

Makalah Tugas Akhir

Pengaturan dan Sinkronisasi Kecepatan Dua Buah Motor Induksi Satu Fasa dengan Inverter yang Berbasis Mikrokotroller AT89C51

Oleh : Andy Nugroho

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Peralatan-peralatan industri yang menggunakan motor induksi satu fasa sebagai penggerak suatu saat akan mengalami keadaan dimana dibutuhkan beberapa buah motor induksi yang mampu berjalan secara serempak dan tepat berada pada kecepatan yang dibutuhkan oleh peralatan industri tersebut. , seperti pada industri tekstil dan plastik.

Sebuah Inverter dengan AT89C51 yang digunakan untuk mengatur besarnya waktu pemicuan pada MOSFET untuk suplai daya motor induksi satu fasa dengan sistem kalang tertutup ini dibuat untuk mengatasi masalah tersebut. Alat ini dibuat untuk mengatur frekuensi pada keluaran Inverter Jembatan Penuh..

Sebagai obyek percobaan digunakan motor induksi satu fasa bermerek Toshiba berkapasitas 15 Watt yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Setelah melewati pengujian, alat dapat bekerja pada rpm 1000 – 1800 rpm sesuai dengan settingan yang diinginkan dan mampu melakukan operasi kalang tertutup untuk menjaga kecepatan motor agar konstan pada rpm referensi dengan range 0 – 5 rpm..

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan motor AC untuk tenaga penggerak dari sistem kelistrikan dan peralatan di industri untuk saat masih sangat dibutuhkan. Salah satu dari beberapa jenis motor AC yang sering digunakan adalah motor induksi satu fasa. Hal ini disebabkan karena motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana dan perubahan kecepatan saat pembebanan tidak terlalu besar sehingga motor induksi relatif lebih sesuai untuk keperluan suatu sistem dan peralatan di industri.

Pada aplikasi tertentu , penggunaan motor induksi pada sistem dan peralatan industri membutuhkan kecepatan tertentu yang konstan. Untuk keperluan ini diperlukan suatu pengaturan kecepatan motor induksi yang otomatis. Pada penulisan Tugas Akhir ini dibuat suatu metode perancangan pengaturan dan sinkronisasi kecepatan dua buah motor induksi satu fasa dengan variabel frekuensi dalam loop tertutup. Variabel frekuensi diperoleh dari inverter satu fasa yang besarnya tergantung dari pensaklaran MOSFET yang berbentuk gelombang modulasi lebar pulsa yang seragam (*UPWM*).

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai pada pembuatan tugas akhir ini adalah :

- Membuat rancangan inverter yang dapat mengatur dan mensinkronkan kecepatan dua buah motor induksi satu fasa dengan berbasis pada mikrokotroller AT89C51.

1.3 Batasan Masalah

Karena kompleksnya permasalahan yang ada pada pembuatan tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan-batasan masalah guna menyederhanakan permasalahan, batasan masalahnya yaitu :

1. Perancangan peralatan pengaturan alat dan sinkronisasi kecepatan dua buah motor induksi satu fasa ini berupa pengaturan frekuensi pada inverter yang diatur oleh mikrokotroller AT89C51 dalam loop tertutup.
2. Jumlah Mikrokotroller AT89C51 yang digunakan adalah empat buah dengan komunikasi data secara paralel.
3. Sinyal kontrol yang digunakan untuk mengatur frekuensi pada inverter berupa gelombang dengan modulasi lebar pulsa yang seragam atau *Uniform Pulse-With Modulation* (*UPWM*) dengan lima pulsa dalam setengah periode.
4. Jumlah motor induksi satu fasa yang diatur dan disinkronkan kecepatannya adalah dua buah.
5. Diharapkan dua motor induksi yang dipakai berputar serempak atau berputar dengan kecepatan yang sama serta dapat diatur kecepatannya sesuai kebutuhan.
6. Sistem pengaturan yang digunakan pada saat kerja kalang tertutup dibuat sistem pengaturan sederhana menggunakan pendekatan proporsional (ditabelkan), dimana tanggapan yang diberikan atas simpangan yang terjadi ditentukan dari hasil uji coba, tidak dari perhitungan matematis.

