

PENGUNAAN MODIFIED SLIP ENERGY RECOVERY DRIVE (MSERD) PADA SISTEM PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN

Harrij Mukti K

Abstrak : Sistem *Modified Slip Energy Recovery Drive* (MSERD) digunakan pada motor induksi rotor belitan (*wound rotor*) untuk mengatur kecepatan putaran motor serta untuk memperbaiki kinerja dari sistem kendali, khususnya berhubungan dengan faktor daya dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Konverter thyristor 12-pulse digunakan sebagai mode inverter dengan penambahan IGBT shunt chopper yang digunakan untuk mentransfer slip energi kembali ke suplai utama AC melalui transformator tiga fasa. Pengaturan kecepatan motor ini dilakukan dengan mengubah duty cycle dari chopper dengan mengubah sudut penyalan inverter. Dengan demikian faktor daya suplai akan dapat diperbaiki.

Kata kunci: Slip energy recovery, Motor Induksi, Rotor Belitan, Konverter, Chopper

Aplikasi kendali motor induksi dengan kontrol daya pada sisi stator banyak digunakan dalam aplikasi industri. Aplikasi kendali ini dapat digunakan baik pada motor induksi rotor sangkar maupun rotor belitan (*wound rotor*), dengan pertimbangan beban-nya ringan, biaya murah, inertia rotor rendah, batasan kecepatan, pemeliharaan dan keandalan. Pada motor belitan, daya slip dapat diberikan dengan mudah melalui slip-ring, yang kemudian dapat dikontrol secara mekanik atau elektronik untuk pengaturan kecepatan motor.

Motor belitan ini memiliki beberapa kelebihan. Daya slip untuk pengaturan kecepatan dapat diatur dengan menggunakan konverter statik sehingga menghilangkan rugi disipasi pada resistor. *Slip power recovery drives* telah banyak digunakan dalam beberapa aplikasi, seperti pa-

da pompa kapasitas besar, kendali kipas, sistem variable-speed energi angin, sistem variable-speed/ constant-frequency, variable-speed pompa hydro/generator dan utility system flywheel energy storage systems.

Slip energy recovery drives (SERD) yang dikenal sebagai sistem Scherbius ini relatif rendah biaya, rangkaian kontrolnya mudah dan mempunyai efisiensi yang tinggi pada putaran rendah. SERD mentransfer daya dari rotor motor induksi kembali ke suplai AC utama untuk memperbaiki efisiensi drive.

Berbeda dengan pengontrolan tegangan stator pada kendali motor induksi, unit SERD ini dapat didesain lebih kecil dan lebih murah. Masalah dari SERD ini adalah rendahnya faktor daya, umumnya berkisar 0,4 - 0,6. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu cara untuk memperbaiki rendahnya faktor daya ini, yaitu dengan menggunakan *Modified slip energy recovery drives* (MSERD).

Sistem MSERD ini menggunakan 12-pulse konverter dan IGBT shunt

$$i_y(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} i_0 (\cos \omega_0 t - \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t + \frac{1}{7} \cos 7\omega_0 t - \frac{1}{11} \cos 11\omega_0 t + \frac{1}{13} \cos 13\omega_0 t - \dots)$$

(2)

Sedangkan arus ac dari transformator hubungan Y– dinyatakan dalam deret Fourier dalam persamaan :

$$i_{\Delta}(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} i_0 (\cos \omega_0 t - \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t + \frac{1}{7} \cos 7\omega_0 t - \frac{1}{11} \cos 11\omega_0 t + \frac{1}{13} \cos 13\omega_0 t - \dots)$$

(3)

Sedangkan arus line ac total dari kedua transformator tersebut adalah:

$$i_{ac}(t) = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} i_0 (\cos \omega_0 t - \frac{1}{11} \cos 11\omega_0 t + \frac{1}{13} \cos 13\omega_0 t - \dots)$$

(4)

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2, shunt chopper tipe IGBT melewati terminal dc dari konverter dengan tujuan untuk memperbaiki faktor daya suplai.

Pemodelan dc Link

Mengacu pada Gambar 2, maka arus i_d dari dc link dapat dinyatakan :

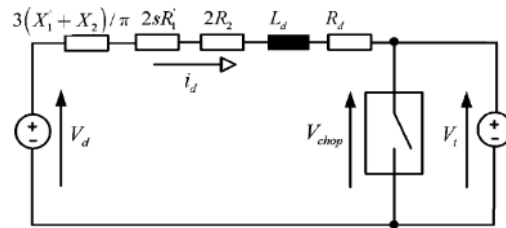
$$\frac{di_d}{dt} = -\frac{1,35V_s}{L_d \omega_s} \omega_r - \frac{1}{\tau} i_d + \frac{1,35V_s}{a_m L_d} (1 - (1 - D) |\cos \alpha|),$$

(5)

dimana a_m adalah rasio lilitan stator terhadap rotor, ω_s kecepatan sinkron dan ω_r adalah kecepatan rotor.

