

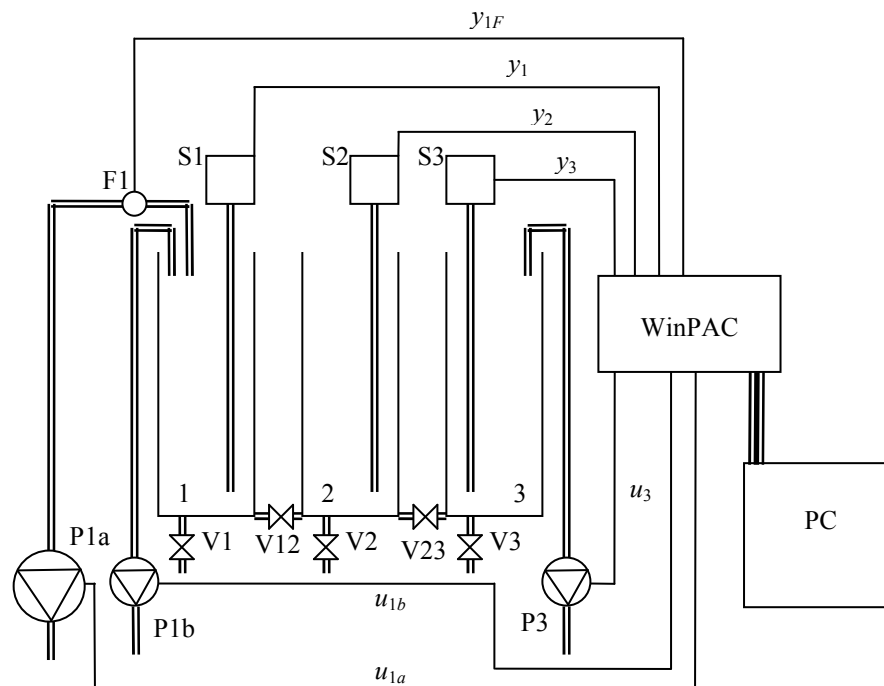
Laboratorní úloha Seřízení PI regulátoru

1. Stanovení optimálních parametrů (r_0 (zesílení), T_I (časová integrační konstanta)) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží využitím přechodové odezvy regulované soustavy na změnu akční veličiny.
2. Stanovení optimálních parametrů (r_0 (zesílení), T_I (časová integrační konstanta)) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží metodou relé.
3. Stanovení optimálních parametrů (r_0 (zesílení), T_I (časová integrační konstanta)) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží metodou kritických kmitů Zieglera a Nicholse.

Popis úlohy:

Spojené nádrže tvoří dohromady regulovanou soustavu. Přívod vody do nádrží je zajišťován čerpadly P1a, P1b a P3 ovládaných pomocí veličin u_{1a} , u_{1b} a u_3 , snímání výšky hladiny je prováděno pomocí snímačů S1, S2 a S3 (veličiny y_1 , y_2 , y_3). Je také možné měřit průtok vody dodávaný čerpadlem P1a pomocí průtokoměru F1 (veličina y_{1F}). Vzájemné propojení nádrží lze nastavovat pomocí ventilů V12 a V23, lze také nastavit výtok z nádrží pomocí ventilů V1, V2 a V3 (poruchové veličiny).

Spolu s regulátorem může soustava tvořit regulační obvod. Je možno přepínat mezi automatickým a ručním řízením. V případě automatického řízení hodnota akční veličiny odpovídá funkci a parametrům připojeného regulátoru (obvod je uzavřen), v případě ručního režimu lze akční veličinu ovládat přímo (obvod je rozpojen). Hodnotu akční veličiny je pak možné sledovat na monitoru počítače, stejně jako hodnoty regulované veličiny a regulační odchylky. Akční veličinou (u) může být napětí kteréhokoliv čerpadla, regulovanou veličinou (y) kterákoliv výška hladiny, případně průtok vody čerpadlem P1a. Jelikož voda je přiváděna do dvou nádrží, lze současně regulovat dvě výšky hladiny, přičemž je možnost výběru zda přívod vody do nádrže č. 1 bude prostřednictvím čerpadla P1a nebo P1b.

