

METODE PHASE LOCKED LOOP UNTUK MENGONTROL KECEPATAN PUTAR MOTOR DC

M. Irsan Kasau

STMIK Dipanegara Makassar
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 9, telp.(0411)587194 Fax.(0411)588284
Matius.irsan@gmail.com

ABSTRAK

Tulisan ini membahas metode simpal phase terkunci untuk mengontrol kecepatan putar motor dc sebagai suatu metode yang memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini memanfaatkan beda phase antara sinyal referensi dengan sinyal umpan balik yang akan menjadi terkunci pada saat frekuensi sinyal referensi tepat sama dengan frekuensi sinyal umpan balik. Besarnya perbedaan phase menentukan besarnya tegangan pengontrol yang keluar dari Filter tapis rendah. Dengan mengatur atur frekuensi sinyal referensi mengakibatkan turut berubah ubahnya beda phase sehingga tegangan kontrolpun dapat disesuaikan dengan kecepatan putar motor yang diinginkan. Hasil yang diperoleh hanya terjadi kejutan sesaat pada saat motor dc tiba tiba diberi beban dan pada saat tiba tiba dilepas beban, tetapi segera setelah itu kembali ke kecepatan putar yang sesuai referensi. Nampaknya tidak memberi pengaruh yang berarti dari "kejutan sesaat" terhadap sensitifitas beban pada motor, sebab waktu berlangsungnya terlalu singkat.

Kata Kunci : PLL, frekuensi, beda phase, kecepatan putar.

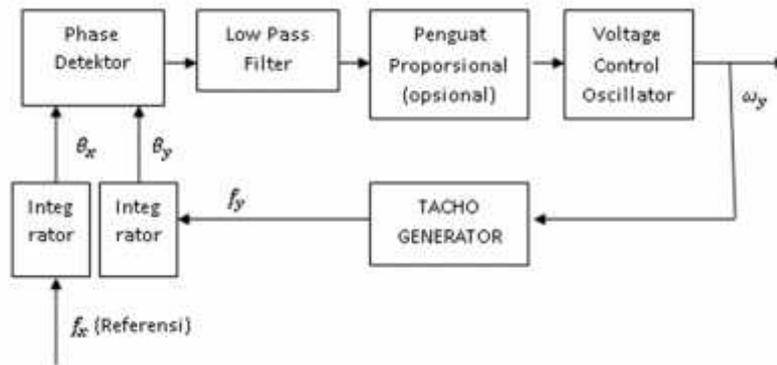
ABSTRACT

This writing to discuss phase locked loop (PLL) method for controlling dc motor round speed as a method that own better it self to compare with another method. This method to used phase different between reference signal with feed back signal that will be locked on frequency reference signal existed equal with frequency feed back signal. The big of phase difference to surely the big of voltage control that out from the Low Pass Filter. To controls of frequency reference signal to make variable the phase difference so the control voltage can adapted with desired round speed. The result that get it only impulse at dc motor suddenly to give the load and at suddenly to drop out of load, but as soon as after that is return to reference round speed. Likely not to influence of instantaneous impulse of load sensitivity on the motor, because it be takes so short time.

Key word : PLL, frequency, phase difference, round speed

PENDAHULUAN

Phase Locked Loop yang disingkat PLL merupakan salah satu teknik atau metode yang sering digunakan oleh para perancang control dari sejumlah alternatif lain seperti PID, MRAC, Kontrol Optimal, Kontrol Stokastik dan lain lain. PLL sendiri memiliki banyak variasi dalam hal Phase Detektornya antara lain: Pengali, Penjumlah, Pengurang (Komparator), OR dan sebagainya. Selain itu PLL juga dapat diklasifikasikan dalam: Analog PLL, Digital PLL, All Digital PLL dan Software PLL. Tulisan ini menggunakan PLL dengan jenis Phase Detektor adalah Komparator dengan klasifikasi Analog PLL. Sebuah PLL merupakan loop berumpan balik yang terdiri atas 4 komponen utama seperti blik diagram pada gambar 1 berikut.



