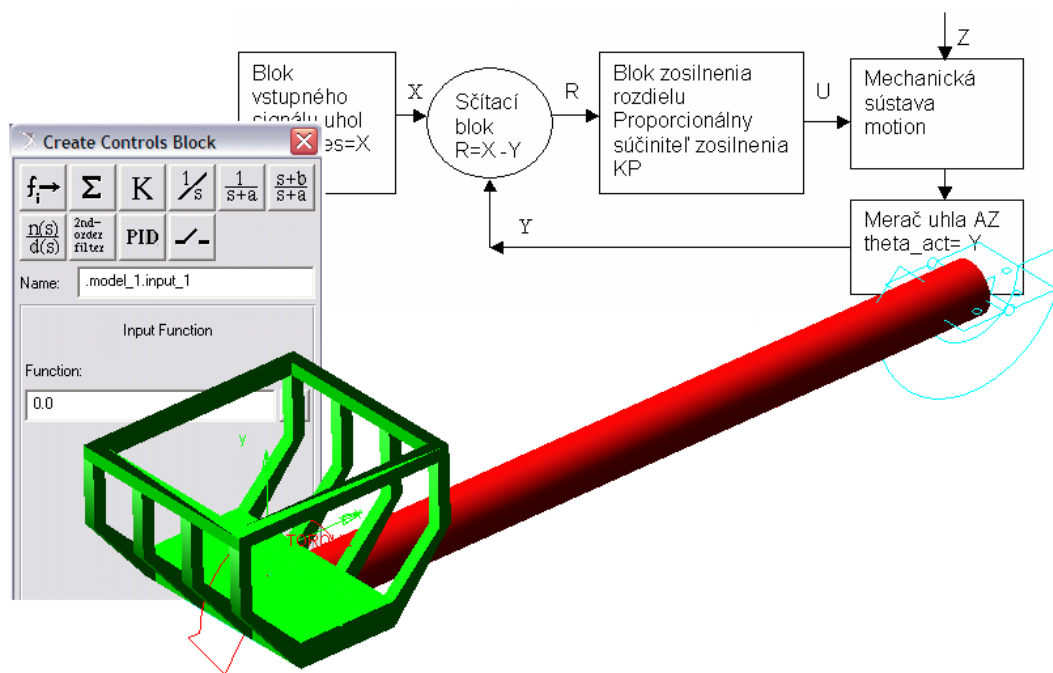


Riadenie výložníka s košom

Cieľ: Cieľom príkladu je navrhnuť spätnoväzobný regulačný obvod, resp. PID regulátor na riadenie priebehu vyrovnávajúceho momentu, ktorý udržiava montážny kôš vo vodorovnej polohe počas predpísaného otáčania ramena.



Obr. 1 Riadenie sústavy výložníka s košom

1 Zostavenie mechanického modelu sústavy



Obr. 2 Model sústavy výložníka s košom

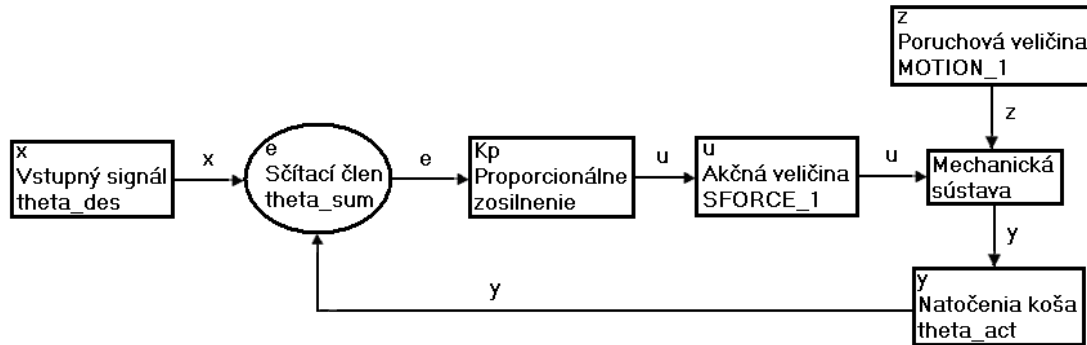
Do prostredia programu MSC.ADAMS si najprv importujeme model montážneho koša *vylozник_s_kosom.cmd*. Model obsahuje rameno výložníka spojené so základom rotačnou geometrickou väzbou. V tomto spojení pôsobí na rameno kinematická väzba vo forme predpísaného pohybu (MOTION_1) podľa harmonickej funkcie $SHF(x, x0, a, \omega, phi, b)$, ktorá zabezpečuje kmitavý pohyb výložníka v rozsahu od -180° po 0° .

