

Моделиране на пусково-спирачни процеси в помпени агрегати със софтстарттери

Венелин Яков, Евгени Енчев, Генчо Попов

Simulation of a pump control with AC drive, using softstarter and process visualization, using computer systems: The system, developed in this article is of interest to engineers because it identifies important electrical and mechanical interactions in AC drive control with Softstarter. Using the latest computer technologies, considered system provides an optimal quality solution for controlling and visualizing the processes and parameters when start and stop electrical drives.

Key words: Softstarter, Start/stop Process visualization, Programmable logical controller, Pump control.

ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на софтстарттери като устройства за плавно пускане и спиране на електрозадвижванията се използва широко в съвременните установки за управление на помпени агрегати поради следните причини: намаляване на пусковия ток; ограничаване на динамичните претоварвания в системата; намаляване на хидравличните удари при спиране, особено при мощни помпени агрегати. В резултат на това се забелязва значително намаляване на разходите при експлоатация на помпените агрегати, както поради удължаване на междуремонтния срок на експлоатация на електродвигателите, така и поради рязкото ограничаване на аварияте в тръбопроводите [1,5,6].

В същото време съществуват все още съмнения в ефективността на тези устройства, както в средите на специалистите, така и неясноти при експлоатацията и настройката на режимите и параметрите на софтстарттерите.

Един от начините за предварително изследване на тези съвременни изделия е симулацията на процесите, посредством РС базирани системи за настройка, изследване и визуализация.

В последните години РС-базираните системи са изместени от микропроцесорните (PLC, CAD/CAM, NC, CNC) системи. Този процес се обуславя от бързото им развитие, тяхното опростено програмиране и богатият набор от подсистеми за връзка и контрол над процесите.

В настоящия материал се разглежда един подход за ефективно изграждане и изследване на отворена и затворена системи електрозадвижване с използване на PLC от серийно произвежданата номенклатура, развойната среда MatLab™ на компанията Mathworks, за определяне параметрите на регулатора и LabView, продукт на National Instruments, за онагледяване на получените резултати [4].

С използване на указаните хардуерни и софтуерни продукти може бързо и точно да се получат необходимите настройки на параметрите на електрозадвижването, което е необходимо при автоматизация на редица машини и агрегати.

ИЗЛОЖЕНИЕ

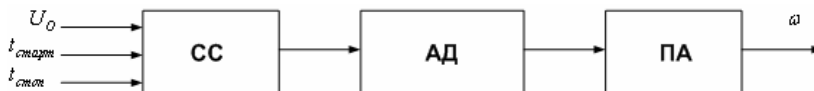
Анализът на преходните процеси в асинхронни електрозадвижвания със софтстарттери, базиран на основното уравнение на движение е затруднен поради сложния характер на двата момента – на двигателя и помпения агрегат:

$$\frac{\partial M_{\Sigma}}{\partial t} - (M_D + (M_{\Sigma} - M_D) \left(\frac{\omega}{\omega_{\Sigma}}\right)^2) = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

където $J = J_{\Sigma} + J_{II}$ е общият инерционен момент на системата.

По-добри резултати с възможност за изследване влиянието на параметрите на системата върху преходните процеси може да се получат при съставяне на модел на системата в Simulink™ (част от пакета на MatLab), за което е необходимо да се намери структурната схема на системата и предавателните характеристики на звената.

За отворената система на управление, характерна за повечето промишлени приложения на софтвертери, блоковата схема има вида (фиг. 1).



Фиг. 1. Блокова схема на отворена система за пускане и спиране на помпен агрегат със софтвертер

Обозначенията в схемата са:

СС – софтвертер; АД – асинхронен двигател; ПА – помпен агрегат; U_0 – начално напрежение на софтвертера (за избягване на зоната на нечувствителност); $t_{\text{старт}}$ – задание за времето на развъртане; $t_{\text{стоп}}$ – задание за времето на спиране; ω – ъгловата скорост на въртене на агрегата.

За намиране на модела на системата е необходимо да се определят моделите на отделните звена.