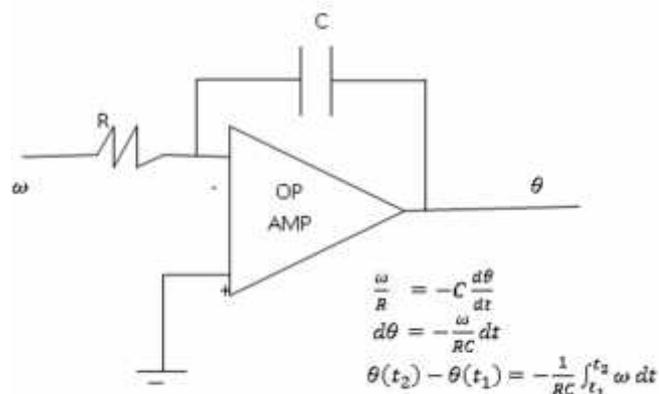
Gambar 1 Blok diagram PLL yang digunakan

Sinyal referensi f_x diinjeksikan ke Phase Detector melalui Integrator yang mengubahnya menjadi phase θ_x . Demikian pula sinyal respons f_y diumpan balik ke Phase Detector melalui Integrator yang lain menjadi phase θ_y . Oleh Phase Detector kedua phase ini dikomparasi dan dikuatkan sebagai masukan pada Low Pass Filter (LPF) yakni $K_{PD}(\theta_x - \theta_y)$ yang merupakan komponen dc. LPF akan meloloskan komponen dc ini dan frekuensi rendah serta menindas frekuensi tinggi yang menyertainya. Sebelum masuk ke Voltage Control Oscillator (VCO) sebagai sinyal penggerak, terlebih dahulu dilewatkan pada penguat proporsional untuk memperoleh sinyal penggerak yang lebih kuat. Yang menjadi target dari system control berbasis PLL adalah mengtracking frekuensi keluaran f_y menuju frekuensi referensi f_x dengan phase yang berbeda. Semakin besar beban yang diberikan pada VCO, akan semakin membuat frekuensi keluaran f_y menurun yang berarti kecepatan putar menurun untuk VCO berupa motor listrik. Untuk mengantisipasi kondisi ini dilakukan umpan balik f_y ke Phase Detector melalui sebuah integrator sehingga diperoleh phase umpan balik θ_y sedemikian rupa sehingga beda phase $(\theta_x - \theta_y)$ beradaptasi terhadap kebutuhan besarnya tegangan penggerak VCO untuk mengembalikan f_y ke keadaan yang sama dengan f_x sebagai referensi yang harus diikutinya.

LANDASAN TEORI

I. INTEGRATOR

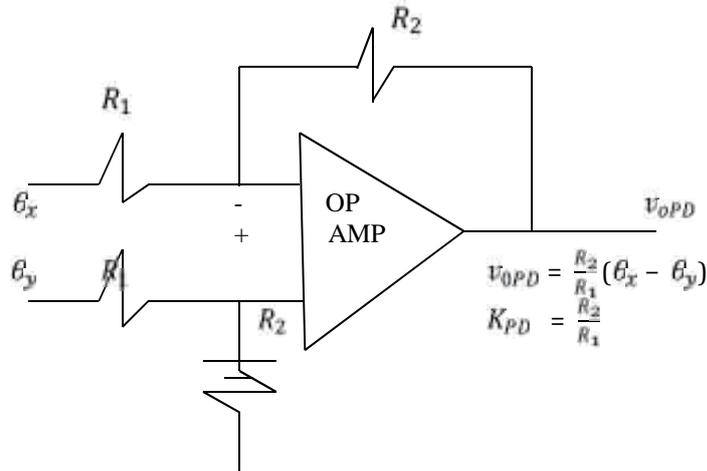
Integrator berfungsi sebagai pengkonversi frekuensi ω_x atau f_x dan ω_y atau f_y menjadi θ_x dan θ_y . Hal ini mudah dimengerti sebab $\int \omega dt = \omega t + C = 2\pi f t + \theta$. Dari 2 Integrator ini akan menghasilkan perbedaan phase $(2\pi f_x + \theta_x) - (2\pi f_y + \theta_y) = 2\pi(f_x - f_y) + (\theta_x - \theta_y)$. Perhatikan bahwa target operasi PLL adalah frekuensi referensi f_x akan diikuti oleh frekuensi respons umpan balik f_y . Pada saat kedua frekuensi ini sama, maka beda fasenya tinggal $\theta_x - \theta_y$. Secara umum rangkaian Integrator dapat digambarkan seperti gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian Integrator

