

Методe подешавања струјних регулатора у регулисаним електромоторним погонима са асинхроним мотором

Горан Вуковић

Одсјек за електроенергетику
Електротехнички факултет Источно Сарајево
Источно Сарајево, РС, БиХ
goranvukovic@etf.unssa.rs.ba

Садржај—У раду је направљен преглед најчешће коришћених метода за подешавање струјних регулатора за електромоторне погоне. Извршено је моделовање свих елемената који се налазе у струјом захваћеном контуру. Пројектовани струјни регулатори су линеарни и коришћени су у индиректном векторском управљању асинхроног мотора. Приказане су методе подешавања засноване на ГМК, затим компензацији доминантног пола као и подешавање помоћу MATLAB SISO Design Tool. На крају је извршена упоредна анализа свих метода и дати одређени закључци.

Кључне ријечи—асинхронни мотор; линеарни струјни регулатор; моделовање МАТЛАБ-СИМУЛИНК;

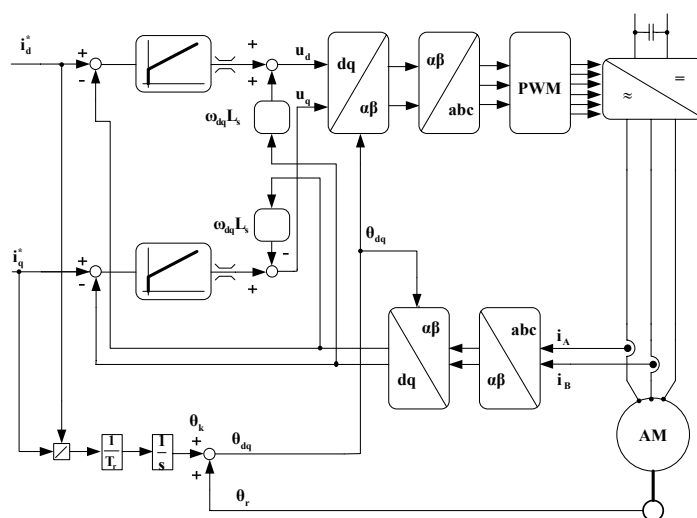
I. УВОД

У овом раду дат је преглед неких од коришћених метода за пројектовање струјних регулатора у регулисаним електромоторним погонима. Основни захтјеви који треба да испуне струјни регулатори су: да се добије систем са што краћим трајањем прелазних процеса у коме је фазно кашњење стварне струје у односу на референтну што мање. Поред тога потребно је да систем буде стабилан и да не долази до појаве вишеструког преклапања. Могуће су следеће реализације струјних регулатора: нелинерни регулатори (хистерезисни), линеарни и предиктивни регулатори. У раду су приказане методе подешавања параметара линеарних струјних регулатора у синхронном координатном систему. У овом координатном систему промјенљиве напона и струје узимају једносмјерне вриједности па је употребом линеарног струјног регулатора могуће остварити регулацију без статичке грешке која је од пресудног значаја за тачност алгоритма индиректне векторске регулације. Најчешће коришћени регулатори су ПИ типа јер се тако постиже компромис између брзине одзива и пропусног опсега, са једне стране, који уноси пропорционално дејство и поремећаја који се јавља у импулсно ширинском модулатору (ИШМ) модулатору (постојање офсета) које уноси интегрално дејство. Пројектовање струјних регулатора објашњено је на моделу индиректног векторског управљања па се струјне референце i_d и i_q добијају процесирањем референци

момента и флукса, због чега се често ови регулатори у литератури зову регулатори флукса и момента.

II. МОДЕЛОВАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА ОБУХВАЋЕНИХ КОНТУРОМ СТРУЈНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ

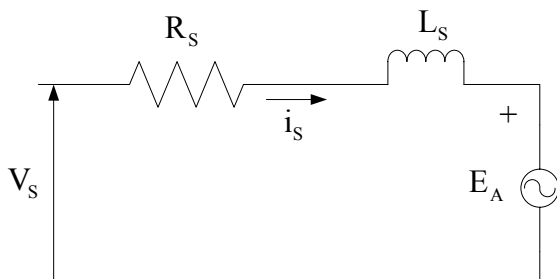
Прије него кренемо у опис најчешће коришћених техника за пројектовање струјних регулатора извршићемо моделовање цијелог система који је обухваћен контуром струјне регулације. На Сл. 1 приказан је модел индиректно векторски управљаног асинхроног мотора, који ће бити коришћен у раду при пројектовању струјних регулатора[1].



