

SISTEM PENGAWAL MOTOR TAK LELURUS

Oleh

Siti Nor Hajar Binti Abd. Razak

**Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

**Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia**

Mac 2005

ABSTRAK

Kebiasaannya sistem operasi motor memerlukan suatu pengawal yang baik bagi memastikan hasil keluaran halaju putaran yang diperolehi adalah seperti yang dikehendaki dan sentiasa stabil. Pengawal PID (Proportional, Integral, dan Derivative) merupakan satu pengawal piawai dan digunakan secara meluas dalam proses industri. Walau bagaimanapun pengawal PID tidak dapat memberi keluaran halaju putaran yang memuaskan dan memakan masa untuk mencapai keadaan stabil apabila terdapat gangguan tork beban pada sistem operasi motor. Untuk mengatasi masalah tersebut, pengawal tak lurus telah diperkenalkan. Matlamat utama projek ini adalah untuk membina satu pengawal yang boleh mengawal sistem operasi motor yang tak lurus, mempertingkatkan lagi kecekapan halaju sudut, dan mempercepatkan sistem operasi motor bagi mencapai keadaan stabil. Oleh itu, nilai terbaik bagi masa naik, t_r dan masa penetapan, t_s yang diperolehi ialah masing-masing 0.1 saat dan 1.4 saat. Didapati nilai masa naik dan masa penetapan tersebut cepat daripada pengawal PID. Kaedah yang digunakan bagi merekabentuk pengawal tak lurus ini ialah kaedah peyelurusan suap-balik (*feedback linearization*) yang terbahagi kepada 2 bahagian iaitu kaedah peyelurusan masukan-keadaan (*input-state linearization*) dan kaedah peyelurusan masukan-keluaran (*input-output linearization*). Projek ini merangkumi proses rekabentuk dan analisis bagi pengawal tak lurus bagi motor arus terus. Semua simulasi yang dilakukan dilaksanakan dengan menggunakan perisian MATLAB.

ABSTRACT

Generally, a motor operating system needs a good controller to ensure that the resulting rotating velocity output is the same as the expected output and always is a stable condition. PID controllers (Proportional, Integral and Derivative) are the benchmark for this system and are widely used in nowadays' industries. Nevertheless, the PID controller can not give the desired rotating velocity and it is time-consuming to reach the steady-state condition if there is a load torque disturbance in the system. To overcome this problem, a nonlinear controller is introduced. The main objectives of this project are to design and build a controller with a nonlinear system, to maximize the efficiency of the angle velocity and also to improve the motor performance in term of time to reach the steady- state condition. The result for value rise time, t_r is 0.1 second and sampling time, t_s 1.4 second. This rise time and sampling time value is better than PID. The method used to design the non-linear controller is the *feedback linearization method*, from which it is divided into two parts, which are *input-state linearization* and *input-output linearization*. The project scopes are including of designing and analyzing the nonlinear controller for dc motor. All the simulation is done with the assistance of MATLAB software.

PERHARGAAN

Bismillahirrahmanirrahim...

Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya dapat saya melaksanakan dan menyelaraskan projek tahun akhir. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga saya tujukan buat semua kakitangan dan pensyarah yang telah bertukus lumus memberi panduan dan pengetahuan terutama sekali dalam kursus kejuruteraan Elektrik dan Elektronik sepanjang saya berada di Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia ini.

Setinggi penghargaan dan ucapan terima kasih buat Dr. Mohd. Rizal bin Arshad selaku penyelia projek dan pemeriksa pertama yang banyak membimbing dan memberi tunjuk ajar serta nasihat dalam proses menyelesaikan projek tahun akhir ini.

Tidak dilupakan sekalung penghargaan kepada rakan-rakan yang turut membantu secara langsung dan tidak langsung. Akhir sekali, ucapan terima kasih dan penghargaan diabadikan kepada seluruh ahli keluarga saya yang telah banyak mendorong dan memberi semangat sepanjang projek ini dijalankan. Terima kasih...

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
PENGHARGAAN	iv
SENARAI KANDUNGAN	v
SENARAI GAMBARAJAH	vii
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif	3
1.3 Skop Kajian	4
1.4 Panduan Laporan	5
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	
2.1 Sistem Lelurus	6
2.2 Sistem Tak Lelurus	7
2.2.1 Ketidaglelurusan	7
2.2.2 Sistem Kawalan Tak Lelurus	8
2.3 Perbandingan Antara Lelurus dan Tak Lelurus	
Sistem Kawalan	8
2.4 Sistem Kawalan	10
2.5 Sistem Pengawal PID	12
2.6 Motor Arus Terus	13
2.6.1 Ciri-ciri atau Kriteria Asas Bagi Motor Arus Terus	13
2.6.2 Motor Arus Terus Sesiri	16
2.6.3 Motor Arus Terus Pirau	17
2.7 Simulasi (MATLAB)	18
2.7.1 Penggunaan Simulasi	19

BAB 3	REKABENTUK SISTEM	
	3.1 Pengenalan	21
	3.2 Pelelurusan Suap-Balik	23
	3.2.1 Pelelurusan Keadaan-Masukan	24
	3.2.2 Pelelurusan Masukan-Keluaran	27
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
	4.1 Pengenalan	29
	4.2 Nilai Parameter Yang Digunakan	31
	4.3 Motor Arus Terus Tanpa Pengawal	31
	4.4 Motor Arus Terus Dengan Pengawal PID	36
	4.5 Motor Arus Terus Dengan Pengawal Tak Lelurus	38
	4.5.1 Motor Arus Terus Teruja Berasingan	38
	4.5.2 Motor Arus Terus Sesiri	41
	4.5.3 Motor Arus Terus Pirau	43
	4.6 Perbandingan Antara Motor Arus Terus Tanpa Pengawal, Pengawal Tak Lelurus Dan Pengawal PID	46
	4.5 Kesimpulan	47
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN LANJUTAN	
	5.1 Kesimpulan	48
	5.2 Masalah Yang Dihadapi	49
	5.3 Cadangan	50