II. PHASE DETEKTOR

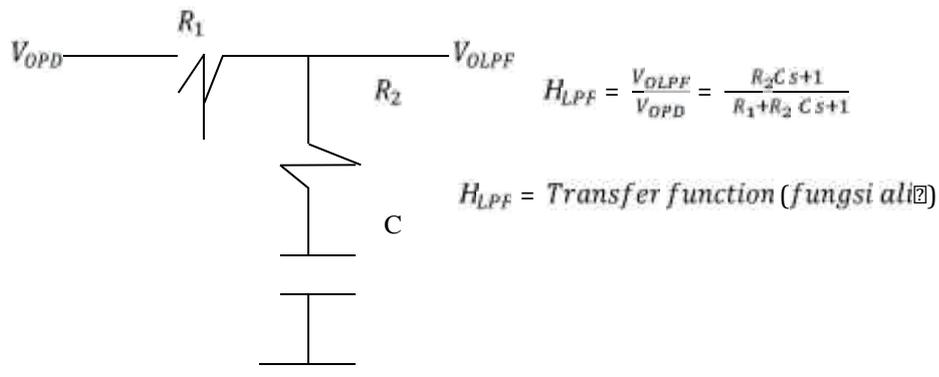
Phase Detektor memiliki beberapa jenis tipe, yang digunakan adalah type comparator analog PLL seperti gambar 3. Phase Detektor berfungsi sebagai pembanding kedua phase yang masuk dengan cara mengurangkan kedua phase itu dan mengalikan dengan konstanta dari Phase Detektor yakni K_{PD} . Atau dengan kata lain keluaran dari phase detector dapat dikontrol dengan mengubah ubah beda phase dari frekuensi f_x dan f_y yaitu $\theta_x - \theta_y$ sebesar: $v_0 = K_{PD}(\theta_x - \theta_y)$.



Gambar 3 Rangkaian phase detector

III. LOW PASS FILTER

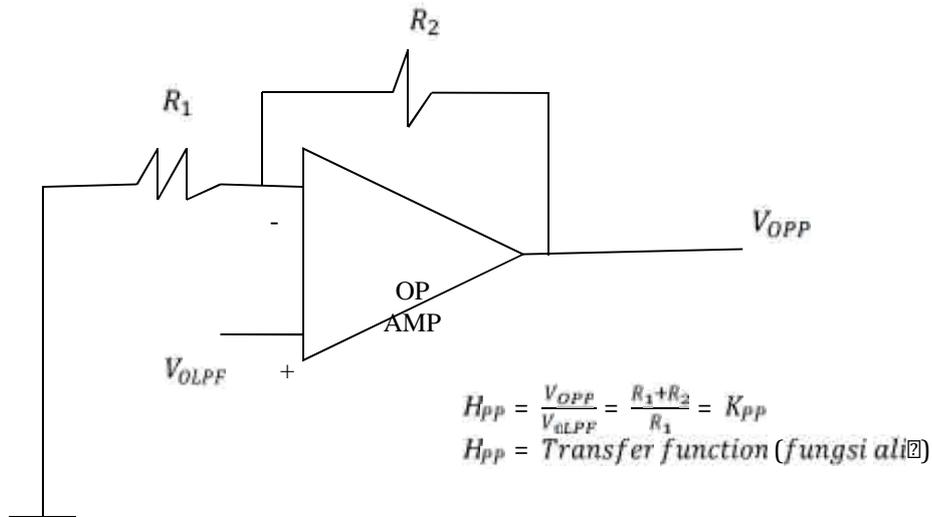
Low Pass Filter (Filter Lolos Rendah) terdapat beberapa jenis dalam type aktif maupun passif dan yang digunakan disini dipilih salah satu jenis dari type passif seperti gambar 4



Gambar 4 Low Pass Filter

IV. PENGUAT PROPORSIONAL

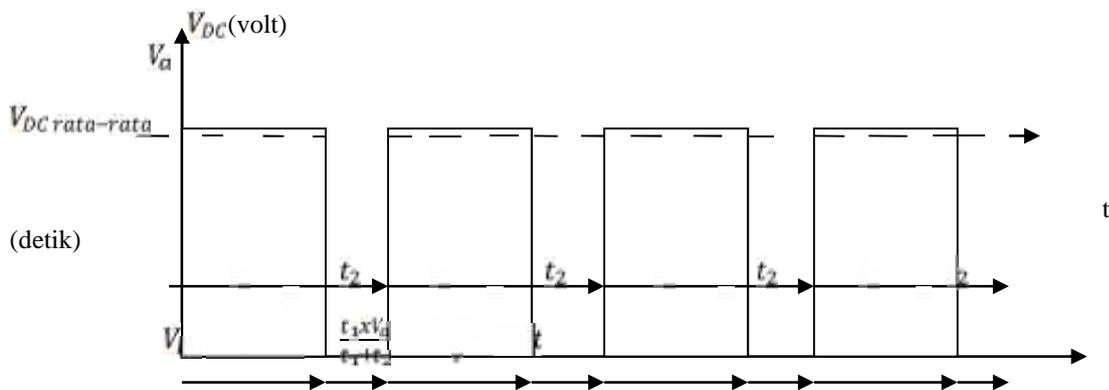
Penguat ini hanya digunakan jika diperlukan (opsional).