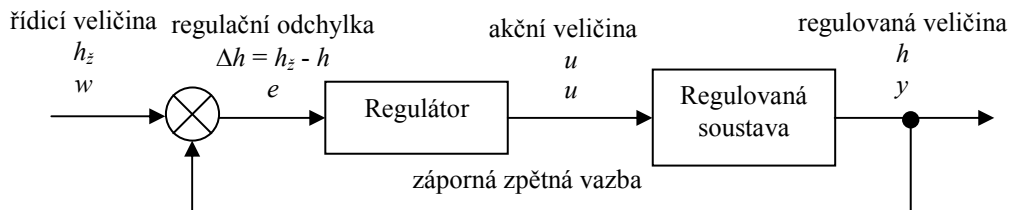


Obr. 1 Schéma zapojení úlohy

Uzavřený regulační obvod

Na obr. 2 je schéma uzavřeného regulačního obvodu (URO), který tvoří PID regulátor a soustava.

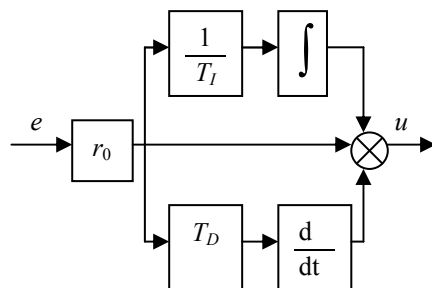
Řídicí veličinou w je žádaná hodnota výšky hladiny h_z v nádobě, která se porovnává se skutečnou výškou hladiny h , vzniká tzv. regulační odchylka e . Akční veličinou u je napětí čerpadla u ve shodě s požadavkem dosažení požadované výšky hladiny h_z .



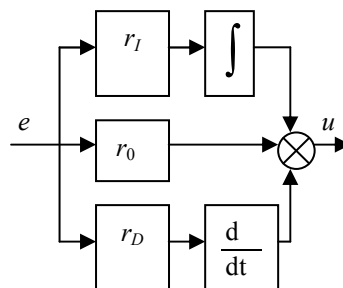
Obr. 2 Uzavřený regulační obvod úlohy

Možná zapojení PID regulátoru:

Paralelní forma

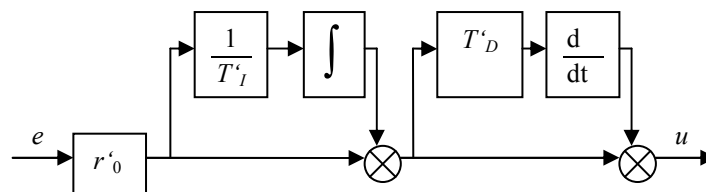


Ideální forma



$$r_0 = r_0, r_I = \frac{r_0}{T_I}, r_D = r_0 T_D$$

Sériová forma



$$r'_0 = \frac{r_0}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4 \frac{T_D}{T_I}} \right)$$

$$T'_I = \frac{T_I}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 4 \frac{T_D}{T_I}} \right)$$