Montážny kôš je pripojený na rameno rotačnou geometrickou väzbou, do ktorej neskôr aplikujeme riadený vyrovnávací moment.

Ako prvú vykonáme dynamickú simuláciu (1 sek., 300 krokov) otáčania ramena montážneho koša bez vyrovnávacieho momentu. Je zrejmé že nastane rotačný pohyb koša, ktorý budeme musieť eliminovať vyrovnávajúcim momentom.

2 Zostavenie riadiaceho systému

V nasledujúcom zostavíme riadiaci systém, ktorého úlohou bude vypočítavať veľkosť vyrovnávajúceho krútiaceho momentu. Schematicky je systém riadenia načrtnutý na obr. 3.



Obr. 3 Schéma uzatvoreného systému riadenia polohy koša s proporcionálnym regulátorom a spätnou väzbou

Mechanická sústava je potom ovplyvňovaná veličinou u podľa predpisu:

$$u = K_p e$$

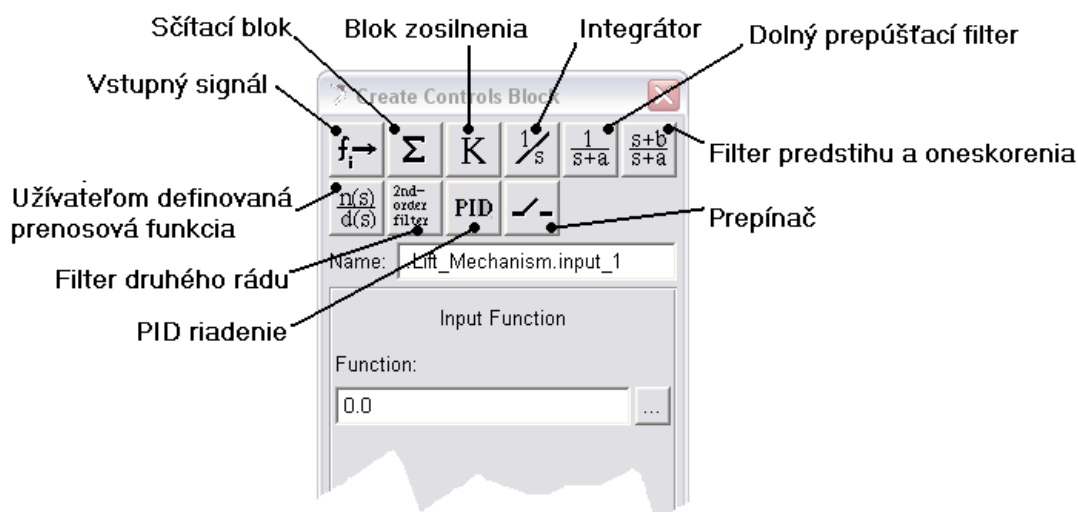
Označenia v schéme uzatvoreného systému riadenia na obr. 2:

- x - Vyžadovaná porovnávací (referenčná) veličina (uhol):
 $\theta_{des} = 0$
- y - Meraná regulovaná veličina (okamžitý uhol):
 $\theta_{act} = AZ (MAR_B, MAR_A)$
- e - Rozdiel (error) v sčítacom bloku:
 $\theta_{sum} = \theta_{des} - \theta_{act}$
- K_p - Proporcionálny súčiniteľ zosilnenia
 $K_p = 1e9$
- u - Akčná regulačná veličina je zosilnenie pre vyrovnávací moment:
 $SFORCE_1, u = K_p * e$
- z - Poruchová veličina (predpísaný pohyb mechanickej sústavy):
 $MOTION_1$

Uvedený riadiaci systém implementujeme do programu ADAMS prostredníctvom sady nástrojov Controls Toolkit:

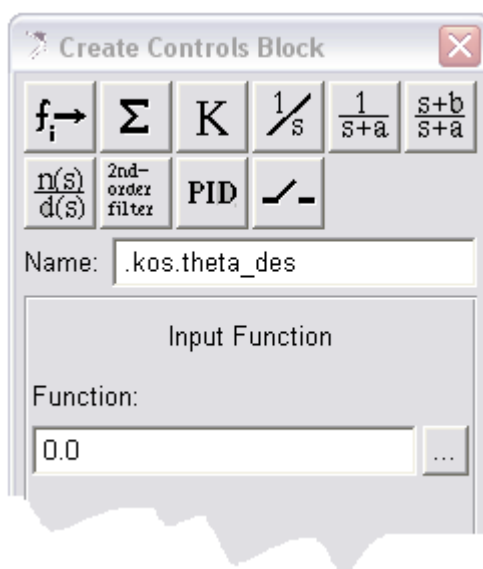
MB >> Build >> Controls Toolkit >> Standard Control Blocks

Tieto nástroje umožňujú implementáciu základných prvkov regulačných obvodov (obr. 4). Regulačný obvod utvárame logickou nadväznosťou podľa obr. 3.



