

**MENGAWAL KELAJUAN MOTOR ARUHAN SATU FASA
MENGUNAKAN PWM BERDASARKAN FPGA**

Oleh

Rosmaiza Binti Roslan

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

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

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

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

Mac 2005

ABSTRAK

Dalam menuju era teknologi yang serba canggih ini, teknologi rekabentuk merupakan salah satu aset yang penting dalam meningkat taraf teknologi negara. Oleh itu, projek merekabentuk litar pengawal kelajuan motor induksi satu fasa menggunakan FPGA ini adalah salah satu teknologi rekabentuk baru. Motor merupakan satu perkakas yang penting dalam usaha meningkatkan industri pembuatan dan pengeluaran. Dengan adanya rekabentuk litar ini, tugas- tugas manusia dalam melakukan kerja- kerja pengelolaan mesin dalam industri dalam diselenggarakan dengan mudah. Litar pengawal kelajuan ini menggunakan kaedah pemodulatan lebar denyut (PWM). Terdapat pelbagai kaedah bagi menghasilkan PWM ini. Salah satu daripada kaedah tersebut ialah dengan menggunakan FPGA. Projek ini bertujuan untuk merekabentuk isyarat pemodulatan lebar denyut yang akan mengawal kelajuan motor aruhan arus ulang alik menggunakan perisian xilinx.

ABSTRACT

Nowadays, design technology is being one of the most important asset in order to increase the technology standard in our country. So that, designing induction motor control speed circuit using FPGA is one of the new design method. Motor is one of the most important devices we used today in industry with this circuit design, it will help us to handle all those machine in industry. This speed control circuit is using PWM(Pulse Width Modulation) method. There are many ways to produce PWM. One of them is by using FPGA. This project is developed to design PWM signal that will control the speed of the ac induction motor by using xilinx.

PENGHARGAAN

Dengan nama ALLAH Yang Maha Pemurah Lagi Maha Penyayang.

Setinggi- tinggi kesyukuran ke hadrat ALLAH S.W.T kerana dengan limpah kurnia-Nya akhirnya dapat jua saya menyiapkan projek tahun akhir ini.

Ucapan Jutaan terima kasih juga saya tujukan kepada penyelia yang saya hormati Dr Othman Sidek atas segala bantuan,nasihat, dorongan, idea dan perhatian beliau dalam melaksanakan projek ini. Seterusnya, kepada Pn. Zaini Abd. Halim yang sudi dan banyak membantu dan memberi tunjuk ajar dalam penggunaan perisian xilinx.

Selain itu, penghargaan ini juga ditujukan buat kakak Norul Suhana Hassan yang sudi berkongsi idea dalam menghasilkan projek ini.

Harapan ibu bapa yang menggunung juga sentiasa menjadi pendorong utama dalam menyiapkan projek ini. Tidak lupa juga kepada rakan- rakan seperjuangan kerana dorongan mereka menambahkan lagi kekuatan diri ini bagi meneruskan projek walaupun telah melalui pelbagai masalah.

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGHARGAAN	iv
ISI KANDUNGAN	v
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Objektif Projek	1
1.3 Perjalanan Projek	2
1.4 Ringkasan Bab	2
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	
2.1 Aplikasi DSP Dan <i>Microcontroller</i> Dalam Mengawal Kelajuan Motor Aruhan	4
2.1.1 Pendekatan Menggunakan DSP	5
2.1.1.1 Pengaturcaraan	6
2.1.2 Pendekatan Menggunakan <i>Microcontroller</i>	7
2.2 Keperluan Motor Aruhan Satu Fasa	8
2.3 Isyarat Pemodulatan Lebar Denyut (PWM)	8
BAB 3 REKABENTUK LITAR PEMODULAT LEBAR DENYUT (PWM) BAGI PENYONGSANG SATU FASA	
3.1 Pengenalan Kepada PWM	10
3.2 Isyarat Pemodulat Lebar Denyut Untuk Penyongsang Satu Fasa	11
3.3 Rekabentuk Litar PWM	13