RUJUKAN

LAMPIRAN

SENARAI GAMBARAJAH

RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1a	Sistem Lelurus	8
2.1b	Sistem Tak Lelurus	8
2.2	Gambarajah skematik pengawal PID	10
2.3	Pengawal PID berfungsi pada sistem gelung tertutup	11
2.4	Motor arus terus teruja berasingan yang telah dipermudah	13
2.5	Gambarajah litar bagi motor arus terus teruja berasingan	13
2.6	Graf ciri – ciri kemagnetan motor	15
2.7	Gambarajah skematik bagi motor arus terus sesiri	16
2.8	Gambarajah skematik bagi motor arus terus pirau	17
2.9	Tetingkap Arahan MATLAB	18
2.10	Tetingkap bagi ' <i>Simulink Library Browser</i> '	20
3.1	Carta Alir	22
3.2	Perlelurusan keadaan-masukan	27
4.1(a)	Gambarajah blok motor arus terus	32
4.1(b)	Gambarajah blok bagi motor arus terus tanpa pengawal	32
4.1(c)	Isyarat masukan rujukan	33
4.1(d)	Isyarat keluaran rujukan	33
4.2(a)	Gambarajah blok bagi motor arus terus tanpa pengawal yang dikenakan tork beban	34
4.2(b)	Isyarat keluaran motor arus terus tanpa pengawal pada $T_l=30\text{Nm}$	35
4.2(c)	Isyarat keluaran motor arus terus tanpa pengawal pada $T_l=100\text{Nm}$	35
4.3(a)	Gambarajah blok bagi motor arus terus dengan pengawal PID	36

4.3(b)	Isyarat keluaran motor dengan pengawal PID pada $T_I=30\text{Nm}$	37
4.3(c)	Isyarat keluaran motor dengan pengawal PID pada $T_I=100\text{Nm}$	38
4.4(a)	Gambarajah blok bagi motor arus terus di kawalan angker dengan pengawal tak lurus	39
4.4(b)	Isyarat keluaran motor arus terus teruja berasingan dengan pengawal tak lurus pada $T_I=30\text{Nm}$	40
4.4(c)	Isyarat keluaran motor arus terus teruja berasingan dengan pengawal tak lurus pada $T_I=100\text{Nm}$	40
4.5(a)	Gambarajah blok bagi motor arus terus sesiri dengan pengawal tak lurus	41
4.5(b)	Isyarat keluaran motor arus terus sesiri dengan pengawal tak lurus pada $T_I=30\text{Nm}$	42
4.5(c)	Isyarat keluaran motor arus terus sesiri dengan pengawal tak lurus pada $T_I=100\text{Nm}$	43
4.6(a)	Gambarajah blok bagi motor arus terus pirau dengan pengawal tak lurus	44
4.6(b)	Isyarat keluaran motor arus terus pirau dengan pengawal tak lurus pada $T_I=30\text{Nm}$	45
4.6(c)	Isyarat keluaran motor arus terus pirau dengan pengawal tak lurus pada $T_I=100\text{Nm}$	45
4.7	Perbandingan isyarat keluaran motor tanpa pengawal, pengawal PID dan pengawal tak lurus pada $T_I=30\text{Nm}$	46
4.9	Perbandingan isyarat keluaran motor tanpa pengawal, pengawal PID dan pengawal tak lurus pada $T_I=100\text{Nm}$	47

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Peningkatan penggunaan teknologi berkomputer dan digital telah mencetuskan pelbagai penemuan yang meningkatkan prestasi kawalan motor arus terus. Namun kecekapan yang tinggi ini hanyalah praktikal pada peringkat awal sahaja. Apabila wujud perubahan parameter dengan peningkatan masa, kecekapannya mula berkurang. Dalam dunia industri, sistem kawalan amat dipentingkan. Ini untuk memastikan keluaran halaju yang terhasil adalah seperti piawainya dan stabil.

Oleh itu, penyelidikan terhadap pengawal tak lurus ini dilakukan supaya dapat digunakan dengan meluas dalam bidang sistem kawalan. Kajian dan penggunaan pengawal PID, PI dan PD semata-mata tidak dapat mencapai tujuan yang diinginkan kerana pengawal ini mempunyai kelemahan untuk memberi keluaran halaju yang memuaskan. Ini kerana, perubahan parameter motor telah memberikan masalah kepada sistem kawalan terdapat gangguan tork pada motor dan hasilan adalah terhad, iaitu gagal menghasilkan keluaran halaju sudut yang memuaskan.

Dalam masalah ini, kawalan tak lurus telah digunakan. Penggunaan teori matematik telah membantu ke arah penghasilan kawalan tak lurus ini. Kaedah yang digunakan untuk merekabentuk pengawal tak lurus ini ialah kaedah pelelurusan suap-balik (*feedback linearization*) yang terbahagi kepada 2 iaitu kaedah pelelurusan masukan-keadaan (*input-state linearization*) dan kaedah pelelurusan masukan-keluaran (*input-output linearization*).

Oleh itu, projek ini adalah untuk membina satu pengawal yang tak lurus dimana parameternya berubah dengan perkadaran masa. Sistem pengawal ini dapat disesuaikan dengan perubahan parameter bagi meningkatkan kecekapan halaju putaran yang stabil.

1.2 Objektif dan Skop Kajian

Objektif utama pelaksanaan projek ini adalah:

1. Memahami perbezaan antara pengawal PID dan pengawal tak lurus.
2. Merekabentuk dan analisis sistem pengawal motor tak lurus menggunakan simulasi.
3. Melaksanakan simulasi ke atas sistem pengawal motor tak lurus bagi motor arus terus dengan menggunakan perisian MATLAB.

1.3 Skop Kajian

Dalam projek ini, pengawal motor tak lurus ini direkabentuk adalah untuk mendapatkan sistem kawalan yang stabil walaupun dikenakan dengan nilai tork beban yang berubah-ubah. Kaedah yang digunakan bagi merekabentuk sistem kawalan ini ialah kaedah pelelurusan suap-balik (*feedback linearization*) yang terbahagi kepada dua iaitu pelelurusan keadaan-masuk (*input-state linearization*) dan pelelurusan masukan-keluaran (*input-output linearization*). Hasil yang diperolehi mestilah dalam keadaan stabil bagi menghasilkan sambutan halaju dan penolakan gangguan yang memenuhi kehendak. Perisian MATLAB telah digunakan supaya sambutan halaju bagi motor arus terus dapat dipaparkan dalam bentuk graf dan grafik. Berdasarkan paparan simulasi, beberapa ubahsuai ke atas nilai gandaan kawalan dijalankan bagi mendapatkan sambutan halaju bagi dc motor yang optimum. Selain itu, pengawal tak lurus ini juga akan dibandingkan dengan pengawal PID.