Dari persamaan (5), maka kecepatan motor dapat

dikontrol oleh V_i mengacu pada sudut delay (α) atau duty cycle (D) pada dc link. Rangkaian dc link ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian dc Link

Sedangkan besarnya torsi elektromagnetik dinyatakan dalam persamaan :

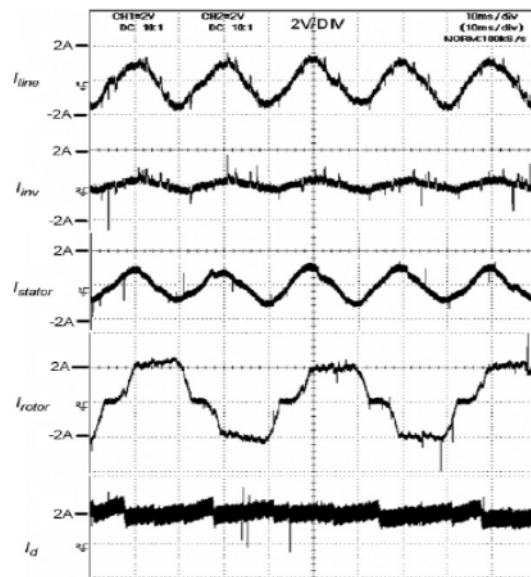
$$T_d = \frac{1}{\omega_s} \left(\frac{1,35V_s}{a} i_d \right)$$

(6)

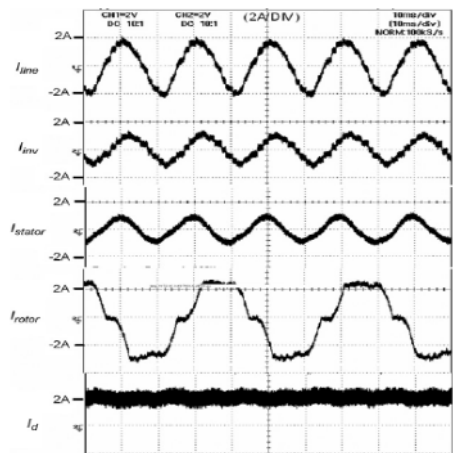
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dibahas dalam penelitian ini meliputi :

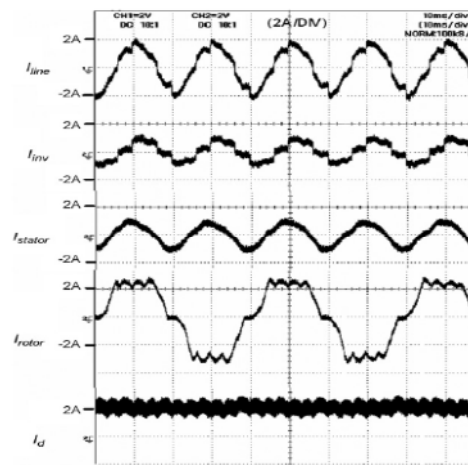
- Bentuk gelombang arus dan spektrum harmonik.
- Faktor daya (PF), *displacement power factor* (DPF) dan *total harmonic distortion* (THD).
- Efisiensi sistem (η).