II. Dasar Teori

2.1 Motor induksi

Kecepatan motor induksi satu fasa sangat dipengaruhi oleh banyaknya kutub pada statornya dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

- n_s = kecepatan sinkron (rpm)
- f = frekuensi (Hz)
- p = Jumlah kutub

Pada kenyataannya perputaran *rotor* tidak sama dengan kecepatan sinkronnya, perbedaan kecepatan ini disebut dengan Slip (s) . Slip dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

- s = slip
- n_s = Kecepatan Sinkron [putaran/menit]
- n = Kecepatan *rotor*

2.2 Inverter Jembatan Penuh (Full Bridge)

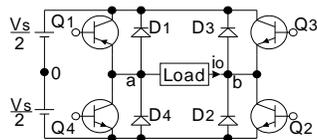
Sebuah inverter Jembatan Penuh (*Full Bridge*) ditunjukkan oleh gambar 2.1a. Inverter tersebut terdiri atas empat *chopper*. Apabila transistor Q_1 dan transistor Q_2 diaktifkan secara bersamaan, maka tegangan masukan V_s akan melintasi beban. Apabila transistor Q_3 dan Q_4 diaktifkan, secara bersamaan tegangan yang melintasi beban akan terbalik yaitu $-V_s$. Bentuk gelombang tegangan keluaran ditunjukkan oleh gambar 2.1b.

Tegangan rms keluaran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan

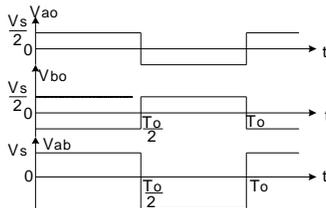
$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 \right)^{1/2} = V_s \dots\dots\dots(2.3)$$

dan tegangan keluaran sesaat dapat diperoleh dengan menggunakan deret *Fourier*

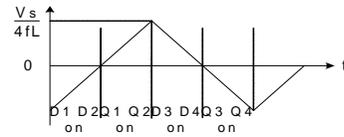
$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t \dots\dots\dots(2.4)$$



(a) Rangkaian



(b) Bentuk gelombang



(c) Arus beban dengan beban induktif

Gambar 2.1 Inverter jembatan penuh satu fasa

2.3 AT89C51

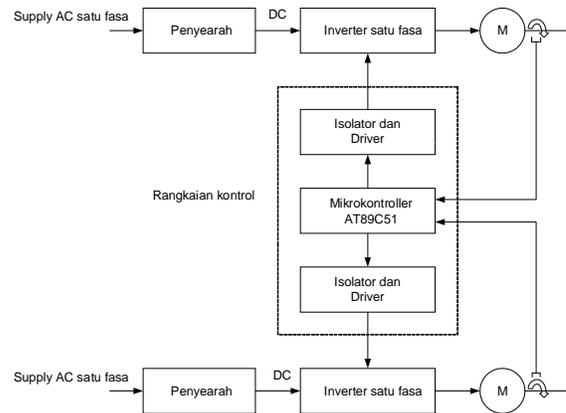
Mikrokontroler ini memiliki spesifikasi sebagai berikut : memiliki 4k byte PEROM (*Programmable and Erasable Read Only Memory*) 256 x 8 bit internal RAM, 32 pin i/o yang dapat diprogram, 2 buah *Timer/Counter* 16 bit, dan 5 sumber interupsi.

Mikrokontroler ini digunakan sebagai kontrol dan pengolah data untuk menjalankan keseluruhan alat.

III. Perancangan dan Pembuatan Alat

3.1. Perancangan Sistem

Dibuat sebuah diagram kerja perangkat keras yang menggambarkan aliran kontrol dan aliran data pada alat yang dibuat, diagram kerja perangkat keras terdapat gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema rangkaian sinkronisasi kecepatan motor induksi satu fasa berbasis mikrokontroler.