$$T'_D = \frac{T_I}{2} \left(1 - \sqrt{1 - 4 \frac{T_D}{T_I}} \right)$$

Obr. 3 Používaná zapojení PID regulátoru

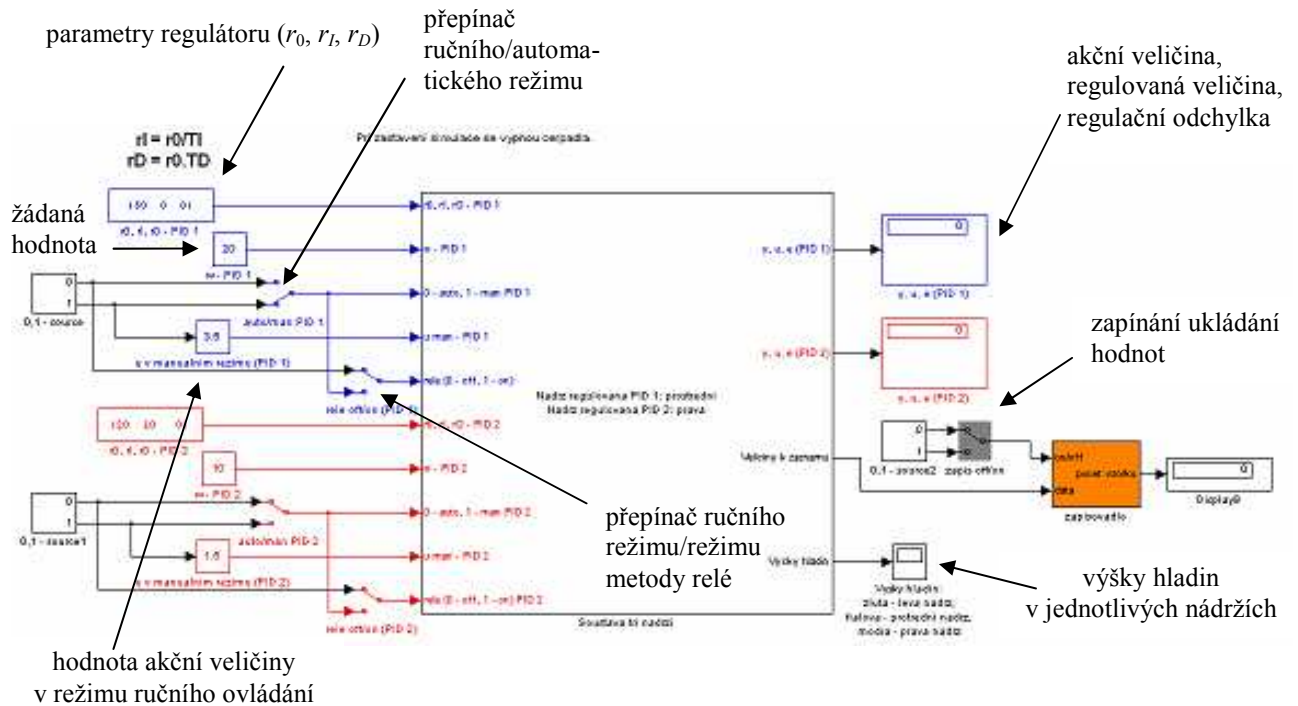
V úloze je použita **ideální forma PID regulátoru**, takže určené parametry r_0 , T_I a T_D je nutné přepočítat na r_0 , r_I a r_D .

Spuštění laboratorní úlohy:

- a) Spusťte úlohu **Kaskáda – regulace** pomocí zástupce na ploše Windows.
 b) Pokud na ploše Windows tento zástupce není spusťte program Matlab, přesuňte se do adresáře *work/kaskada/matlab/regul* a spusťte soubor *run.m* zapsáním příkazu **run** do příkazového řádku programu Matlab

>> run

- c) Po spuštění se objeví okno prostředí Simulink, ve kterém se nachází následující schéma:



Obr. 4 Jednotlivé části řídicího algoritmu v prostředí Simulink (význam bloků je popsán pouze pro modrý regulátor, pro červený regulátor je význam bloků stejný)

- d) Spusťte simulaci. Tím je úloha připravena k použití

1. Stanovení optimálních parametrů (r_0, T_I) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží využitím přechodové odezvy regulované soustavy na změnu akční veličiny

Pro zjištění optimálních hodnot nastavení regulátoru r_0, T_I je využita naměřená přechodová charakteristika soustavy (obr. 5) na skokovou změnu akční veličiny u . Při měření je tedy nutno přepnout řízení na ruční režim pomocí *přepínače ručního/automatického režimu*. Ze záznamu přechodového lze pomocí dále uvedených vztahů parametry stanovit.

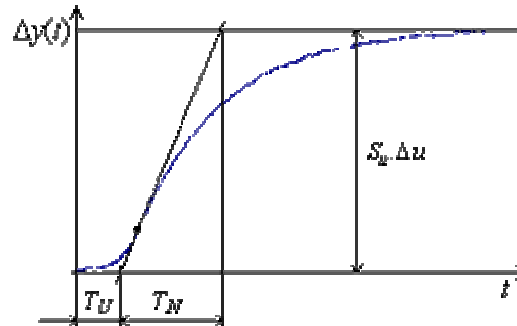
Tab.1 – Výpočet parametrů PID regulátoru

Regulátor	r_{0k}	T_I	T_D
P	$T_N / (S_u T_U)$		
PI	$0,9 T_N / (S_u T_U)$	$3 T_U$	
PID	$1,2 T_N / (S_u T_U)$	$2 T_U$	$0,5 T_U$

S_Ustatická citlivost regulované soustavy

T_Ndoba náběhu

T_Udoba průtahu



Obr. 5 Přechodová charakteristika soustavy na skokovou změnu akční veličiny

Doporučený postup:

- Z experimentu je možné určit parametry regulátoru pro regulaci jak první, tak druhé nádrže.
- Červený regulátor přepněte do automatického režimu.**
- Přepněte modrý regulátor na režim ručního řízení pomocí přepínače ručního/automatického režimu (obvod rozpojen).**
- Nastavte hodnotu akční veličiny modrého regulátoru na 3,1 a vyčkejte na ustálení soustavy.**
- Spusťte záznam dat.
- Nastavte hodnotu akční veličiny modrého regulátoru na 4,1 a vyčkejte na ustálení soustavy.**
- Po ustálení zastavte záznam dat, po zastavení se zobrazí se časové průběhy veličin v regulačním obvodu.
- Záznam vyhodnoťte a pomocí Tab. 1 určete požadované parametry regulátoru r_0 , T_I .

