není ve standardním tvaru s časovými konstantami nebo paralelním tvaru se zesílením konstant, ale jako jeden ze základních typů regulátorů jej uvádí např. [2].

$$G_R(s) = K_P + \frac{1}{T_I s} + T_D s \quad (3.2)$$

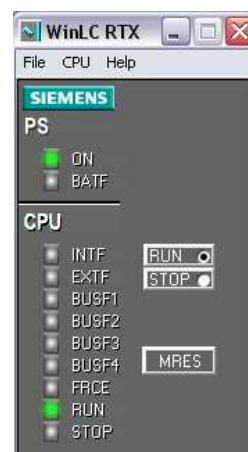
Diskretizací spojitého přenosu (3.2) se pomocí dopředné obdélníkové metody (*DOBD*) dostane absolutní (polohový) tvar. Pro praktické použití jsou však vhodnější rekurentní algoritmy (u polohových algoritmů je nutné pro výpočet akčního zásahu ukládat v paměti všechny předchozí hodnoty regulační odchylky).

U rekurentním algoritmů regulátorů lze postupovat dvěma základními způsoby. Buď se rekurentně počítá integrál integrační složky, což vede na tzv. složkový tvar PID regulátoru nebo se rekurentně počítá hodnota akční veličiny $u(k)$ z předcházející zapamatované hodnoty $u(k-1)$ a z korekčního přírůstku $\Delta u(k)$ (přírůstkové, rychlostní regulátory).

U složkového tvaru je akční zásah určován součtem jednotlivých složek a v paměti se uchovává jen minulá hodnota integrační složky $u_I(k-1)$.

Výhodou přírůstkového tvaru je, že se nemusí z principu rekurentního výpočtu celkové akční veličiny řešit wind-up efekt regulátoru a beznázové přepínání mezi ručním a automatickým režimem regulátoru. Nevýhodou je na druhé straně malá vypovídající schopnost jednotlivých složek PID regulátoru a přírůstku $\Delta u(k)$.

Výhodou složkového tvaru je, že výsledná akční veličina je složena ze tří vypovídajících složek akční veličiny: P, I a D složky, které lze odděleně sledovat v grafu a například na přechodové charakteristice soustavy upravovat velikosti jednotlivých konstant PID regulátoru. Nevýhodou je na druhé straně to, že



součástí algoritmu musí být řešení wind-up efektu regulátoru a beznárazového přepínání (kvůli integrační složky) mezi ručním a automatickým režimem regulátoru.

V rámci této práce vzniklo celkem šest funkčních bloků PID regulátorů. Tři z nich ve přírůstkovém rekurentním tvaru a tři ve složkovém rekurentním tvaru.

První ze tří regulátorů v přírůstkovém tvaru a první ze tří regulátorů ve složkovém tvaru nemá žádnou filtraci derivační složky, druhý z obou druhů má filtraci derivační složky pomocí průměrové diference a třetí má implementovanou filtraci derivační složky pomocí diskretní analogie spojitého filtru.

Všemi šesti funkčními bloky lze tvořit P, PI, PD a PID regulátory. Pokud je T_I a T_D konstanta regulátoru rovna nule, tak je její příspěvek výsledné akční veličině roven nule. Jsou také ošetřeny všechny stavy, které by mohly zapříčinit nerealizovatelnost výpočtu (např. dělení nulou). Je ošetřeno zadání nuly do vzorkovací periody a přepínání mezi automatickým a ručním režimem.

V praktických zkouškách vytvořených PID regulátorů vyšel najevo zřejmý fakt, že derivační složka regulátoru musí být pro praktické použití vybavena filtrací pomocí diskretní analogie spojitého filtru. Derivační složka bez filtrace je například při skoku žádané veličiny účinná jen u prvního akčního zásahu. Výsledky pro derivační složku s filtrací pomocí průměrové diference vychází lépe, avšak pořád nedostatečně pro reálné nasazení (akční zásah po skoku žádané hodnoty je průměrově „posunut“ do několika kroků akční veličiny). Pro praktické použití je tedy vhodná pouze filtrace derivační složky pomocí diskretní analogie spojitého filtru.