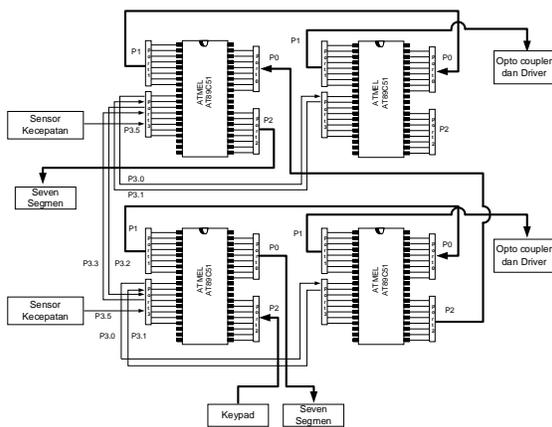
3.2 Motor Induksi

Spesifikasi motor induksi satu fasa yang digunakan dalam perancangan.

- Daya : 15 Watt
- Arus : 0,16 Ampere
- Tegangan : 220 Volt
- Frekuensi : 50 Hz
- Resistansi : 322 ohm
- Induktansi : 0,321 H

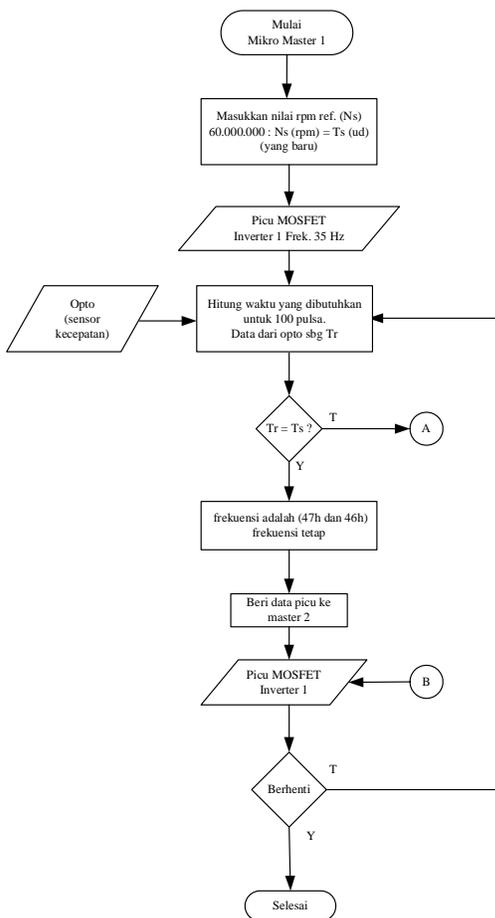
3.3 Mikrokontroler

Dalam perancangan digunakan empat buah sistem minimum mikrokontroler AT89C51 yang komunikasi datanya dihubungkan secara paralel. Adapun skematik rangkaian dari empat buah mikrokontroler yang terhubung secara paralel adalah sebagai berikut :