Vykreslení průběhů veličin v regulačním obvodu pro potřeby zprávy o měření popsáno v poznámce na konci návodu.

2. Stanovení optimálních parametrů (r_0 , T_I) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží metodou relé

Pomocí nelinearity typu relé lze uzavřený regulační obvod netlumeně rozkmitat. Z doby těchto kmitů a jejich amplitudy lze určit optimální hodnoty parametrů PI regulátoru.

Doporučený postup

- Červený regulátor přepněte do automatického režimu.**
- Pokud chcete nastavit regulátor pro řízení výšky hladiny v první nádrži, žádanou hodnotu modrého regulátoru nastavte na 20, pokud chcete nastavit regulátor pro řízení výšky hladiny ve druhé nádrži, žádanou hodnotu modrého regulátoru nastavte na 14.**
- Přepněte modrý regulátor na režim ručního řízení pomocí přepínače ručního/automatického režimu.**

- d) Nastavte hodnotu akční veličiny modrého regulátoru na 3,1 a vyčkejte na ustálení soustavy.
- e) Přepněte modrý regulátor na režim relé pomocí přepínače ručního režimu/režimu metody relé.
- f) Sledujte průběh veličin v regulačním obvodu.
- g) Když se objeví netlumené kmitání spusťte záznam dat.
- h) Po 10 -15 periodách kmitů zastavte záznam dat.
- i) Na záznamu si odměřením zjistíte **kritickou periodu T_k** .
- j) Podle vztahu (1) určete velikost **kritického zesílení r_{0k}** .
- k) Pomocí obou zjištěných hodnot a tabulky Tab. 2 určete optimální nastavení parametrů regulátoru r_0, T_I .

Tab.2 – Výpočet parametrů PID regulátoru

Regulátor	r_{0k}	T_I	T_D
P	$0,5 r_{0k}$		
PI	$0,4 r_{0k}$	$0,8 T_k$	
PID	$0,6 r_{0k}$	$0,5 T_k$	$0,125 T_k$

$$r_{0k} = \frac{4M_r}{\pi \cdot A_r} \quad (1)$$

M_r ... amplituda kmitání relé

A_r ... amplituda kmitání regulované veličiny

Vykreslení průběhů veličin v regulačním obvodu pro potřeby zprávy o měření popsáno v poznámce na konci návodu.

3. Stanovení optimálních parametrů (r_0, T_I) regulátoru PI pro regulaci soustavy tří nádrží metodou kritických kmitů Zieglera a Nicholse

Uzavřený regulační obvod lze při určitém nastavení parametrů přivést na hranici stability - tj. do netlumeného a samobuzeného kmitavého průběhu regulované veličiny. Metoda navržená Zieglerem a Nicholsem předpokládá vyřazení integrační konstanty ($T_I \rightarrow \infty$) používaného PI regulátoru a nalezení takového zesílení r_0 (tzv. **kritické zesílení r_{0k}**), při kterém dojde k výše popsanému průběhu. Na hranici stability kmitá obvod netlumenými kmito o konstantní amplitudě A . Doba těchto kmitů se nazývá **kritická perioda T_k** . Na základě dvou parametrů r_{0k} a T_k zjistíme podle vztahů uvedených v Tab. 2 optimální hodnoty stavitelných parametrů PI regulátoru.

Doporučený postup

- a) Červený regulátor přepněte do automatického režimu.
- b) Modrý regulátor přepněte do automatického režimu.
- c) Pokud chcete nastavit regulátor pro řízení výšky hladiny v první nádrži, žádanou hodnotu modrého regulátoru nastavte na 20, pokud chcete nastavit regulátor pro řízení výšky hladiny ve druhé nádrži, žádanou hodnotu modrého regulátoru nastavte na 14.
- d) Parametry r_I (integrační konstanta) a r_D (derivační konstanta) modrého regulátoru nastavte na nulu, čímž vyřadíte integrační a derivační složku a regulátor se bude chovat jako typ P.
- e) Zesílení r_0 modrého regulátoru nastavte na nulu a postupně jeho hodnotu zvyšujte.