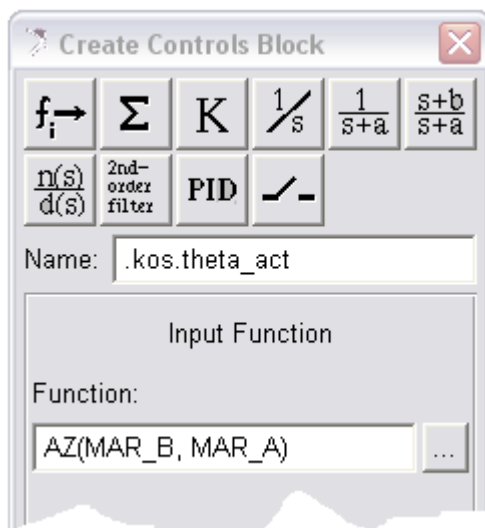
Obr. 4. Prostredie nástrojov Controls Toolkit

Vstupným signálom do sústavy bude požadovaná (θ_{des}) a skutočná (θ_{act}) hodnota natočenia koša. Pre vytvorenie vstupného signálu θ_{des} postupujeme podľa obr. 5. Voľbu potvrdíme tlačidlom *Apply*.



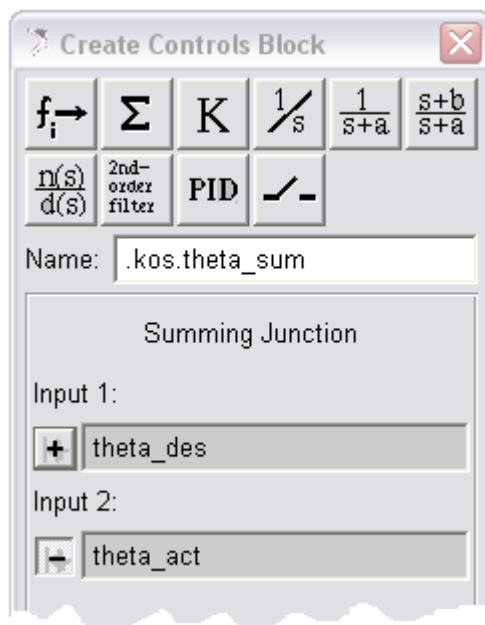
Obr. 5 Definovanie vstupného signálu – požadovaného uhla natočenia θ_{des}

Ďalší vstupný signál *theta_act* vytvoríme kliknutím na ikonu vstupného signálu a postupujeme podľa obr. 6. Voľbu potvrdíme tlačidlom *Apply*.



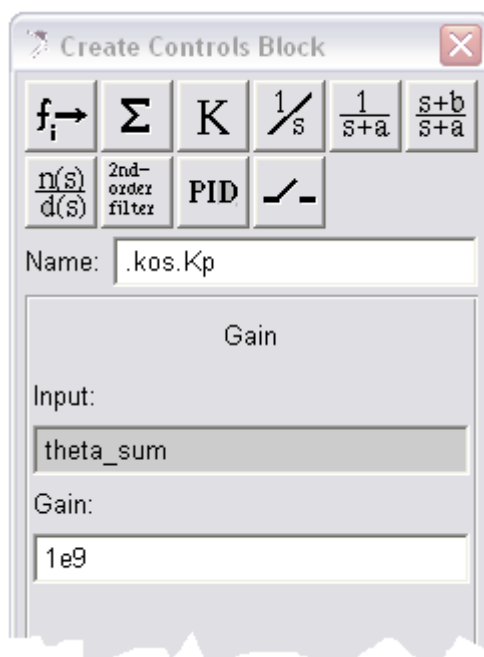
Obr. 6 Definovanie vstupného signálu – skutočného uhla natočenia *theta_act*

Sumačný člen vytvorím kliknutím na ikonu sčítacieho bloku. Voľbu potvrdíme tlačidlom *Apply*.



Obr. 7 Definovanie sumačného člena

Blok zosilnenia vytvoríme kliknutím na ikonu bloku zosilnenia. Voľbu potvrdíme tlačidlom **OK**.



