

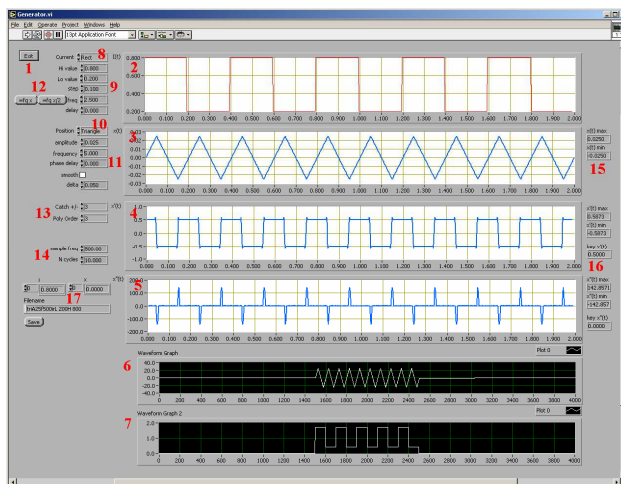
**GENERATION OF ACTUATING SIGNALS FOR IDENTIFICATION OF
MAGNETORHEOLOGICAL DAMPER**

R. Votrubec*

Summary: *V příspěvku je představena aplikace generátoru budičích signálů pro magnetoreologický tlumič. Tato aplikace byla vytvořena v prostředí LabView. Kromě standardních typů signálů jako jsou obdélníkové, harmonické, trojúhelníkové nebo parabolické signály, obsahuje aplikace i speciálně vytvořené varianty nespojitých signálů s hladkými průběhy svých derivací. Aplikace připravuje data pro měření na tlumiči, což představuje vytvoření souboru dat polohy a budičeho proudu ve vzájemné synchronizaci.*

1. Úvod

V rámci příprav na identifikaci tlumiče s magnetoreologickou kapalinou byl vytvořen program na generování budičích signálů polohy a proudu, obr.1. Software byl naprogramován v prostředí LabView. Vlastní jádro tvoří generátor signálu různých průběhů, např. sinusového, trojúhelníkového, parabolického v různých variantách, schodového a mnoha dalších. Tento balík je univerzálně použitelný v libovolném dalším programu v LabView. Speciálně pro potřeby měření na magnetoreologickém tlumiči byla vytvořena aplikace pro generování vstupních textových souborů s budičimi průběhy polohy a proudu tlumiče ve vzájemné synchronizaci, s řešením náběhu a doběhu měření na elektromagnetickém pulsátoru a s přepočtem pomocí převodních konstant měřicího řetězce.



Obr.1 Hlavní okno aplikace Generator

* Ing. Radek Votrubec, Phd.: Department of Applied Cybernetics, Technical University of Liberec, Studentska 2; 461 17 Liberec CZ; tel.: +420 485 351 111, fax: +420 485 351 112; e-mail: radek.votrubec@tul.cz

2. Typy průběhů generovaného signálu polohy

Průběh polohy může být zvolen jako sinusový, trojúhelníkový, několik druhů parabolických, sinusový s proměnnou frekvencí nebo náhodný. Nespojitě průběhy resp. průběhy s nespojitými derivacemi je možno volit ve speciálně upravené variantě s hladkým průběhem derivací. V rámci tohoto příspěvku jsou popsány pouze nestandardní typy průběhů.

2.1. Trojúhelníkový průběh polohy

Jednou z variant pro výběr budícího signálu polohy je trojúhelníkový průběh, obr.2, popsany rovnicí

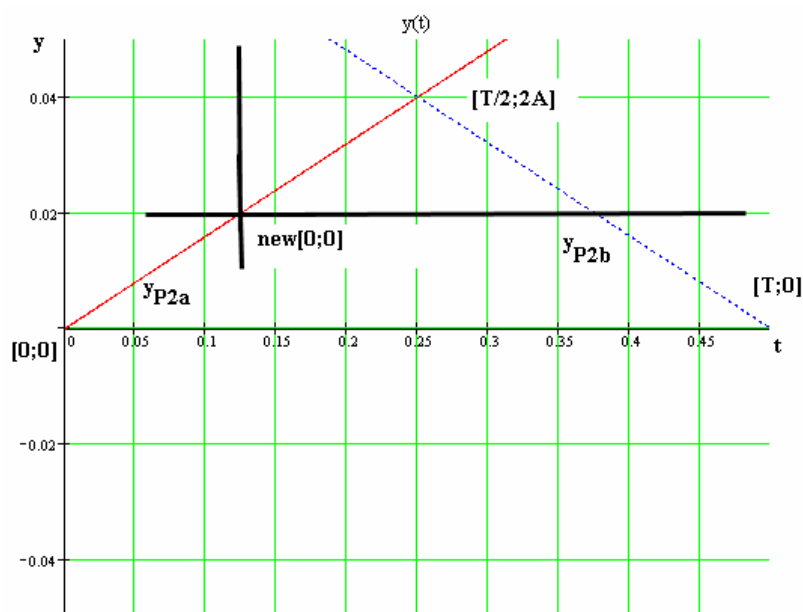
$$y_{P2} = k \cdot (t + \varphi) + y_0 \quad (1)$$

přičemž

$$k = \frac{4A}{T} = 4Af \text{ a } y_0 = 0 \text{ pro } t \in \left\langle 0; \frac{T}{2} \right\rangle \quad (2)$$