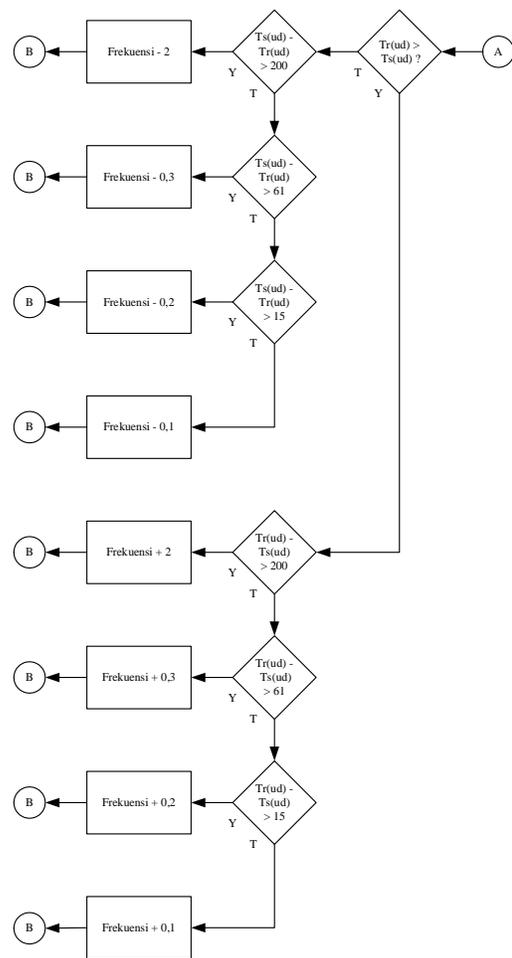


Gambar 3.2 Skematik rangkaian empat buah Mikrokontroler yang terhubung paralel

Adapun rancangan pemrograman dari mikrokontroler untuk pengaturan dan sinkronisasi kecepatan dua buah motor induksi mengikuti flow chart dibawah ini :

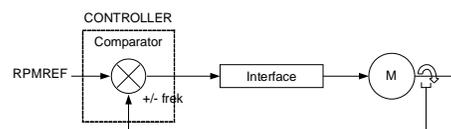


Gambar 3.3 Diagram Alir untuk loop tertutup



Gambar 3.4 Diagram alir untuk loop tertutup

Pada perancangan alat pengaturan dan sinkronisasi kecepatan dua buah motor induksi satu fasa dimana dikehendaki kecepatan dua buah motor induksi yang sama sesuai kecepatan referensi. Maka mikrokontroler berfungsi sebagai penghasil lima pulsa dalam satu mode operasi dengan variasi frekuensi dan membandingkan umpan balik kecepatan motor induksi yang didapat melalui sensor kecepatan seperti pada gambar 3.5 di bawah ini:



Gambar 3.5 Pengaturan kecepatan motor dalam loop tertutup

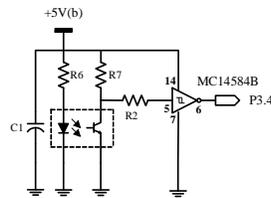
Untuk mendapatkan pengaturan dalam siklus tertutup sebagaimana terlihat pada gambar 3.5, mikrokontroler membangkitkan sinyal kotak dengan *duty cycle* tetap dan frekuensi tertentu. Frekuensi awal dibangkitkan rendah dan tachometer sebagai umpan balik akan segera memberi informasi ke komparator untuk dibandingkan dengan nilai setting *rpm_ref* dan kemudian menaikkan frekuensi

kembali sampai motor berputar pada kecepatan yang di inginkan (rpm_ref). Ketika kecepatan motor induksi berubah, tachometer sebagai umpan balik akan segera memberi informasi ke komparator untuk dibandingkan dengan nilai set rpm_ref dan kemudian mengatur kembali frekuensi sehingga kecepatan motor induksi sesuai dengan rpm_ref .

3.4 Sensor kecepatan

Sensor kecepatan ini dalam sistem loop tertutup akan berperan sebagai umpan balik. Kesalahan / kegagalan dalam membaca kecepatan akan mengakibatkan kegagalan dalam pengaturan.

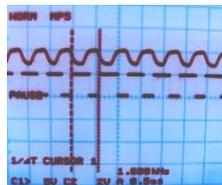
Piringan sensor yang digunakan sejumlah 100 slot, skema yang digunakan adalah gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian sensor untuk tachometer

Penerimaan cahaya infra merah akan membuat transistor peka cahaya menjadi konduksi. Ketika transistor konduksi, keluarannya akan menjadi masukan logika rendah ke gerbang NAND Schmitt trigger dan yang digunakan dalam rancangan adalah komponen MC 14584B. Perlu di ingat bahwa NAND disini berfungsi sebagai pembalik dan Schmitt Trigger berfungsi untuk membersihkan sinyal. Jadi keluaran rangkaian transduser akan berlogika tinggi ketika transistor konduksi.