1.4 Panduan Laporan

Secara keseluruhannya, laporan projek ini terbahagi kepada 5 bab. Dalam setiap bab ini akan menerangkan dengan teliti setiap topik yang dibincangkan.

Bab 1: Pengenalan

Dalam bab ini menyatakan secara umum latar belakang projek, objektif serta panduan bagi projek ini.

Bab 2: Kajian Ilmiah

Bab ini menjelaskan definisi seterusnya terhadap sistem lurus, sistem tak lurus, sistem kawalan, motor arus terus teruja berasingan, motor arus terus sesiri, motor arus terus pirau, sistem pengawal PID dan juga mengenai perisian yang digunakan iaitu simulasi menggunakan perisian MATLAB.

Bab 3: Rekabentuk Sistem

Dalam bab yang ketiga ini menerangkan kaedah yang digunakan dalam pengawal tak lurus bagi satu motor arus terus. Kaedah yang digunakan bagi merekabentuk pengawal tak lurus ini ialah kaedah pelepasan suap-balik (*feedback linearization*) yang terbahagi kepada 2 iaitu kaedah pelepasan masukan-keadaan (*input-state linearization*) dan kaedah pelepasan masukan-keluaran (*input-output linearization*).

Bab 4: Keputusan dan Perbincangan

Bab ini menunjukkan data yang digunakan bagi merekabentuk pengawal tak lurus dan bab ini juga akan memberikan keputusan simulasi dan perbincangan bagi pengawal tak lurus ini terhadap motor arus terus. Di sini juga menerangkan perbezaan antara pengawal tak lurus dengan pengawal PID.

Bab 5: Kesimpulan dan Cadangan Lanjutan

Bab ini akan memberikan kesimpulan keseluruhan, masalah dan cadangan untuk membaiki sistem kawalan ini.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Sistem Lelurus

Teori kawalan lurus ini diaplikasikan pada sistem kawalan '*linear time-invariant (LTI)*' boleh didapati di dalam rujukan (Norman S. Nise, 1994), dan persamaan bagi sistem lurus boleh ditulis dalam bentuk

$$\dot{x} = Ax$$

2.2 Sistem Motor Tak Lurus

Sistem fizikal adalah berdasarkan sistem motor yang tak lurus. Serta hampir kesemua sistem kawalan adalah berdasarkan sistem tak lurus hingga sesuatu tahap. Sistem ini dapat dibezakan melalui perbandingan persamaan. Tetapi jarak operasi sistem kawalan ini kecil dan jika ketaklurusan yang terlibat adalah lancar sistem kawalan tersebut boleh dikategorikan sebagai sistem lurus dan ia melibatkan persamaan yang berbeza daripada sistem tak lurus.

2.2.1 Ketidakeurusan

Beberapa definisi ketidakeurusan boleh didapati di dalam rujukan (Norman S. Nise, 1994) di mana ketidakeurusan dikategorikan atau didefinisikan sebagai terwujud dan buatan. Ketaklurusan terwujud biasanya melibatkan perkakasan sistem dan pergerakan. Contohnya ialah daya dalam pergerakan berpusing dan daya geseran antara permukaan yang bersentuh. Biasanya ketaklurusan ini mempunyai kesan sampingan yang tidak diperlukan dan sistem kawalan yang dibuat perlu melibatkan pertimbangan mengenai kesan sampingan ini. Ketaklurusan buatan pula adalah diperkenalkan oleh pereka sendiri. Prinsip sistem tak lurus adalah seperti hukum kawalan adaptif (*adaptive control law*) dan '*bang-bang optimal control law*' adalah contoh bagi ketaklurusan buatan.

Ketaklurusan juga boleh diterangkan melalui pengiraan matematik seperti berterusan dan tak berterusan. Ketaklurusan yang tak berterusan (*discontinuous nonlinearities*) dikenali sebagai ketaklurusan keras (*hard nonlinearities*). Ia melibatkan seperti histerisis, kerenggangan ataupun '*stiction*' dan biasa dijumpai pada sistem kawalan jenis ini. Keduanya melibatkan jarak operasi yang kecil dan boleh dikategorikan sebagai tak lurus atau lurus berdasarkan magnitud ketaklurusan keras (*hard nonlinearities*) serta kesannya pada prestasi sistem kawalan tersebut.

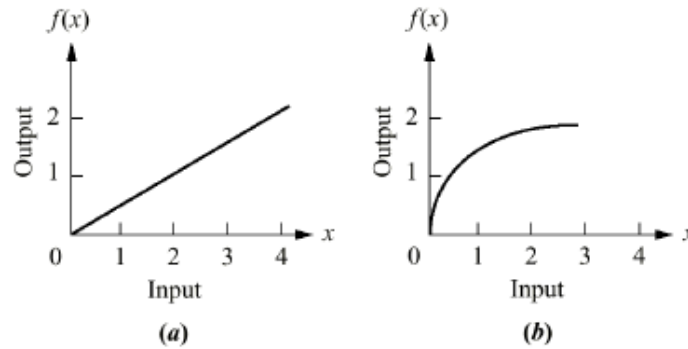
2.2.2 Sistem Kawalan Tak Lelurus

Dalam analisis, katakan satu sistem suap-balik tak lurus perlu direkabentuk, dan dengan itu kita perlu mengenalpasti ciri-ciri kelakuan sistem tersebut. Apabila diberi satu loji atau motor yang tak lurus yang perlu dikawal dan beberapa butir-butir kelakuan sistem suap-balik, tugas yang perlu dilakukan adalah membina satu pengawal supaya sistem suap-balik dapat mencapai ciri-ciri yang dikehendaki. Sistem fizikal biasanya tak lurus secara semulajadi. Oleh yang demikian, semua sistem kawalan adalah tak lurus dalam had-had yang tertentu yang boleh didapati di dalam rujukan (Slotine, J.-J.E dan Weiping, L., 1991). Sistem kawalan tak lurus biasanya boleh diterangkan oleh persamaan pembezaan tak lurus. Jika julat operasi sistem kawalan tersebut kecil dan jika ketidaklurusan kecil, maka sistem kawalan boleh diterangkan oleh satu set persamaan pembezaan yang lurus. Bagaimanapun, sesetengah sistem, ketidaklurusan adalah besar untuk diabaikan. Sekiranya diabaikan, sambutan sistem yang diperolehi adalah tidak berguna. Contohnya geseran coulomb diantara dua permukaan yang bersentuhan dan permukaan yang bersentuhan dan penumpuan medan magnet dalam mesin elektrik.