BAB 4	METADOLOGI : REKABENTUK ISYARAT PEMODULAT LEBAR DENYUT BERDASARKAN FPGA	
4.1	Pengenalan FPGA	17
4.2	Pembinaan FPGA	19
4.3	Senibina Xilinx XC 4000	20
4.4	Kelebihan FPGA	20
4.5	Rekabentuk Isyarat Pemodulatan Lebar Denyut Berdasarkan FPGA Menggunakan Perisian Xilinx	21
4.5.1	<i>Project manager</i>	21
4.5.1.1	<i>Design Entry</i>	22
4.5.1.2	Simulasi	23
4.5.1.3	Implementasi	25
4.5.1.4	Verifikasi	27
4.5.1.5	<i>Programming</i>	27
 BAB 5	 MOTOR ARUHAN ARUS ULANG ALIK	
5.1	Pengenalan Motor Aruhan	29
5.2	Ciri- ciri Motor Aruhan Satu Fasa	31
5.3	Aplikasi Motor Aruhan	32
5.4	Operasi Motor Aruhan	33
5.5	Sambungan Motor Arus Ulang Alik	33
5.5.1	Litar Penyongsang Satu Fasa	34
5.5.1.1	Mosfet	37
 BAB 6	 KEPUTUSAN DAN ANALISIS	
6.1	Keputusan Projek	39
6.2	Masalah dan Cara Mengatasinya	40
6.3	Analisis	41
6.4	Cadangan Dan Penambahbaikan	42

BAB 7 KESIMPULAN

43

RUJUKAN

- LAMPIRAN A:** Litar Skematik Yang Menghasilkan PWM
- LAMPIRAN B:** Litar Makro Bagi Pembilang Naik
- LAMPIRAN C:** Litar Makro Bagi Pembanding 8 bit (COMP8)
- LAMPIRAN D:** Litar Kawalan Motor Aruhan Satu Fasa
- LAMPIRAN E:** Carta Alir Bagi Program Utama untuk DSP
- LAMPIRAN F:** Helaian Data Bagi Mosfet 2SK1120

BAB 1

PENGENALAN

1.1 PENDAHULUAN

Isyarat pemodulat lebar denyut yang dihasilkan dengan menggunakan FPGA akan disambungkan kepada litar penyongsang satu fasa bagi menukarkan voltan arus terus kepada arus ulang alik seterusnya kepada motor induksi satu fasa. Isyarat- isyarat pemodulat lebar denyut inilah yang akan mengawal kelajuan motor aruhan satu fasa.

1.2 OBJEKTIF PROJEK

Projek ini dilakukan adalah untuk menghasilkan satu cip terprogram ataupun menghasilkan isyarat Pemodulat lebar Denyut dengan menggunakan FPGA melalui perisian 'XILINX Foundation Series 2.1 software tool' iaitu satu perisian yang berguna dalam rekabentuk digital. Isyarat pemodulat lebar denyut ini akan mengawal kelajuan motor aruhan satu fasa yang digunakan.

1.3 PERJALANAN PROJEK

Bagi menjalankan projek ini, peringkat pertama ialah mempelajari serta mempraktikkan penggunaan perisian Xilinx 2.1 memandangkan perisian ini belum pernah dipelajari sebelum ini. Setelah itu litar logik telah direka bagi menghasilkan isyarat pemodulat lebar denyut dengan menggunakan 'Schematic Editor' dalam perisian Xilinx. Setelah itu, simulasi akan dilakukan bagi melihat keluaran yang terhasil. Sekiranya keluaran yang terhasil adalah betul, maka proses *implementation* akan dijalankan dan diikuti dengan proses *verification*. Setelah semuanya betul, proses *downloading* akan dilakukan bagi memasukkan program ke dalam EPROM.

Pemahaman operasi motor induksi satu fasa juga perlu. Ini perlu bagi menentukan masukan yang sepatutnya pada motor induksi satu fasa. Litar penyongsang satu fasa juga perlu dihasilkan bagi menukarkan voltan arus terus kepada voltan arus ulang alik. Simulasi bagi litar penyongsang satu fasa ini telah dibuat dengan psim. Akhir sekali, pad keluaran cip yang sudah diprogramkan dengan isyarat pemodulat lebar denyut akan disambungkan kepada litar penyongsang titi H satu fasa dan seterusnya baru disambungkan kepada motor aruhan arus ulang alik 240V.

1.4 RINGKASAN BAB

Bab 1 menerangkan pengenalan projek secara kasar. Selain itu, Objektif dan perjalanan projek juga diterangkan dalam bab ini.

Bab 2 menerangkan pendekatan dan cara projek seumpama ini yang telah dijalankan sebelum ini.

Bab 3 menerangkan rekabentuk isyarat pemodulat lebar denyut (PWM) bagi litar penyongsang satu fasa yang berfungsi untuk menukarkan voltan arus terus kepada voltan arus ulang alik.