Слика 1. Модел индиректно векторски управљаног асинхроног мотора

A. Модел статорског кола

На Сл. 2 дат је модел статорског кола обухваћеног струјном регулацијом. Контраелектромоторна сила статорског намотаја је споро промјенљива у односу на динамику струјног регулатора, па се може да третира као спољни поремећај[3].



Слика 2. Модел статорског кола

B. Модел импулсно ширинског модулятора (ИШИМ)

Овај блок може да се представи као коло задршке нултог реда а чија је функција преноса дата сл. једначином.

$$G_{zo}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \quad (1)$$

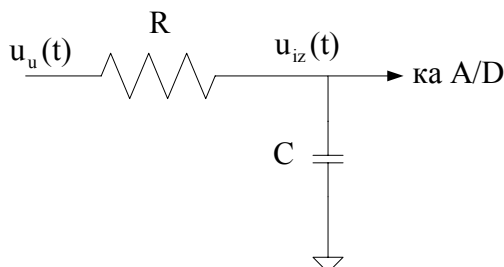
C. Модел инвертора

Струјно регулисани напонски инвертор може се моделовати са појачањем. Фактор појачања има утицај на пропусни опсег и фазно кашњење као и пропорционално дејство ПИ регулатора.

$$K_{INV} = \frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

D. Модел нископропусног филтера

Струја фазе мотора има валовитост (енгл. ripple) на фреквенцији f_{pwm} . Због тога је потребно уградити филтер како би се из спектра струје уклониле све компоненте веће од ове фреквенције. Најчешће се користи RC филтер. На Сл. 3 приказан је на начин реализације RC филтера.



Слика 3. Нископропусни RC филтер

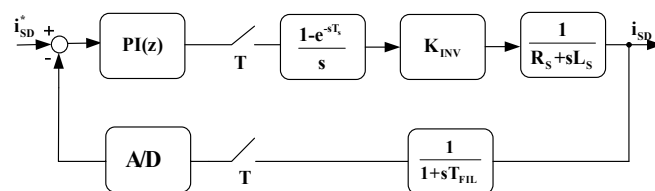
Функција преноса нископропусног филтера је:

$$G_{FIL} = \frac{1}{1 + sT_{FIL}} \quad (3)$$

Потребно је само још водити рачуна да утицај филтера на фазу буде занемарив.

E. Контура струјне регулације

На Сл. 4. приказана је контура струјне регулације са свим елементима који се налазе у датој контури а који су претходно измоделовани[4].



Слика 4. Контура струјне регулације

$$\alpha + \beta = \chi. \quad (1) \quad (1)$$

III. МЕТОДЕ ПОДЕШАВАЊА СТРУЈНИХ РЕГУЛАТОРА

Параметри мотора који су коришћени у симулацији су $R_s=3.3(\Omega)$, $L_s=41.6(mH)$, прекидачка и фреквенција одабирања су $f_s=f_{pwm}=2(kHz)$, $T_s=0.0005(s)$, $T_d=0.0005(s)$, напон једносмерног међукола инвертора је $U_{dc}=311(V)$

A. Подешавање ПИ регулатора елиминацијом доминантог пола и примјеном ГМК

Преносна функција ПИ регулатора у z домену је [2]:

$$G_{PI}(z) = K_P + K_I \frac{z}{z-1} \quad (4)$$

Она се може написати у следећем облику:

$$G_{PI}(z) = (K_P + K_I) \frac{(z - \frac{K_P}{K_P + K_I})}{(z-1)} \quad (5)$$

Следећи корак који треба урадити је дискретизација континуалног дијела система. Функција преноса овог система је [5]:

$$G_{DS}(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s} G_{HS}(s) \right] \quad (6)$$

$$= (1 - z^{-1}) Z \left[\frac{1}{s} \frac{K_{INV}}{1 + sT_d} \frac{1/R_s}{1 + sT_s} \right] \quad (6)$$

$$= (1 - z^{-1}) Z \left[\frac{1}{s} \frac{179.76}{1 + 0.0005s} \frac{0.3}{1 + 0.0126s} \right] \quad (6)$$

$$= (1 - z^{-1}) Z \left[\frac{53.928}{0.0000063s^3 + 0.0131s^2 + s} \right] \quad (6)$$

$$G_{DS}(z) = \frac{0.7762z + 0.3536}{(z - 0.9611)(z - 0.3679)} \quad (7)$$

Функција преноса дигиталног система :

$$G(z) = \frac{G_{PI}(z)G_{DS}(z)}{1 + G_{PI}(z)G_{DS}(z)} \quad (8)$$

$$= \frac{K' \frac{(z - z_0)}{(z - 1)} \frac{0.7762z + 0.5501}{(z - 0.9611)(z - 0.3678)}}{1 + K' \frac{(z - z_0)}{(z - 1)} \frac{0.7762z + 0.5501}{(z - 0.9611)(z - 0.3678)}} \quad (8)$$