2.3 Perbandingan Antara Lurus Dan Tak Lurus Sistem Kawalan

Pengelasan dibuat melalui kaedah penganggaran dan rekabentuk. Ini boleh disimpulkan bahawa sistem lurus tidak wujud dalam aplikasi kerana kesemua sistem fizikal adalah dikelaskan dalam sistem tak lurus di dalam rujukan (Norman S. Nise, 1994). Suap-balik sistem lurus model yang dibuat berdasarkan analisis dan rekabentuk. Bila magnitud isyarat dalam sistem kawalan dihadkan pada jarak dimana komponen sistem mengandungi ciri lurus ataupun prinsip tindihan, sistem ini ialah lurus. Tetapi apabila magnitud isyarat melebihi jarak operasi sistem lurus bergantung pada ketaklurusan sistem tersebut tidak lagi dianggap sistem lurus. Sebagai contoh, penguat yang digunakan dalam sistem kawalan dan mengandungi kesan ketepuan apabila isyarat kemasukan menjadi besar, daya geseran ketaklurusan dan sebagainya. Selalunya ciri ketaklurusan

diperkenalkan pada sistem kawalan untuk membaiki prestasinya. Sebagai contoh untuk mendapatkan masa kawalan yang minimum pada sistem kawalan yang digunakan pada sistem kawalan kapal terbang dan peluru berpandu. Dalam sistem ini jet akan dipasang pada bahagian tepi untuk memberikan tindakbalas tork bagi kawalan ketinggian. Jet ini akan dikawal melalui cara udara akan diberikan pada masa yang tertentu untuk mendapatkan ketinggian yang dikehendaki.



Rajah 2.1 **a. Sistem Lelurus**
 b. Sistem Tak Lelurus

Bagi sistem lurus, penganggaran dan teknik graf adalah parameter bagi tujuan rekabentuk dan anggaran. Biasanya sukar untuk mendapatkan pengiraan matematik bagi sistem tak lurus serta tiada kaedah khusus untuk menyelesaikan sistem tak lurus. Adalah lebih mudah dalam aplikasi sistem kawalan dengan membuat sistem kawalan berdasarkan sistem lurus dengan mengabaikan ketaklurusan. Kemudian sistem tersebut dimasukkan pada sistem tak lurus untuk dinilai dan direka semula oleh penyelakuan komputer.

2.4 Sistem Kawalan

Sistem kawalan adalah satu sistem yang berupaya mengawal suatu sistem loji supaya ia berada pada keadaan atau nilai-nilai tertentu yang diperlukan. Ia juga merupakan suatu elemen penting dalam menghasilkan produk yang berkualiti, ekonomi dan memenuhi kehendak. Oleh sebab itu, sistem kawalan yang mantap dan stabil perlu direkabentuk. Sistem kawalan yang mantap seharusnya mempunyai ciri-ciri seperti masa naik, masa keadaan mantap dan lengahan yang lebih pantas, kurang lanjakan maksima dan juga tidak mempunyai ralat keadaan mantap, ini boleh didapati di dalam rujukan (Norman S. Nise, 1994).

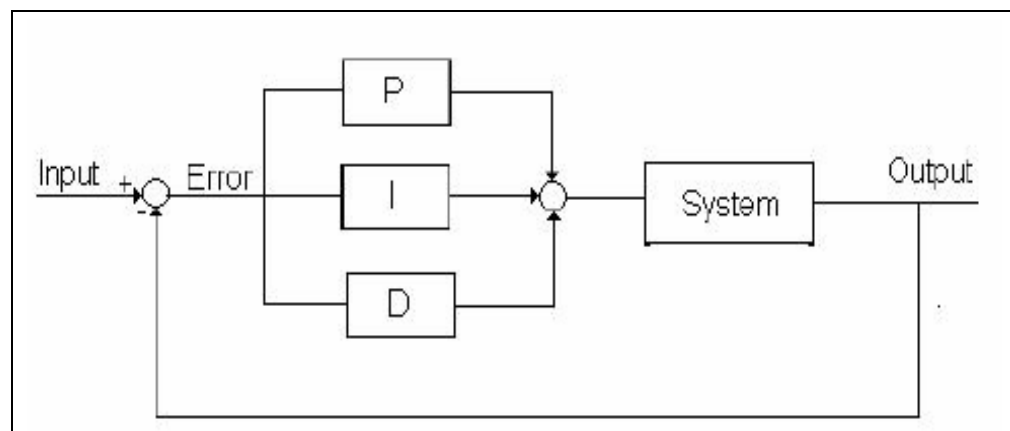
Pendekatan terhadap sistem kawalan adalah berbeza bagi loji lurus dan loji tak lurus. Sistem kawalan untuk loji lurus biasanya mudah direkabentuk. Sistem kawalan PI dan PID biasa berupaya mengawal loji lurus dengan baik sekali. Bagi teknik-teknik yang diperkenalkan untuk menghasilkan sistem kawalan PI dan PID biasa. Diantara teknik-teknik yang selalu digunakan adalah seperti teknik londar punca, teknik Ragazzini dan teknik Ziegler-Nichols. Walaubagaimanapun, teknik yang paling popular di kalangan perekabentuk sistem kawalan ialah Ziegler-Nichols. Ini adalah kerana teknik ini mudah diimplemenkan, ringkas dan cepat. Namun begitu, teknik tersebut hanyalah praktikal untuk sistem kawalan loji lurus sahaja. Bagi loji tak lurus pula berbeza dengan loji lurus. Loji tidak lurus terlalu sensitif, jesteru itu ia agak sukar direkabentuk dengan teknik-teknik yang digunakan untuk loji lurus.

Kesukaran dalam merekabentuk sistem kawalan PI dan PID biasa untuk loji tak lurus telah menarik minat ramai pekaji-pekaji dalam bidang kejuruteraan kawalan untuk mencari teknik yang mudah dan praktikal untuk merekabentuk sistem kawalan untuk loji tidak lurus. Jesteru itu, satu sistem kawalan yang praktikal dan efisien telah diperkenalkan iaitu sistem kawalan tidak lurus. Sistem kawalan ini mudah diimplementasikan dan ia juga sangat berguna bagi sistem yang bersangkutan dengan

sistem digital. Sistem kawalan tidak linear ini berupaya mengawal loji tidak lurus dengan baik sekali walaupun sistem tersebut dipengaruhi oleh gangguan bising.