Obr. 8 Definovanie bloku zosilnenia

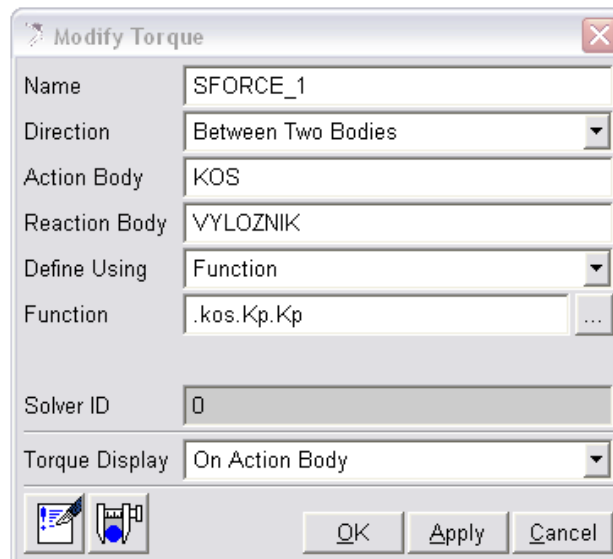
Týmto krokom máme model riadiaceho okruhu ukončený.

3 Výpočet regulačného krútiaceho momentu

V ďalšom je potrebné zabezpečiť pôsobenie krútiaceho momentu medzi telesami koša a výložníka v mieste markera *MAR_A*. Veľkosť krútiaceho momentu je vypočítavaná riadiacim systémom tak, aby udržal kôš vo vodorovnej polohe. Pri modelovaní je dôležité zachovať správnu definíciu akčného a reakčného člena.

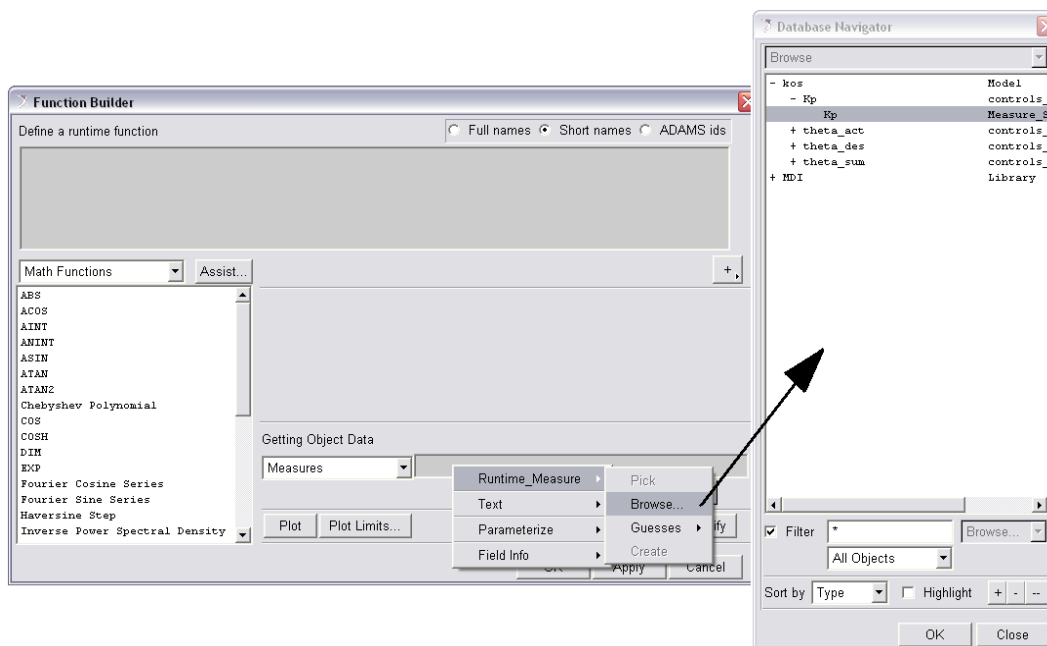
MTB >> Applied force: Torque (Single Component)

*Run-time Direction: Two Bodies
 (^L) KOS
 (^L) VYLOZNIK
 ground.MAR_A
 ground.MAR_A*



Obr. 9 Definícia krútiaceho momentu

Veľkosť krútiaceho momentu môžeme zdefinovať použitím nástroja **Function Builder**:

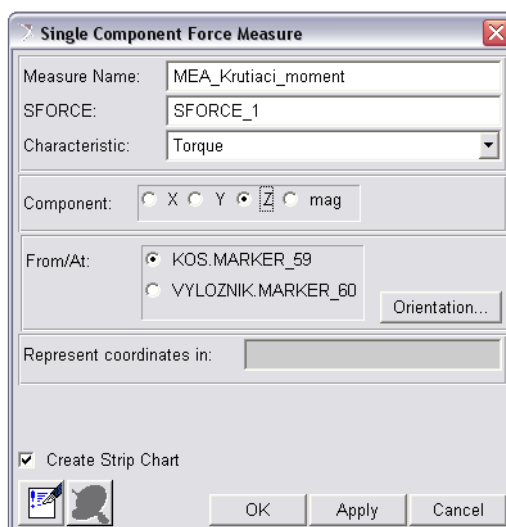


Obr. 10 Definovanie veľkosti krútiaceho momentu z regulačného obvodu

Po výbere hodnoty zosilnenia (Kp) z databázového navigátora ju potvrdíme tlačidlom *Insert Object Name* a prostredie Function Builder zatvoríme tlačidlom *OK*. Kompletná definícia krútiaceho momentu je na obr. 9.

Na sledovanie priebehu krútiaceho momentu vytvoríme merač s názvom *MEA_Krutiaci_moment*:

($\wedge R$) *Torque: SFORCE_1 >> Measure:*

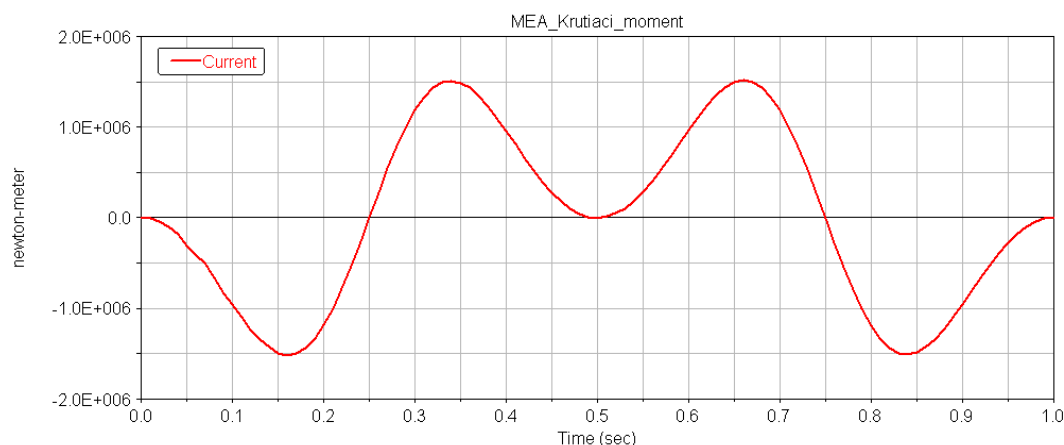


Obr. 10 Merač krútiaceho momentu

Taktiež vytvoríme merač na sledovanie uhla natočenia koša voči rámu. Merač nazveme *MEA_Natocenie* so syntaxou:

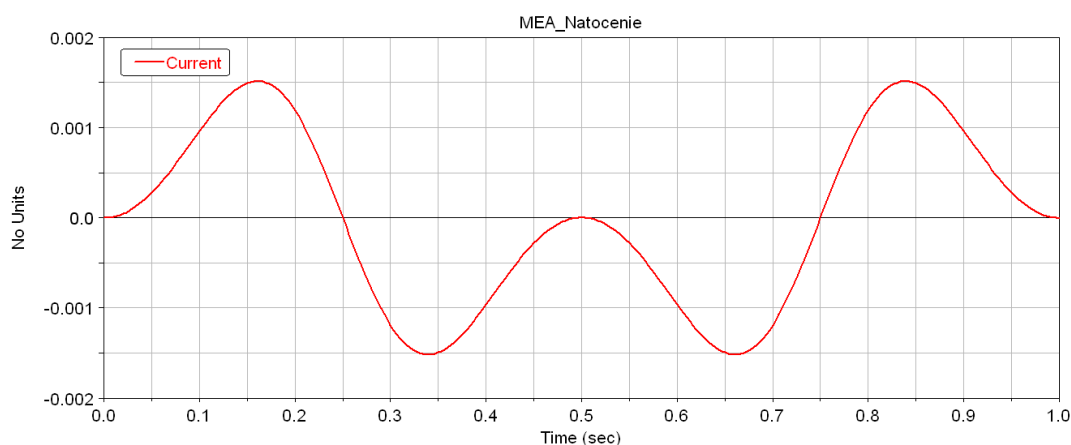
`AZ(MAR_B, MAR_A)`

Po spustení dynamickej simulácie dostávame priebeh krútiaceho momentu, ktorý je potrebný na udržanie koša v pracovnej polohe (obr. 11).