Gambar 5 Penguat Proporsional

V. VOLTAGE CONTROL OSCILLATOR

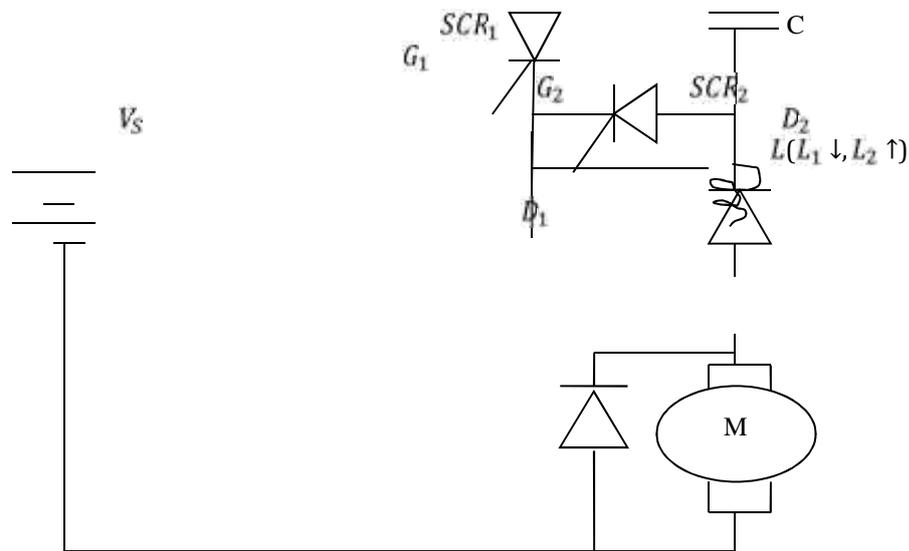
Voltage Control Oscillator (VCO) terdiri atas rangkaian pengontrol pengsaklaran (switching control circuit), rangkaian pencingang tegangan dc (dc-dc converter atau chopper) dan motor dc yang dikontrol. Rangkaian control pengsaklaran berfungsi membangkitkan pulsasi dc selama t_1 dan t_2 yang dapat ditetapkan sesuai tinggi tegangan dc rata-rata yang diharapkan dengan periode pulsasi dc $T = t_1 + t_2$. Rasio antara t_1 dan t_2 menentukan besarnya tegangan dc rata-rata tersebut, dimana t_1 lama pulsa dc berlangsung dan t_2 lama pulsa dc menghilang seperti gambar 6



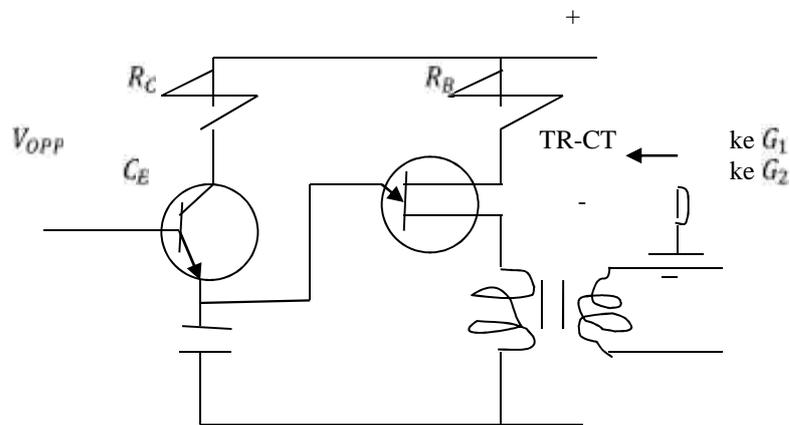
Gambar 6 Tegangan DC dalam keadaan tercingang.

Untuk menghasilkan pulsasi dc seperti gambar 6 digunakan rangkaian pencingang yang disebut rangkaian chopper atau rangkaian komutasi yang dalam tulisan ini dipilih Jones chopper seperti gambar 7





Gambar 7 Motor DC dan rangkaian Chopper
 Untuk mentrigger G_1 dan G_2 digunakan pengontrol SCR dengan UJT seperti gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Rangkaian trigger chopper