Bab 4 menerangkan pengenalan kepada FPGA dan menerangkan langkah- langkah merekabentuk litar PWM menggunakan perisian xilinx 2.1.

Bab 5 pula menerangkan pengenalan motor aruhan, operasi motor aruhan dan sambungan motor aruhan.

Bab 6 menjelaskan keputusan projek terhadap hasil simulasi projek yang dijalankan menggunakan perisian xilinx 2.1, masalah yang dihadapi semasa perjalanan projek dan cara mengatasinya.

Bab 7 adalah bab terakhir di dalam laporan ini dan memberikan kesimpulan secara keseluruhan tentang projek yang telah dijalankan.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 APLIKASI DSP DAN MICROCONTROLLER DALAM MENGAWAL KELAJUAN MOTOR ARUHAN.

Aplikasi VLSI dalam kawalan motor menjadi semakin popular. Pada tahun 1980 dan 1990, microprocessor seperti Intel's 8080, 8031, 8098, 80196 telah digunakan dengan meluas dalam kawalan motor. Sejak kebelakangan *microcontroller* digunakan dengan meluas dalam industri. Aplikasi DSP (*Digital Signal Processing*) dan FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*) muncul. Aplikasi VLSI digunakan bagi mengawal motor berdasarkan dua pendekatan iaitu DSP dan *microcontroller*. Pendekatan ini digunakan adalah kerana periferalnya untuk menghasilkan isyarat pemodulat lebar denyut (PWM). Cip yang digunakan dalam pendekatan ini lebih murah, mempunyai saiz yang kecil dan fleksibel dalam menukar kawalan algoritma tanpa melakukan sebarang perubahan di dalam *hardware*.

Oleh kerana masa sebenar kawalan algoritma yang perlu diproses, majoriti aplikasi yang digunakan adalah dengan menggunakan *microcontroller*. Ini mungkin disebabkan jurutera lebih cenderung dan selesa menggunakan *microcontroller* dan kurang biasa dengan aturcara DSP. Walau bagaimanapun, DSP telah dijangka akan menjadi lebih baik daripada *microcontroller* dalam ketepatan kawalan motor pada tahun 2003.

Dalam kawalan motor, aplikasi DSP dan *microcontroller* yang digunakan adalah untuk mengawal motor arus terus, motor arus terus tanpa berus, motor aruhan. Kebanyakan projek lepas, motor aruhan satu fasa digunakan untuk mengawal kelajuan adalah kerana ianya digunakan dengan meluas dalam kehidupan harian manusia. Bagi mengawal motor ini, dua perkakasan telah diimplementasikan iaitu satu dengan menggunakan *microcontroller* PIC17C756 daripada *Microchip* dan satu lagi dengan menggunakan TMS320F240 daripada *Texas Instrument* [11].

2.1.1 PENDEKATAN MENGGUNAKAN DSP (DIGITAL SIGNAL PROCESSING)

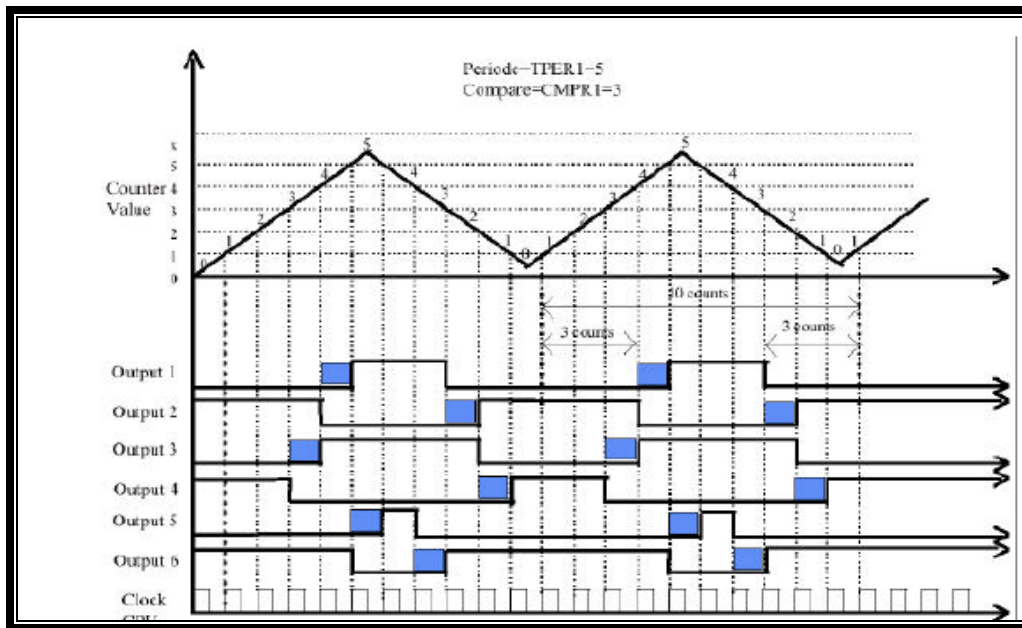
Implementasi sistem pemacu motor memerlukan ciri- ciri penting dari pengawal motor yang tipikal. Di antara ciri- ciri tersebut ialah:

- Mampu menghasilkan gandaan frekuensi yang tinggi, resolusi yang tinggi terhadap gelombang PWM.
- Proses yang pantas bagi mengimplementasikan algoritma bagi mengurangkan riak tork, penyesuaian parameter *on- line* dan kawalan kelajuan yang tepat.
- Mengimplementasikan pelbagai ciri menggunakan pengawal yang sama, (kawalan Motor, pembetulan faktor kuasa).
- Membuat impelentasi yang sempurna dan mudah (bilangan komponen dikurangkan serta papan susur atur yang mudah.
- Mampu mengimplementasi penyelesaian yang fleksibel. Dengan itu, perubahan di masa akan datang boleh direalisasikan dengan menukar perisian berbanding dengan merekabentuk semula platform perkakasan secara berasingan.

Kelas pengawal DSP yang baru mampu menyelesaikan isu di atas dengan efektif. Kumpulan keluarga TI's DSP2000 menjadi pilihan yang baik walaupun untuk kebanyakan kos dalam aplikasi yang sensitif seperti perkakasan, sistem HVAC dan lain- lain. Dalam penambahan kepada fungsi matematik tradisional seperti penapis digital, implementasi FFT, kelas DSP baru ini menggabungkan semua periferal elektronik kuasa yang penting bagi memudahkan keseluruhan sistem implementasi, [11].

2.1.1.1 PENGATURCARAAN

Carta alir yang mudah bagi aturcara utama adalah seperti carta alir yang diletakkan di bahagian lampiran. Apabila kelajuan dilaraskan, nisbah voltan dan frekuensi adalah malar. Program utama adalah memastikan amplitud voltan dan frekuensi. Manakala PWM ISR akan merealisasikan isyarat PWM dengan menetapkan nilai daftar bandingan, kawalan daftar pemasaan *dead band*, tempoh pemasaan daftar. Rajah 2.1 menunjukkan perhubungan di antara pembilang, daftar bandingan dan keluaran PWM. Dalam kes ini, *dead band* telah diambilkira (warna biru). Setiap pasangan keluaran PWM adalah sonsangan PWM yang satu lagi. Tetapi, *death time* mesti diambilkira dan ditetapkan sebagai logik 0 bagi mengelakkan pengaliran terhadap kedua-dua suis yang berada di bahagian atas dan bawah pada masa min, [11].



Rajah 2.1 Ilustrasi aturcara PWM menggunakan DSP

2.1.2 PENDEKATAN MENGGUNAKAN *MICROCONTROLLER*

Kini, *microcontroller* digunakan dengan meluas dalam industri. *Microcontroller* merupakan pendekatan pertama yang mempunyai periferal bagi kawalan motor. PIC17C756 daripada *microchip* telah digunakan board kawalan telah direkabentuk . Masalah bagi *microcontroller* adalah ianya tidak mempunyai daftar *dead band* dan hanya mempunyai tiga keluaran PWM. Oleh itu, litar tambahan logik analog mesti ditambah bagi menghasilkan isyarat songsangan dan untuk menghasilkan *dead time* bagi mengelakkan pertindihan berlaku di antara masa 'ON' bagi kedua- dua suis atas dan kedua – dua suis bawah. Program utama adalah sama seperti yang dibincangkan dalam pendekatan DSP, [11].

Microcontroller juga merupakan otak kepada sistem. Kebiasaannya, pengawal yang digunakan untuk aplikasi kawalan motor mempunyai periferal yang khusus iaitu kawalan motor PWM, penukar analog kepada digital yang mempunyai kelajuan yang tinggi (ADC), pin diagnosis. Kedua- dua PIC18F2431 dan dsPIC30F2010 daripada *Microchip* mempunyai ciri- ciri penting tersendiri, [3].