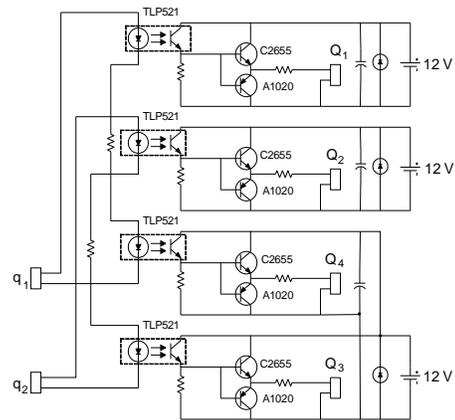
Dalam keadaan motor induksi berjalan, rangkaian sensor kecepatan akan memberikan keluaran dalam bentuk gelombang kotak dengan seratus pulsa tiap putaran motor.



Gambar 3.7 Bentuk gelombang dari sensor kecepatan

3.3 Interface AT89C51

Dua buah sinyal kontrol dari mikrokontroller harus terpisah dengan saluran daya. Untuk memisahkan sinyal kontrol digunakan komponen berupa optocoupler TLP521. Rangkaian optocoupler dan driver MOSFET seperti pada gambar 3.8 dibawah:



Gambar 3.8 Rangkaian optocoupler dan driver MOSFET

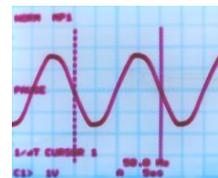
Dari gambar diatas terlihat bahwa bagian satu dengan bagian kedua secara elektrik terpisah, tetapi keduanya dihubungkan oleh cahaya infra merah yang dipancarkan photo dioda .Selanjutnya pancaran cahaya infra merah yang dihasilkan oleh photo dioda digunakan sebagai pemicu kaki basis pada phototransistor. Kaki kolektor diberi supply tegangan 12 Volt DC dan kaki emitor dipasang tahanan pull-down. Besar tahanan pull-down dipilih sehingga tegangan antara terminal output dan ground berkisar 12 Volt.

IV. Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Tegangan Masukan Penyearah

Input V_{ac} ini merupakan tegangan yang setelah disearahkan oleh rangkaian penyearah akan menjadi tegangan input bagi inverter, oleh karenanya tegangan V_{ac} ini harus mempunyai besaran yang mampu menggerakkan motor induksi 220 V.

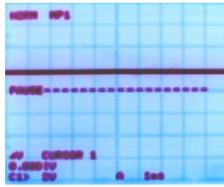
Dalam peralatan ini V_{ac} yang digunakan sebesar 115 V yang berasal dari trafo stepdown. Penggunaan trafo disini untuk membatasi arus yang masuk ke MOSFET dalam rangkaian inverter dengan kapasitas maksimum keluaran trafo 5A.



Gambar 4.1 Tegangan masukan penyearah

4.2 Pengujian Keluaran Penyearah

Penyearah yang dipergunakan adalah penyearah gelombang penuh yang telah dilengkapi dengan filter kapasitor. Bentuk keluarannya ditunjukkan dala gambar 4.2.

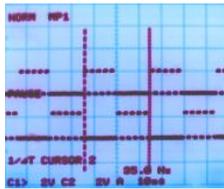


Gambar 4.2 Keluaran penyearah gelombang penuh

4.3 Pengujian keluaran Mikrokontroler

Salah satu fungsi mikrokontroler AT89C51 yang digunakan adalah untuk menghasilkan sinyal kontrol yang berupa UPWM (modulasi lebar pulsa yang seragam). Pulsa yang dihasilkan pada setiap setengah periodenya adalah lima pulsa dengan *duty cycle* tetap 50% dan frekuensinya dapat secara otomatis diatur sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

Mikrokontroler menghasilkan dua buah sinyal kontrol yang mempunyai beda fasa 180°. Sinyal pertama digunakan untuk mendapatkan setengah siklus positif inverter dan sinyal kedua digunakan untuk mendapat setengah siklus negatifnya.