Моделът на асинхронния двигател с куплиран на вала си помпен агрегат има вида [3]:

$$W_{\text{ПА}}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{СС}}(p)} = \frac{K_{\text{ПА}}}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (2)$$

което представлява звено от втори ред. Времоконтантите в модела – T_1 и T_2 отчитат електроинерцията на двигателя и помпата. Числените им стойности са взаимствани от преходни изследвания [2] за помпен агрегат с номинална мощност 10 kW и дебит 20 l/s. $K_{\text{ПА}}$ представлява предавателния коефициент на помпния агрегат при управление с напрежението на статора. В (2) предавателния коефициент е нелинейна функция на захранващото напрежение, което е необходимо да се предвиди при моделирането. Максималната стойност на предавателния коефициент се получава при номинално захранващо напрежение и може да се определи от зависимостта:

$$K_{\text{ПА}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} = \frac{\pi n_{\text{н}}}{20 U_{\text{н}}} = \frac{\pi \cdot 1420}{20 \cdot 220} = 0,69 \text{ rad/s/V}. \quad (3)$$

$T = \frac{J \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}}$ е електроинерционната времоконтанта на агрегата.

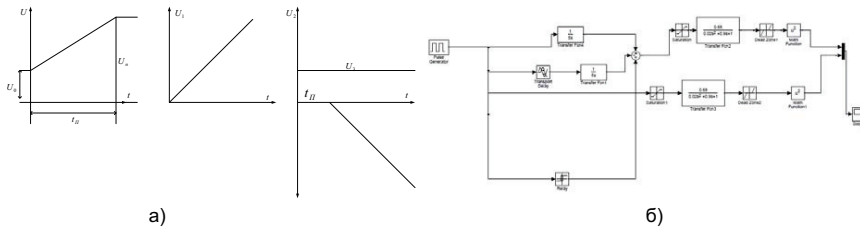
Софтвертерът като статично преобразователно устройство може да се моделира като звено, чийто предавателен коефициент за времето на пускане се променя по зависимостта:

$$K_{\text{СС}} = f(t) = U_0 + A \cdot t \text{ при } t \leq t_{\text{п}},$$

$$K_{\text{СС}} = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{г}}} = \text{const при } t > t_{\text{п}}. \quad (4)$$

където A е коефициент на наклона на рампа при пускане и зависи от времето на пускане.

В динамично отношение зависимост (4) се моделира съгласно представената крива на изменение на изходното напрежение на софтверта във времето (фиг.2,а).



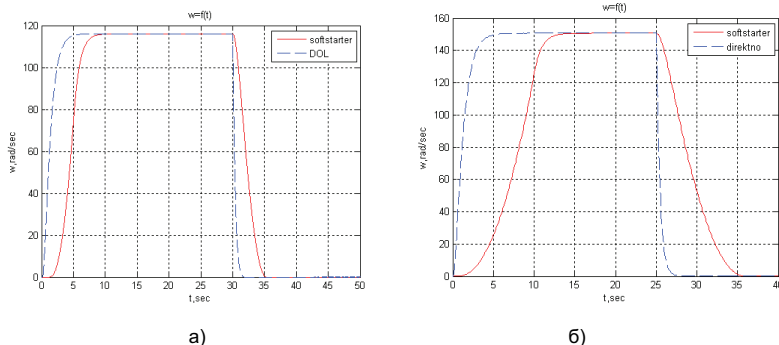
Фиг.2. Моделиране на софтверта с две интегриращи звена и звено с чисто закъснение а) и модел на системата без обратна връзка б)

Вижда се, че изходната крива на напрежението е съставена от сумата на сигналите на две интегриращи звена, първото с положителен наклон, второто със закъснение и отрицателен наклон, а третото е константата – началното напрежение на стартиране. Чистото закъснение е равно на времето за пускане на помпения агрегат. Същото е заложено и като времеконстанта на интегриране на интегриращото звено.

С отчитане на гореизложеното може да се предложи следния модел, разработен в Simulink™, на електрозадвижването на помпен агрегат със софтверта (фиг.2,б).

Квадратичната зависимост на момента от захранващото напрежение е отчетена от функционалния модул u^2 . Влиянието на началния статичен момент на помпения агрегат е отчетено с въвеждане на звено със зона на нечувствителност, което води до закъснение в реакцията на задвижването при нарастване на захранващото напрежение.

На следващата фигура(фиг.3) са показани варианти на преходни процеси при различни параметри на времето за пускане, спиране и стойността на натоварването.