Obr. 11 Priebeh krútiaceho momentu ktorý je potrebný na udržanie koša vo vodorovnej polohe

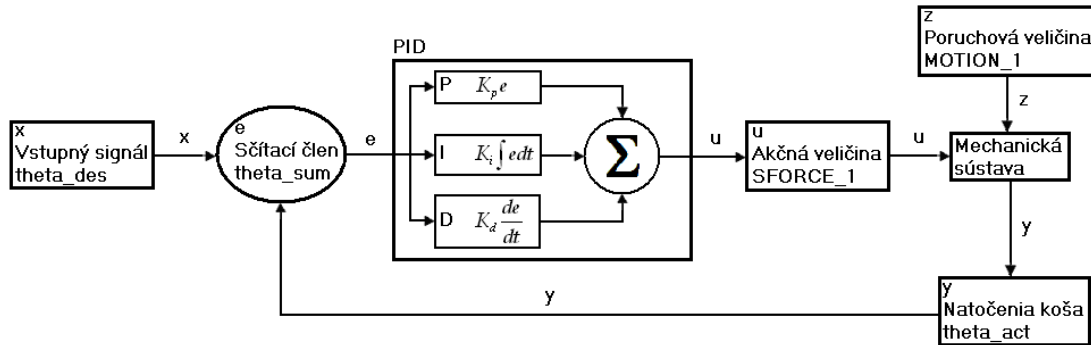
Taktiež môžeme sledovať ako sa správa natočenie koša. Vidíme že výchyľky sú od požadovanej nulovej hodnoty minimálne.



Obr. 12 Priebeh uhlovej výchyľky koša

4 PID regulácia

V ďalšom si ukážeme postup, ako implementovať PID regulátor do našej sústavy. Celý systém s PID regulátorom môžeme opísať nasledovnou schémou:



Obr. 13 Schéma PID riadenia

Mechanická sústava je ovplyvňovaná veličinou u podľa predpisu:

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

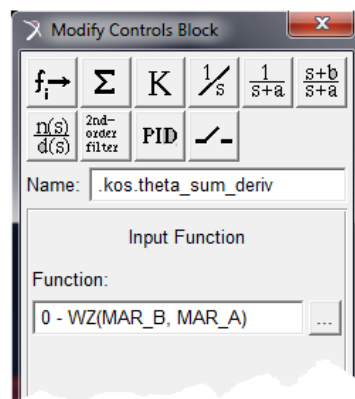
kde:

K_p – Proporcionálny člen

K_i – Integrovaný člen

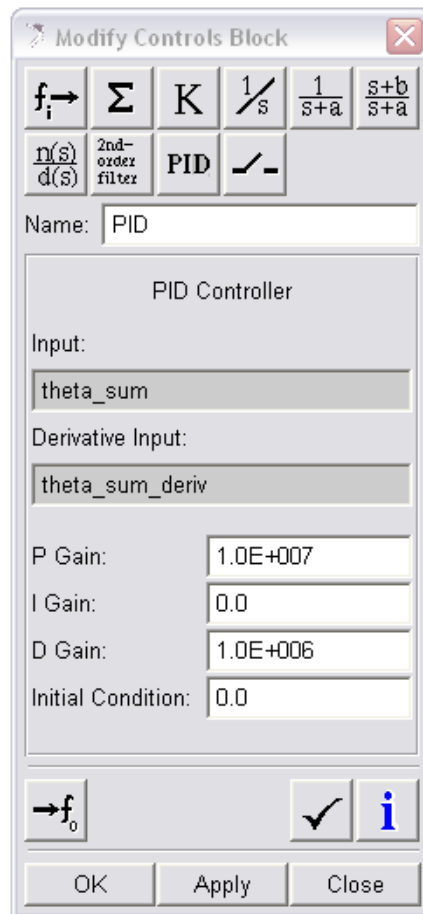
K_d – Derivačný člen

Pre činnosť PID regulátora je potrebné vytvoriť nový vstup a zadať deriváciu rozdielu požadovanej a reálnej hodnoty uhla natočenia. Fyzikálne sa jedná o rozdiel nulovej želanej uhlovej rýchlosti a reálnej uhlovej rýchlosti natáčania sa telesa KOS voči rámu. Táto uhlová rýchlosť je definovaná pomocou markerov MAR_A a MAR_B (obr. 14).