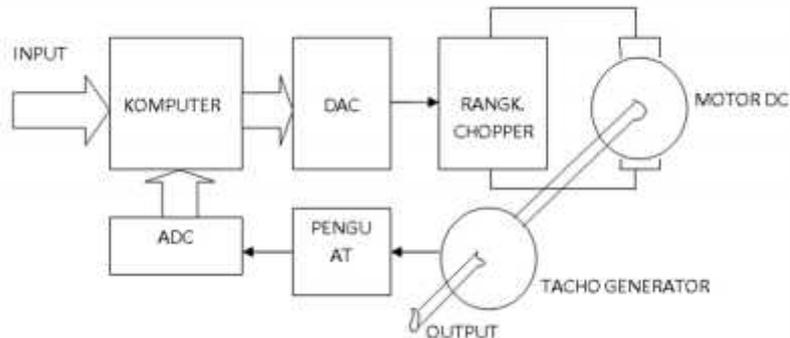
Periode pulsasi DC adalah $T = R_C + R_{CE} C_E \ln \frac{1}{1-\mu} = t_1 + t_2$. Besarnya R_{CE} merupakan fungsi linier dari tegangan basis V_{OPP} dan $\mu = \frac{R_B}{R_B + R_{TRF} - C_T}$. Jadi pengaturan waktu pulsasi t_1 dan t_2 tergantung dari besar kecilnya V_{OPP} yang tidak lain adalah perbedaan phase antara set point dengan sinyal umpan balik yang telah dikuatkan.

VI. TACHO GENERATOR

Tacho generator berfungsi sebagai sensor atau transduser yang mengkonversikan putaran menjadi tegangan sinusoida dengan frekuensi f_y . Integral dari frekuensi adalah sudut phase θ_y . Fungsi konversi dari tacho generator dianggap linier seperti penguat biasa yakni K_{TG} atau $f_y = K_{TG} \omega_y$.

METODE

Walaupun landasan teori diatas menggunakan komponen komponen elektronika yang dimaksudkan untuk menjelaskan secara rinci cara kerja suatu PLL. Akan tetapi karena computer dapat mengambil alih fungsi fungsi dari komponen: Phase Detektor, Low Pass Filter, Penguat Proporsional, dan Integrator sehingga dalam tulisan ini diperkenalkan rangkaian PLL berbasis computer seperti blokdiagram gambar 9.



Gambar 9 Blok diagram PLL berbasis computer

Komputer disini berfungsi sebagai dan mengeksekusi rumus-rumus:

- Detektor Phase: $V_{DP} = K_{DP}(\theta_x - \theta_y)$
- Integrator: $\Delta\theta = \theta(t_2) - \theta(t_1) = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} \omega dt$
- Low Pass Filter: $H_{LPF} = \frac{V_{OLPF}}{V_{OPD}} = \frac{R_2Cs+1}{(R_1+R_2)Cs+1}$
- Penguat Proporsional: $H_{PP} = \frac{V_{OPP}}{V_{OLPF}} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = K_{PP}$

A. TRANSFORMASI LAPLACE

Fungsi fungsi computer diatas dapat dinyatakan dalam tranformasi Laplace menjadi :

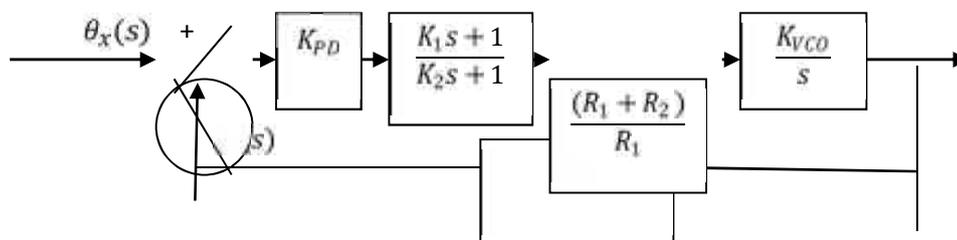
$$V_{DP}(s) = \frac{K_{DP}[\theta_x(s) - \theta_y(s)]}{s}$$

