

Volume 1, Nomor1, Agustus 2011

ISSN. 2089-2942

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

Menganalisis Perilaku Mesin Sinkron
Dengan Menggunakan Persamaan Linierisasi
(Ali Kasim)

Kerugian Energi Listrik Akibat Ketidak Seimbangan Beban
(Choirul Rizal)

Perhitungan Jatuh Tegangan dan Rugi-Rugi Daya Pada Saluran
Primer 20 KV di Gardu Induk Bungaran PT. PLN (Persero)
Palembang
(Deany Septi Yansuri)

Analisa Proteksi Pada Elektromotor 37 KW Pada Motor
Penggerak Mesin Press di PT. Hindoli Mill 2 Tanjung Dalam
(RM. Edy Suherman)

Analisa Pengaruh Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa Pada
Menara Transmisi Untuk Mengurangi Tingkat Kegagalan Perisai
Akibat Gangguan Petir Pada Sutt 150 KV
(Subianto)

Analisis Dampak Terputusnya Kawat Netral
Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 KV
(Surya Darma)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALEMBANG**

J.Tek. Ele.

Vol. 1

No. 1

Hlm.
1 - 76

Palembang,
Agustus 2011

ISSN.
2089-2942

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PALEMBANG

Jurnal Teknik Elektro adalah wadah informasi bidang Teknik Elektro berupa hasil penelitian, Studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah.

- Pelindung : Rektor Universitas Palembang
- Penanggung jawab : Dekan Fakultas Teknik Univ. Palembang
- Pimpinan Umum : Ir. Choirul Rizal, MT
- Wakil Pimpinan Umum : Ir. Ali Kasim, M.Sc
- Pimpinan Redaksi : Ir. Subianto, MT
- Sekretaris Redaksi : R. Ahmad Yani, ST
- Dewan Redaksi : 1. Surya Darma, ST., MT
2. Marliyus Sunarhati, ST., MT
3. Ir. Antonius Hamdadi, M.Sc
4. Ir. Wibowo Pratikno, M.Sc
- Redaksi Pelaksana/Editing : 1. Daeny Septi Yansuri, ST., MT
2. Yosi Apriani, ST
3. RM. Edy Suherman, ST
- Bagian TU dan Sirkulasi : 1. Apriani, SE
2. Deta Riani, SH
3. Nora Finalia, A.Md

Alamat Redaksi :
Fakultas Teknik Universitas Palembang Jalan Darmapala No. I A Bukit Besar Palembang
30139 ☎ (0711) 442670 Fax. (0711) 442670 E-mail: jurnal_teunpal@yahoo.co.id

Jurnal Teknik Elektro diterbitkan oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang. **Dekan** : Asrullah, ST., MT – **Ketua Program Studi Teknik Elektro** Ir. Subianto, MT

MENGANALISIS PERILAKU MESIN SINKRON DENGAN MENGGUNAKAN PERSAMAAN LINIERISASI

Ali Kasim

Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Palembang

ABSTRAK

Perilaku mesin sinkron dapat dianalisis dari persamaan nonlinier kerangka acuan yang dilinierisasikan dengan menggunakan pergeseran kecil disekitar titik operasi keadaan mantap.

Persamaan ini menguraikan perilaku mesin sinkron dengan bantuan computer dengan menggunakan kondisi mesin dalam keadaan mantap. Dengan nilai frekuensi bekerja pada rating tertentu. Tidak tergantung pada waktu, arus dan rangkaian fluksi merupakan variable yang tak bebas. Persamaan rangkaian fluks ini dinyatakan rangkaian fluks per-waktu yang dinyatakan persamaan keadaan dengan variabel persamaan variable keadaan.

Linierisasi yang dikembangkan dengan penggunaan deret Taylor disekitar titik operasi. Hasil linierisasi dari persamaan diferensial ini menggambarkan perilaku dinamis sistem dari pergeseran kecil pada sekitar titik operasi. Perilaku mesin sinkron dapat dianggap sebagai sistem linier berkenaan dengan gangguan kecil, kemudian dari teori ini dapat digunakan untuk menghitung nilai-nilai eigen. Nilai-nilai ini menggambarkan karakteristik sistem pada kondisi operasi seimbang. Bagian nyata (real) negatif nilai eigen menyatakan sistem stabil.