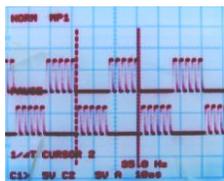


Gambar 4.3 Sinyal keluaran Mikrokontroler

4.4 Pengujian Keluaran Penggerak MOSFET

Besar tegangan puncak sinyal keluaran Mikrokontroler adalah 5 Volt dan besarnya arus adalah 10 mA. Sedangkan MOSFET akan berfungsi sebagai saklar bila tegangan dan arus pemicu dioperasikan pada daerah saturasi (untuk tipe MOSFET IRFP460 adalah 6 – 20 Volt dan arus berkisar 550 mA). Untuk keperluan tersebut sinyal harus ditingkatkan untuk memenuhi kriteria pemicu MOSFET tersebut.

Disamping itu, sinyal kontrol harus terpisah dengan saluran daya. Dari blok penggerak MOSFET yang telah dirancang ditujukan untuk memenuhi kriteria tersebut.



Gambar 4.4 Sinyal keluaran penggerak MOSFET

4.5 Pengujian Keluaran Inverter Satu Fasa dengan Beban Resistif

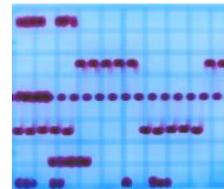
Tegangan satu fasa yang diperoleh dari inverter satu fasa berkaitan dengan besar tegangan dari penyearah dan dengan *duty cycle*. Dengan menggunakan mode pensaklaran *Uniform Pulse With Modulation* (UPWM) dan dengan lima pulsa dalam tiap setengah gelombang maka tegangan inverter satu fasa dapat di cari sesuai persamaan 3.4 berikut

$$V_o = \left(\frac{2n}{2\pi} \int_{(\pi/n-\delta)/2}^{(\pi/n+\delta)/2} V^2 \max d(\omega t) \right)^{1/2} = V \max \sqrt{\frac{n\delta}{\pi}}$$

$$V_o = 163 \sqrt{\frac{5 \times 0,5}{3,14}}$$

$$V_o = 163 \times 0,892 = 145,396 \text{ Volt}$$

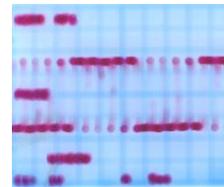
Berikut akan diberikan data pengujian keluaran dari inverter satu fasa dengan beban resistif dengan *duty cycle* 50% dan pada frekuensi 35 Hz.



Gambar 4.5 Keluaran Inverter dengan beban Resistif

4.6 Pengujian Keluaran Inverter dengan Beban Motor Induksi

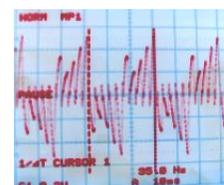
Pembebanan motor induksi pada inverter sama halnya pembebanan komponen L dan R sehingga merubah sinyal keluaran inverter seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Keluaran inverter dengan beban motor

4.7 Pengujian Keluaran Gelombang Arus dengan Beban Motor

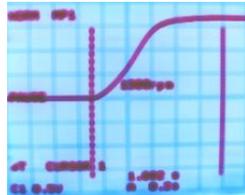
Dengan menggunakan motor induksi sebagai beban dari *inverter* sama halnya dengan membebani keluaran *inverter* dengan beban induksi, maka gelombang arus dengan beban induktif dapat dilihat pada gambar 4.7



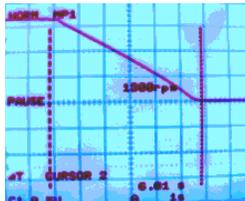
Gambar 4.7 Bentuk gelombang arus dengan beban induktif

4.8 Analisa Data Pengujian Motor Induksi dalam sistem kalang tertutup

Penampilan kecepatan motor induksi dalam sistem kalang tertutup merupakan hasil akhir dari perancangan sistem kalang tertutup ini. Pada pengujian dan pengukuran dalam sistem kalang tertutup ini akan dilihat tanggapan dari perubahan kecepatan motor induksi dari starting sampai menuju kecepatan yang diinginkan.