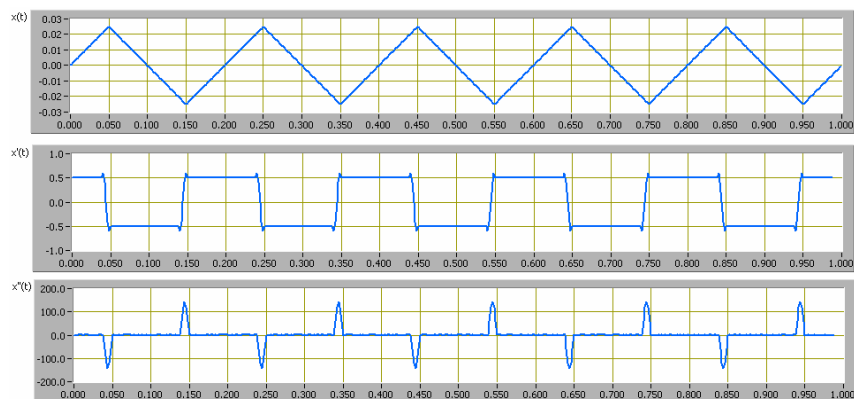
$$k = \frac{-4A}{T} = -4Af \text{ a } y_0 = 4A \text{ pro } t \in \left\langle \frac{T}{2}; T \right\rangle \quad (3)$$

kde A je amplituda, f - frekvence, t - čas, φ - fáze a T – perioda.



Obr.2 Trojúhelníkový průběh polohy

Požadovaný tvar funkce dostaneme zavedením nového souřadného systému s počátkem v bodě $[T/4; A]$. Graf včetně průběhu rychlosti a zrychlení je na obr.3.



Obr.3 Trojúhelníkový průběh polohy – graf rychlosti a zrychlení

U trojúhelníkového signálu dochází ke skokovým změnám rychlosti nebo zrychlení v bodech zlomů mezi jednotlivými částmi funkce, která není hladká. To způsobuje jednak vysoké hodnoty rychlosti a zrychlení ve zlomových bodech a jednak nepříjemné rázy při samotném měření. Obě derivace průběhu polohy se provádí numericky a špičkové hodnoty těchto derivací v bodech zlomu jsou tím větší, čím je menší vzorkovací frekvence signálu. Z uvedených důvodů byly vytvořeny ke všem nehladkým funkcím alternativní funkce, které v definovaném intervalu kolem zlomového bodu nahradí funkční hodnotu speciální přechodovou funkcí, která splňuje následující podmínky:

-funkce je hladká, jedná se o parabolu nebo polynomiální funkci třetího řádu

-tato funkce navazuje na obou koncích náhradního intervalu na funkci původní, tj. na obou koncích jsou funkční hodnoty rovny funkčním hodnotám původní funkce

-i derivace této náhradní funkce se rovná na obou koncích intervalu derivaci původní funkce a tudíž není v těchto bodech zlom.

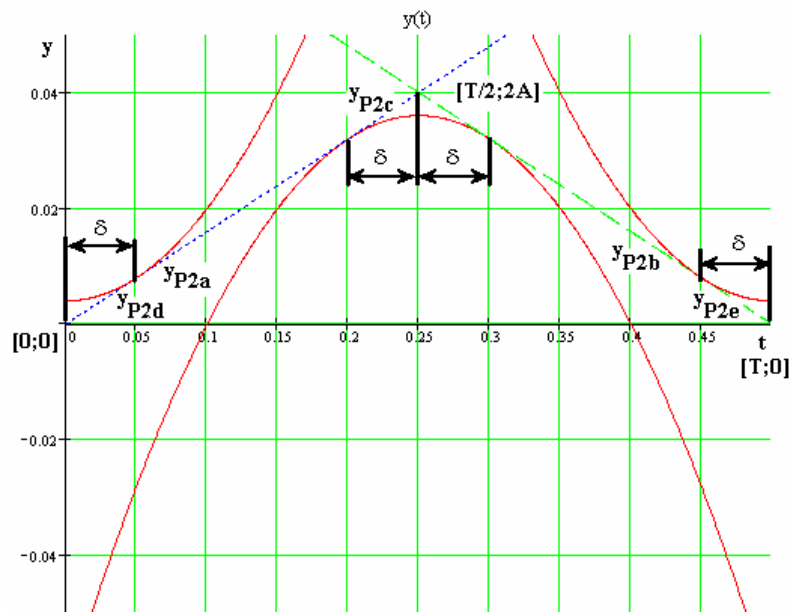
Tento alternativní průběh se přepíná v programu pomocí funkce Smooth. Odstraněním zlomů dojde k výraznému potlačení špičkových hodnot rychlosti a zrychlení. Vygenerované signály slouží k buzení elektrodynamického pulsátoru, který stejně neumí pevně kopírovat žádaný průběh polohy, zejména pak kolem bodu zlomu, kdy použitý regulátor řídí reálně a nikoli ideálně. Modifikace signálu v tomto úseku tudíž není vůbec na škodu.

Oblasti s náhradními funkcemi na trojúhelníkovém průběhu jsou tři, y_{P2c} , y_{P2d} a y_{P2e} jsou dány parametrem δ podle obr.4.

$$y_{P2c} = 2A \left[-\frac{t^2}{\delta T} + \frac{t}{\delta} + 1 - \frac{\delta}{T} - \frac{T}{4\delta} \right] = 2A \left[-\frac{ft^2}{\delta} + \frac{t}{\delta} + 1 - \delta f - \frac{1}{4\delta f} \right] \quad (4)$$

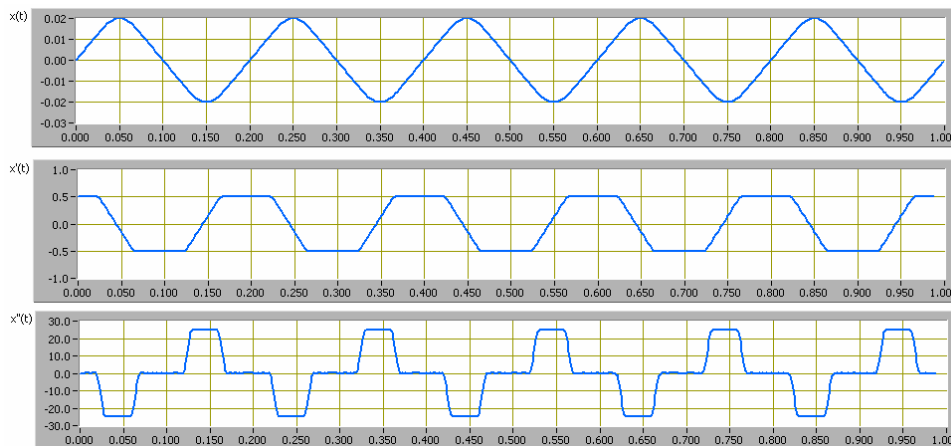
$$y_{P2d} = 2A \left[\frac{t^2}{\delta T} + \frac{\delta}{T} \right] = 2A \left[\frac{ft^2}{\delta} + \delta f \right] \quad (5)$$

