

Факултет техничких наука у Чачку, Светог Саве 65, 32000 Чачак

ПРИЈАВА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008) достављам следеће податке:

Аутор/аутори решења:

Владимир М. Младеновић, Мирослав Д. Лутовац

Назив техничког решења:

Рачунарски програм у симболичком језику за израчунавање временског одзива у затвореном облику за системе са чистим кашњењем

Категорија техничког решења: М85

„Прототип, нова метода, софтвер, стандардизовани или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми“ – нови софтвер

За кога је решење рађено и у оквиру ког пројекта МНТР:

Решење је тестирано у Факултет техничких наука у Чачку, рађено на пројекту са ев. бр. ТР32023, и приказано у монографији В. Младеновић, Д. Дебељковић, М. Лутовац, Динамика система аутоматског управљања са кашњењем, Универзитет у Крагујевцу, 2015.

Ко решење користи, тј. ко је прихватио – примењује решење

Корисник овог резултата пројекта је Факултет техничких наука у Чачку

Година када је решење урађено: 2015. г.

Како су резултати верификовани (од стране ког тела):

*Верификација резултата је извршена од стране:
Факултет техничких наука у Чачку, резултати презентовани на конференцији ТЕЛФОР 2015*

На који начин се резултати користе:

Софтвер је тестиран у Факултет техничких наука у Чачку

Област на коју се техничко решење односи:

Телекомуникације и електроника

Проблем који се техничким решењем решава:

Временски одзив линеарних временски непроменљивих система израчунава се тако што се побудни сигнал из временског домена трансформише у фреквенцијски домен, помножи у фреквенцијском домену са функцијом преноса система кроз који се процесира, а временски

одзив се налази као инверзна трансформација из фреквенцијског у временски домен. Због тога се временски одзив израчунава нумеричким методама. Ово техничко решење обезбеђује начин за решавање система са чистим временским кашњењем код којег није могуће математичким алатима наћи инверзне Лапласове трансформације, тако што решење тражи директно у временском домену.

Стање решености тог проблема у свету:

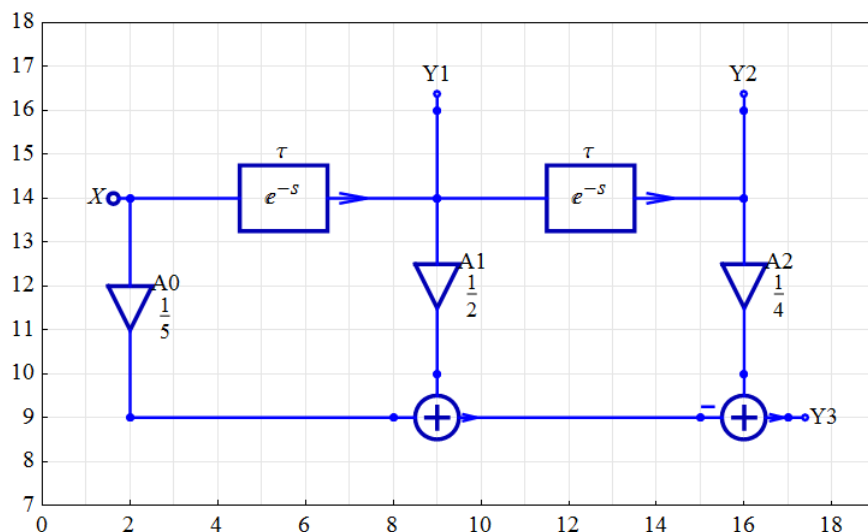
Досадашњи класични поступци за анализу и пројектовање савремених система аутоматског управљања користе нумеричке методе или апроксимације у фреквенцијском домену и описани су математичким моделима неопходним за добијање жељених резултата. Овакви модели често изискују исцрпну математичку анализу и сложена извођења. Код ручних извођења могуће су грешке па се може добити и погрешан резултат и због тога су резултати само приближно тачни. Да би се избегле грешке при извођењу релација често се прибегава коришћењу нумеричких и симболичких алата, тако да се код нелинеарних система користи нумеричка симулација система а код линеарних система се користе рачунарски алгебарски системи.

Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама, укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже:

Суштина програма је у коришћењу алгебарског рачунарског система *Mathematica* и софтверске апликације *SchematicSolver* која омогућава да се пројектују системи који немају дефинисане све везе. На основу ових специфичних особина које немају друга софтверска решења, генерише се одзив директно у временском домену. Верификација решења се ради у фреквенцијском домену. Основи принципи рада за системе са чистим кашњењем без повратних спрега дати су у монографији, а принцип рада једног једноставног система са повратном спрегом приказан је у раду на Телфору 2015.

Елемент система који реализује чисто кашњење је у спецификацији дефинисан као *Block* коме је дефинисана функција у s домену. Овај елемент је иницијално предвиђен да се специфицирају функције преноса које се задају као рационалне функције по комплексној учестаности s . Функција преноса је дефинисана као експоненцијална функција по s , што одговара јединичном кашњењу у временском домену. На слици 1 је приказан један систем без повратних спрега који може да се реши коришћењем трансформација.

Слика 1. Систем са чистим кашњењем без повратних спрега



Систем је МИМО (Multi Input Multi Output) зато што може да има више улазних прикључака, али и више излазних чворова система. У спецификацији са слике 1 дефинисани су један улазни (Input) и три излазна (Output) елемента. Функција преноса овог МИМО система има три функције преноса од улазног чвора до сва три излазна чвора.

На слици 2 је приказана спецификација система без повратних спрега.

Слика 2 . Учитавање знања и спецификација система

```

In[1]:= Needs["SchematicSolver`"];

In[2]:= mySchematic = {
  {"Input", {2, 14}, X, "",
    TextOffset -> {1, 0}},
  {"Block", {{2, 14}, {9, 14}}, e-s, "τ",
    ElementSize -> {2, 1.5}},
  {"Line", {{9, 14}, {9, 16}}},
  {"Output", {9, 16}, Y1, "",
    TextOffset -> {0, -1}},
  {"Block", {{9, 14}, {16, 14}}, e-s, "τ",
    ElementSize -> {2, 1.5}},
  {"Line", {{16, 14}, {16, 16}}},
  {"Output", {16, 16}, Y2, "",
    TextOffset -> {0, -1}},
  {"Amplifier", {{9, 14}, {9, 10}}, 1/2, "A1"},
  {"Amplifier", {{16, 14}, {16, 10}}, 1/4, "A2"},
  {"Adder", {{8, 9}, {9, 8}, {15, 9}, {9, 10}},
    {1, 0, 2, 1}, " "},
  {"Adder", {{15, 9}, {16, 8}, {17, 9}, {16, 10}},
    {-1, 0, 2, 1}, " "},
  {"Amplifier", {{2, 14}, {2, 9}}, 1/5, "A0"},
  {"Line", {{2, 9}, {8, 9}}},
  {"Output", {17, 9}, Y3, "", TextOffset -> {-1, 0}}};

```

Функција преноса се добија позивом команде

ContinuousSystemTransferFunction

а аргумент функције је иста спецификација система која је коришћена и за цртање шеме система mySchematic.

myTransferFunction=ContinuousSystemTransferFunction[mySchematic]

Све три функције преноса које су дате у матричној форми су функције по s , као што је приказано на слици 3 где је приказан одзив у фреквенцијском домену за МИМО систем, али то нису рационалне функције које се уобичајено очекују код линеарних система.

Слика 3 . Одзив у фреквенцијском домену

$$\begin{pmatrix} e^{-s} \\ e^{-2s} \\ -\frac{1}{5} + \frac{e^{-2s}}{4} - \frac{e^{-s}}{2} \end{pmatrix}$$

За налажење одзива неког система, неопходно је дефинисати и побудни сигнал. Као илустрација је одабран сигнал који је једнак нули за негативно време, и да постоји за позитивно време, да има синусоидални облик и експоненцијално опадајућу амплитуду, што је

чест случај у многим реалним апликацијама. Након дефиниције сигнала у временском домену, може се одредити и његова трансформација у s домену.