Gambar 4.8 Perubahan kecepatan dari start sampai steady



Gambar 4.9 Perubahan kecepatan steady sampai stop

Gambar 4.8 dan 4.9 dihasilkan oleh rangkaian LM2917 yang yang mengubah frekuensi menjadi tegangan. Masukan frekuensinya dihubungkan ke *optocoupler* (sensor kecepatan) dan keluarannya berupa tegangan masuk ke *osilloscope*. LM2917 memiliki persamaan untuk menghitung tegangan keluarannya (V_o), yaitu :

$$V_o = f \cdot V_{cc} \cdot R \cdot C \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :

- V_o = tegangan keluaran (volt)
- f = frekuensi (Hz)
- V_{cc} = 12 volt
- R = 50 kΩ
- C = 1 nF

sehingga :

$$V_o = f \cdot 6 \cdot 10^{-4} \dots\dots\dots(4.2)$$

kemudian :

$$f = \frac{N}{60} \cdot 100$$

$$f = 1,667 \cdot N \dots\dots\dots(4.3)$$

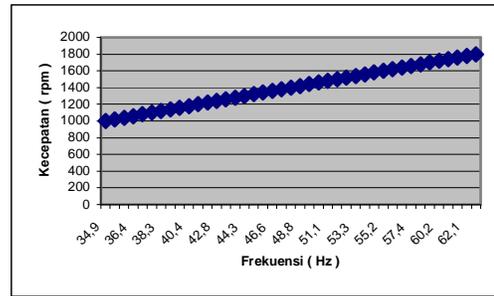
dimana :

- N = kecepatan putar (rpm)
- f = frekuensi (Hz)

maka :

$$V_o = 1,667 \cdot N \cdot 6 \cdot 10^{-4}$$

Dengan menggunakan data yang ada dapat dibuat grafik hubungan frekuensi dengan kecepatan sebagai berikut :



Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi dan kecepatan

Dengan menggunakan beban motor induksi maka dapat dilihat perubahan kecepatan motor bila frekuensi yang diberikannya berbeda beda. Kecepatan motor sinkronnya dapat dihitung dengan memisalkan frekuensi keluaran *Inverter* dibuat sekitar 50 Hz, maka kecepatan sinkronnya motornya pada frekuensi tersebut akan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ rpm}$$

$$= \frac{120 \times 50 \text{ Hz}}{4}$$

$$= 1500 \text{ rpm}$$

Slip dari motor dapat dihitung dengan cara

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$= \frac{1500 - 1450}{1500}$$

$$= 0,033$$

Dengan menggunakan metode yang sama seperti diatas akan didapatkan tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan kecepatan sinkron , kecepatan motor, selisih kecepatan sinkron dengan sebenarnya dan slip

Frek	Kecepatan Sinkron	Kecepatan Motor	Selisih kecepatan	slip
34,9	1047	1000	47	0,045
35,2	1056	1020	46	0,043
35,8	1074	1040	34	0,031
36,4	1092	1060	32	0,029
37,0	1110	1080	30	0,027
37,8	1134	1100	34	0,029
38,3	1149	1120	29	0,025
38,9	1167	1140	27	0,023
39,8	1194	1160	34	0,028
40,4	1212	1180	32	0,026

Frek	Kecepatan Sinkron	Kecepatan Motor	Selisih kecepatan	slip
41,2	1236	1200	16	0,013
41,9	1257	1220	37	0,029
42,8	1284	1240	44	0,034
43,1	1293	1260	33	0,025
43,6	1308	1280	28	0,021
44,3	1329	1300	29	0,021
44,9	1347	1320	27	0,020
45,6	1368	1340	28	0,020
46,6	1398	1360	38	0,027
47,3	1419	1380	39	0,027
47,8	1434	1400	34	0,024
48,8	1464	1420	44	0,030
49,1	1473	1440	33	0,022
50,1	1503	1460	43	0,028
51,1	1533	1480	53	0,034
51,6	1548	1500	48	0,031
52,7	1581	1520	61	0,038
53,3	1599	1540	59	0,037
54,0	1620	1560	60	0,037
54,6	1638	1580	58	0,035
55,2	1656	1600	56	0,034
56,1	1683	1620	53	0,031
56,8	1704	1640	64	0,037
57,4	1722	1660	62	0,036
58,1	1743	1680	63	0,036
58,9	1767	1700	67	0,038
60,2	1806	1720	86	0,047
60,9	1827	1740	87	0,047
61,7	1851	1760	91	0,049
62,1	1863	1780	83	0,046
63,0	1890	1800	90	0,047