Gambar 4. Bentuk Gelombang Arus pada MSERD dengan chopper pada slip 0,5



Gambar 5. Bentuk Gelombang Arus pada MSERD tanpa chopper pada slip 0,5

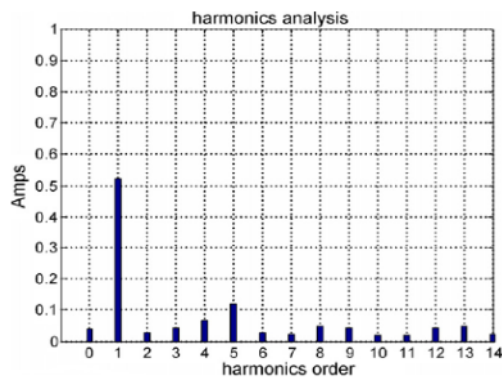


Gambar 6. Bentuk Gelombang Arus pada SERD pada slip 0,5

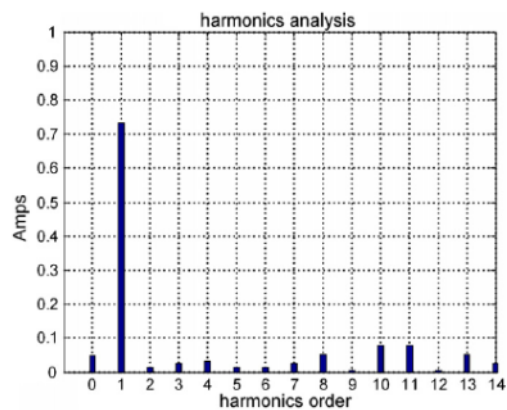
Gambar 4, gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan bentuk gelombang arus pada penggunaan MSERD dengan chopper, MSERD tanpa chopper and SERD pada slip 0,5. Bentuk gelombang arus line suplai (I_{Line}) dari MSERD tanpa chopper adalah lebih baik dibanding penggunaan pada MSERD dengan chopper dan SERD. Bentuk gelombang arus line suplai pada MSERD dengan chopper relatif lebih baik daripada SERD. Dengan demikian penambahan chopper

tidak dapat memperbaiki kualitas arus line pada operasi putaran rendah.

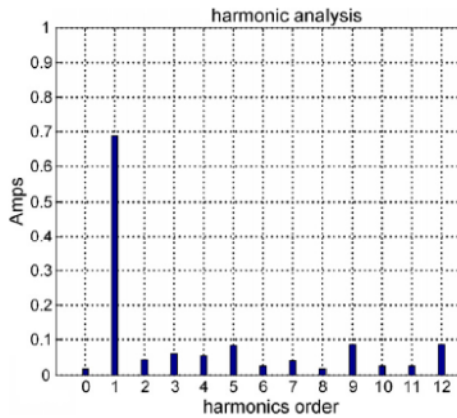
Bentuk gelombang arus line inverter (I_{inv}) pada MSERD dengan chopper adalah lebih baik daripada MSERD tanpa chopper dan SERD. Bentuk gelombang arus stator (I_{stator}) dan bentuk gelombang arus (I_{rotor}) pada semua drive relatif sama. Meski demikian, bentuk gelombang arus rotor SERD lebih jelek karena efek dari ripple arus dc link. Hal ini sesuai fakta bahwa konverter 6-pulse memberikan ripple arus dc link yang lebih besar dibanding konverter 12-pulse.