2.2 KEPERLUAN MOTOR ARUHAN SATU FASA.

Motor ini mempunyai dua belitan iaitu belitan utama dan belitan tambah. Belitan tambah mempunyai lebih lilitan berbanding dengan belitan utama. Bagi mengawal perubahan kelajuan, dua voltan perlu dibekalkan kepada belitan utama dan belitan tambah dengan frekuensi dan amplitud yang berubah- ubah, [4].

2.3 ISYARAT PEMODULATAN LEBAR DENYUT (PWM)

PWM digunakan dengan meluas dalam elektronik kuasa bagi mendapatkan kuasa yang digital. Dengan ini gelombang voltan boleh dijanakan dengan BUKA dan TUTUP dari transistor. SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) telah digunakan dengan meluas pada masa sekarang. Gelombang segitiga digunakan sebagai pembawa dan isyarat rujukan adalah gelombang bentuk sinus di mana frekuensi yang boleh ditentukan sendiri manakala amplitud ditentukan berdasarkan voltan amplitud yang ditentukan sendiri, voltan arus ulang alik dan amplitud pembawa. Oleh kerana litar setara motor aruhan adalah diwakilkan

dengan perintang dan pengaruh, maka motor ini boleh dikenal sebagai galangan beraruh. Dengan ini, kesan kepada komponen yang frekuensi yang tinggi boleh diabaikan [11].

Terdapat IC yang boleh menghasilkan gelombang PWM secara terus. Salah satu peranti ialah LM 3524 National Semikonduktor. Kitar kerja boleh berubah dari 0% kepada hampir 100% dengan membekalkan voltan arus terus yang dipanggil *compensation* menyebabkan frekuensi PWM di dalam gelombang *sawtooth* (frekuensi boleh dilaraskan dengan R dan C luaran).

Selain itu, salah satu kaedah yang biasa digunakan untuk menghasilkan PWM adalah dengan menggunakan *microcontroller*. Seperti contoh, PWM boleh dihasilkan daripada *microcontroller* MC68HC11. Selain itu, MC68HC711K4 juga boleh digunakan untuk menghasilkan PWM.

BAB 3

REKABENTUK LITAR PEMODULAT LEBAR DENYUT (PWM)

BAGI PENYONGSANG SATU FASA.

3.1 PENGENALAN KEPADA PWM

Teknik pemodulatan lebar denyut banyak diaplikasikan dalam kawalan motor, dan pensuisan bekalan kuasa. PWM berfungsi dengan mempelbagaikan kitar kerja terhadap satu bentuk gelombang segi empat. Masa gelombang segiempat adalah tetap dan kitar kerja boleh dipelbagaikan berdasarkan isyarat permodulatan. Nilai purata satu gelombang segiempat adalah berkadaran dengan kitar kerja manakala isyarat pemodulatan boleh digunakan untuk mempelbagaikan nilai purata pada keluaran. Alat pemodulatan lebar denyut ini bertindak sebagai satu penukar digital kepada analog. Terdapat banyak *microcontroller* yang sedang dirancang dalam penggunaan automotif dan aplikasi kawalan motor termasuk alat keluaran pemodulatan lebar denyut yang dipanggil pembanding [5]. Dalam projek ini, permodulatan lebar denyut dihasilkan dengan menggunakan FPGA.