$$\Delta\theta(s) = -\frac{1}{RCs} \omega(s)$$

$$H_{LPF}(s) = \frac{R_2Cs+1}{(R_1+R_2)Cs+1}$$

$$H_{PP}(s) = \frac{(R_1+R_2)}{R_1}$$

B. FUNGSI ALIH LOOP TERTUTUP PLL



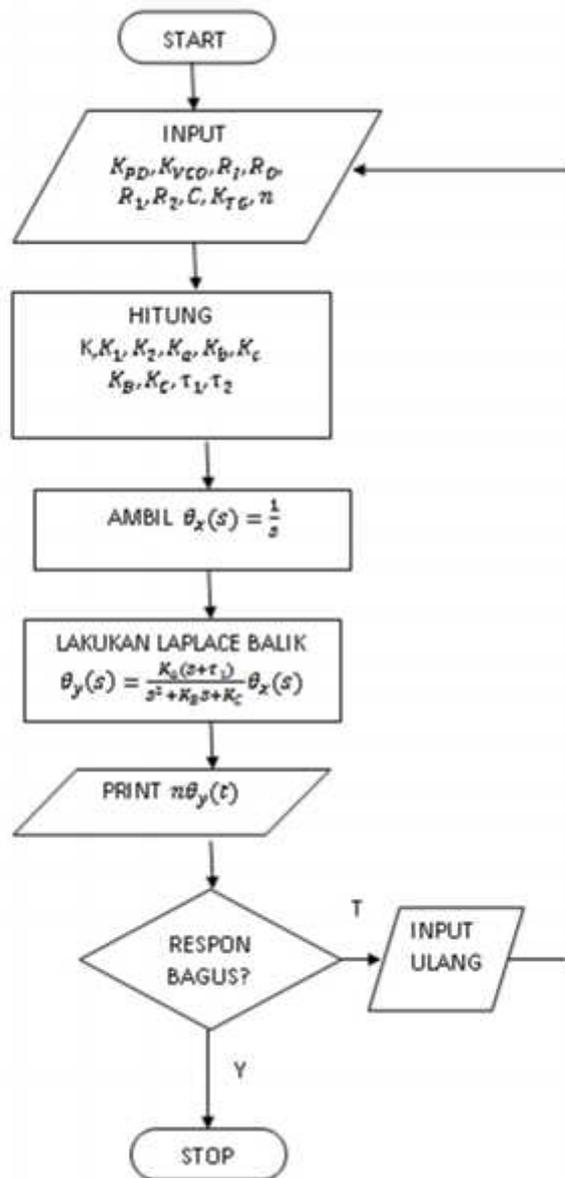
Gambar 10 Blok diagram loop tertutup

$$\frac{\theta_y(s)}{\theta_x(s)} = \frac{K(K_1s+1)}{R_1s(K_2s+1)+K_{TGC}K(K_1s+1)}; \quad K = K_{PD}K_{VCO}(R_1+R_2); \quad K_1 = R_2C; \quad K_2 = (R_1+R_2)C$$

$$\frac{\theta_y(s)}{\theta_x(s)} = \frac{K_a(s+\tau_1)}{K_b s^2 + (K_c s + \tau_1)K_c}; \quad K_a = KK_1; \quad K_b = R_1K_2; \quad K_c = K_{TGC}K_a$$

$$\frac{\theta_y(s)}{\theta_x(s)} = \frac{K_n(s+\tau_1)}{s^2+K_Bs+K_C}; K_B = \frac{K_B\tau_2+K_C}{K_D}; K_C = \frac{\tau_1K_C}{K_D}; \tau_1 = \frac{1}{K_1} \text{ dan } \tau_2 = \frac{1}{K_2}$$

C. DIAGRAM ALIR PROGRAM DAN ALGORITMA



Gambar 11 Diagram Alir Program

Algoritma dari diagram alir program diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

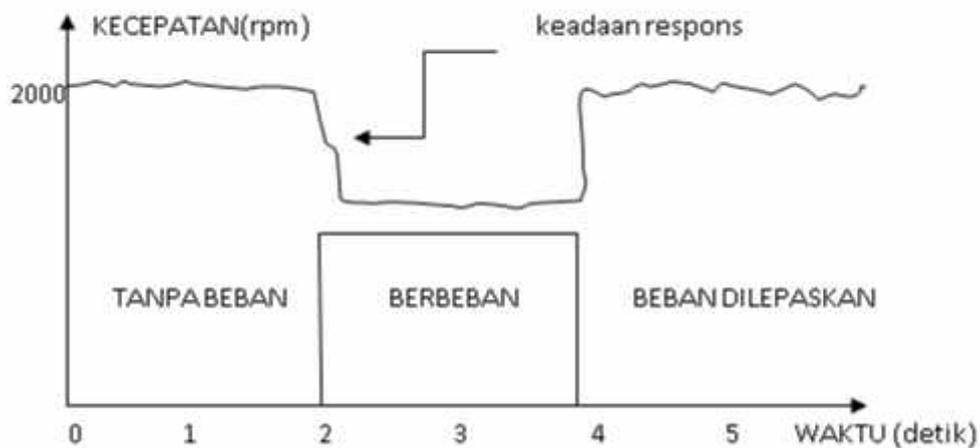
1. Masukkan seluruh parameter dan konstanta system
2. Hitung parameter gabungan
3. Ambil masukan referensi sudut phase berupa unit step
4. Lakukan Laplace balik dari keluaran motor
5. Periksa keluaran
6. Bagus? Jika Y selesai dan jika T ubah parameter system hingga ditemukan respon yang diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