ABSTRACT

The linear machine equations are conveniently derived from voltage equations expressed in terms of constant parameters with constant driving forces, independent of time. During steady state balance conditions these requirements are satisfied, in the case of synchronous machine, by the voltage equations expressed in the synchronously rotating reference frame, and by the voltage equations in the rotor reference frame in the case of the asynchronous machine. Since the currents and flux linkages are not independent variables. Although these equations are valid for operations with stator voltage of any frequency. Eigenvalues are determined for synchronous machines and transfer functions are formulated for purpose of establishing the basis from the control analysis and design begin.

II. PENDAHULUAN

II.1. Latar Belakang Masalah

Hampir semua daya listrik yang digunakan diseluruh dunia dihasilkan oleh mesin sinkron diputar baik oleh air atau mesin pembakaran turbin uap. Sama seperti mesin induksi yang bekerja merubah energi dari listrik ke mekanik, begitu juga dengan mesin sinkron yang merupakan sarana utama konversi energi dari mekanik ke listrik. Listrik dan perilaku elektromekanis mesin paling sinkron bisa diperkirakan dari persamaan yang menjelaskan mesin sinkron 3 phasa kutub menonjol. Khususnya, persamaan ini dapat digunakan secara langsung untuk memprediksi kinerja generator tenaga air dan turbin uap generator sinkron, dan motor sinkron.

Mesin sinkron atau alternator dapat dipakai sebagai generator ataupun motor tanpa perbedaan berarti dalam desain atau konstruksi. Dalam pengoperasiannya, mesin sinkron dapat dioperasikan sebagai mesin tunggal, akan tetapi biasanya mesin ini tergabung dalam suatu sistem interkoneksi, sehingga bekerja sebagai sinkron dengan alternator lainnya. Untuk dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi demikian, alternator harus tetap berada dalam keadaan sinkron dengan sistem dan memikul bagiannya yang tertentu dari beban keseluruhan. Untuk mempelajari operasi mesin-mesin sinkron dalam suatu sistem jaringan,

harus terlebih dahulu dikenal dengan analisis karakteristik dan unjuk kerja mesin sinkron baik dalam keadaan mantap maupun dalam keadaan transien (peralihan).

Untuk operasi motor, alternator bekerja sebagai suatu alat sinkron yang berputar dengan suatu putaran tetap yang ditentukan oleh frekuensi dan jumlah kutub. Pada aplikasi yang memerlukan putaran yang tetap, motor sinkron sangat cocok dan tepat.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Mesin sinkron menggunakan analisis sistem yaitu metoda transformasi kerangka acuan.
2. Membentuk persamaan ruang keadaan.
3. Mencari nilai eigen yang merupakan gambaran perilaku sistem, sistem dinyatakan stabil bila nilai eigen negative.
4. Mencari nilai kestabilan pada saat mulai dan operasi.

1.3. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini penulis membahas perilaku sistem dengan menggunakan metoda pendekatan ruang keadaan dengan melinierisasi sistem di sekitar titik operasi, khususnya penulis membahas tentang generatorsinkron. Untuk menyederhanakan analisis ini diperlukan beberapa asumsi serta beberapa batasan:

1. Tegangan induksi mesin sinkron dan fluksi dianggap sinusoidal murni
2. Sistem yang diselidiki mempunyai parameter tetap.
3. Tegangan sistem tetap

2. TINJAUAN PUSTAKAAN

2.1. LINIERISASI MESIN SINKRON

Model Peralihan Mesin Sinkron

Pemodelan suatu sistem dalam kondisi peralihan merupakan langkah pertama untuk menyelidiki kestabilan.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_{qs}^r \\ \dot{v}_{ds}^r \\ \dot{v}_{kd}^r \\ \dot{v}_{kq}^r \\ \dot{e}_{xfd}^r \\ \dot{v}_{kd}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_s \frac{P}{\omega_b} X_q & \frac{\omega_f}{\omega_b} X_d & \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & \frac{\omega_f}{\omega_b} X_{md} & \frac{\omega_f}{\omega_b} X_{md} \\ \frac{\omega_f}{\omega_b} X_q & -r_s \frac{P}{\omega_b} X_d & \frac{\omega_f}{\omega_b} X_{mq} & \frac{\omega_f}{\omega_b} X_{mq} & \frac{P}{\omega_b} X_{md} & \frac{P}{\omega_b} X_{md} \\ \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & 0 & r_{kd}' + \frac{P}{\omega_b} X_{kd}' & \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & 0 & 0 \\ \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & 0 & \frac{P}{\omega_b} X_{mq} & r_{kq}' + \frac{P}{\omega_b} X_{kq}' & 0 & 0 \\ 0 & \frac{X_{md}}{r_{fd}'} \left(\frac{P}{\omega_b} X_{md} \right) & 0 & 0 & \frac{X_{md}}{r_{fd}'} \left(\frac{P}{\omega_b} X_{md} \right) & \frac{X_{md}}{r_{fd}'} \left(\frac{P}{\omega_b} X_{md} \right) \\ 0 & \frac{P}{\omega_b} X_{md} & 0 & 0 & \frac{P}{\omega_b} X_{md} & r_{kd}' \frac{P}{\omega_b} X_{kd}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^r \\ i_{ds}^r \\ i_{kd}^r \\ i_{kq}^r \\ i_{fd}^r \\ i_{kd}^r \end{bmatrix}$$