V praktických zkouškách se také mnohem více osvědčil složkový tvar před přírůstkovým tvarem regulátoru. Velké hodnoty derivační složky (při skokové změně žádané hodnoty) jsou totiž u přírůstkového tvaru přičítány a ukládány v hodnotě $u(k-1)$ a vnášejí nepříjemné oscilace do průběhu regulačního pochodu. Je pak nutné náležitě zmenšit derivační časovou konstantu.

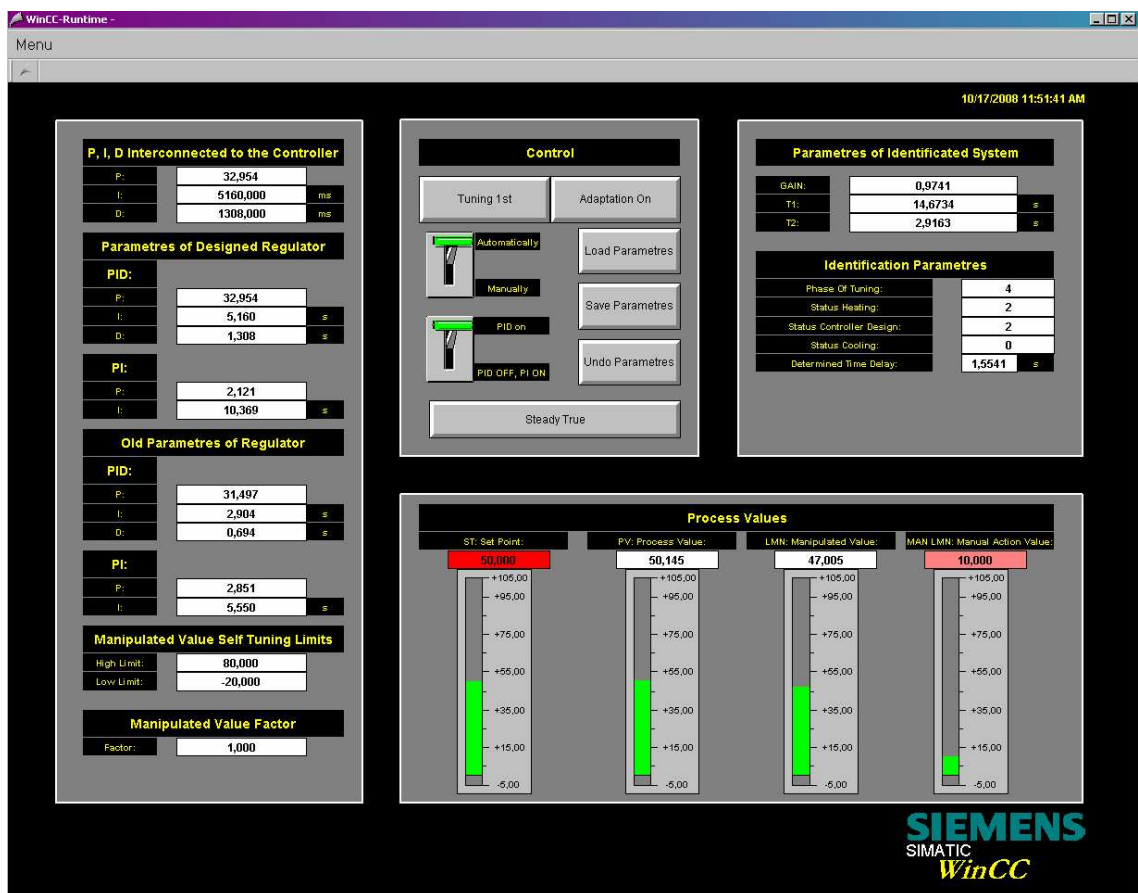
Z těchto výše uvedených důvodů je zřejmé, že pro praktické použití je nejvhodnější k použití složkový tvar regulátoru s filtrací derivační složky pomocí diskretní analogie spojitého filtru (v projektu je to regulátor FB312). Srovnání autorova vlastního regulátoru FB312 s regulátorem FB41 od Siemensu je uvedeno v kap.3.5.