Изразу у затвореном облику побудног сигнала:

$$-e^{-t/10} \text{HeavisideTheta}[-2 + t] \text{Sin}[2 - t]$$

$$\frac{100 e^{-\frac{1}{5} - 2s}}{101 + 20s + 100s^2}$$

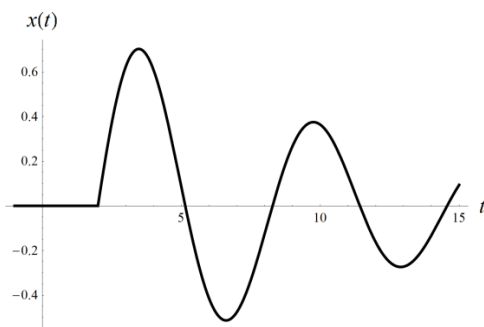
Одзив система у фреквенцијском и временском домену су дати следећим изразима

$$-\frac{5 e^{-\frac{1}{5} - 4s} (-5 + 10 e^s + 4 e^{2s})}{101 + 20s + 100s^2}$$

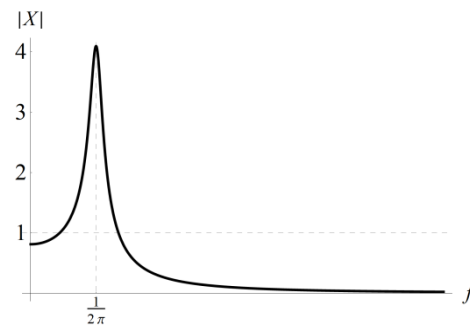
и

$$\left| \frac{1}{20} e^{-t/10} \right. \\ \left. (4 \text{HeavisideTheta}[-2 + t] \text{Sin}[2 - t] + \right. \\ \left. 10 e^{1/10} \text{HeavisideTheta}[-3 + t] \text{Sin}[3 - t] - \right. \\ \left. 5 e^{1/5} \text{HeavisideTheta}[-4 + t] \text{Sin}[4 - t]) \right|$$

На слици 4. приказан је временски облик побудног сигнала. На слици 5 је сигнал у фреквенцијском домену.



Слика 4. Типична побуда система



Слика 5. Побуда у фреквенцијском домену

Слика 6 приказује систем који се не може решити коришћењем познатих софтверских алата. Програм SchematicSolver дозвољава да се анализира систем у коме нису познати сви улазни сигнали, па тако може да се раскине веза између излаза кола са чистим кашњењем и улаза у сабирач са доње стране. Побудни сигнал се може дефинисати као сигнал ограниченог трајања које је мање од кашњења кола са чистим кашњење. Излаз оваквог система се добија као одзив два улазна сигнала, једног који је једнак побудном сигналу, док је закашњени сигнал једнак нули. Излазни сигнал је функција само побудног сигнала, у временском опсегу од тренутка 0 до времена једнаког кашњењу. Након тога се одзив рачуна тако што је побудни сигнал једнак нули, а закашњени сигнал постоји на улази сабирача. Кôд који описује овај систем у временском домену је следећи:

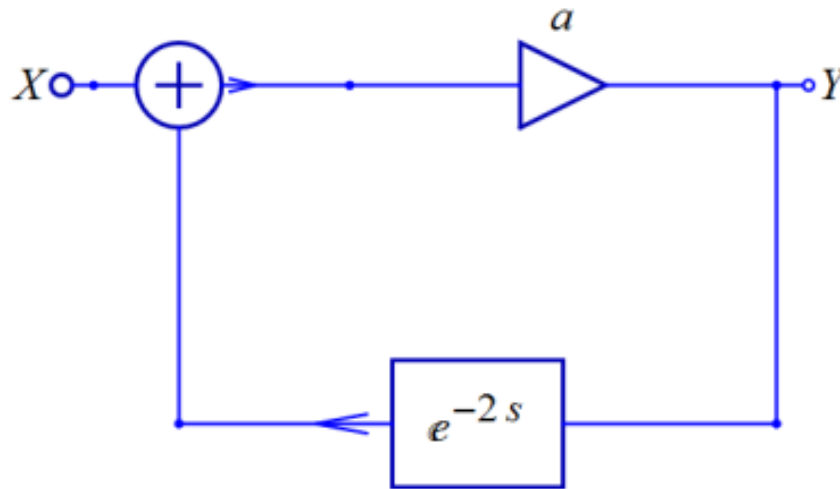
```
xInput1[t_] := 0
xInput1[t_] := 1 /; 0 <= t < 1
xInput1[t_] := 0 /; T <= t
yOut1[t_ /; t <= 0] := 0
yOut1[t_ /; 0 < t <= 2 T] := xInput1[t]
```

```

ydOut1[t_ /; t <= 2 T] := 0
ydOut1[t_ /; 2 T <= t < 4 T] := yOut1[t-2T]