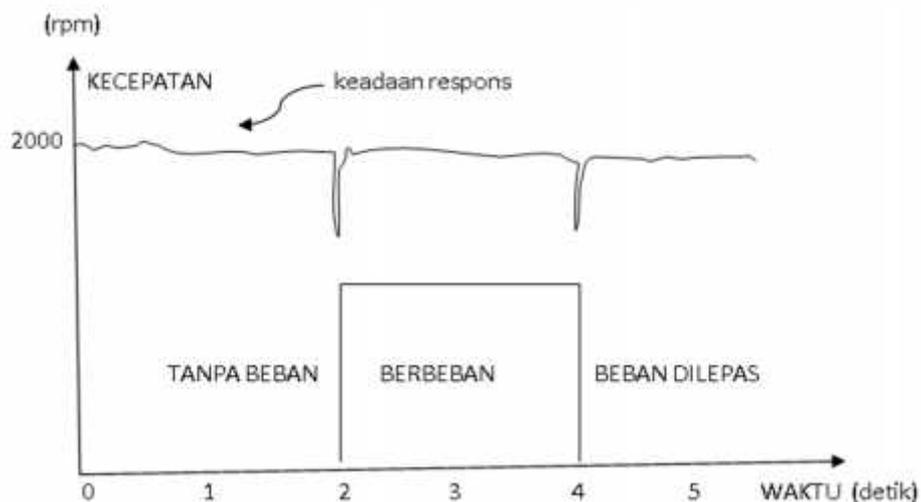
Sistem control PLL berbasis komputer dibangun untuk mensimulasi kecepatan putar motor dc dengan rating kecepatan 5000 rpm dan rating tegangan 150 volt serta rating arus 2 Ampere. Setting chopper ditetapkan 4 kHz sampai 8 kHz yang kira kira setara dengan kecepatan 1200 rpm(20 rps) sampai 2400 rpm(40 rps). Selanjutnya digunakan parameter parameter system sebagai berikut:

- Konstanta penguatan dari Phase Detektor $K_{PD} = 0,24 \text{ volt/rad}$
- Fungsi alih dari VCO $K_{VCO} = \frac{121,75 \times 10^3 \text{ rad}}{\text{volt} \cdot \text{sec}}$
- Komponen LPF $R_1 = 250 \text{ K}\Omega$ dan $R_2 = 300 \text{ K}$ dan $C = 8 \mu\text{F}$
- Komponen dari penguat proporsional $R_I = 75 \text{ K}\Omega$ dan $R_O = 150 \text{ K}\Omega$
- Konstanta penguatan dari tacho generator $K_{TG} = \frac{1 \text{ volt}}{\text{rad/derajat}}$

Selanjutnya berdasarkan diagram alir program diatas, data ini diproses dengan menggunakan bahasa pemrograman yang hasilnya seperti gambar



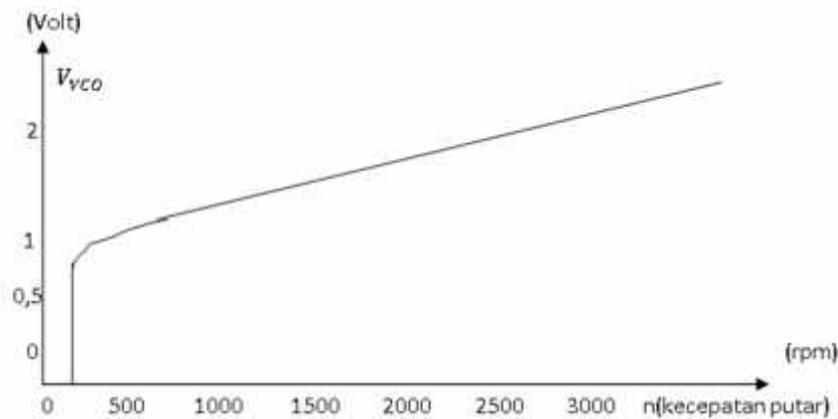
Gambar 12 Keadaan respons tanpa pengontrol PLL



Gambar 13 Keadaan respons dengan pengontrol PLL

Perhatikan bahwa sebelum diberi beban keadaan respons pada tanpa pengontrol dan dengan pengontrol menunjukkan perilaku keadaan yang sama, tetapi pada saat beban diberikan keadaan respons tanpa pengontrol turun dan kemudian naik lagi pada keadaan semula ketika beban dilepaskan. Sebaliknya dengan pengontrol hanya terjadi “sentakan sesaat” pada waktu beban diberikan dan pada waktu beban dilepaskan kembali, kecepatan pada saat tanpa beban, berbeban dan beban dilepaskan adalah tetap sama.