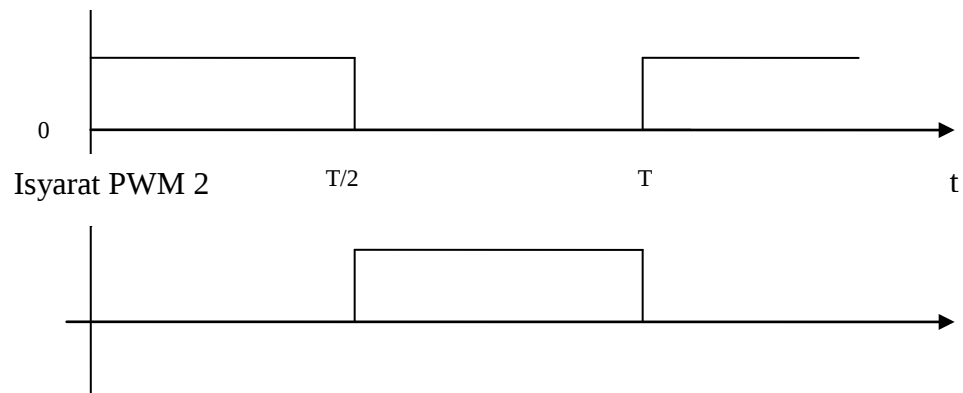
3.2 ISYARAT PEMODULAT LEBAR DENYUT UNTUK PENYONGSANG SATU FASA

Isyarat PWM merupakan satu isyarat binari yang mempunyai 2 keadaan iaitu masa 'on' dan masa 'off'. Masa 'on' (masa di mana isyarat adalah "on") yang digunakan untuk mengawal beban. Bagi PWM, kitar kerja adalah 50% di mana masa bagi separuh isyarat adalah 1 dan separuh masa lagi adalah 0. Jika masa 'on' lebih baik daripada masa 'off' isyarat adalah positif dan jika masa 'off' lebih baik daripada masa 'on' maka isyarat adalah negatif [2].

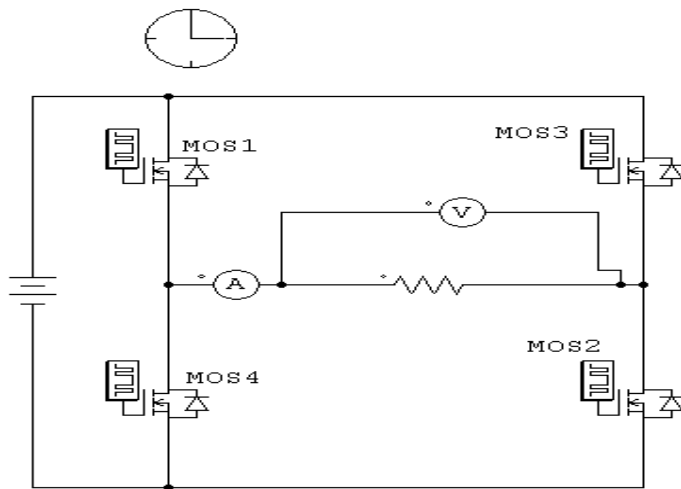
Pada separuh kitar positif, Mosfet 1 dan 2 akan 'ON'. Pada separuh kitar negatif pula Mosfet 3 dan 4 akan 'ON'. Litar pengawal memerlukan 4 PWM dengan 2 pasangan pelengkap dan *deadband* yang mencukupi di antara keluaran pelengkap. PWM1-PWM2 dan PWM3-PWM4 adalah merupakan pasangan PWM dengan *deadband*, [3].

Oleh itu, Isyarat PWM 1 akan dimasukkan ke dalam get Mosfet 1 dan Mosfet 2. Manakala isyarat PWM 2 pula akan disambungkan kepada get Mosfet 3 dan Mosfet 4, [7]. Ini adalah kerana isyarat PWM 2 merupakan isyarat songsangan kepada isyarat PWM 1. Isyarat PWM yang perlu dimasukkan ke dalam litar penyongsang satu fasa adalah seperti Rajah 3.1.