- f) Sledujte průběh regulované veličiny (y). V okamžiku, kdy se objeví na záznamu samobuzené kmity, zjistili jste právě tzv. **kritické zesílení** r_{0k} .
- g) Spusťte záznam dat.
- h) Po 10 – 15 periodách zastavte záznam dat.
- i) Na záznamu si odměřením zjistěte **kritickou periodu** T_k .
- j) Pomocí obou zjištěných hodnot a tabulky Tab. 2 určete optimální nastavení parametrů regulátoru r_0 , T_I .

Poznámka

Zaznamenané průběhy lze vykreslit pomocí příkazu `vykresli` v příkazovém řádku programu MATLAB. Příkaz má dva parametry, prvním je vykreslovaná veličina, druhým je barva čáry. Pokud není druhý parametr zadán, je průběh vykreslen modrou barvou.

Parametry pro určení vykreslované veličiny:

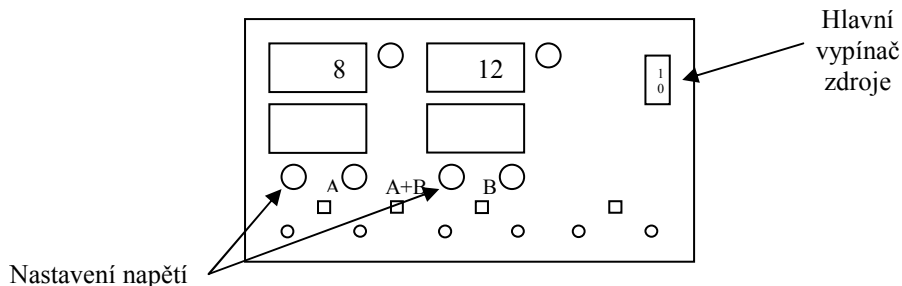
- y1 – výška hladiny v první nádrži
- y2 – výška hladiny ve druhé nádrži
- y3 – výška hladiny ve třetí nádrži
- u1 – akční veličina prvního regulátoru
- w1 – žádaná hodnota prvního regulátoru
- e1 – regulační odchylka prvního regulátoru
- u1m – akční veličina prvního regulátoru v ručním režimu
- u3 – akční veličina druhého regulátoru
- w3 – žádaná hodnota druhého regulátoru
- e3 – regulační odchylka druhého regulátoru
- u3m – akční veličina druhého regulátoru v ručním režimu

barvy: b – modrá, r – červená, m – fialová, k – černá, g – zelená, y – žlutá, c – světle modrá

Hodnota druhého parametru musí být uzavřena do apostrofů, hodnota prvního parametru do apostrofů být uzavřena nesmí. Např. vykreslení průběhu výšky hladiny v první nádrži červenou barvou: `vykresli(y1, 'r')`. Dokud není uzavřeno okno s vykreslovanými průběhy, další průběhy se přidávají k již nakresleným. Vykreslený obrázek je vhodné pro další zpracování uložit ve formátu `*.emf`.

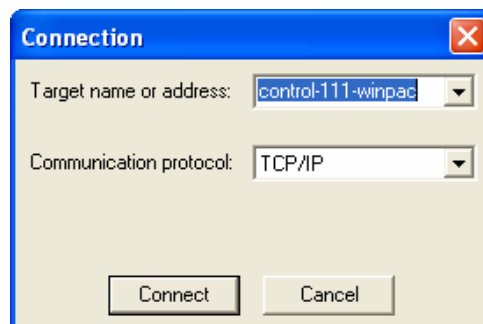
Spuštění úlohy

1. Zapněte laboratorní soustavu.
 - a) Zapněte hlavní vypínač laboratorní soustavy.
 - b) Zapněte zdroj hlavním vypínačem zdroje(obr. 13).
 - c) Zkontrolujte, zda jsou na zdroji nastavena napětí 8 V a 12 V (obr. 13).