$$y_{P2e} = 2A \left[\frac{t^2}{\delta T} - \frac{2t}{\delta} + \frac{\delta}{T} + \frac{T}{\delta} \right] = 2A \left[\frac{ft^2}{\delta} - \frac{2t}{\delta} + \delta f + \frac{1}{\delta f} \right] \quad (6)$$



Obr.4 Beznárazový trojúhelníkový průběh polohy

Průběh beznárazového trojúhelníkového signálu polohy včetně průběhů rychlosti a zrychlení je na obr.5 Porovnáme-li tento graf s původním trojúhelníkovým signálem na obr.3, vidíme zejména na zrychlení, že odstraněním zlomu došlo k výraznému zmenšení špičkové hodnoty zrychlení.



Obr.5 Beznárazový trojúhelníkový průběh polohy - graf rychlosti a zrychlení

2.2. Parabolické průběhy polohy

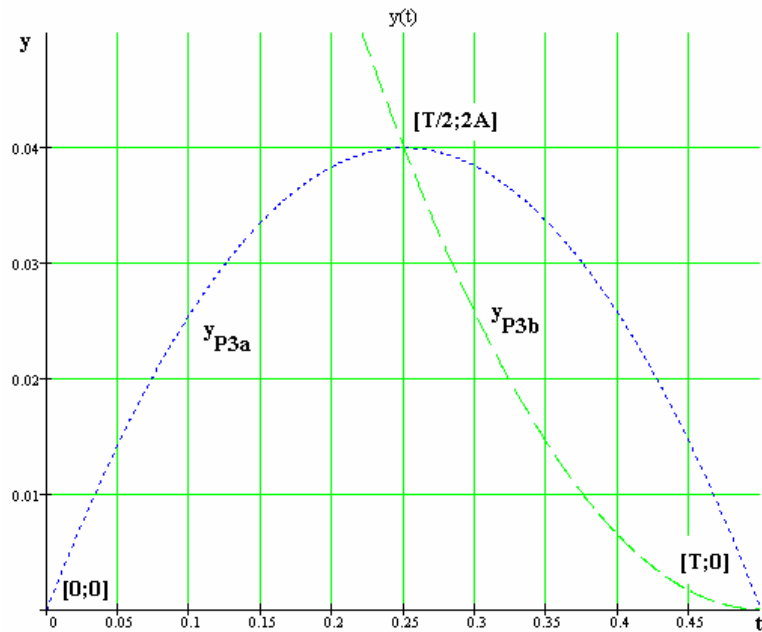
Parabolických průběhů je navrženo několik variant. První čtyři průběhy jsou dány různou kombinací čtyř segmentů y_{P3a} , y_{P3b} , y_{P3c} a y_{P3d} zobrazených na obr.6 a 7.

$$y_{P3a} = -\frac{8A}{T^2}t^2 + \frac{8A}{T}t = -8Af^2t^2 + 8Aft \quad (7)$$

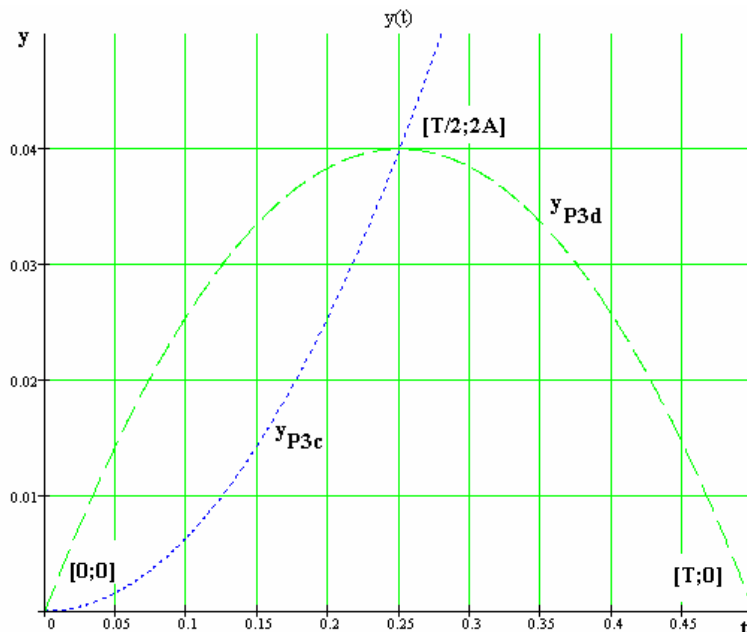
$$y_{P3b} = \frac{8A}{T^2}t^2 - \frac{16A}{T}t + 8A = 8Af^2t^2 - 16Aft + 8A \quad (8)$$

$$y_{P3c} = \frac{8A}{T^2} t^2 = 8Af^2 t^2 \quad (9)$$

$$y_{P3d} = -\frac{8A}{T^2} t^2 + \frac{8A}{T} t = -8Af^2 t^2 + 8Aft \quad (10)$$