Карактеристична једначина система је :

$$1 + K' \frac{(z - z_0)}{(z - 1)} \frac{0.7762z + 0.5501}{(z - 0.9611)(z - 0.3678)} = 0 \quad (9)$$

Нулу ПИ регулатора бирамо тако да пократимо најдоминатнији и најближи пол јединичном кругу дигиталног система а то је :

$$z_0 = \frac{K_p}{K_p + K_i} = 0.9611 \quad (10)$$

Карактеристична једначина је сада :

$$1 + K' \frac{0.7762z + 0.5501}{(z - 1)(z - 0.3678)} = 0 \quad (11)$$

Када се ријеша претходна једначина примјеном правила ГМК добије се појачање.

$$K' = 0.0935 \quad (12)$$

Сада можемо одредити појачања пропорционалног и интегралног дејства ријешавајући линеарне једначине :

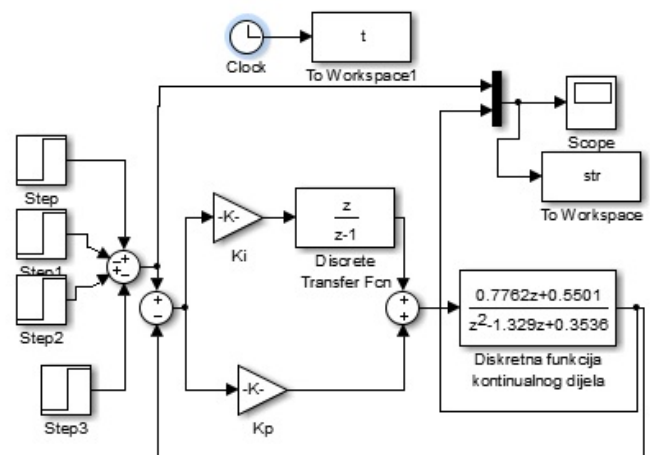
$$(K_p + K_i) = K' = 0.0935 \quad (13)$$

$$z_0 = \frac{K_p}{K_p + K_i} = 0.9611 \quad (14)$$

$$K_p = K' z_0 = 0.0898 \quad (15)$$

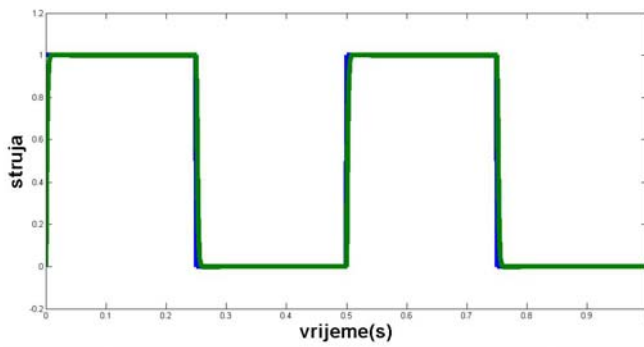
$$K_i = K' - K_p = 0.0037 \quad (16)$$

Провјера рада овако подешених параметара регулатора извршена је на симулацији у МАТЛАБ-СИМУЛИНК која је приказана на Сл. 5.

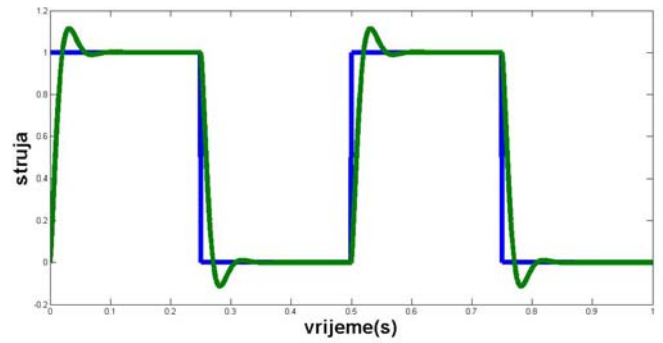


Слика 5. Симулациона шема у MATLAB-SIMULINK

На Сл. 6 приказан је временски одзив струјне контуре. Видимо да је добијен одзив са добрим праћењем референтне струје.