Gambar 7. Spektrum Harmonic I_{Line} pada MSERD dengan chopper pada slip 0,5

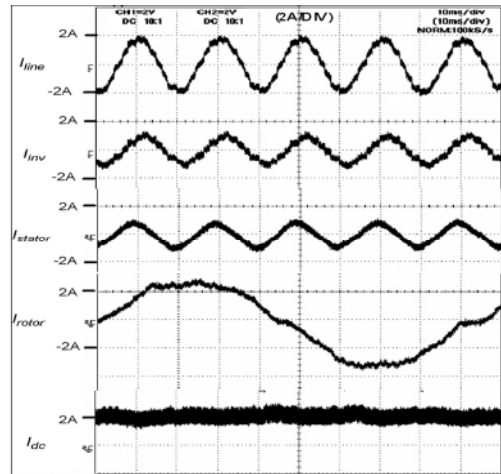


Gambar 8. Spektrum Harmonic I_{Line} pada MSERD tanpa chopper pada slip 0,5

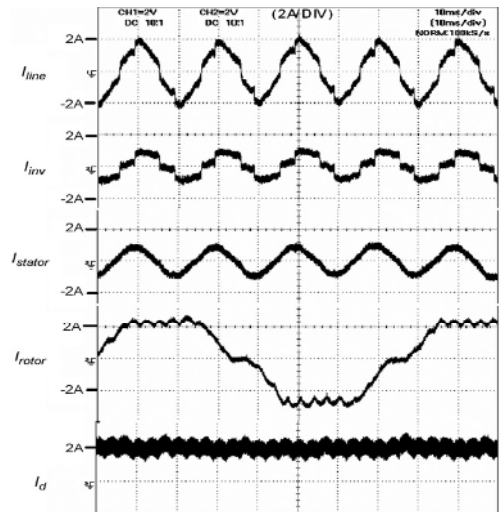


Gambar 9. Spektrum Harmonic I_{Line} pada SERD pada slip 0,5

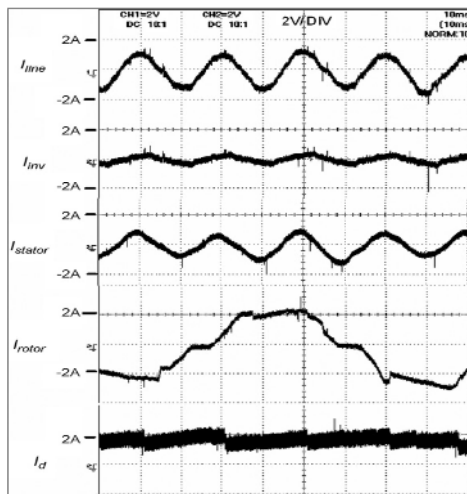
Gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 menunjukkan spektrum harmonik arus line suplai (I_{Line}) mengacu pada Gambar 4 sampai dengan gambar 6. Magnitude arus fundamental dari MSERD dengan chopper paling kecil dibanding MSERD tanpa chopper dan SERD. Penambahan chopper mengakibatkan turunnya magnitude arus fundamental, tetapi meningkatkan faktor daya.



Gambar 11. Bentuk Gelombang MSERD tanpa chopper pada slip 0,2

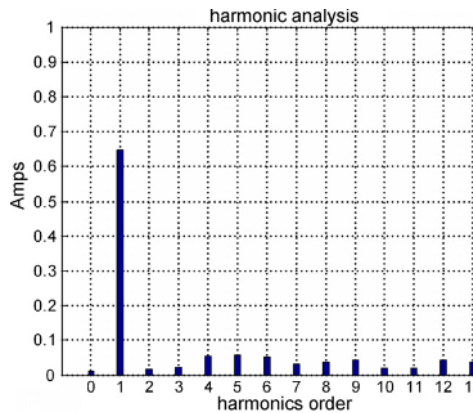


Gambar 12. Bentuk Gelombang SERD pada slip 0,2

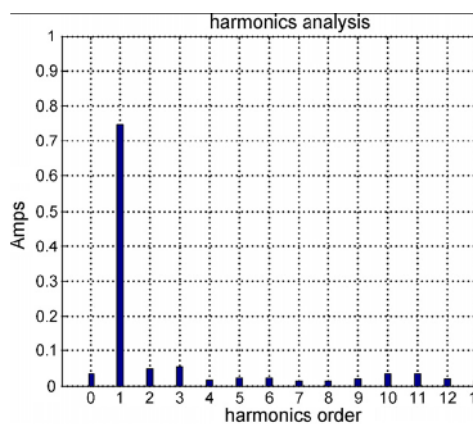


Gambar 10. Bentuk Gelombang MSERD dengan chopper pada slip 0,2

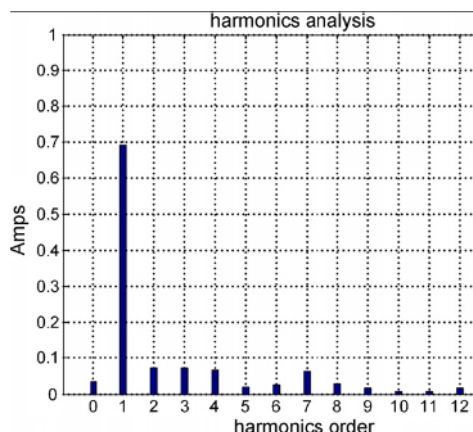
Gambar 10 sampai gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang arus sistem drive pada operasi putaran tinggi. Berbeda dengan saat operasi putaran rendah, MSERD dengan chopper mempunyai bentuk gelombang paling bagus dibanding MSERD tanpa chopper dan SERD. Hasil ini menunjukkan bagaimana kondisi pengoperasian MSERD tanpa chopper dan SERD pada daerah putaran tinggi.



Gambar 13. Spektrum Harmonic I_{Line} pada MSERD dengan chopper pada slip 0,2



Gambar 14. Spektrum Harmonic I_{Line} pada MSERD tanpa chopper pada slip 0,2



Gambar 15. Spektrum Harmonic I_{Line} pada SERD pada slip 0,2

Gambar 13 sampai gambar 15 menunjukkan spektrum harmonik dari arus line suplai mengacu pada Gambar

10 sampai dengan gambar 12. Sedangkan magnitude dari arus fundamental dan besarnya harmonik pada setiap drive adalah sama pada operasi putaran tinggi.