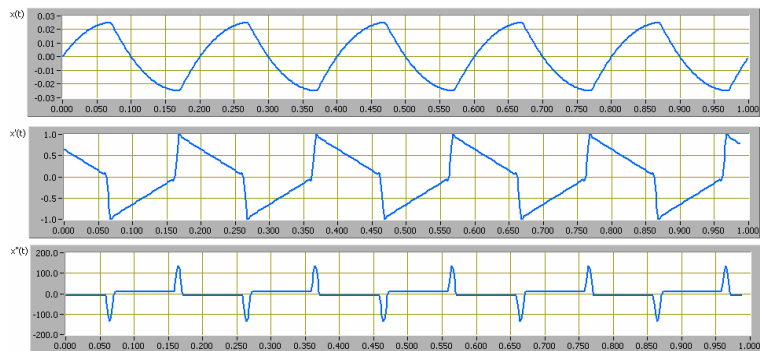


Obr.6 Parabolický průběh polohy-segmenty y_{P3a} a y_{P3b}

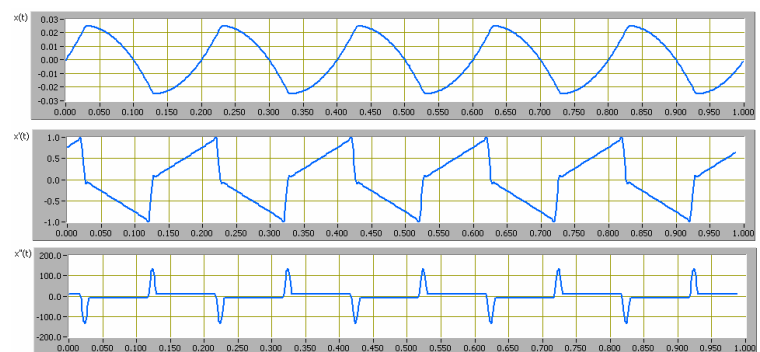


Obr.7 Parabolický průběh polohy-segmenty y_{P3c} a y_{P3d}

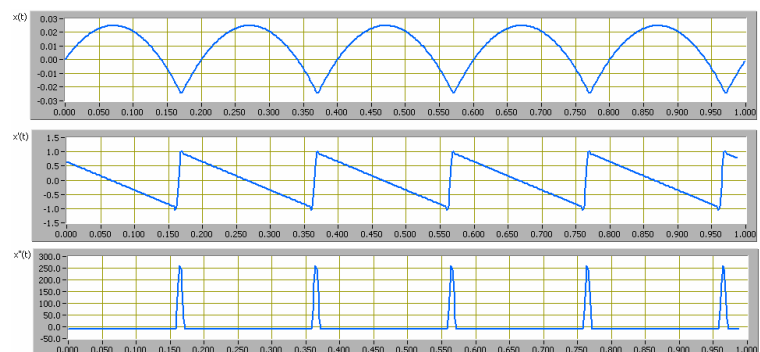
Kombinací těchto čtyř segmentů y_{P3a} , y_{P3b} , y_{P3c} a y_{P3d} jsou vytvořeny čtyři parabolické průběhy, obr.8-11. Průběhy jsou zobrazeny včetně rychlosti a zrychlení.



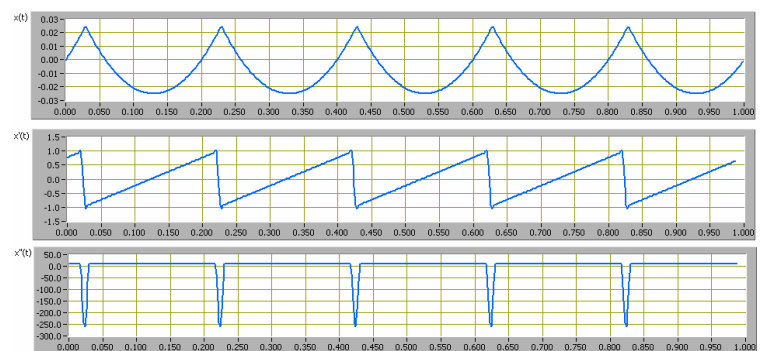
Obr.8 Parabolic1 průběh polohy-segmenty y_{P3a} a y_{P3b}



Obr.9 Parabolic2 průběh polohy-segmenty y_{P3c} a y_{P3d}



Obr.10 Parabolic3 průběh polohy-segmenty y_{P3a} a y_{P3d}



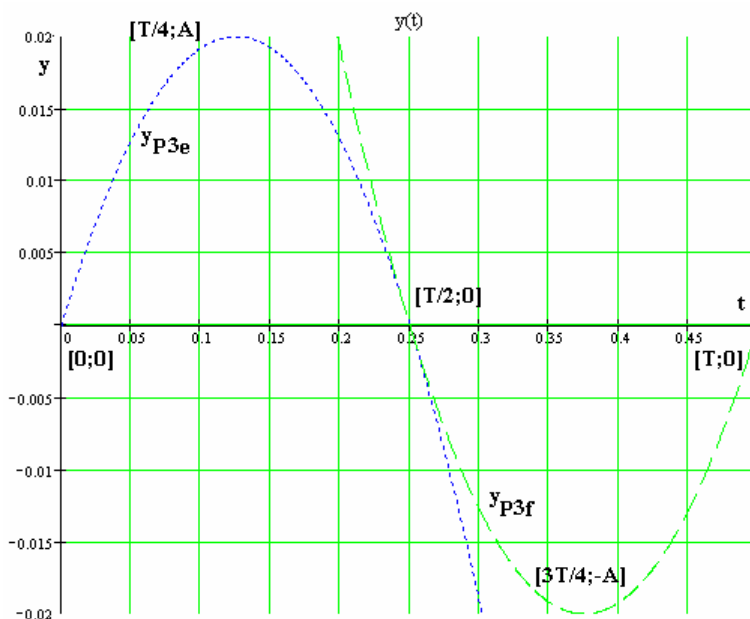
Obr.11 Parabolic4 průběh polohy-segmenty y_{P3c} a y_{P3b}

Takto vytvořené průběhy nezačínají v nule, tj. funkční hodnota v čase nula je nenulová. Proto je nutné najít odpovídající posunutí funkce v čase, tj. najít ve kterém čase platí, že $y=A$.