Dengan arus sebagai variabel per unit torsi elektromagnetik dinyatakan sebagai :

$$T_e = X_{md} (-i_{ds}^r + i_{fd}^{lr} + i_{kd}^{lr}) i_{qs}^r - X_{mq} (-i_{qs}^r + i_{kq1}^{lr} + i_{kq2}^{lr}) i_{ds}^r$$

Berikut hubungan antara torsi dan kecepatan rotor yaitu :

$$T_e = -2Hp \frac{\omega_r}{\omega_b} + T_1$$

Selanjutnya dinyatakan sebagai :

$$\delta = \frac{\omega_b}{p} \left(\frac{\omega_r - \omega_e}{\omega_b} \right)$$

Hal ini perlu, dalam analisis berikut, untuk menghubungkan variabel dalam kerangka acuan yang berputar dengan variabel dalam kerangka acuan rotor. Hal ini dicapai dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{bmatrix} f_{qs}^r \\ f_{ds}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{qs}^e \\ f_{ds}^e \end{bmatrix}$$

2.2. Linearisasi Dari Persamaan Keadaan

Ada 2 prosedur yang dapat diikuti untuk memperoleh bentuk persamaan ruang keadaan sistem. Langkah awal yaitu memakai ekspansi Taylor tentang penetapan nilai. Dalam hal ini, beberapa variabel f_i dapat ditulis dengan istilah ekspansi Taylor tentang penetapan nilainya, f_{i0} sebagai berikut:

$$g(f_i) = g(f_{i0}) + g'(f_{i0}) \Delta f_i + \frac{g''(f_{i0})}{2!} \Delta f_i^2 + \dots$$

Dimana: $f_i = f_{i0} + \Delta f_i$

Jika hanya ada sedikit penyimpangan dari nilai yang ditentukan dialami dalam istilah lebih tinggi dari ketetapan awal bisa diabaikan dan $g(f_i)$ dapat diperkirakan dengan:

$$g(f_i) \approx g(f_{i0}) + g'(f_{i0}) \Delta f_i$$

Karena itu, penggantian karakter kecil dari sistem diberikan dengan peraturan awal dari seri-seri Taylor, yaitu:

$$\Delta g(f_i) \approx g'(f_{i0}) \Delta f_i$$

Dengan fungsi-fungsi dari 2 variabel memakai uraian yang sama, sebagai berikut:

$$g(f_1, f_2) \approx g(f_{10}, f_{20}) + \frac{\partial}{\partial f_1} g(f_{10}, f_{20}) \Delta f_1 + \frac{\partial}{\partial f_2} g(f_{10}, f_{20}) \Delta f_2$$

Dimana $\Delta g(f_1, f_2)$ adalah 2 istilah terakhir dari persamaan

Jika sebagai contoh kita memakai metode ini untuk melambangkan mesin induksi tenaga putaran,

$$T_e(i_{ds}^e, i_{qs}^e, i_{dr}^e) \approx T_e(i_{ds0}^e, i_{qs0}^e, i_{dr0}^e, i_{dro}^e)$$

$$\frac{\partial T_e(i_{ds0}^e, i_{qs0}^e, i_{dr0}^e, i_{dro}^e)}{\partial i_{qs}^e} \Delta i_{qs}^e$$

Dimana sedikit pergantian tanda untuk tenaga putaran menjadi:

$$\Delta T_e = X_M (i_{qso}^e \Delta i_{dr}^e + i_{dro}^e \Delta i_{qs}^e - i_{dso}^e \Delta i_{qro}^e \Delta i_{ds}^e)$$

Sebagaimana dijelaskan bahwa subskrip o menunjukkan ketetapan jumlah. sebuah metode yang ekuivalen dari linierisasi persamaan non linier, yang digunakan untuk menulis semua variabel-variabel pada persamaan. Jika semua perkalian diberlakukan dan ketetapan dihapuskan dari kedua sisi persamaan pada saat (misal, $\Delta f_1 \Delta f_2$) diabaikan. Di dapat perubahan persamaan (3.10) dengan menggunakan metode ini.