3.5 Vizualizace

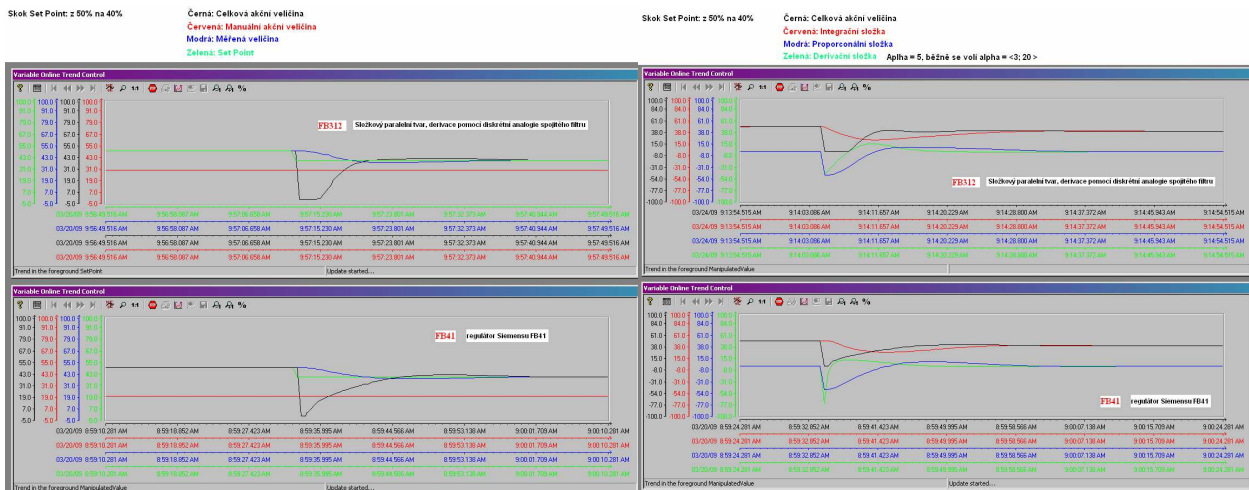
Vizualizace řídicího systému byla vytvořena v programu WinCC 6.2.

Vizualizační aplikace je složena dohromady ze čtyř oken. Přepínání mezi okny je řešeno pomocí menu vlevo nahoře v okně. Hlavní okno je rozděleno do čtyř ucelených částí, panelů. Nahoře uprostřed je panel *Control*. Zde jsou umístěny dva přepínače. Prvním se ovládá manuální/automatický režim řízení a druhým se volí PID nebo PI regulátor. Nad přepínači jsou umístěny tlačítka *Tuning1st* a *AdaptOn*, kterými se zapíná proces identifikace a adaptace. Napravo od panelu *Control* je panel identifikace řízeného systému. Spodní panel slouží k vizualizaci veličin. Vlevo v tomto panelu je žádaná hodnota. Tuto hodnotu lze ručně zadávat v červeném textovém poli. Hned vedle je regulovaná veličina, dále pak akční veličina a úplně vpravo je manuální akční veličina (kterou lze taky ručně zadávat přímo do textového pole). Vlevo je panel zobrazující P, I a D konstanty regulátoru a limity akční veličiny pro identifikaci.

Na Obr.5 vlevo je zobrazeno porovnání procesních veličin regulátorů FB312 a FB41 při skoku žádané hodnoty z 50% na 40% rozsahu veličiny. Na Obr.5 vpravo je pak zobrazeno porovnání složek akční veličiny – P, I a D složky při stejném skoku žádané veličiny jako na Obr.5 vlevo. Z porovnání na obou obrázcích lze pozorovat podobnost průběhu jednotlivých procesních veličin a složek akční veličiny obou regulátorů.



Obr.4 Hlavní okno vizualizace – automatický režim, fáze 4 procesu samočinného nastavení



Obr.5 Porovnání procesních veličin a P, I, D složek akční veličiny regulátorů FB312 a FB41

4 Řídicí systém s reléovým a momentovým self tunerem

4.1 Řídicí systém REX

Kompatibilita s globálně rozšířeným simulačním systémem Simulink je hlavní ideou řídicího systému REX. Tím uživatel získává všechny jeho výhody pro návrh vyspělých algoritmů řízení. Další důležitou vlastností je implementace standardního rozhraní OPC.

Mezi nejdostupnější a nejzajímavější varianty nasazení řídicího systému REX patří jeho použití pro Windows 2000/XP/Vista nebo pro PLC WinCon 8000 a PLC WinPAC 8000. Pod Windows běží řídicí systém REX (jeho jádro RexCore) jako jedna z úloh systému. Protože operační systém Windows není deterministický, výrobce řídicího systému REX tuto konfiguraci považuje za soft-real time řídicí systém. Při použití PLC WinCon (WinPAC) běží jádro RexCore pod operačním systémem Windows CE .NET 4 (resp. Windows CE .NET 5), který je deterministickým systémem a proto je výrobcem tato konfigurace považována za hard-real time řídicí systém.