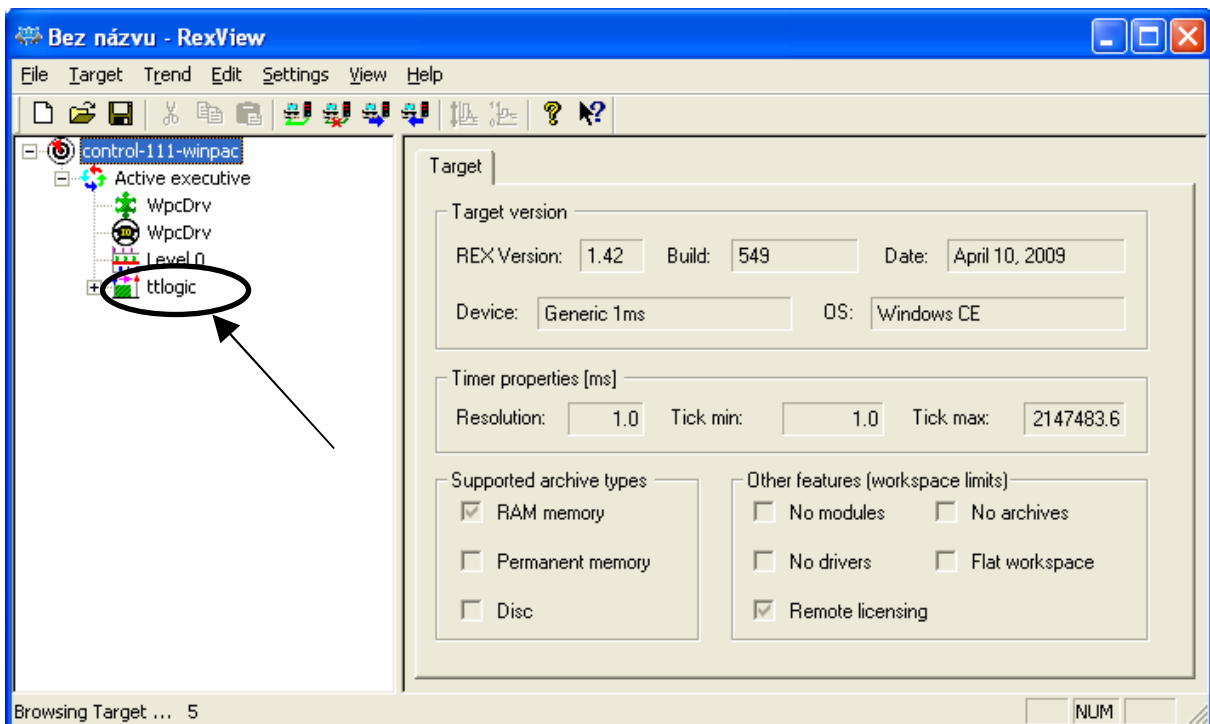
Obr. 6 Schéma ovládacích prvků zdroje

- d) Pokud nejsou napětí nastavena správně, nastavte je (obr. 13).
 - e) Spusťte napájení pomocí jednotlivých tlačítek **A** a **B** (obr. 13).
 - f) Zkontrolujte, zda jsou ventily nastaveny tak, aby byl umožněn odtok vody z první a třetí nádrže (buď přímo nebo přes druhou nádrž) – pro logickou úlohu
 - g) Zkontrolujte, jsou ventily V1, V12, V23 a V3 otevřeny a zbývají ventily zavřeny – pro spojitě úlohy
2. Pomocí programu RexView ověřte, zda je v řídicím automatu uložena správná konfigurace následujícím postupem:
 - a) Spusťte program RexView.
 - b) V dialogovém okně do pole *Target name or address* vyplňte **control-111-winpac** a stiskněte tlačítko *Connect* (obr. 7)