Mesin Sinkron

Dari linierisasi persamaan didapat persamaan :

$$\begin{bmatrix} \Delta i_{qs}^f \\ \Delta i_{ds}^f \\ \Delta i_{kq}^f \\ \Delta i_{kd}^f \\ \Delta x_{fd}^f \\ \Delta i_{kd}^f \\ \Delta T_1 \\ 0 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix} -r_s \frac{P}{\omega} X_q & \frac{\omega}{\omega} X_q & \frac{P}{\omega} X_{mq} & \frac{P}{\omega} X_{mq} & \frac{\omega}{\omega} X_{md} & \frac{\omega}{\omega} X_{md} & -X_{dso}^f + X_{mfs}^f & 0 \\ \frac{\omega}{\omega} X_q & -r_s \frac{P}{\omega} X_q & \frac{\omega}{\omega} X_{mq} & \frac{\omega}{\omega} X_{mq} & \frac{P}{\omega} X_{md} & \frac{P}{\omega} X_{mq} & X_{dso}^f & 0 \\ \frac{P}{\omega} X_{mq} & 0 & r_{kq}^f + \frac{P}{\omega} X_{kq} & \frac{P}{\omega} X_{mq} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{P}{\omega} X_{mq} & 0 & \frac{P}{\omega} X_{mq} & r_{kd}^f + \frac{P}{\omega} X_{kd} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{X_{md}^f \left(\frac{P}{\omega} X_{md} \right)}{r_{fd}^f} & 0 & 0 & \frac{X_{md}^f \left(\frac{P}{\omega} X_{fd} \right)}{r_{fd}^f} & \frac{X_{md}^f \left(\frac{P}{\omega} X_{md} \right)}{r_{fd}^f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{P}{\omega} X_{md} & 0 & 0 & \frac{P}{\omega} X_{md} & r_{fd}^f + \frac{P}{\omega} X_{kd} & 0 & 0 \\ X_{mfs}^f - X_{mks}^f - X_{dso}^f & -X_{mfs}^f - X_{mfs}^f & -X_{mfs}^f & -X_{mfs}^f & X_{mfs}^f & X_{mfs}^f & 2Hp & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega & 0 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix} \Delta i_{qs}^f \\ \Delta i_{ds}^f \\ \Delta i_{kq}^f \\ \Delta i_{kd}^f \\ \Delta x_{fd}^f \\ \Delta i_{kd}^f \\ \Delta T_1 \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{bmatrix}$$

Persamaan juga dapat ditulis dalam bentuk :

$$Epx = Fx + u$$

Dimana :

$$(x)^T = \left[\Delta i_{qs}^r \quad \Delta i_{ds}^r \quad \Delta i_{kq1}^{lr} \quad \Delta i_{kq2}^{lr} \quad \Delta i_{fd}^{lr} \quad \Delta i_{kd}^{lr} \quad \frac{\Delta \omega_r}{\omega_b} \quad \Delta \delta \right]$$

$$(u)^T = \left[\Delta v_{qs}^r \quad \Delta v_{ds}^r \quad \Delta v_{kq2}^{lr} \quad \Delta v_{kd2}^{lr} \quad \Delta v_{x_{fd}}^{lr} \quad \Delta v_{kd}^{lr} \quad \Delta T_1 \quad 0 \right]$$