PIDAT – PID regulátor s reléovým self tunerem

Blok *PIDAT* je vybaven funkcí automatického nastavování parametrů regulátoru pomocí reléové metody. Pro využití této funkce je nutné převést řízený systém do přibližně ustáleného stavu (ve vhodném pracovním bodě), zvolit požadovaný typ regulátoru (PI nebo PID) a aktivovat vstup *TUNE* hodnotou 1 (start identifikačního experimentu).

PIDMA – PID regulátor s momentovým self tunerem

Blok *PIDMA* rozšiřuje řídicí funkci standardního PID regulátoru o vestavěné automatické nastavování parametrů pomocí momentové metody. Před spuštěním self tuneru musí operátor ve vhodném pracovním bodě dosáhnout ustáleného stavu a zvolit požadovaný typ regulátoru, nastavit další parametry self tuneru a odstartovat identifikační experiment vstupem *TUNE*. Poté je na vstup procesu aplikován pravoúhlý puls. Z odezvy procesu jsou odhadnuty první tři momenty jeho impulsní odezvy.

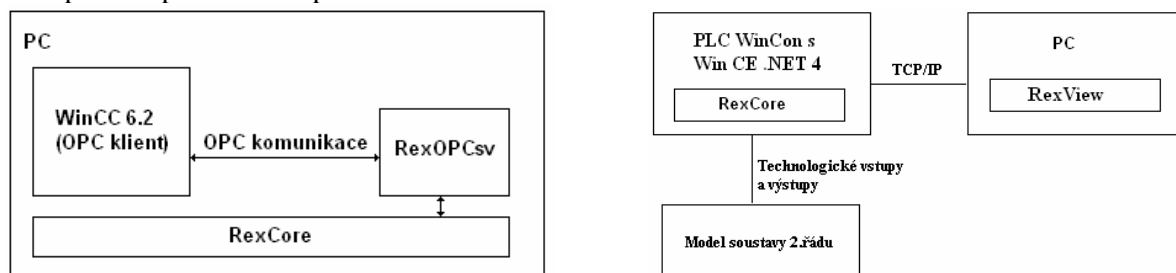
4.2 Řídicí systém

Řídicí systém na PC s Windows XP

Na Obr.6 vlevo je znázorněno blokové schéma řídicího systému na PC s Windows XP – na PC běží jako jedna z úloh řídicí systém REX (RexCore). Spolu s úlohou běží i OPC server (RexOPCsv). Na stejném PC je spuštěna i vizualizace vytvořená ve WinCC 6.2, která s řídicím systémem REX komunikuje právě pomocí technologie OPC.

Řídicí systém na PLC WinCon s Windows CE .NET 4

Na Obr.6 vpravo je znázorněno blokové schéma řídicího systému, kde řídicí systém REX běží na PLC WinCon pod Windows CE .NET 4. Přes technologické analogové vstupy a výstupy je k PLC připojena reálná řízená soustava (model soustavy 2.řádu). Vizualizace je v tomto případě řešena pomocí nástroje RexView dodávaného spolu s řídicím systémem REX. Komunikace mezi PLC WinCon a PC s nástrojem RexView probíhá přes TCP/IP protokol.