Фиг.3. Преходни процеси при $t_{start} = t_{stop} = 5sec$; $U_0 = 0V$; $M_{c0} = 5Nm$ -а); при $t_{start} = t_{stop} = 10sec$; $U_0 = 0V$; $M_{c0} = 0Nm$ -б)

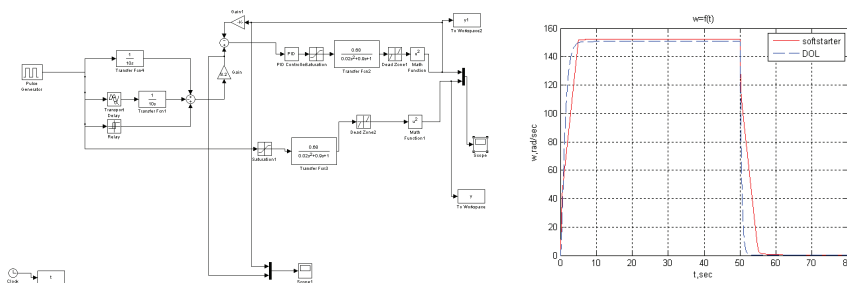
От приведените резултати ясно се вижда нелинейната зависимост на скоростта на агрегата във времето, както при пускане, така и при спиране. Освен това независимо от зададеното време за пускане действителното е в силна зависимост от параметрите на механизма – статичен момент, инерционен момент и началното напрежение на софтверта.

За елиминиране на тези фактори и регламентиране на твърдо зададени времена на пускане и спиране е необходимо въвеждане на обратна връзка по скорост и регулиращо устройство.

На фиг.4 е приведен модел на затворена система за управление на пусково-спиращи процеси в електрозадвижения на помпени агрегати със софтверти.

В системата е въведен ПИД-регулатор, входно въздействие на който е разликата между задаването на софтверта и действителната скорост на изхода на ПА. За корекция на усилването в двата канала са въведени и два усилвателя на сигнали (Gain and Gain1). Изборът на регулатор е на базата на извършени експериментални изследвания в предишни разработки [3] и използване на методика за настройка на параметрите му по модулел оптимум. При зададените стойности на параметрите на електродвигателя и преобразувателя, коефициентите за настройка на ПИД-регулатора са: $K_P = 2,5$; $T_I = 2s$; $T_D = 0,1s$.

За сравнение са направени опити, както в предния случай, при същите условия. Резултатите от моделирането са приведени на следващите фигури(фиг.6, фиг.7).

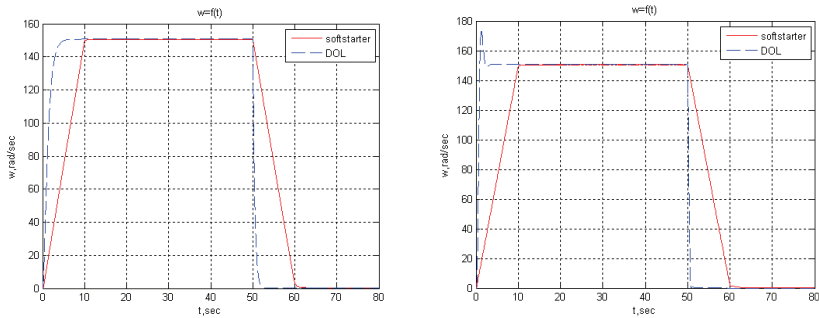


Фиг.4. Simulink модел на затворена система електрозадвижане със софтверт(а) и резултати от моделирането при: $t_{\text{старт}} = t_{\text{стоп}} = 5s$

При сравнение на двете последни фигури(фиг.8) ясно се вижда, че при въведена обратна връзка по скорост по-добър преходен процес се получава при отсъствие на начално напрежение на задаващото въздействие. Това се обяснява с факта, че компенсацията на началния статичен момент се извършва от регулатора.

Регулаторът компенсира както изменението на момента на вала на двигателя, така и външните смущаващи въздействия, като изменение на захранващото напрежение в мрежата и др.

Този метод е особено удачен за пускане и спиране на позиционни механизми, като асансьори, транспортъори и др.