```

Слика 6. Систем са чистим кашњењем и повратном спрегом

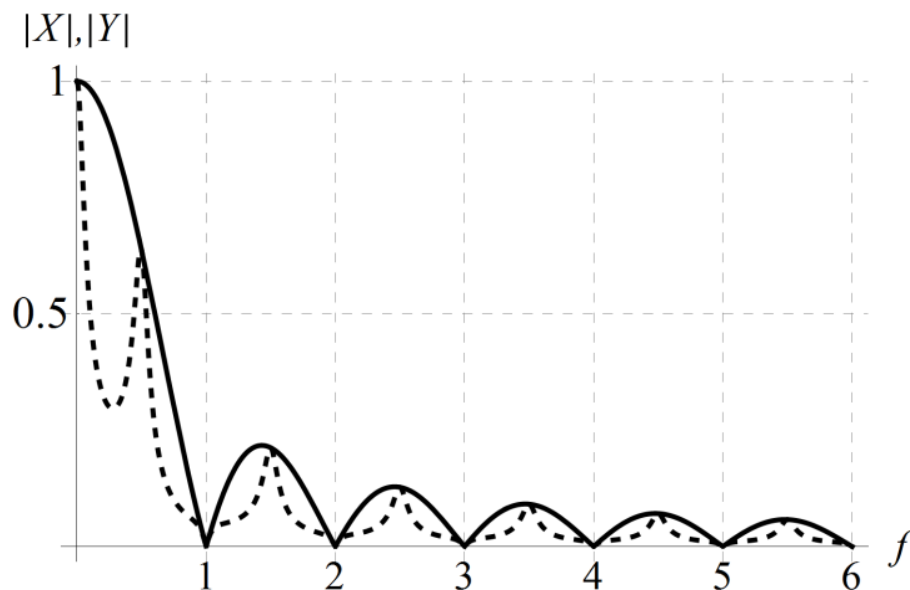


Систем који је анализиран има опадајућу амплитуду излазног сигнала, тако да се после одређеног времена може сматрати да је вредност излазног сигнала довољно мала. За такав сигнал се може наћи Лапласова трансформација и упоредити са производом Лапласове трансформације улазног сигнала и функције преноса добијене из спецификације која описује систем. Изрази за одзив у временском домену се могу искористити за добијање израза на излазу система, у временском и фреквенцијском домену као бесконачна сума која се састоји од Хевисајдових функција и одговарајућих трансформација.

Важно је напоменути да се у ситуацијама када је побудни сигнал трајања дужег од кашњења које се остварује колом за чисто кашњење, овај сигнал може представити као збир више сигнала који су трајања не дужег од кашњења, за сваки од ових сигнала се примени процедура предложена у овом раду, а на крају се саберу сви одзиви.

Одзив система коришћењем овог софтверског решења дат је на слици 7.

Слика 7. Одзив система са чистим кашњењем



Сложенији системи могу да се реализују на исти начин како је то урађено за пример са слике 6.

Како је решење реализовано и где се примењује, односно које су могућности примене:

Софтвер је реализован као узорни документ у програмском пакету Mathematica. Документ садржи све формуле унете у узорни документ као знање. Корисник софтвера црта шему коришћењем графичког интерфејса тако да се добија спецификација система. Затим се налази одзив у фреквенцијском домену. Инверзном трансформацијом се добија одзив у временском домену. Ако одзив не може да се добије аналитички, примењује се другачији сценарио. Коло се раскида у повратним спрегама и налази се одзив као да није систем са повратним спрегама. Накнадним повезивањем прекинтих веза, могу се написати у одзиви у временском домену. С обзиром на то да постоји одзив у фреквенцијском домену за систем са повратним спрегама, упоређивањем тог одзива са фреквенцијском трансформацијом добијениг овим софтвером, потврђује се тачност решења.

20.12.2015

Подносилац пријаве

др Владимир М. Младеновић, доцент