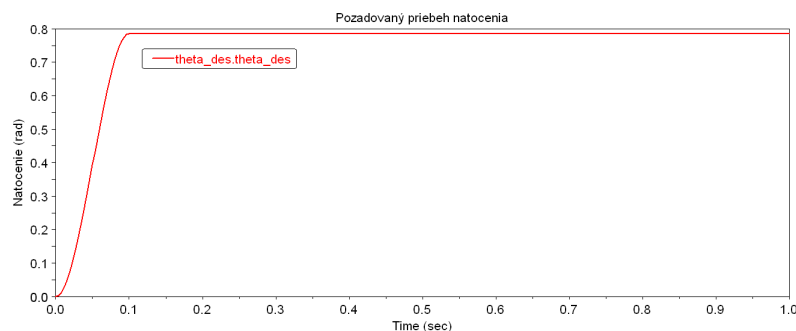
Obr. 14 Vstup pre PID regulátor – derivácia rozdielu medzi požadovaným a skutočným natočením koša

PID regulátor s príslušnými vstupmi a konštantami definujeme po stlačení tlačidla PID (obr. 15).



Obr. 15 Definovanie PID regulátora

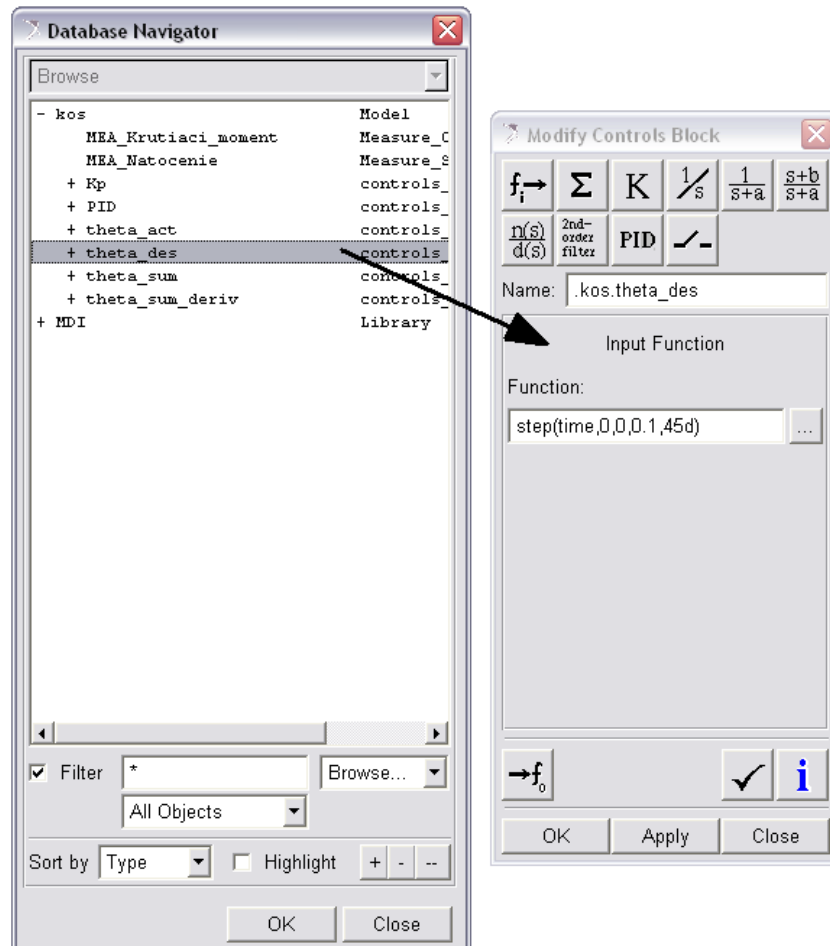
Pre názornejšiu ukážku PID riadenia definujme ďalej považovaný vstup *theta_des* ako natočenie koša na do polohy 45° za 0.1 sek. (na rozdiel od doterajšej nuly). Na aproximáciu môžeme použiť funkciu *STEP*.