Dari tabel 4.1 didapatkan bahwa selisih kecepatan dan slip pada setiap frekuensinya terus naik sebanding dengan penambahan frekuensi yang dihasilkan oleh *Inverter* yang seharusnya dijaga tetap agar menghasilkan torsi yang sama dengan motor induksi yang dioperasikan dengan frekuensi jala-jala (50Hz). Perbedaan diatas disebabkan karena *Inverter* pada tugas akhir ini hanya mengubah secara otomatis frekuensi yang dihasilkan sedangkan tegangan, medan magnetik dalam motor dan besar arus tidak diperhitungkan.

V. Kesimpulan

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian pada *Inverter* satu fasa ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perangkat keras dan perangkat lunak *Inverter* satu fasa yang telah dibuat mampu mengubah frekuensi jala-jala ke dalam frekuensi yang sesuai dengan kecepatan motor induksi yang di inginkan.
2. Mikrokontroller AT89C51 dapat digunakan sebagai otak dari *Inverter* satu fasa pada Tugas Akhir ini.
3. Optocoupler TLP521 dapat digunakan sebagai isolator antara mikrokontroller dan rangkaian daya.
4. Rangkaian penyangga yang berupa sambungan transistor NPN dan PNP dapat digunakan sebagai penggerak MOSFET.
5. Sensor kecepatan berupa rangkaian elektronik yang terdiri dari optocoupler jenis U dan schmitt trigger MC14584B akan menghasilkan frekuensi keluaran yang sebanding dengan kecepatan motor.
6. Semakin besar nilai kecepatan yang di inginkan maka *Inverter* akan menghasilkan frekuensi keluaran yang lebih besar.
7. Penggunaan *Uniform Pulse With Modulation* (UPWM) pada *Inverter* akan menghasilkan harmonisa tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan PWM saja.

DAFTAR PUSTAKA

1. Charles A. Schuler, Wiliam L.Mc Namee, *Industrial Electronic and Robotics*, McGraw Hill Book Company, 1986.
2. Gary Rockis , *Solid state Fundamental for Electricians*, American Technical Publishers Inc., 1993.
3. Gobal K. Dubey, *Power semiconductor Controlled Drives*, Prentince – Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
4. John Hindmars, *Electric Machine and Their Applications*, Pergamon International Library, 1997.
5. Kadir A, *Mesin Tak Serempak*, Djembatan, Jakarta,1981.
6. Kattsuhiko Ogata, Edi Laksono, *Teknik Kontrol Automatik*, jilid I, Erlangga, Jakarta, 1990.
7. Lander, C.W., *Power Electronics*, McGraw-Hill, London, 1981.
8. Malvino, Barnawi, *Prinsip – prinsip Elektronika*, Erlangga, 1986.
9. Muhammad Harunur Rashid, *Power Electronics: Circuits, Device, and Applications*, Prentince – Hall International Inc, New Jersey, 1988.
10. Say M.G., *Performance and Design of Alternating Current Machines*, Third Edition, The English Language Book Society and Sir Isaac pitman and Sons Ltd, London, 1958.

11. Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, Third Edition, Preitice – Hall International Inc, 1997.
12. Vrej Bachordarian, *Power MOSFET Basics*, International Rectifier, California, 1989.
13. Zuhul, *Dasar Teknik Elektro*, Edisi kedua, ITB, Bandung, 1991.



Disusun oleh Andy Nugroho ,yang saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Menyetujui :
Pembimbing II

Mochammad Facta, ST. MT
NIP. 132 231 134