Isyarat PWM 1

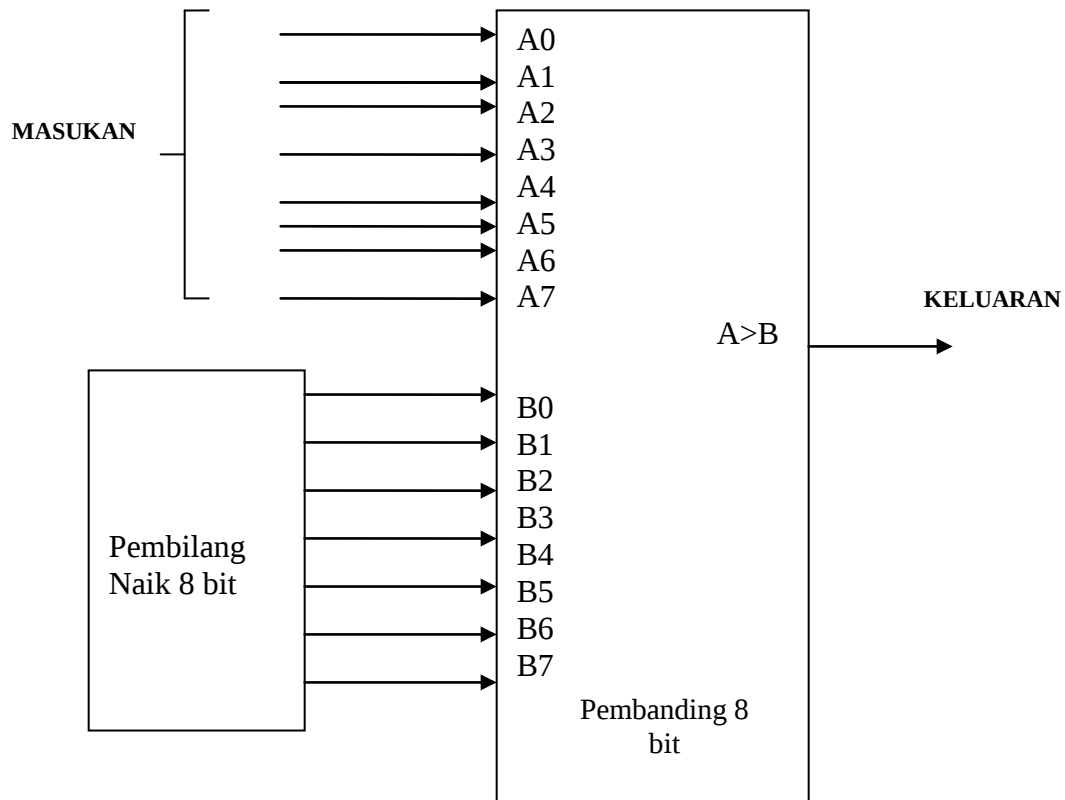


Rajah 3.1 Isyarat PWM bagi litar penyongsang satu fasa



Rajah 3.2 Litar skematik untuk penyongsang satu fasa

3.3 REKABENTUK LITAR PWM



Rajah3.3 Blok diagram yang menghasilkan PWM

Rekabentuk litar bagi menghasilkan PWM dalah seperti Rajah 3.3. Ianya terbahagi kepada 4 bahagian utama iaitu masukan, pembilang naik dan pembanding 8 bit dan keluaran.

1. Masukan 8 bit

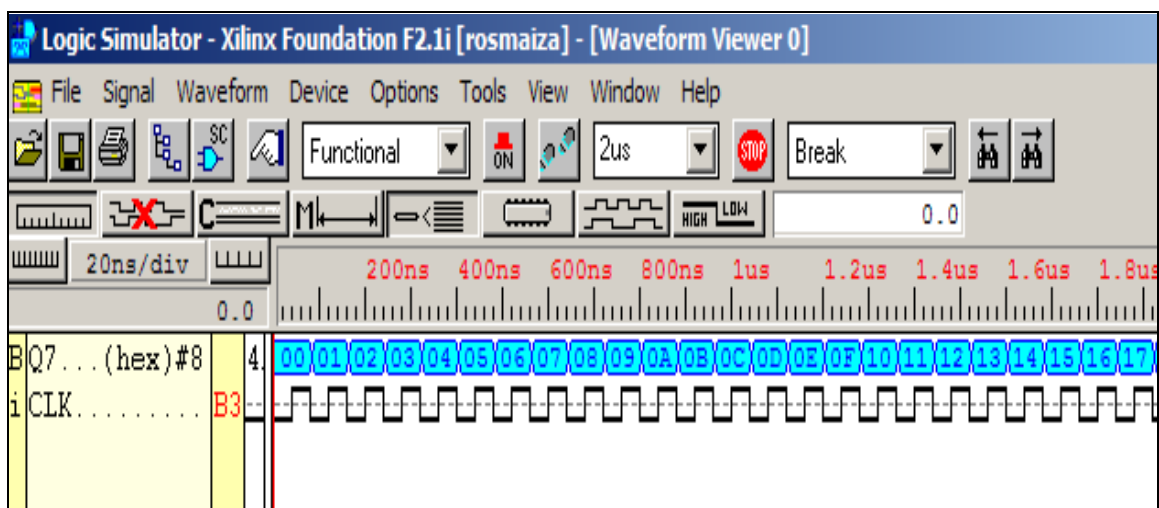
Masukan kepada litar ini ialah daripada DIP suis 8 soket yang disambung kepada 5V. Masukan ini ditukar kedalam nombor binari. Sebagai contoh masukan yang diberi ialah

128. 128 akan ditukar kepada nombor binari menjadi 10000000. Ini bermakna A0 hingga A7 akan diberikan logik 0 manakala A8 akan diberikan logik 1.