Selanjutnya hubungan antara tegangan input pada VCO dan kecepatan putar motor dapat dilihat pada gambar 14



Gambar 14 Tegangan VCO versus kecepatan motor dc

Pada gambar 14 terlihat bahwa pada kecepatan sekitar 200 rpm tegangan VCO yang masuk sebagai pembias Basis transistor pada rangkaian trigger berubah dari 0 volt sampai sekitar 0,75 volt. Selanjutnya perubahan tegangan bias dari 0,75 volt sampai sekitar 1,15 volt, kecepatan putar motor naik secara tajam dari 200 rpm menjadi 800 rpm. Sesudah itu dengan perubahan tegangan bias yang sedikit saja membuat kecepatan putar motor naik secara tajam. Ini berarti system control terlalu sensitif terhadap perubahan sinyal control. Hal ini disebabkan oleh pemilihan parameter system yang relatif kecil. Apabila dikehendaki system control tidak terlalu sensitif maka dapat dilakukan dengan cara mengubah parameter menjadi lebih besar sehingga kurva dapat lebih menanjak. Ini dapat dilakukan dengan memperbesar salah satu atau kombinasi dari parameter K_{PD} , K_{VCO} , K_{TG} , R_1 , R_2 , R_f , R_0 , C pada input flow chart (diagram alir program) gambar 11.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

1. Sistem control dengan metode PLL merupakan salah satu pilihan yang patut diprioritaskan pada saat mempertimbangkan memilih dari sejumlah metode yang ada. Metode PLL memiliki kemampuan untuk mencapai kriteria yang ditetapkan, kecuali yang disebabkan oleh gangguan yang tidak diperhitungkan sebelumnya.
2. Sistem control dengan metode PLL dapat diatur sensitifitas responsnya dengan memilih harga satu atau kombinasi parameter system yang ada. Memilih harga akumulasi parameter yang besar berarti menginginkan reaksi respons yang kurang sensitif atau lambat. Sebaliknya berarti menginginkan reaksi respons yang sensitif atau cepat.
3. System control dengan metode PLL hanya "bergeming" sangat sesaat pada saat tiba tiba motor diberi dan dilepaskan bebannya, selebihnya mampu kembali ke harga yang diamankan atau set-point (referensi). Motor yang dijalankan tanpa system control, responsnya tidak dapat mengikuti referensi.
4. Sistem PLL yang telah memiliki chips khusus, sebenarnya juga dapat dilakukan dengan menggunakan komputer yang bertindak sebagai chips khusus itu. Perbedaannya, computer memerlukan interface tambahan seperti ADC dan DAC serta harus deprogram, sementara dengan cips PLL hanya membutuhkan pengabelan yang benar tanpa harus deprogram.

SARAN

Sistem control dengan metode PLL tersedia banyak type antara lain: Digital PLLs, Analog PLLs, Classical Digital PLLs, All Digital PLLs, Software PLLs. Demikian juga mengenai Phase Detektorsnya, ada yang jenis Mixing, EXOR, Two state phase Detectors, Phase Frequency Detector, A Linear Clock Phase Detector, A Bang-Bang Clock Phase Detector. Para peminat dan perancang system control metode PLL disarankan untuk melakukan salah satu metode yang lain untuk kasus yang sama dengan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garth Nash, 1994, "*Phase Locked loop Design Fundamental*", Motorola Application Note- 535, Motorola Inc.
- [2] Harunur Rasyid Muhammad, 1996, "Power Electronics", Prentice Hall International Inc., New Jersey.
- [3] Moffat R., Paresh C. Sen, Younker R., Bayoumi M. Muhamed., 1979, "Digital Phase Locked Loop for Induction Motor Speed Control", Transaction on Industrial Electronics, vol.43.
- [4] Astrom, K.J., B. Wittenmark, 1994, Computer Controlled Systems : Theory and Design, Prentice Hall Inc.
- [5] Avtar Singh, 1991, 16-bit and 32-bit Microprocessors, Prentice –Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
- [6] BOLTON, W, 2005, Mechatronics, Electronic control systems in mechanical engineering, Mc Graw-Hill Book Company, Inc, New York, USA
- [7] Franklin, G. F., J. D. Powell dan M. L. Workman, 2000, Digital Control of Dynamic Systems, Addison- Wesley Pub. Co.
- [8] Harunur Rashid Muhammad, 1988, Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications, Prentice-Hall Internatinal, Inc.
- [9] Kusmayanto Kadiman, 1991, Sistem Kontrol Berbasis Komputer, Teori, perancangan dan Implementasi, laboratorium Instrumentasi dan Kontrol Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung.
- [10] Katsuhiko Ogata , 1996, Modern Control Engineering, Simon & Schuster (Asia) Pte. Ltd.
- [11] Sumanto, Drs, MA, 1995. Mesin Arus Searah. Penerbit ANDI Offset, Yogyakarta.