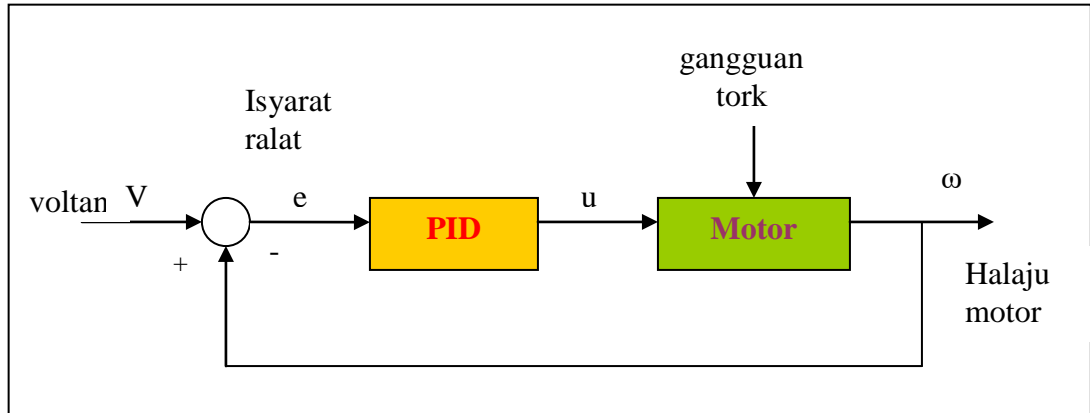
2.5 Sistem Pengawal PID

Sistem pengawal PID merupakan antara pengawal yang boleh digunakan bagi menghasilkan keluaran yang dikehendaki. Pengawal PID terbina daripada cantuman pekali-pekali tetap yang dikira iaitu gabungan tindakan kadaran (P), kamiran (I), dan terbitan (D), ini dapat di rujuk dalam rujukan (Norman S. Nise, 1994).



Rajah 2.2: Gambarajah skematik pengawal PID

Pertimbangkan suatu sistem kawalan dengan suap-balik uniti seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 2.3 di bawah. Sebagai permulaan, kita lihat bagaimana pengawal PID berfungsi pada sistem gelung tertutup seperti Rajah 2.3 di bawah. Pembolehubah (e) mewakili isyarat ralat, iaitu perbezaan antara nilai masukan yang dikehendaki dengan nilai keluaran yang sebenar (ω). Isyarat ralat ini akan dihantar kepada pengawal PID, dan pengawal ini akan mengira pembezaan dan kamiran syarat ralat ini.



Rajah 2.3: Pengawal PID berfungsi pada sistem gelung tertutup

Isyarat (u) yang baru keluar daripada pengawal adalah berkadar dengan gandaan kadaran (K_p) didarab magnitud isyarat ralat, tambah gandaan kamiran (K_i) didarab kamiran bagi isyarat ralat tersebut, ditambah pula gandaan terbitan (K_d) didarab dengan pembezaan ralat tersebut, atau diterangkan melalui formula berikut:

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.3)$$

Isyarat ini akan dihantar ke motor ataupun loji dan keluaran yang baru (ω) akan diperolehi. Nilai keluaran yang baru ini akan dihantar semula kepada sensor untuk mengenalpasti isyarat ralat yang baru (e). Pengawal akan mengambil nilai baru ini dan mengira pembezaan (*derivative*) dan kamiran (*integral*) sekali lagi. Proses ini akan terus berulang-ulang, ini dapat dilihat dalam rujukan (Messner, B. and Tillbury, D., 1996). Untuk mendapatkan sistem yang baik, ia mestilah memenuhi kriteria-kriteria tertentu seperti:

- ✚ Masa naik, t_r dan masa penetapan, t_s yang cepat
- ✚ Lajakan yang tidak terlalu tinggi (*overshoot*) atau terlalu rendah (*undershoot*)
- ✚ Tiada ralat keadaan mantap

Oleh itu, ketiga-tiga gandaan (K_p , K_i dan K_d) akan diubahsuai agar mendapat sistem yang memenuhi kriteria tadi. Tetapi untuk mengetahui parameter yang perlu diubah dan bagaimana ia harus diubah, analisis-analisis tertentu perlu dilakukan terlebih dahulu.

2.6 Motor Arus Terus

Motor arus terus mempunyai ciri-ciri boleh ubah dan digunakan secara meluas terutamanya pada pemacu boleh ubah. Motor arus terus boleh menghasilkan daya kilas permulaan yang tinggi dan ia juga boleh mengawal kelajuan dalam skala yang besar atau luas. Kaedah mengawal kelajuan biasanya lebih mudah dan ekonomi berbanding pemacu arus ulang alik. Motor arus terus memainkan peranan penting dalam industri pemacu moden. Kedua-dua jenis pemacu sesiri dan penggalak berasingan biasanya digunakan pada pemacu boleh ubah. Dengan kelebihan yang ada dan penghasilan kuasa, teknik kawalan, komputer mikro, pemacu motor ulang alik menjadi saingan yang sengit kepada pemacu motor arus terus. Walaupun keperluan masa depan ke arah atau cenderung kepada pemacu arus ulang alik, pemacu arus terus banyak digunakan dalam banyak industri pada masa kini, ini dapat dilihat dalam rujukan (H. Rashid, M., 1993).

2.6.1 Ciri-ciri atau kriteria asas bagi motor arus terus

Rajah 2.4 menunjukkan gambarajah bagi motor arus terus yang teruja berasingan. Bagi memudahkan kita mengkaji sesuatu sistem, kita hendaklah meramalkan sistem fizikal daripada keperluan dan kemudian mewakili sistem fizikal dengan gambarajah skematik. Gambarajah skematik tersebut mestilah diwakili dengan model matematik yang dipermudahkan supaya boleh dianalisa, ini diambil daripada rujukan (H. Rashid, M., 1993).