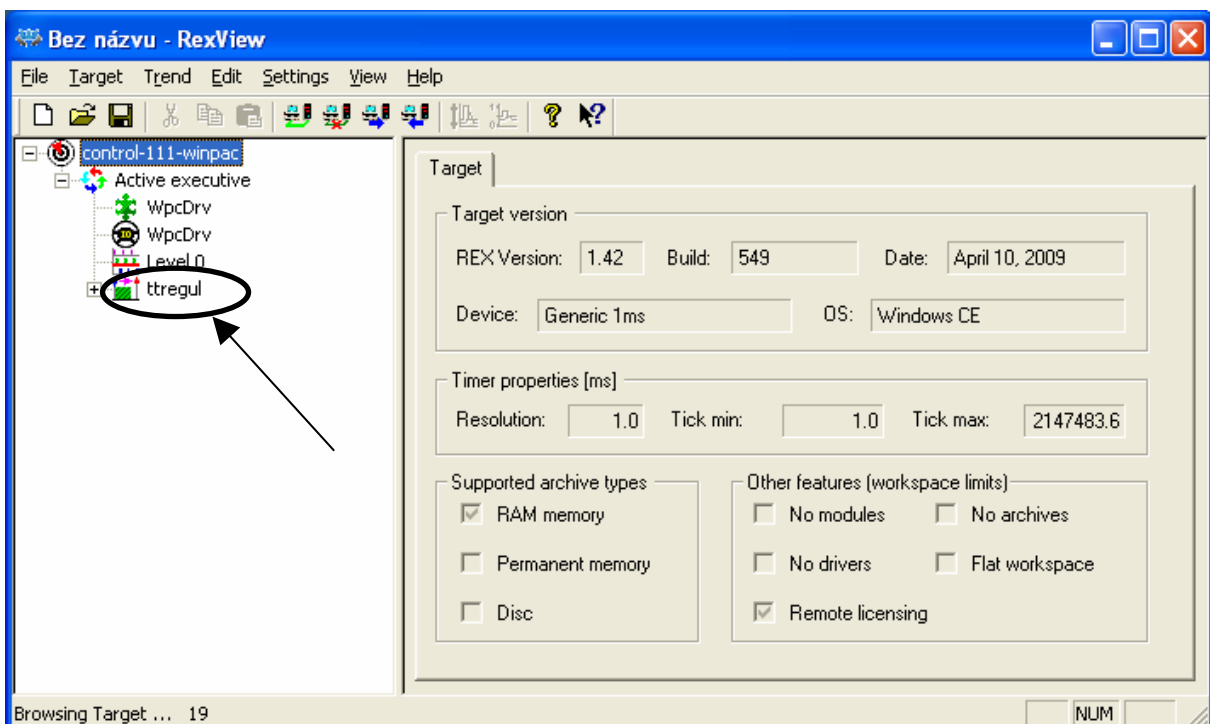


Obr. 7 Dialogové okno programu RexView

- c) Zkontrolujte název konfigurace (dle obr. 8, resp. obr. 9), musí zde být uvedeno **ttlogic**, pokud se má řešit úloha logického řízení, nebo **ttregul**, pokud se má řešit úloha seřízení PI regulátoru nebo měřit frekvenční charakteristika (pokud se v okně zobrazuje pouze *control-111-winpac*, v řídicím automatu není uložena žádná konfigurace).



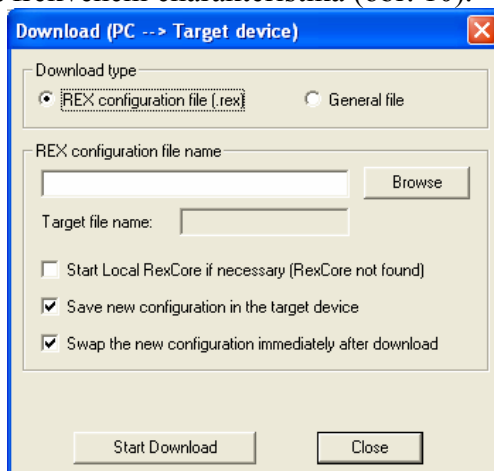
Obr. 8 Program RexView při řešení logické úlohy



Obr. 9 Program RexView při řešení úlohy seřizení PI regulátoru nebo měření frekvenční charakteristiky

- d) Pokud název konfigurace souhlasí, ukončete program RexView, konfigurace úlohy tím ukončena.
- e) Pokud název konfigurace nesouhlasí, uložíte správnou konfiguraci pomocí nabídky *Target / PC --> Target device ...*
- f) V následujícím okně pomocí tlačítka *Browse* vyhledáte configurační soubor **exec.rex** v adresáři **C:\Program Files\MATLAB71\work\kaskada\rex\logic**, pokud se má

řešit úloha logického řízení, nebo v adresáři **C:\Program Files\MATLAB71\work\kaskada\rex\regul**, pokud se má řešit úloha seřízení PI regulátoru nebo měřit frekvenční charakteristika (obr. 10).



Obr. 10 Okno programu RexView pro uložení konfiguračního souboru do programovatelného automatu

- g) pomocí tlačítka *Start Download* uložíte konfigurační soubor do programovatelného automatu a program RexView můžete ukončit.