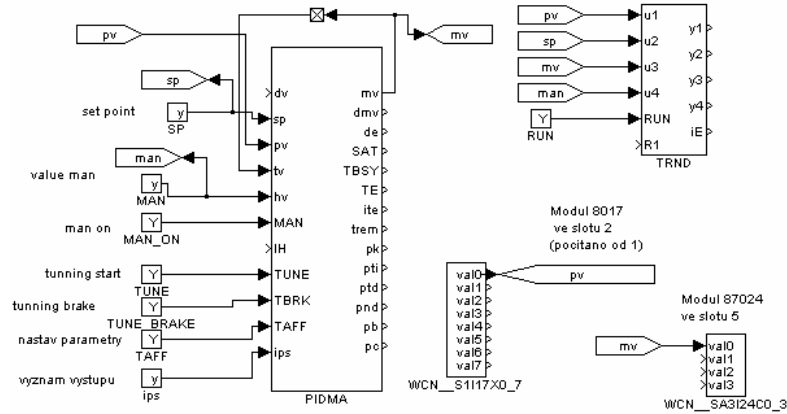
Obr.6 Bloková schémata řídicích systémů

Řídicí systém s momentovým self tunerem

Na Obr.7 je zobrazeno simulační schéma v simulinku pro řídicí systém na PLC WinCon s Windows CE .NET 4. Blok *PIDMA* je momentový self tuner, dále lze na obrázku vidět vstupní a výstupní bloky pro nastavení analogového vstupu (měřená veličina) a analogového výstupu (akční veličina) pro reálnou řízenou soustavu. Simulační schéma v simulinku pro řídicí systém na PC s Windows XP se liší jen tím, vstupní a výstupní bloky pro nastavení analogového vstupu a analogového výstupu jsou nahrazeny blokem *SOPDT*, určeného pro simulaci přenosu soustavy 2.řádu.

Stejný řídicí systém je vytvořen i pro reléový self tuner.

V bloku *PIDMA* se nastavují zvolené parametry regulátoru (konstanty regulátoru, typ regulátoru), dále se nastavuje horní a dolní limit akční veličiny, amplituda identifikačního pulsu, požadovaná rychlost uzavřené smyčky a další parametry pro fázi samočinného nastavení konstant. U bloku *PIDMA* je stejně jako u bloku *PIDAT* možné nastavit pro asymptoticky stabilní soustavy požadovanou rychlost uzavřené smyčky – pomalou, normální a rychlou.



Obr.7 Simulační schéma řídicího systému na PLC WinCon s Windows CE .NET 4

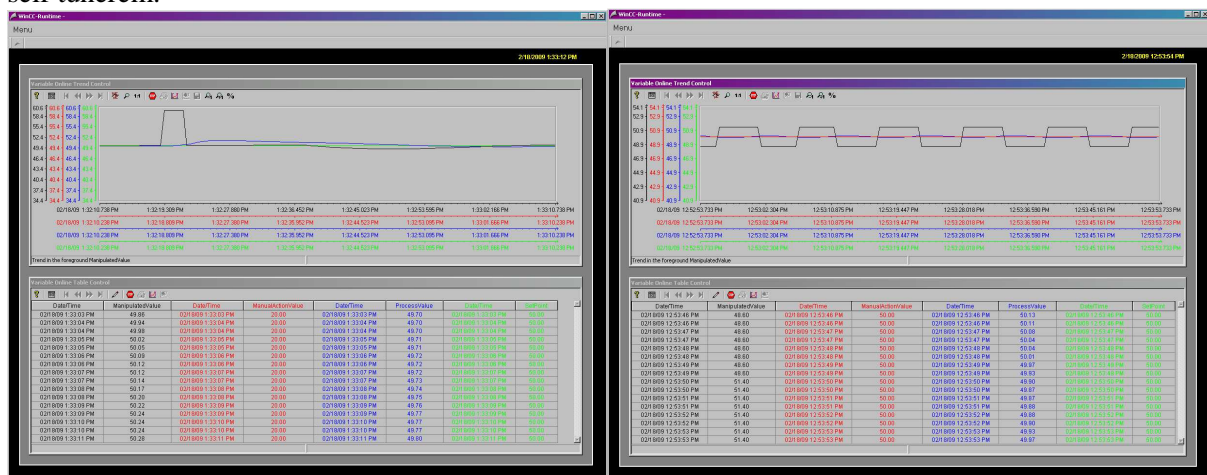
4.3 Vizualizace řídicího systému s momentovým a reléovým self tunerem

Hlavní okno je pro vizualizaci reléového i momentového self tuneru rozděleno do tří ucelených částí.

