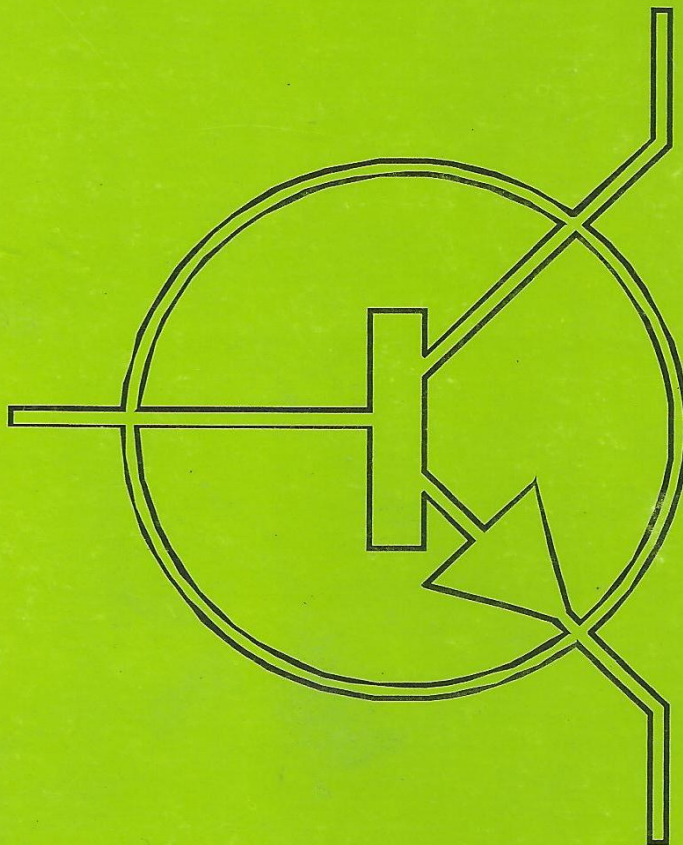


JURNAL TEKNIK ELEKTRO

Vol.1, No.1, Maret 2001

ISSN 1411-8890

Emitor



Emitor

Vol.1

No.1

Halaman
1-59

Teknik Elektro UMS
Maret 2001

ISSN 1411-8890

Emitor

Jurnal Teknik Elektro

Volume1, Nomor 01, Maret 2001

ISSN 1411-8890

Daftar Isi

Teknik CRC dalam Error Control Coding

Ratnasari Nur Rohmah

1-6

Alokasi Optimal Kapasitor Shunt dengan Pemrograman Dinamik Fuzzy (*Fuzzy*

Dynamic Programming)

Agus Ulinuha

7-15

Penggunaan Digital I/O untuk Pengendalian CG (Center of Gravity)

Hernawan Sulistyanto

16-22

Regulator Tegangan Seri Statik dari GE

Aris Budiman

23-29

Bahasa C untuk Microcontroller 8031

Bana Handaga

30-37

Perancangan Elektronika Digital Menggunakan FPGA

Abdul Basith

38-48

Penstabil Non-Linear Sistem Tenaga untuk Generator Sinkron

Umar Hasan

49-54

Penerapan Teori Kendali Optimal untuk Pengendalian Motor Induksi 3 Fasa

Bambang HP

55-59



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos 1 Surakarta 57102 Telp. (0271) 717417 Ext. 212, 213, 225, 253 Fax. (0271) 715448
E-mail : teknik@ums.ac.id. Website : <http://www.ums.ac.id>

SURAT PENGALIHAN
PUBLIKASI

Nomor : 121/A.2-VIII/FT/III/2015

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Sri Sunarjono, M.T, PhD

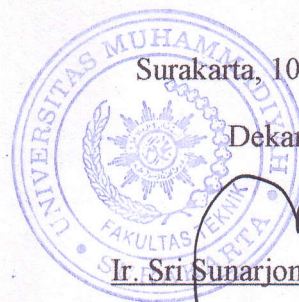
Jabatan : Dekan Fakultas Teknik

Menyatakan persetujuan pengalihan hak unggah publikasi Kepada Lembaga Pengembangan Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Surakarta atas artikel berjudul “Penerapan Teori Kendali Optimal Untuk Pengendalian Motor Induksi 3 Fasa” yang ditulis oleh Bambang Hari Purwoto, NIDN : 0628036803, Dosen program Studi/Fakultas Teknik Elektro/Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta dalam jurnal ilmiah Emitter Vol. 1 No. 1 Maret 2001.