Poslední alternativa parabolického průběhu Parabolic 5 je složena ze dvou segmentů y_{P3e} a y_{P3f} , obr.12.

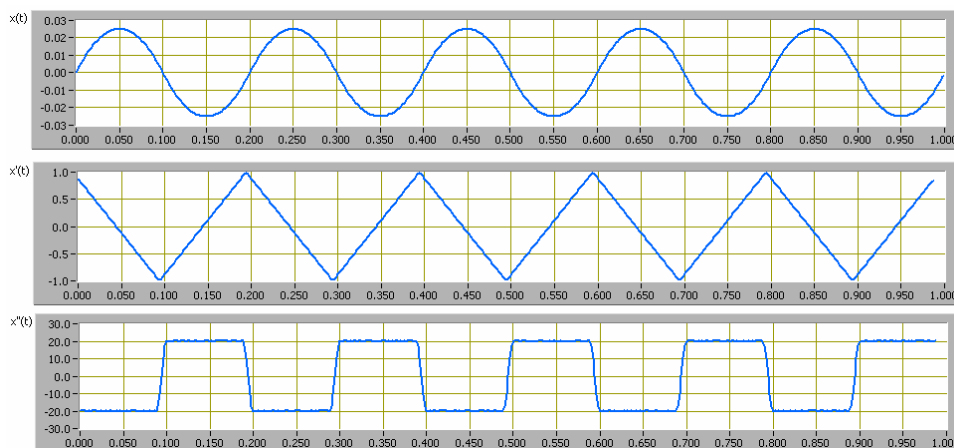
$$y_{P3e} = -\frac{16A}{T^2}t^2 + \frac{8A}{T}t = -16Af^2t^2 + 8Aft \quad (11)$$

$$y_{P3f} = \frac{16A}{T^2}t^2 - \frac{24A}{T}t + 8A = 16Af^2t^2 - 24Aft + 8A \quad (12)$$



Obr.12 Parabolický průběh polohy-segmenty y_{P3e} a y_{P3f}

Graf tohoto parabolického průběhu včetně grafů rychlosti a zrychlení je na obr.13.



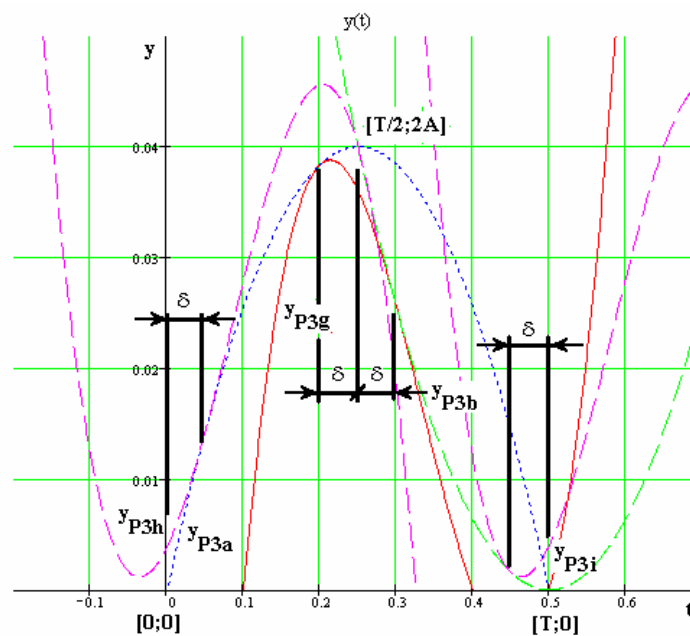
Obr.13 Parabolic5 průběh polohy včetně rychlosti a zrychlení

K průběhům Parabolic1 až Parabolic4 jsou vytvořeny alternativní beznárazové signály. V signálu Parabolic1 je nutné nahradit oblasti kolem bodů zlomu třemi náhradními funkcemi

$$y_{P3g} = \frac{Af}{\delta} \left[4ft^3 - 8t^2 + \left(4\delta^2 f + \frac{5}{f} - 4\delta \right) t - \frac{1}{f^2} + \frac{4\delta}{f} - 4\delta^2 \right] \quad (13)$$

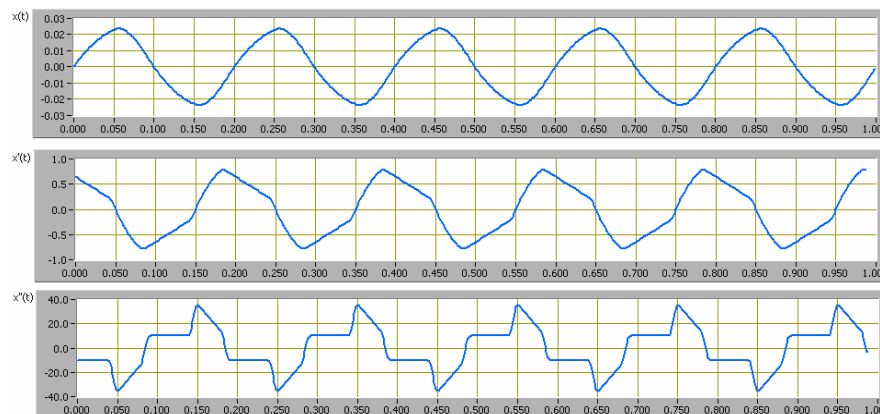
$$y_{P3h} = -2Af \left[\frac{2f}{\delta} t^3 - \frac{1}{\delta} t^2 + 2(f\delta - 1)t - \delta \right] \quad (14)$$

$$y_{P3i} = \frac{-2Af}{\delta} \left[2ft^3 - 7t^2 + 2 \left(\delta^2 f + \frac{4}{f} - \delta \right) t - \frac{3}{f^2} + \frac{2\delta}{f} - 3\delta^2 \right] \quad (15)$$



Obr.14 Beznárazový průběh polohy Parabolic1

Srovnáním tohoto beznárazového parabolického průběhu na obr.15 s odpovídajícím standardním parabolickým průběhem Parabolic 1 na obr.8 vidíme, že došlo k výraznému omezení špiček zejména na průběhu obou zrychlení.