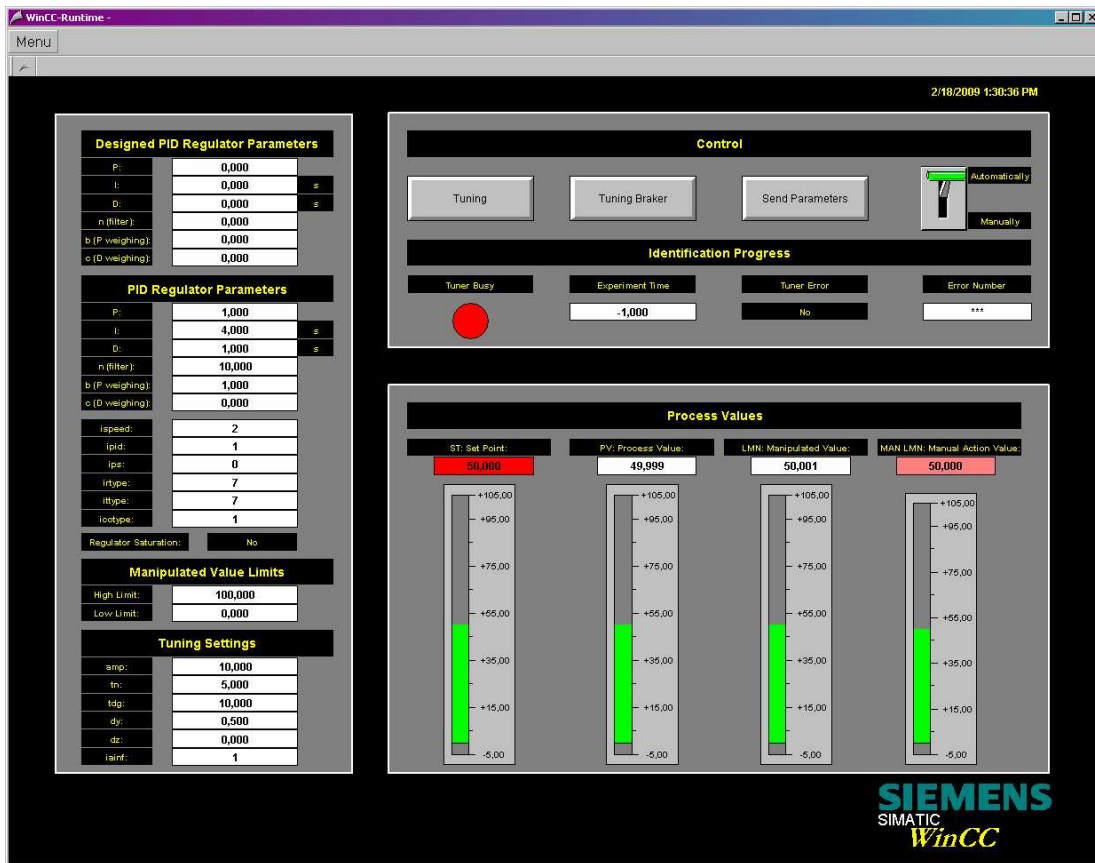
Nahoře uprostřed (Obr.9) je panel *Control* a *Identification Progress*. V části *Control* je umístěn přepínač mezi automatickým a ručním režimem regulátoru, tlačítko *Tuning* pro zahájení self tuningu, tlačítko *Tunning Breaker* pro přerušení procesu self tuningu a tlačítko *Send Parameters*, po jehož stisku se hodnoty vypočtených parametrů z procesu self tuningu přepíší do parametrů bloku *PIDMA*.

V části *Identification Progress* je umístěno znázornění procesu automatického nastavení konstant regulátoru. Spodní panel slouží k vizualizaci veličin. Vlevo je panel zobrazující konstanty regulátoru.

Na Obr.8 je pak znázorněn průběh procesních veličin během identifikace momentovým a reléovým self tunerem.



Obr.8 Hlavní okno vizualizace – automatický režim, momentový self tuner v činnosti



Obr.9 Hlavní okno vizualizace – automatický režim, momentový self tuner v činnosti

5 Ukázka návrhu regulátoru

$$\text{Soustava s přenosem } G(s) = \frac{1}{(s+1) \cdot (10 \cdot s + 1)}$$

Návrh regulátoru PID Self-Tunerem

	Identifikované parametry		Navržené parametry regulátoru PI	Navržené parametry regulátoru PID
GAIN	1,023443	P	0,943	47,04708
T1 [s]	9,415071	I [s]	6,474	1,302
T2 [s]	0,6579111	D [s]	-	0,426

Návrh regulátoru reléovým a momentovým self tunerem

	Reléový self tuner		Momentový self tuner	
	PI	PID	PI	PID
P	4,078	6,858	4,992	5,041
I [s]	5,515	2,973	5,704	3,834
D [s]	-	0,743	-	0,855
N	-	10	-	4
b	0,920	0,436	0,8	0
c	-	-	0	0