Obr. 16 Požadovaný priebeh natočenia koša

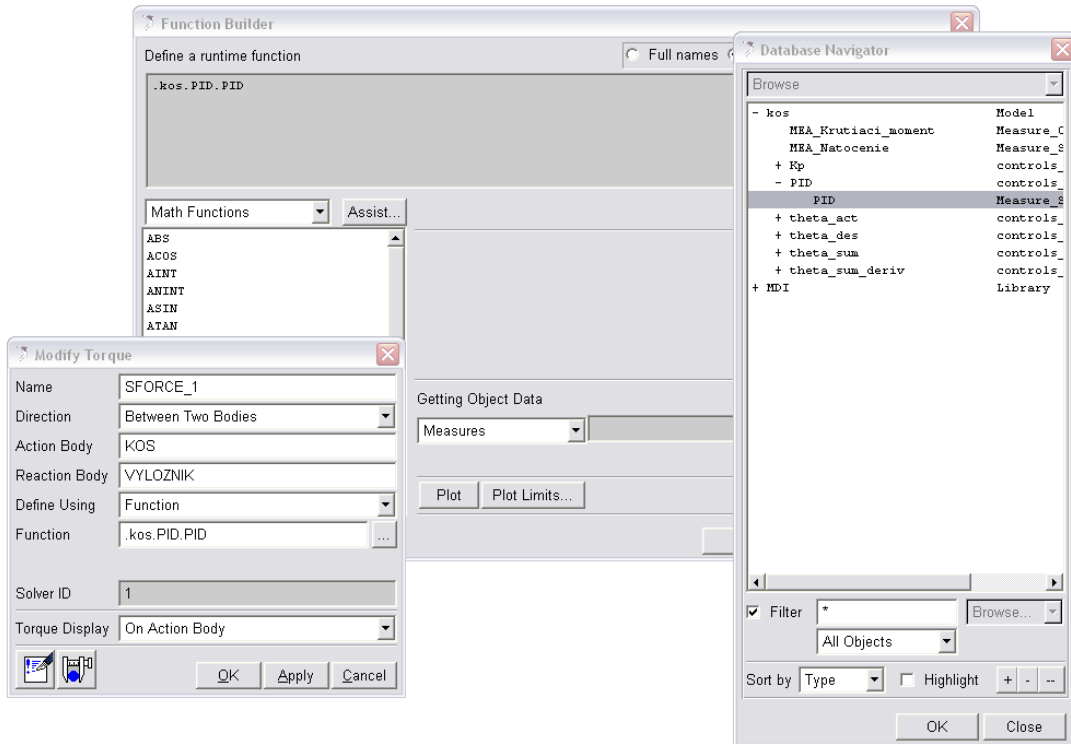
Vstupnú požadovanú veličinu predefinujeme pomocou databázového navigátora:

MB >> Edit >> Modify ...



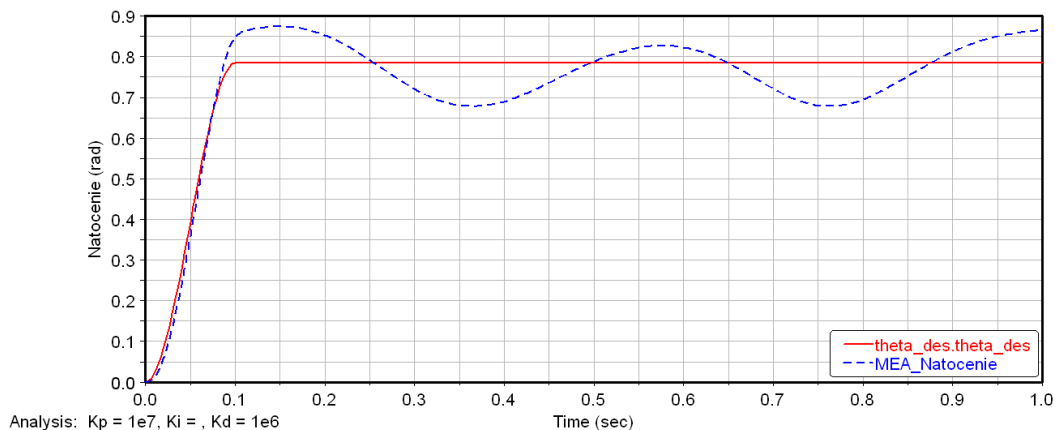
Obr. 17 Modifikácia požadovaného priebeh natočenia koša – *theta_des*

Nakoniec je potrebné zdefinovať prepojenie vyjadrovania veľkosti krútiaceho momentu pomocou PID regulátora. Postup prevedieme podľa obr. 18.



Obr. 18 Definovanie veľkosti krútiaceho momentu z PID regulátora

Po spustení dynamickej simulácie (1 sek. 300 krokov) môžeme sledovať pohyb koša riadení PID regulátorom. Porovnanie požadovanej a skutočnej hodnoty pre konštanty $K_p = 1e7$, $K_i = 0$, $K_d = 1e6$ je na obr. 18. Výhodu, ktorú ponúka program ADAMS je možnosť parametrizácie jednotlivých konštánt PID regulátora a tým možnosť sledovania ich vplyvu na správanie sa mechatronickej sústavy napr. pomocou metódy Design Study.



Obr. 19 Porovnanie požadovaného priebehu natočenia koša s priebehom generovaným pomocou PID regulátora pre konštanty $K_p = 1e7$, $K_i = 0$, $K_d = 1e6$