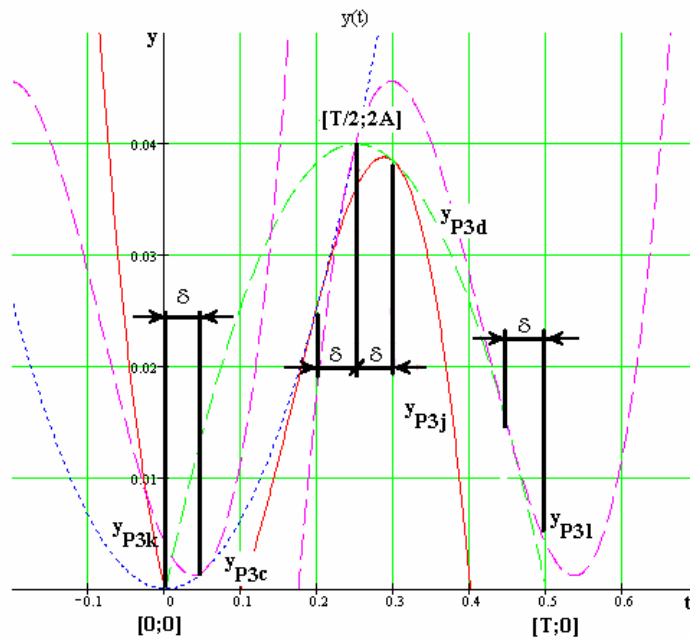
Obr.15 Beznárazový průběh polohy Parabolic1 včetně rychlosti a zrychlení

Obdobně u průběhu Parabolic2 je nutné nahradit tři oblasti náhradními funkcemi

$$y_{P3j} = \frac{4Af}{\delta} \left[-ft^3 + t^2 - \left(\frac{1}{4f} - \delta + \delta^2 f \right) t \right] \quad (16)$$

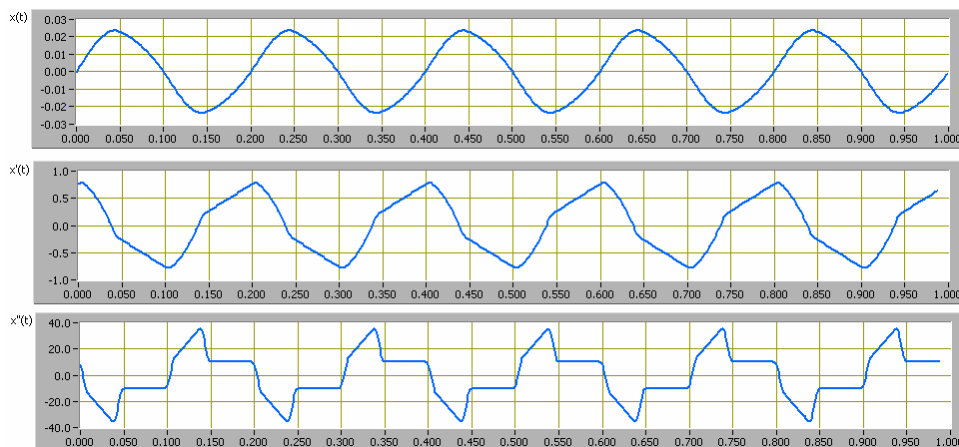
$$y_{P3k} = 2Af \left[\frac{2f}{\delta} t^3 + \frac{1}{\delta} t^2 + 2(f\delta - 1)t + \delta \right] \quad (17)$$

$$y_{P3l} = \frac{2Af}{\delta} \left[2ft^3 - 5t^2 + 2 \left(\delta^2 f + \frac{2}{f} - \delta \right) t - \frac{1}{f^2} + \frac{2\delta}{f} - \delta^2 \right] \quad (18)$$



Obr.16 Beznárazový průběh polohy Parabolic2

Tento beznárazový parabolický průběh na obr.17 můžeme srovnat s odpovídajícím standardním parabolickým průběhem Parabolic 2 na obr.9.