Dimana:

Halaju motor= ω [rad/s]

Nisbah lemati bagi sistem mekanikal= B [N.m/rad/s]

Momen inertia bagi pemutar= J [kgm²/s²]

Pemalar voltan= K_v [V/A-rad/s]

Pemalar tork= $K_t = K_e$

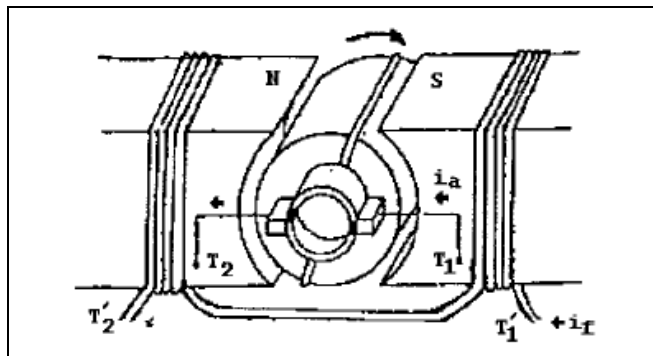
Kearuhan angker= L_a [H]

Kearuhan medan= L_f [H]

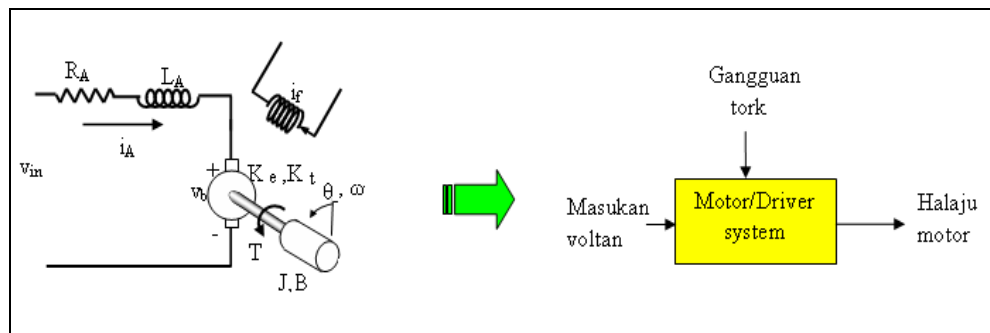
Rintangan angker= R_a [Ω]

Rintangan medan= R_f [Ω]

Arus awal angker= i_{a0} [A]



Rajah 2.4: Motor arus terus teruja berasingan yang telah dipermudah



Rajah 2.5: Gambarajah litar bagi motor arus terus teruja berasingan

Persamaan menghuraikan ciri – ciri bagi motor teruja berasingan boleh dikenalpasti daripada Rajah 2.5. Tork bagi motor, T dihubungkan dengan arus anker oleh faktor pemalar, K_t . Emf balikan, e , dihubungkan dengan halaju putaran oleh persamaan di bawah:

$$T = K_t i \quad (2.4)$$

$$e = K_e \omega \quad (2.5)$$

Dalam unit SI, K_t (pemalar anker) adalah berkadaran dengan K_e (pemalar motor). Daripada rajah 2.5, persamaan berikut boleh ditulis dengan menggunakan Hukum Newton digabungkan dengan Hukum Kirrchoff:

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = K_t i \quad (2.6)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_e \omega \quad (2.7)$$

Dengan melakukan penjelmaan Laplace, persamaan 2.6 dan 2.7 di atas boleh dinyatakan dalam sebutan s

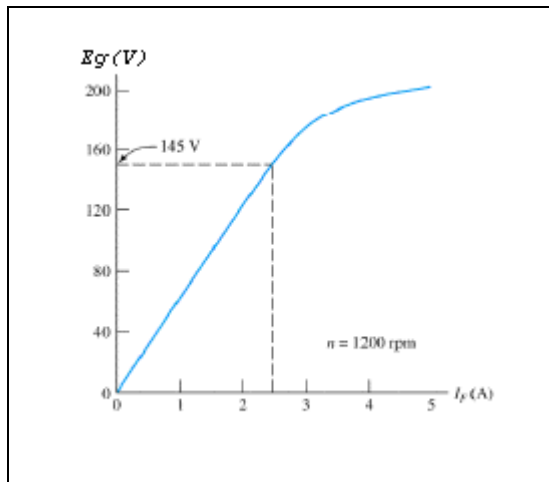
$$(Js + B)\omega(s) = K_t I(s) \quad (2.8)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - K_e \omega(s) \quad (2.9)$$

Dengan menghilangkan $\omega(s)$, kita boleh mendapat fungsi pindah gelung terbuka, dimana halaju putaran merupakan keluaran manakala masukannya adalah voltan.

$$\frac{(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js + B)(Ls + K) K} \quad (2.10)$$

Pertalian di antara arus medan dan arus belakang emf adalah tak lurus disebabkan oleh ketepuan medan magnet. Pertaliannya, ditunjukkan dalam Rajah 2.6, dikenali sebagai ciri – ciri kemagnetan motor.



Rajah 2.6: Graf ciri – ciri kemagnetan motor

2.62 Motor arus terus sesiri

Gambarajah skematik untuk motor arus terus sesiri ditunjukkan pada Rajah 2.7 di bawah. Motor arus terus sesiri adalah agak berbeza jika dibandingkan dengan motor pirau dan majmuk. Ini disebabkan fluks dihasilkan secara berasingan oleh arus sesiri yang mengalir melalui angker. Untuk menerbitkan persamaan bagi daya elektromotif (emf) dan persamaan tork bagi motor arus terus sesiri adalah agak mudah jika kita menganggap hubungan antara fluks dan arus angker dengan menganggap bahawa motor beroperasi pada keadaan linear dalam lengkung kemagnetannya, ini dapat dirujuk dalam rujukan (Sen P.C., April 1987).

Maka persamaan bagi motor arus terus sesiri ialah:

$$J \frac{d\omega}{dt} = K_t K_v i^2 - B \omega - T_L \quad (2.11a)$$

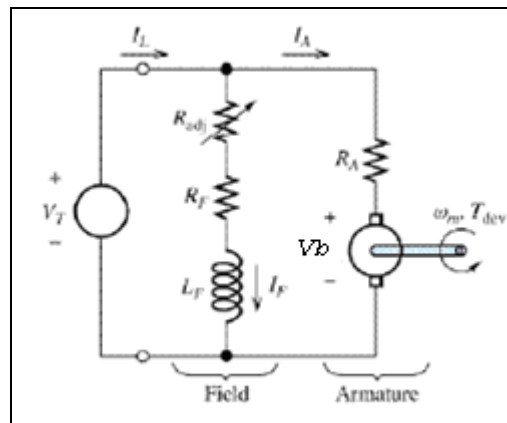
$$L \frac{di}{dt} = V - K_t K_v i - R i \quad (2.11b)$$