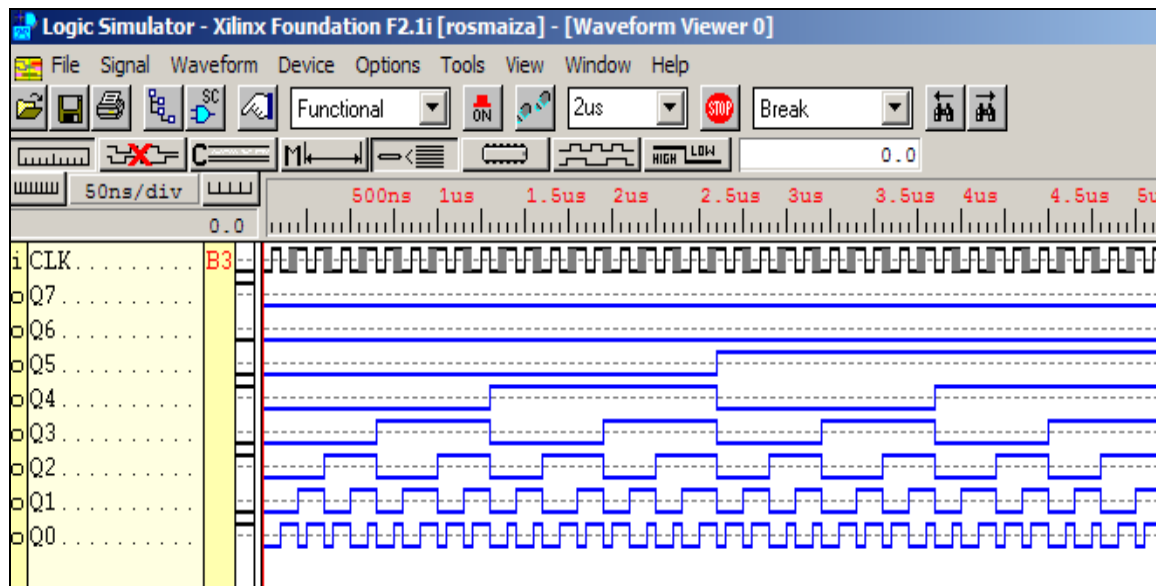
2. Pembilang Naik

Litar pembilang naik adalah seperti di dalam rujukan. Pembilang naik ini dibina dengan 8 flip-flop JK iaitu FJKC. Pembilang naik B ini akan membilang dari 0 hingga 255 seterusnya akan kembali semula ke 0. Masukan *clk* pada pembilang naik ini akan menentukan frekuensi gelombang PWM penyongsang satu fasa yang akan terhasil. Keluaran pembilang naik boleh dilihat seperti Rajah 3.3 dan 3.4. Di dalam projek ini, frekuensi masukan adalan frekuensi *clk* bagi pembilang naik dibahagikan dengan 256.

$$f = f_{clk}/256$$



Rajah 3.4 Gelombang keluaran pembilang naik



Rajah 3.5 Gelombang bagi setiap keluaran flip- flop yang digunakan bagi pembilang naik

3. Pembanding

Pembanding yang digunakan dalam litar ini ialah pambanding 8 bit iaitu COMP8. Pembanding akan membanding nilai masukan A dengan pembilang naik B. Ia akan memberikan keluaran logik satu apabila nilai masukan A adalah lebih besar daripada nilai pembilang naik B. Keluaran pula akan memberikan logik kosong apabila nilai masukan A lebih kurang atau sama dengan nilai pembilang naik B.

4. Keluaran

Keluaran pembanding ada dua. Keluaran yang kedua merupakan isyarat songsangan pada isyarat keluaran satu lagi. Kemudian keluaran ini dimasukkan kepada get Mosfet.

BAB 4

METADOLOGI: REKABENTUK ISYARAT PEMODULAT LEBAR DENYUT BERDASARKAN FPGA (FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY)

4.1 PENGENALAN FPGA

FPGA merupakan satu litar bersepadu yang mengandungi banyak *logic cell* yang sama iaitu sebanyak 64 hingga 10,000. Kelebihan terkini bagi teknologi ini ialah ianya telah membenarkan sesuatu peranti itu dilaksanakan dalam pelbagai aplikasi.

FPGA adalah merupakan teknologi terbaru dalam bidang peranti logik. FPGA mengandungi *Programmable Logic Cells* yang tersusun dengan teratur dan disambungkan antara satu sama lain dengan menggunakan *Programmable Wiring Matrixs*. *Logic cells* ini mempunyai had bagi keluaran dan masukan. Ianya sangat sesuai bagi sistem yang mempunyai logik yang banyak.

Pada masa sekarang, FPGA terbahagi terdapat empat teknologi utama iaitu:

- 1) Statik RAM
- 2) Anti- fuse
- 3) Aturcara tatasusunan- EPROM dan
- 4) Aturcara tatasusunan- EEPROM