Слика 6. Временски одзив струје по методи подешавања елиминацијом доминантног пола



Слика 7. Временски одзив струје добијен помоћу MATLAB SISO Design Tool

B. Подешавање параметара коришћењем MATLAB SISO Design Tool

У програмском пакету MATLAB развијен је графички кориснички интерфејс SISO Design Tool[6]. У њему су садржане све методе за подешавање регулатора. Омогућен је приказ у временском и фреквенцијском домену а такође садржи и приказ геометријског мјеста коријена. Врло је практичан и једноставан а поуздан за пројектовање па ће у овом раду бити дат приказ аутоматског подешавања(Automated Tuning) ПИ регулатора. Форма ПИ регулатора остаје иста а суштина се састоји у подешавању нуле и појачања.

Овако подешен ПИ регулатор има следећу једначину:

$$G_{PI}(z) = (K_p + K_i) \frac{(z - \frac{K_p}{K_p + K_i})}{(z - 1)} \quad (17)$$

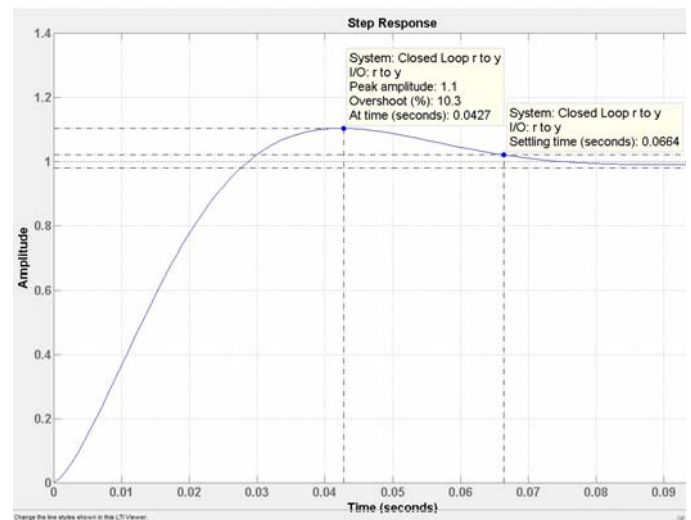
$$G_{PI}(z) = 0.012457 \frac{(z - 0.8995)}{z - 1} \quad (18)$$

$$K_p = 0.0112 \quad (19)$$

$$K_i = 0.001257 \quad (20)$$

На Сл. 7 приказан је временски одзив струје добијен подешавањем параметара помоћу MATLAB SISO Design Tool.

На Сл. 8 приказан је временски одзив добијен у корисничком интерфејсу MATLAB SISO Design Tool. Са слике видимо прескок од 10.3 % па можемо да закључимо да систем у затвореној петљи има пар коњуговано комплексних полова.



Слика 8. Временски одзив струје добијен у корисничком интерфејсу MATLAB SISO Design Tool

IV. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказана два приступа пројектовања струјних ПИ регулатора у регулисаним електромоторним погонима. Извршено је моделовање елемената система захваћених струјном контуром. На основу резултата добијених симулацијом можемо закључити да боље резултате при подешавању ПИ регулатора показује метод елиминације доминантног пола.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Марчетић. Микропроцесорско управљање енергетским претварачима, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2012.
- [2] S. N. Vukosavić, Digital control of Electrical Drives, Springer, 2007.
- [3] Ђ. Стојић, Дигитално управљање статорском струјом асинхроног мотора, магистарски рад, Електротехнички факултет Београд.
- [4] M. S. Fadali, A. Visioli, Digital Control Engineering, Elsevier, 2012.
- [5] Control System Toolbox R2013b, MathWorks, 2013.

ABSTRACT

This paper gives an overview of the most commonly used methods for tuning current controller for electrical drives.

Executed the modeling of all elements that are in the current affected contour. Projected current controllers are linear and were used in indirect vector control. The methods are based on setting GMK method, and compensation dominant poles and adjusting using MATLAB SISO Design Tool.

CURRENT CONTROLLER TUNING METHODS IN CONTROLLED ELECTRIC DRIVES WITH INDUCTION MOTOR

Goran Vuković