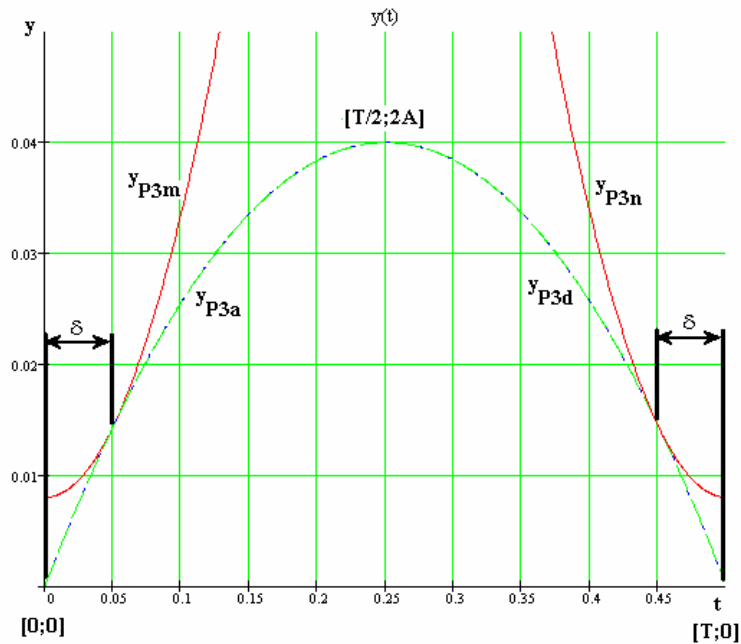


Obr.17 Beznárazový průběh polohy Parabolic2 včetně rychlosti a zrychlení

U průběhu Parabolic3 jsou náhradní oblasti dvě

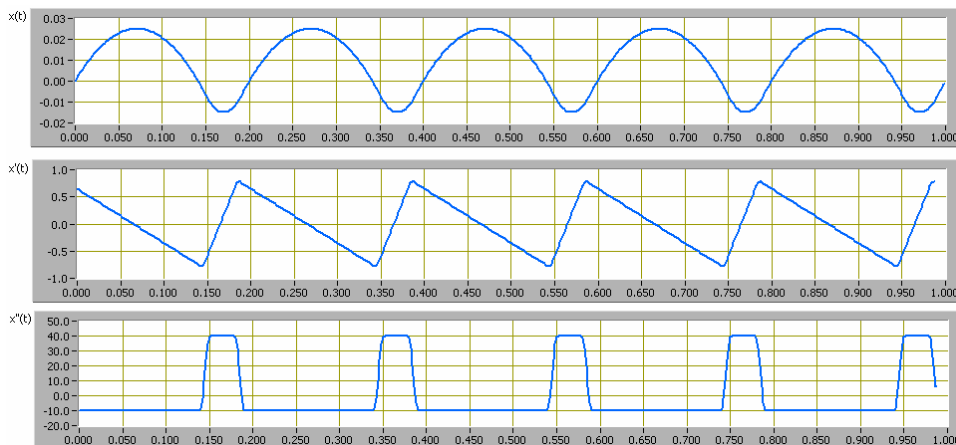
$$y_{P3m} = 4Af \left[\left(\frac{1}{\delta} - 2f \right) t^2 + \delta \right] \quad (19)$$

$$y_{P3n} = \frac{4Af}{\delta} \left[(1 - 2\delta f) t^2 + \left(\frac{2}{f} + 4\delta \right) t + \frac{1}{f^2} - \frac{2\delta}{f} + \delta^2 \right] \quad (20)$$



Obr.18 Beznárazový průběh polohy Parabolic3

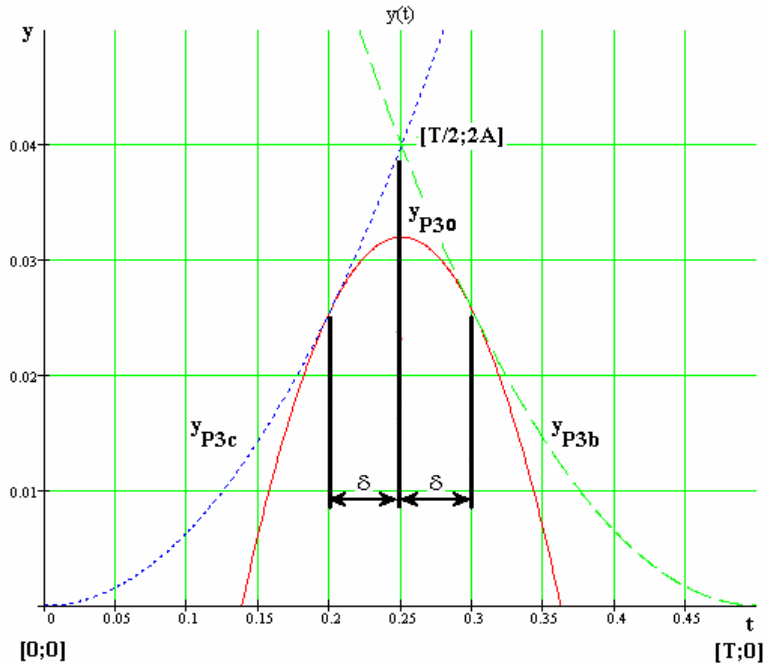
Tento beznárazový parabolický průběh na obr.19 můžeme srovnat s odpovídajícím standardním parabolickým průběhem Parabolic 3 na obr.10.



Obr.19 Beznárazový průběh polohy Parabolic3 včetně rychlosti a zrychlení

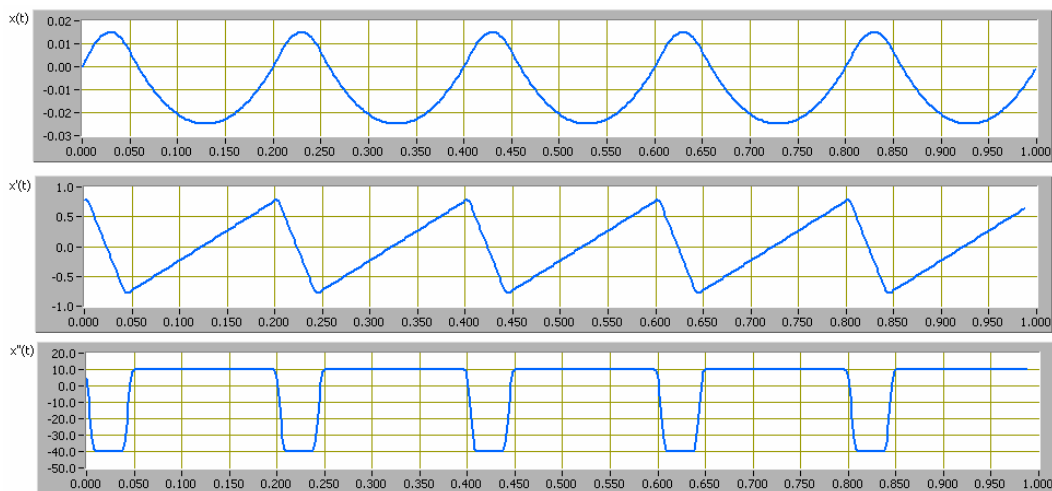
A konečně průběh Parabolic4 má pouze jednu náhradní oblast

$$y_{P3o} = \frac{4Af}{\delta} \left[(2\delta f - 1)t^2 + \left(\frac{1}{f} - 2\delta \right)t - \frac{1}{4f^2} + \frac{\delta}{f} - \delta^2 \right] \quad (21)$$