Návrh regulátoru pomocí modifikované Z-N metody

	Z-N metoda – standardní tvar		Z-N metoda – paralelní tvar (3.2)	
	PI	PID	PI	PID
P	14,649	19,533	14,649	19,533
I [s]	2,135	1,286	0,146	0,066
D [s]	-	0,309	-	6,036

Zhodnocení navržených regulátorů

Z porovnání všech návrhových metod vyplývá, že dosti podobné parametry regulátoru navrhuje reléový a momentový self tuner. PID Self Tuner se od obou podstatně liší v proporcionální složce u PID regulátoru, jejíž velká navržená hodnota je zde kvůli potlačení vstupních poruch regulačního obvodu. Proporcionální složka návrhu regulátoru pomocí modifikované Z-N metody je někde mezi návrhem PID Self Tunerem a návrhem pomocí reléového a momentového self tuneru. To vychází z návrhových pravidel Z-N metody, která vede na určitý překmit regulované veličiny při skoku žádané hodnoty.

Návrhy konstant regulátorů pomocí reléového a momentového self tuneru vedou na poměrně malé překmity regulované veličiny. U těchto dvou self tunerů je možno nastavit požadovanou rychlost uzavření smyčky – pomalou, normální a rychlou. Při volbě rychlé uzavřené smyčky se proporcionální složka zvětší (blíží návrhu regulátoru pomocí modifikované Z-N metody). To vede sice na rychlejší přechodový děj, ale na výraznější překmity regulované veličiny.

6 Závěr

V praktické části práce je uveden návrh řídicích systémů, které obsahují samonastavitelné regulátory. U výrobců PLC nejpoužívanější metodou návrhu konstant samonastavitelných regulátorů je metoda vycházející z přechodové charakteristiky otevřené smyčky. Je uveden návrh řídicího systému s PID Self Tunerem pro programovatelný automat PLC Simatic S7 300. V rámci práce bylo navrženo šest autorových vlastních PID regulátorů, které lze použít pro regulaci soustav ve spojení s PID Self Tunerem. Tři z nich jsou v přírůstkovém rekurentním tvaru a tři ve složkovém rekurentním tvaru. Pro praktické použití je však vhodný pouze regulátor s filtrací derivační složky pomocí diskretní analogie spojitého filtru. V praktických zkouškách se také mnohem více osvědčil složkový tvar před přírůstkovým tvarem regulátoru. Všemi šesti funkčními bloky regulátorů lze tvořit P, PI, PD a PID regulátory.

Druhou část praktické práce tvoří návrhy řídicích systémů pro reléový a momentový self tuner s vizualizací ve WinCC 6.2. Funkce reléového a momentového self tuneru byla odzkoušena na reálné soustavě, když simulační schémata navržených řídicích systémů byla vykonávána na PLC WinCon s řídicím systémem REX, který běží jako jedna z úloh operačního systému Windows CE .NET 4.

Poslední částí praktické práce je návrh konstant regulátorů PID Self Tunerem, reléovým self tunerem, momentovým self tunerem a „ruční“ návrh konstant regulátoru pomocí modifikované Z-N metody pro různé přenosy řízených soustav se zhodnocením těchto uvedených návrhů.

Literatura

- [1] Astrom, Karl, J., Hagglund, T.: *PID controllers: Theory, Design, and Tuning*. 2nd Edition. USA : Nakladatelství Instrument Society of America, 1995. 343 s. ISBN: 1-55617-516-7.
- [2] O'Dwyer, Aidan.: *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*. Velká Británie: Imperial College Press, Londýn 2003. 375 s. ISBN: 1-86094-350-0
- [3] Pfeiffer, B.-M, Mohr, D.: *Selbsteinstellender PID-Regler*. Atp – Automatisierungstechnische Praxis. 1998. č. 11, s. 50-57. Oldenbourg Verlag. 1998. ISSN: 3174171866.
- [4] Bobál, V., Bohm, J., Prokop, R., Fessl, J.: *Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů: algoritmy a implementace*. Brno: Nakladatelství VUTUM, 1999. 242 s. ISBN: 80-214-1299-2.
- [5] Schlegel, M.: *Nový přístup k robustnímu návrhu průmyslových regulátorů*. Habilitační práce. Plzeň 2000.