Dimana $L = L_f + L_a$

bersandar pada litar angker, ini dapat dirujuk dalam rujukan (Sen P.C., April 1987).
 Persamaan bagi motor arus terus pirau ini ialah

$$J \frac{d}{dt} \quad K_v K_t i_f i_a \quad B \quad T_L \quad (2.12a)$$

$$L \frac{di_a}{dt} \quad V \quad R_a i_a \quad (2.12b)$$



Rajah 2.8: Gambarajah skematik bagi motor arus terus pirau

2.7 Simulasi (MATLAB)

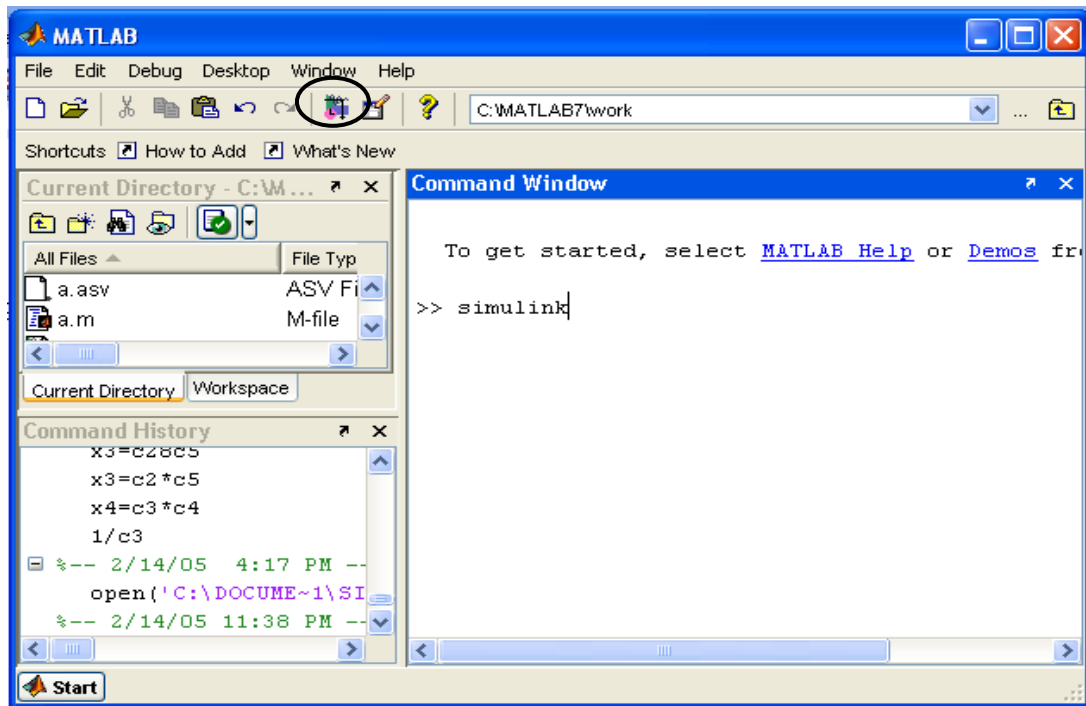
Sambutan sistem kawalan motor mestilah dalam keadaan stabil bagi menghasilkan sambutan halaju dan penolakan gangguan yang memenuhi kehendak. Dalam projek ini, sistem kawalan yang digunakan adalah pengawal tak lelerus. Kesan kawalan itu akan lebih mudah dilihat apabila ianya dipaparkan secara grafik. Oleh itu, perisian MATLAB telah digunakan supaya sambutan halaju bagi motor arus terus dapat dipaparkan dalam bentuk graf daripada nilai fungsi pindah sistem yang diperolehi daripada pengiraan. Berdasarkan

paparan simulasi, beberapa ubahsuai ke atas nilai gandaan kawalan dijalankan bagi mendapatkan sambutan halaju bagi dc motor yang optimum.

2.7.1 Penggunaan Simulasi

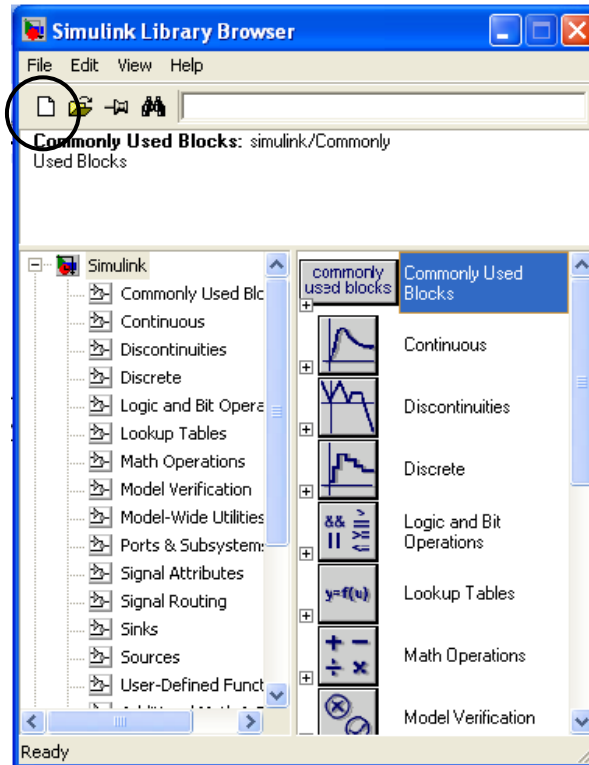
Berikut menunjukkan ringkasan langkah-langkah menggunakan Simulasi yang terdapat dalam rujukan (Messner, B. and Tillbury, D., 1996):

1. Bagi merekabentuk model simulasi yang baru, kita hendaklah menaip 'Simulink' di dalam Tetingkap Arahan MATLAB ataupun menekan butang 'Simulink Library Browser' yang terdapat pada blok perkakas yang ditunjukkan di dalam bulatan pada Rajah 2.9 di bawah.



Rajah 2.9 : Tetingkap Arahan MATLAB

2. Selepas kita menekan butang tersebut, Matlab akan memaparkan '*Simulink Library Browser*' seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.10. Bagi merekabentuk model baru, kita hendaklah menekan butang '*create a new model*' yang terdapat pada blok perkakas yang ditunjukkan di dalam bulatan pada Rajah 2.10.