Dan

$$\frac{1}{\omega_b} \begin{bmatrix} -X_q & 0 & -X_{mq} & X_{mq} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -X_d & 0 & 0 & X_{md} & X_{md} & 0 & 0 \\ -X_{mq} & 0 & X'_{kq1} & X_{mq} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -X_{mq} & 0 & X_{mq} & X'_{kq2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{X_{md}^2}{r'_{fd}} & 0 & 0 & \frac{X_{md} X'_{fd}}{r'_{fd}} & \frac{X_{md}^2}{r'_{fd}} & 0 & 0 \\ 0 & -X_{rld} & 0 & 0 & X_{md} & X'_{kd} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2H\omega_b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_b \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -r_s & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_q & 0 & 0 & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{md} & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{md} & -X_{d' dso} i_{dso}^r + X_{md' fdo} i_{fdo}^r & 0 \\ \frac{\omega_e}{\omega_b} X_q & -r_s & -\frac{\omega_e}{\omega_b} X_{mq} & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{mq} & 0 & 0 & X_{q' qso} i_{qso}^r & 0 \\ 0 & 0 & r'_{kq1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r'_{kq2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{md} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r'_{kd} & 0 & 0 \\ -X_{md' dso} i_{dso}^r - X_{fdo' fdo} i_{fdo}^r & -X_{md' qso} i_{qso}^r + X_{mq' qso} i_{qso}^r & -X_{md' dso} i_{dso}^r & X_{md' qso} i_{qso}^r & X_{md' qso} i_{qso}^r & X_{md' qso} i_{qso}^r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_b & 0 \end{bmatrix}$$

3. ANALISA DAN PERHITUNGAN

3.1. Data Mesin Sinkron

Hydro Turbine Generator

Rating	325 MVA
Faktor Daya	0,85
Jumlah Kutub	64
r_s	0,00234 Ω
x_{is}	0,1478 Ω
x_q	0,5911 Ω
$i_{dso}, i_{fdo}, i_{qso}$	13,27 KA
r_{kq1}	0
r_{kq2}	0,01675 Ω
r_{kd}	0,01736 Ω
x_d	1,0467 Ω

Steam Turbine Generator

Rating	835 MVA
Faktor Daya	0,85
Jumlah Kutub	2
r_s	0,00243 Ω
x_{is}	0,1538 Ω
x_q	1,457 Ω
$i_{dso}, i_{fdo}, i_{qso}$	13,11 KA
r_{kq1}	0,00144
r_{kq2}	0,00681 Ω
r_{kd}	0,01080 Ω
x_d	1,457 Ω

Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan program MATLAB diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Matrik Keadaan

0,0021047	0,000	0,000	-0,899	-0,899	2581812	0,000
-0,591	0,002	0,443	0,443	0,000	0,000	-7843897
0,0000,000	-0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000,000	0,000	-0,017	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0000,000	0,000	0,000	-0,899	0,000	0,000	0,000
0,0000,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000
-5882591	17810994	5882591	5882591	-11928403	-11928403	0,000
0,0000,000	0,000	0,000	0,000	0,000	377000,000	0,000

$$+ 1.7076i$$

$$- 1.7076i$$

Steam turbine generator

$$\zeta_{dgl} = 0.0014$$

diperoleh:

Mark Keadaan

1,457	0,000	0,000	-0,892	-0,892	30794079	0,000
0,002	1,303	1,303	0,000	0,000	-1910270	0,000
0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	-0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-0,892	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000
2877761	1708452	1708452	-1169209	-1169209	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	37700	0,000

$$+ 3.2799i$$

$$- 3.2799i$$

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada generator sinkron hydro turbine generator, nilai eigen yang diperoleh terdapat tiga nilai yang positif. Hal ini menunjukkan bahwa operasi pada saat dimulai belum stabil tetapi setelah terjadinya operasi menunjukkan kestabilan. Berarti menunjukkan perilaku sistem pada titik operasi ini sudah mencapai stabil.
2. Pada generator sinkron steam turbine generator, nilai eigen yang diperoleh juga terdapat tiga nilai yang positif. Kondisi ini sama dengan generator sinkron hydro turbine generator, akan tetapi nilai realnya makin menunjukkan kestabilan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dubey, Gopal K, "Power Semiconductor Controlled Drives", Prentice Hall, 1989
2. Krause, Paul. C, "Analysis Of Electric Machinery", McGraw-Hill series in electrical engineering Singapore, 1987
3. Mansuri, Arif. C, "Lengkung Momen-Putaran Motor Induksi Rotor Belitan Pada Pengendalian Kecepatan Dengan Metoda Slip Energy Recovery Menggunakan Konverter", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung, 1993
4. Pujiriyanto, Andry, "Cepat Mahir Matlab", 2004
5. Syamsuddin, Eniman Y, "Diktat Kuliah Sistem Kendali", Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung, 2001
6. Zuhail, "Prinsip Dasar Elektro Teknik", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2004