Obr.20 Beznárazový průběh polohy Parabolic4

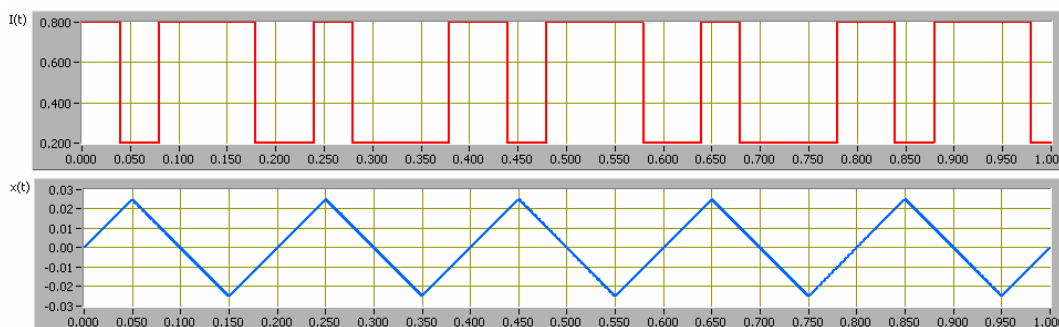
Tento beznárazový parabolický průběh na obr.21 můžeme srovnat s odpovídajícím standardním parabolickým průběhem Parabolic 4 na obr.11.



Obr.21 Beznárazový průběh polohy Parabolic4 včetně rychlosti a zrychlení

3. Typy průběhů generovaného signálu proudu a jejich synchronizace

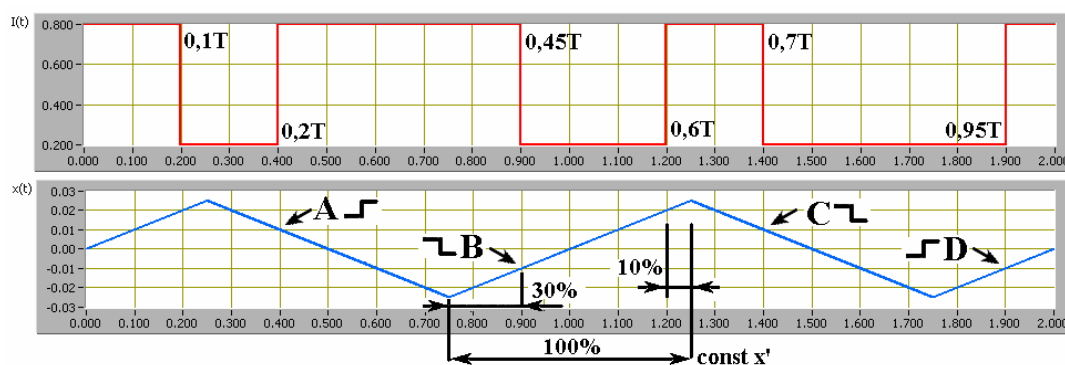
Pro proud je možno vybrat několik druhů budících signálu a nastavit jejich vzájemnou synchronizaci s průběhy polohy. Typy průběhu jsou konstantní, obdélníkový, schodový atd. Pro identifikaci dynamických charakteristik tlumiče, pro měření přechodových dějů je přidán speciální alternující průběh proudu, obr.22.



Obr.22 Alternující průběh proudu

Jedná se o úpravu standardního obdélníkového signálu, který se používá při poloviční frekvenci signálu polohy. Narozdíl od normálního obdélníku se skládá z několika skoků na horní a dolní úroveň časovaných tak, aby ve dvou po sobě jdoucích periodách signálu polohy vytvořily čtyři různé přechodové děje A,B,C a D, obr.23.

- A - skok nahoru při záporné konstantní rychlosti
- B - skok dolů při kladné konstantní rychlosti
- C - skok dolů při záporné konstantní rychlosti
- D - skok nahoru při kladné konstantní rychlosti



Obr.23 průběh proudu - jedna perioda

Časování je nastaveno tak, aby klíčové skoky byly ve 30% úseku s konstantní rychlostí, kdy se předpokládá, že je již síla konstantní po odeznění přechodového děje způsobeného změnou rychlosti. Ostatní skoky jsou pak 10% před koncem tohoto úseku a přechodový děj, který způsobí tudíž odezní spolu s přechodovým dějem od změny rychlosti. Tyto skoky jsou samozřejmě pouze v místech, kde potřebujeme změnit výchozí úroveň klíčového skoku. Tomuto časování odpovídají časy $t=0,1T$, $t=0,2T$, $t=0,45T$, $t=0,6T$, $t=0,7T$ a $t=0,95T$, tj. 10,

20, 45, 60, 70 a 95 procent periody proudu. Perioda polohy je poloviční, takže tyto hodnoty musíme vynásobit dvěma, tj. skoky jsou v 20, 40 a 90 procentech jedné periody a v 20, 40, a 90 procentech druhé periody v protifázi.

4. Závěr

V tomto příspěvku je popsána aplikace vytvořená v prostředí LabView umožňující generování různých signálů polohy a budícího proudu pro magnetoreologický tlumič. Průběhy polohy i proudu je možno volit z různých variant, měnit libovolně jejich parametry a vzájemnou synchronizaci. Pro průběhy se skokovými změnami, tj. pro trojúhelníkové a parabolické průběhy, je implementována funkce smooth, která nahradí původní funkci na definovaném intervalu kolem zlomu náhradní funkcí hladkou. Tím dojde k výraznému omezení nežádoucích špiček na průběhu rychlosti a hlavně zrychlení. Aplikace umožňuje vytvoření datových souborů ve formátu vhodném pro použití v hydrodynamické laboratoři. Jednotlivé komponenty pro generování signálů jsou univerzálně použitelné pro libovolné další aplikace. Aplikaci je možno dále rozšiřovat o další typy signálů.

Poděkování

Článek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4674788501 finančně podporovaného MŠMT ČR..