Surakarta, 10 Maret 2015

Dekan


Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D



PENERAPAN TEORI KENDALI OPTIMAL UNTUK PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Bambang Hari Purwoto
Teknik Elektro Fakultas Teknik UMS
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Kartasura, Surakarta

ABSTRAK

Konsep teori kendali optimal akan diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan nilai tegangan dan frekwensi motor induksi tiga fasa terhadap kecepatan motor dan daya keluarannya. Dalam tulisan ini juga dibahas persoalan perubahan pembebanan motor terhadap rugi-rugi elektriknya.

Kata Kunci : Kendali optimal, kecepatan motor, rugi elektrik

PENDAHULUAN

Berbagai jenis kendali motor induksi 3 fasa saat ini banyak digunakan dalam industri. Kendali ini menggunakan frekwensi dan / atau gabungannya dengan tegangan rotor secara simultan untuk keperluan proses pengendaliannya. Kendali frekwensi biasanya mempunyai setting yang tetap pada kondisi operasi mesin. Dalam beberapa kasus, nilai tegangan dengan rasio yang tetap diterapkan untuk frekwensi tertentu yang digunakan. Pengendali dengan tipe berbeda, yang secara simultan menerapkan kendali nilai tegangan, mempunyai kemampuan untuk melakukan perubahan setting. Akan tetapi perubahan ini terutama untuk tujuan mengurangi rugi-rugi motor pada kondisi beban ringan. Kendali jenis ini akan sangat baik diterapkan pada kondisi operasi tunak, yaitu ketika karakteristik beban motor pada dasarnya tak ubah waktu (*time invariant*). Jika terjadi fluktuasi beban, kendali ini tidak dapat digunakan secara baik untuk mencegah perubahan

kondisi operasi yang besar dalam waktu yang singkat.

Dalam makalah ini, konsep teori kendali optimal akan digunakan untuk menguji pengaruh nilai frekwensi dan tegangan rotor pada operasi motor induksi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa kendali yang digunakan berupa kendali lingkaran (*loop*) tertutup, sementara analisis dilakukan terutama terhadap nilai-nilai yang berkaitan dengan komponen-komponen fundamental dari arus rotor. Komponen-komponen yang dimaksud adalah yang berkaitan dengan medan magnet putar dan sela udara rotor.

Sebuah motor induksi tiga fasa dapat memasok daya keluaran dan kecepatan yang dibutuhkan lebih dari sebuah titik operasi (*operating point*). Sebuah titik operasi motor induksi tiga fasa dapat ditentukan dengan menerapkan frekwensi dan tegangan pada stator serta mengatur beberapa parameter mesin. Salah satu kriteria dalam pemilihan titik operasi mesin adalah kemungkinan untuk me-

mengurangi rugi-rugi mesin. Sementara rugi elektrik yang terdiri atas rugi inti dan rugi tembaga merupakan fungsi dari nilai tegangan stator dan frekwensi masukan. Adapun rugi-rugi gesekan dan lilitan ditentukan oleh kecepatan operasi rotor. Dalam kasus sebuah pengendali dengan nilai tegangan dan frekwensi yang ditentukan dapat diubah secara otomatis pada kondisi beroperasi, kriteria lain yang digunakan dalam pemilihan titik operasi motor adalah stabilitas operasi.

Dengan adanya fluktuasi beban, kecepatan rotor dapat berubah dalam rentang nilai yang lebar pada interval waktu yang singkat. Pada nilai tegangan dan frekwensi yang tetap, arus lilitan dapat secara mudah melewati nilai batas takarannya (*rated value*). Kondisi ini dapat menyebabkan usia motor lebih pendek. Dengan demikian sebuah pengendali diharapkan mampu secara otomatis mengatur nilai tegangan dan frekwensi dalam keadaan beroperasi untuk meminimalkan kondisi operasi di luar ketentuan, yang berpotensi mengurangi usia motor.

Operasi pengendalian diidealkan dalam sebuah analisis berikut. Kendali diimplementasikan dengan menggunakan salah satu cara dari mengatur nilai tegangan stator atau frekwensi atau mengatur keduanya. Diasumsikan dilakukan pengukuran langsung atau tak langsung terhadap besaran-besaran yang dikendalikan, misalnya daya keluaran motor dan kecepatannya. Dalam perhitungan terhadap isyarat-isyarat kendali, diperlukan nilai sesaat dari peubah-peubah keadaan. Sehingga dalam hal ini diperlukan untuk memilih peubah-peubah keadaan yang dapat secara langsung diukur untuk meniadakan kebutuhan akan estimator keadaan. Tindakan (aksi) pengendalian juga harus tunduk terhadap kekangan-

kekangan praktis seperti nilai maksimum dan minimum dari tegangan dan frekwensi yang diterapkan.