Tabel 1. Persentase THD, DPF, PF dan efisiensi (η) pada slip = 0,6 (putaran 600 rpm)

Teknik Drive	THD _v (%)	THD _i (%)	DPF	PF	(%)
MSERD dengan chopper	1,0	13,2	0,62	0,60	31,41
MSERD tanpa chopper	1,0	8,4	0,43	0,42	31,41
SERD	1,0	13,3	0,44	0,42	32,49

Tabel 2. Persentase THD, DPF, PF dan efisiensi (η) pada slip = 0,5 (putaran 750 rpm)

Teknik Drive	THD _v (%)	THD _i (%)	DPF	PF	(%)
MSERD dengan chopper	1,0	12,2	0,70	0,68	39,27
MSERD tanpa chopper	1,0	7,0	0,49	0,48	36,81
SERD	1,0	12,5	0,47	0,46	35,70

Tabel 3. Persentase THD, DPF, PF dan efisiensi (η) pada slip = 0,2 (putaran 1200 rpm)

Teknik Drive	THD _v (%)	THD _i (%)	DPF	PF	(%)
MSERD dengan chopper	1,0	5,7	0,73	0,72	52,36
MSERD tanpa chopper	1,0	6,4	0,58	0,56	41,88
SERD	1,0	12,2	0,54	0,52	40,97

Tabel 4. Persentase THD, DPF, PF dan efisiensi () pada slip = 0,1 (putaran 1350 rpm)

Teknik Drive	THD _v (%)	THD _i (%)	DPF	PF	(%)
MSERD dengan chopper	1,0	3,9	0,80	0,77	54,37
MSERD tanpa chopper	1,0	6,2	0,60	0,58	44,16
SERD	1,0	10,6	0,55	0,54	42,41

Tabel 1 sampai dengan tabel 4 menunjukkan perbandingan kinerja drive pada slip 0,6; 0,5; 0,2 dan 0,1. Teknik drive MSERD dengan chopper menghasilkan faktor daya paling tinggi dibanding yang diperoleh dari MSERD tanpa chopper dan SRED pada range kecepatan tersebut. Efisiensi sistem dari MSERD dengan chopper juga relatif paling tinggi dibanding MSERD tanpa chopper and SRED. Faktor daya, *displacement power factor* dan efisiensi pada seluruh drive pada putaran tinggi adalah lebih tinggi daripada saat operasi putaran rendah.

Total harmonic distortion (THD) dari arus suplai pada MSERD dengan dengan chopper adalah sangat baik dibanding MSERD tanpa chopper dan SRED pada operasi putaran tinggi, tapi tidak demikian bila beroperasi pada putaran rendah. Akibatnya perbaikan performa dengan MSERD dengan chopper ini lebih tepat pada operasi putaran tinggi.

KESIMPULAN

Dari pengujian beberapa teknik drive pada motor induksi rotor belitan dengan operasi putaran tinggi dan rendah, diperoleh hasil bahwa teknik drive MSERD dengan chopper adalah yang paling baik bila dibandingkan dengan MSERD tanpa chopper dan SERD ditinjau dari faktor daya suplai, efisiensi sistem dan nilai THD, khususnya bila motor dioperasikan pada putaran tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Borges L.E. da Silva, Nakashima, K., Torres, G.L, V. Ferreira da Silva, G. Olivier and G.-E. April .1991. *Improving Performance of Slip-Recovery Drive: An Approach using Fuzzy Techniques*. 0-7803-0453-5/ 1991 IEEE.
- Bose, K. Bimal, 2002, *Modern Power Electronics and ac Drives*, Prentice Hall PTR, Prentice-Hall, Inc.
- Faiz, J., Barati, H, dan E, Akpinar. 2001. *Harmonic Analysis and Performance Improvement of Slip Energy Recovery Induction Motor Drives*. 2001. IEEE Trans. Power Electron. 16 (3) (2001)
- Krishnan, R. 2001, *Electric Motor Drives Modeling Analysis and Control*, Prentice-Hall, Inc.

- Ogata, K. 2002. *Modern Control Engineering*, 4th ed.. Prentice Hall International.
- Papathanassiou, S.A dan Papadopoulos, M.P. 1998. *Commutation Angle Analysis of Slip Energy Recovery Drive*. IEEE Trans. Energy Convers. 13 (1) (1998)
- Refoufi, L. dan Pillay, P. 1994. *Harmonic Analysis of Slip Energy Recovery Induction Motor Drives*. IEEE Trans. Energy Convers. 9 (4) (1994).
- Sen, P.C dan K.H.J. Ma.1978. *Constant Torque Operation of Induction Motors using Chopper in Rotor Circuit*. IEEE Trans. Ind. Appl. 14 (5) (1978)
- Tunyasirut, S, Ngamwiwit, J dan Furuya, T. 2002. *Fuzzy Logic Control for Speed of Wound Rotor Induction Motor with Slip Energy Recovery*, Proc. SICE Annu. Conf.