Rajah 2.10: Tetingkap bagi

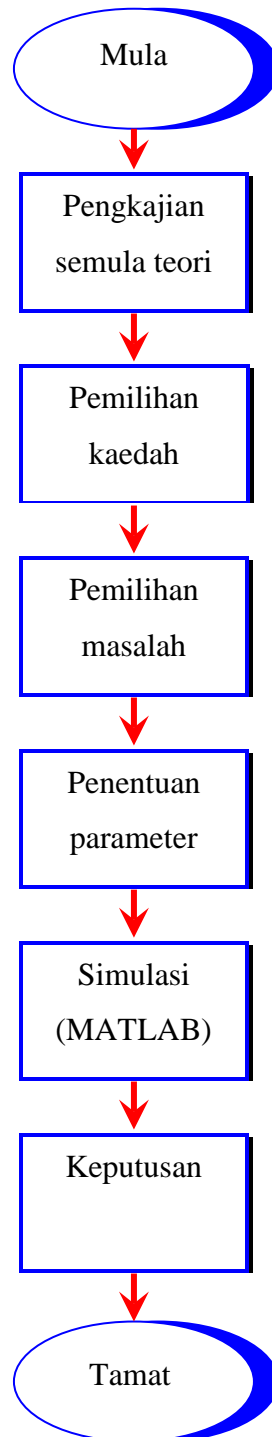
BAB 3

REKABENTUK SISTEM

3.1 Pengenalan

Motor arus terus dapat digunakan dalam pelbagai aplikasi. Dalam beberapa tahun kebelakangan ini, banyak kajian telah dilakukan tentang kepentingan teori ketidaklinearan pengawalan. Kelebihan kajian tersebut adalah keupayaan pengawalan dalam skala yang besar. Oleh itu, daripada carta alir dalam Rajah 3.1 dimana dalam merekabentuk sistem kawalan, beberapa langkah telah diambil iaitu:

- ✚ dimana bagi memulakan rekabentuk sesuatu sistem kawalan, pengajian semula teori perlu dilakukan agar rekabentuk pengawal tak le lurus yang hendak dibina tidak terpesong daripada teori.
- ✚ kaedah yang dipilih bagi merekabentuk pengawal tak le lurus ini ialah kaedah suap-balik pe le lurusan (*feedback linearization*) yang terbahagi kepada 2 bahagian iaitu masukan-keadaan pe le lurusan (*input-state linearization*) dan masukan-keluran pe lurusan (*input-output linearization*).
- ✚ pemilihan masalah ialah pemilihan motor iaitu motor yang digunakan bagi masalah ini ialah motor arus terus dimana terdapat gangguan tork beban pada sistem operasi tersebut membuatkan sistem tersebut tak le lurus dan menyebabkan sistem kurang cekap dan mempunyai ralat keadaan mantap.
- ✚ parameter akan ditentukan dahulu sebelum sistem kawalan motor ini direkabentuk dimana parameter bagi motor arus terus perlu dianalisa dengan kaedah yang dipilih dalam bentuk persamaan matematik dan gambarajah skematik diwakili dengan model matematik.



Rajah 3.1: Carta Alir

✚ selesai sahaja parameter bagi motor arus terus ditentukan. Sistem kawalan ini akan direkabentuk dalam bentuk blok menggunakan perisian MATLAB dan sambutan halaju dapat dipaparkan secara grafik dan ini memudahkan analisa dibuat.

✚ analisa dan keputusan dibuat selepas sambutan sistem dipaparkan dan terdapat 3 keperluan yang perlu dititik beratkan iaitu:

- i. Sambutan fana
- ii. Ralat keadaan mantap
- iii. Kestabilan

Dalam laporan ini, penekanan telah diambil terhadap motor arus terus. Dalam bab ini terdiri daripada 2 pembolehubah (halaju dan arus angker) dan satu input (Voltan terminal). Daya kilas muatan dianggap sebagai gangguan terhadap sistem.

3.2 Pelelurusan Suap-balik

Tindakbalas pelelurusan adalah salah satu cara bagi rekabentuk pengawalan tak lurus yang mana telah menarik minat ramai pengkaji sejak kebelakangan ini. Kajian ini tertumpu terhadap pertukaran sistem dinamik yang tak lurus kepada sistem lurus sepenuhnya dengan menggunakan kaedah algebra. Dengan kaedah tersebut, teknik kawalan lurus dapat diguna pakai. Dengan menggunakan kaedah pertukaran lurus secara berperingkat, ia telah menukar bentuk modul kawalan tindakbalas secara keseluruhannya jika di bandingkan dengan kaedah sistem dinamik.

Teori meringkaskan pertukaran dinamik sistem ke sistem pertukaran berperingkat bukanlah satu perkara yang baru. Ia telahpun digunakan secara meluas dalam bidang mekanikal amnya. Dimana dalam bidang tersebut, modul sesuatu sitem itu diambil kira berdasarkan pemilihan sistem asalan ataupun koordinat. Ini adalah kerana tindaklabalas lurus adalah salah satu cara yang mudah untuk meringkaskan lagi sistem yang asal.

Penggunaan suap-balik lurus boleh didapati secara meluas dalam kehidupan seharian contohnya ialah kawalan helicopter, pesawat berprestasi tinggi, robot industri, dan alatan perubatan.

Tindakbalas lurus adalah salah satu cara yang mudah untuk meringkaskan lagi sistem yang asal. Oleh itu, teknik kawalan linear yang dipraktikkan boleh didapati dalam rujukan (Slotine, J.-J.E and Weiping, L., 1991).

3.2.1 Pelelurusan Keadaan-Masukan

Di dalam persamaan yang umum, perwakilan motor arus terus boleh dinyatakan seperti berikut dengan masukan tork beban:

$$J \frac{d}{dt} \quad K_i \quad B \quad T_L \quad (3.1a)$$

$$L \frac{di}{dt} \quad V \quad K \quad R_i \quad (3.1b)$$

Kemudian merujuk daripada rujukan (Slotine, J.-J.E and Weiping, L., 1991), persamaan 3.1a dan 3.1b dipertimbangkan menjadi

$$\frac{d}{dt} \quad \frac{K_i}{J} \quad \frac{B}{J} \quad \frac{T_L}{J} \quad (3.2a)$$

$$\frac{di}{dt} \quad \frac{V}{L} \quad \frac{K}{L} \quad \frac{R_i}{L} \quad (3.2b)$$