PENERAPAN TEORI KENDALI OPTIMAL UNTUK KENDALI MOTOR

Rumusan berikut menerapkan algoritma kendali pelacakan keluaran optimal pada sebuah motor induksi. Isyarat-isyarat kendali dibuat untuk menghubungkan (menentukan relasi) antara perubahan nilai tegangan stator dan frekwensinya. Sementara vektor keluaran berisi peubah-peubah yang akan dikendalikan berupa perubahan rugi-rugi listrik, daya keluaran dan kecepatan rotor.

Rumusan masalah
Minimalkan

$$M = (1/2) \int_0^{t_f} \{U^T R U + (Y - Y_d)^T Q (Y - Y_d)\} dt \quad (1)$$

dengan :

Y : Vektor keluaran (yang akan dikendalikan)

$Y_d(t)$: Trayektori sasaran untuk vektor keluaran

Q : Matrik pembobotan semi-positif definit

R : Matrik pembobotan positif definit

Dengan mematuhi :

$$\left(\frac{dx}{dt}\right) = A_x(t) + B U(t) + f(t) \quad (2)$$

$$y(t) = C_x(t) + D U(t) + s(t) \quad (3)$$

Vektor-vektor $f(t)$ dan $s(t)$ masing-masing adalah vektor-vektor sisa untuk peubah keadaan dan peubah keluaran serta dihitung untuk waktu t dengan mengurangi suku-suku linear terhadap turunan waktu vektor peubah keadaan dan peubah keluaran. Suku-suku sisa ini merupakan suku dengan orde lebih tinggi dalam linearisasi dan memungkinkan untuk memodelkan galat.

Solusi untuk permasalahan kendali

Vektor kendali optimal diberikan sebagai berikut :

$$U^* = -(R_c)^{-1} [D^T Q (C_x - y_d + s(t)) + B^T p] \quad (4)$$

$$R_c = R + D^T Q D \quad (5)$$

$$p = K_S X - g \quad (6)$$

$$(dK/dt) = -A_c^T K - K A_c^T + K B R_c^{-1} B^T K - C^T Q_c C \quad (7)$$

$$(dg/dt) = [K B R_c^{-1} B^T - A_c^T] g + [-C^T Q_c - K B R_c^{-1} D^T Q] [y_d - s(t)] + K f(t) \quad (8)$$

dengan

$$A_c = A - B R_c^{-1} D^T Q C \quad (9)$$

$$Q_c = Q - Q D R_c^{-1} D^T Q \quad (10)$$

Solusi keadaan tunak positif definit K_s dalam persamaan (6) dan persamaan (7) merupakan implikasi persamaan (1) jika t_f cukup besar. Sebuah pendekatan solusi keadaan tunak pada persamaan (8) untuk vektor adaptif suku $g(t)$ diperoleh dengan membuat sisi kiri persamaan tersebut sama dengan nol. Dalam hal ini juga penting untuk melinearkan sistem non linear pada kondisi operasi stabil untuk meyakinkan bahwa matrik A pada persamaan (2) negatif definit. Matrik-matrik pembobotan R dan Q pada persamaan (1) juga harus dipilih sedemikian, sehingga A_c dan Q_c pada persamaan (9) dan (10) masing-masing negatif-definit dan semi positif-definit.

Penerapan Pada Motor Induksi 3 Fasa

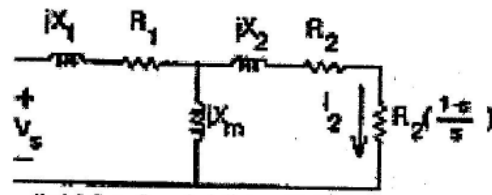
Model mantap motor induksi 3 fasa, digunakan dalam tulisan ini [Fitzgerald, 1991]. Secara umum, konstanta waktu elektromekanik adalah jauh lebih besar daripada konstanta-konstanta elektrik. Dalam hal ini juga diasumsikan bahwa laju perubahan waktu dalam penerapan isyarat-isyarat adalah cukup rendah, sehingga tidak mengakibatkan kondisi peralihan (*transient*) pada mesin. Model mantap

untuk motor induksi ditunjukkan pada Gambar 1.

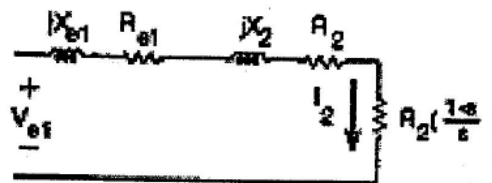
Percepatan sudut mekanik dinyatakan oleh persamaan (11) sebagai berikut :

$$(d\omega_m/dt) = (P_{out} - P_{load}) / J\omega_m \quad (11)$$

dengan J : Inersia rotor ditambah beban.