Фиг.8. Преходни процеси при $t_{\text{старт}} = t_{\text{стоп}} = 10\text{s}$ и въведена обратна връзка по скорост-а); при същите условия и съизмерими времеконстанти на обекта-б)

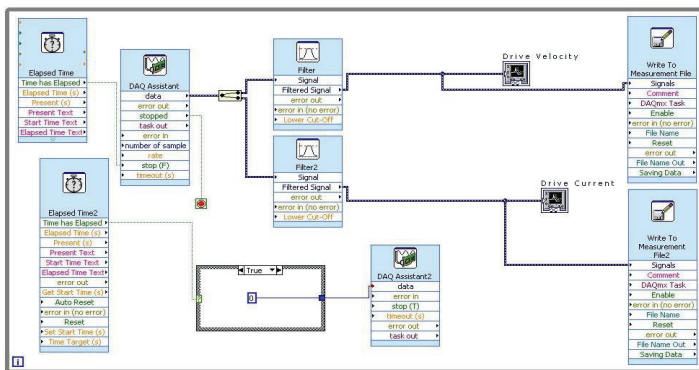
Въвеждането на обратна връзка по скорост и ПИ-регулатор отстранява и възможните колебания на системата при пускане и спиране на маломощни електрозадвижвания в дълги линии на електрозахранване, когато двете времеконстанти – електромеханична и електромагнитна са съизмерими. На фиг.8,б е показан резултат от моделиране на пускането и спирането в ЕЗ на ПА с предавателна функция:

$$W_{\text{ПА}}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{дв}}(p)} = \frac{K_c}{T_1 p^2 + \dots} \quad (5)$$

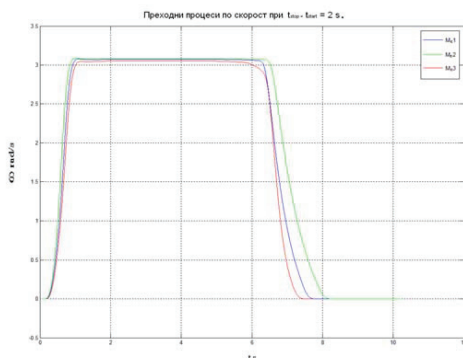
За потвърждение на получените резултати от моделирането е разработена програма в среда LabView, с използване на лабораторен стенд, разработен в кат. АИУТ.

Програмата в среда LabView е показана на фиг.9.

На фиг.10 са показани част от резултатите при изследване на влиянието на статичния момент върху преходни процеси при пускане и спиране на ЕЗ със софтвертери.



Фиг.9.Програма за изследване на преходни процеси в среда LabView



Фиг. 10. Преходни процеси при пускане и спиране на електрозадвижване със софтвери, снети посредством модул NI USB-6008 и среда LabView

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирани са преходни процеси на електрозадвижвания на помпени агрегати с използване на софтвери в среда MatLab™. Разработени са два варианта на модели: без обратна връзка по скорост и с обратна връзка по скорост. Сравнени са резултатите от двата модела. Вижда се предимството при реализацията на обратна връзка по скорост с ПИД регулатор. Разработена е установка за експериментално изследване на преходни процеси на електрозадвижвания с използване на софтвери.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Попов Г., Климентов К. „Турбокомпресори и помпи“, Русе, ЕТ Ники, 2009.
- [2]. Яков В., Стефанов В. „Електромеханични устройства и системи“, Русе, ЕТ Ники, 2011.
- [3]. Яков, В., Кузманов Е., Енчев Е., „Компютърен подход при проектиране и изследване на електромеханична система“ – Научни трудове на РУ ‘2010.
- [4]. Йорданов Й., „Приложение на Matlab в инженерните изследвания“, ч.1 и 2. РУ, 2004.
- [5]. Орманджиев К., Х. Христов, П. Иванов, Изследване динамиката на процесите при съвместната работа на електродвигател – турбопомпа – резервоари, международна научна конференция УНИТЕХ’02 на ТУ-Габрово, 21 – 22 ноември, 2002, стр. 518 -523.
- [6]. Орманджиев К., Х. Христов, П. Иванов, Динамични процеси в автоматизирана система центробежна помпа – напорен резервоар – водна турбина, РУ - “Ангел Кънчев”, НАУЧНИ ТРУДОВЕ, 2007, стр. 91 – 95.

ЗА КОНТАКТИ

доц. д-р Венелин Яков, Катедра “АИУТ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 269, e-mail: iacov@uni-ruse.bg.
 инж. Евгени Енчев, Катедра “АИУТ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 0899 378 357, e-mail: evgeni.ilkov@gmail.com.
 доц.д-р Генчо Попов, катедра “Топлотехника, хидро- и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082 888 580, E-mail: gspopov@ru.acad.bg.

Докладът е рецензиран.