Model Satu fasa dari Motor Induksi



Ekuivalen Thevenin

Gambar 1. Model 1 fasa dari motor induksi 3 fasa

Rugi-rugi listrik dan daya keluaran rotor dari motor diberikan oleh persamaan (12) dan (13)

$$P_{Loss} = K_{eddy} V_s^2 + (K_{hyst} V_s^2 / f_s) + 3 I_s^2 R_2 \quad (12)$$

$$P_{out} = 3 I_s^2 R_2 (1-s) / s \cdot K_{fw} \omega_m^2 \quad (13)$$

Dengan K_{eddy} , K_{hyst} dan K_{fw} merupakan konstanta-konstanta.

Pilihan Peubah Kendali Dari Peubah Fisik

Dalam analisis terhadap kendali optimal yang diidealkan, kecepatan mekanis dalam rad/det, ω_m , merupakan peubah keadaan isyarat kuat (*large signal*), sementara tegangan thevenin stator V_{ei} dan frekwensi arus stator f_s dipilih sebagai peubah kendali isyarat kuat. Rugi-rugi

elektrik P_{Loss} , daya keluaran P_{out} dan ω_m merupakan vektor keluaran isyarat kuat.

Jadi :

$$x = [\omega_m] \quad (14)$$

$$u = [V_{ei}, f_s]^T \quad (15)$$

$$y = [P_{Loss}, P_{out}, \omega_m]^T \quad (16)$$

Secara umum,

$$dx/dt = V(x(t), u(t)) \quad (17)$$

$$Y(t) = W(x(t), u(t)) \quad (18)$$

$$X = X_0 + x \quad (19)$$

$$Y = Y_0 + y \quad (20)$$

$$U = U_0 + u \quad (21)$$

Dengan X_0 , Y_0 dan U_0 merupakan nilai-nilai isyarat kuat untuk vektor-vektor keadaan, keluaran dan masukan pada titik linearisasi. Sementara x , y dan u merupakan nilai isyarat lemah yang berkaitan. Jadi pada persamaan (2) dan (3), A, B, C dan D merupakan matrik turunan parsial. Dalam rumusan ini, diasumsikan bahwa terjadi perubahan simultan dalam hal nilai dan frekwensi tegangan stator.

Untuk sampai pada keputusan tertentu dalam hal efektifitas relatif pada kendali nilai dan / atau frekwensi tegangan stator pada kondisi pembebanan yang berbeda, 2 nilai beban (mendekati beban penuh dan beban nol) diberikan kepada motor induksi. Untuk jenis beban dengan daya yang dibutuhkan merupakan fungsi kecepatan, dilakukan pengendalian terhadap daya keluaran motor. Untuk beban-beban dengan daya tetap, kecepatan rotor dipilih sebagai peubah yang dikendalikan. Bobot yang lebih ringan diberikan untuk rugi-rugi

listrik pada kondisi mendekati beban penuh.

KESIMPULAN

Tulisan ini mengusulkan teori kendali optimal sebagai metode untuk mendapatkan titik operasi terbaik pada kondisi tunak untuk motor induksi dari sudut pandang pengurangan rugi-rugi daya dan/atau minimisasi 'pengeluaran' yang besar dari titik operasi karena fluktuasi beban. Kendali dimaksud diharapkan mampu bekerja secara otomatis mengatur tegangan dan frekwensi untuk memperbaiki kinerja motor dalam bentuk mengurangi rugi-rugi mesin pada kondisi operasi tunak. Kombinasi dari isyarat-isyarat kendali memungkinkan pengurangan secara lebih efektif rugi-rugi listrik dalam rentang yang penuh pada kondisi-kondisi pembebanan motor.

Nilai yang berbeda untuk perbandingan rugi inti terhadap rugi tembaga pada beban penuh, akan mengubah nilai pembebanan dimana kendali tegangan akan lebih efektif dari pada kendali frekwensi dalam hal pengurangan rugi-rugi.

Betapun masih dimungkinkan untuk dibuat rumusan yang berbeda misalnya menggunakan peubah keluaran yang mungkin saja dipilih untuk diubah untuk kebutuhan analisis kendali motor. Rumusan waktu diskrit juga dimungkinkan untuk memberikan pengaruh pada perilaku pengendali elektronik secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Fitzgerald, A. E. , dkk., 1991, *Electrical Machinery*, V Ed., Mc. GrawHill Publ. Comp.
- Manasala, E. C., dkk. 1989, *Measurement-Based Power System Control*, Conference Proc. Beyond Computer Relaying, Blackburg, Virginia
- Naslim, P, 1968, *Essentials of Optimal Control*, Life Book Ltd, London
- Rostankomalai, N, dkk., 1988, *An Adaptive Optimal Control Strategy for Dynamic Stability Enhancement of AC/DC Power Systems*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 3, No. 3. pp. 1139-1145