

**PEMBANGUNAN PENURAS HARMONIK AKTIF SAMBUNGAN SIRI SELARI  
UNTUK MENINGKATKAN KUALITI KUASA**

**Oleh**

**Noor Zarith Iffah Binti Jasmani**

**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**

**Mei 2006**



## ABSTRAK

Projek yang dicadangkan ini bertujuan meningkatkan kualiti kuasa dengan membatalkan harmonik arus dan harmonik voltan di talian penghantaran yang disebabkan oleh beban tidak linear. Maka sebuah penuras harmonik aktif sambungan siri selari telah direkabentuk. Penuras harmonik aktif yang direkabentuk menggunakan aplikasi penyongsang tiga fasa dengan kawalan pensuisan pemodulatan lebar denyut bersinus atau SPWM. Penyongsang tiga fasa ini menukarkan voltan masukan dc kepada voltan keluaran ac. Keluaran tersebut kemudiannya disuntik ke talian penghantaran dan seterusnya membatalkan harmonik yang wujud. Penyelakuan litar dijalankan menggunakan perisian PSpice OrCAD 9.1. Keputusannya, didapati jumlah herotan harmonik arus ( $THD_i$ ) dan jumlah herotan harmonik voltan ( $THD_v$ ) berjaya dikurangkan. Di akhir projek, prototaip litar penuras harmonik aktif telah dibangunkan. Walau bagaimanapun, litar yang dibina hanya mampu beroperasi pada voltan dan arus yang rendah.

## ABSTRACT

The purpose of this project is to increase the power quality by cancelling out the current harmonic and voltage harmonic in transmission line which produced by non-linear loads. As a sequence, a series and shunt active harmonic filter is designed using two three phase inverters with sinusoidal pulsed-width modulation or SPWM switching-controlled. The three phase inverters function by changing the dc input voltage to a symmetric ac output voltage. Then, the output is injected to the line to cancel out the existing harmonic. The simulation is run using PSpice OrCAD 9.1 and the result showed the total harmonic distortion of current ( $THD_i$ ) and voltage ( $THD_v$ ) are successfully decreased. At the end of the project, the prototype of active harmonic filter is developed. However, the prototype only capable to operate at low voltage and low current.

## PENGHARGAAN

*Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Pengasihani.*

Alhamdulillah, setinggi-tinggi kesyukuran dirafa'kan ke hadrat Allah S.W.T kerana dengan keizinan dan limpah kurnia-Nya maka dapat saya melaksanakan projek tahun akhir dan seterusnya berjaya menyiapkan laporan bagi memenuhi keperluan pengijazahan.

Awalul kalam, sekalung penghargaan kepada penyelia saya, Prof. Madya Dr. Che Mat Hadzer Mahmud di atas kerjasama, sokongan dan idea-idea bernas beliau dalam membantu saya menyiapkan projek ini.

Ribuan terima kasih juga untuk En. Mohd Izhar yang telah banyak membantu dan membimbing sepanjang menjalankan projek ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih ini ditujukan kepada juruteknik-juruteknik makmal yang telah memberi komen dan tunjuk ajar dalam proses fabrikasi litar.

Di kesempatan ini juga saya ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan yang turut memberi sokongan, idea dan luahan pendapat bagi penambahbaikan projek ini.

Buat emak, ayah dan seluruh ahli keluarga yang banyak memberi semangat dan membantu dari segi kewangan, jasa kalian akan tetap dikenang sepanjang hayat.

Akhirul kalam, terima kasih kepada mereka yang terlibat secara langsung atau tidak langsung di sepanjang tempoh perlaksanaan projek ini. Semoga dengan usaha saya ini memberi manfaat kepada diri saya sendiri dan mereka yang saya sebutkan di atas tadi.

Sekian, terima kasih.

## KANDUNGAN

	<b>Muka surat</b>
<b>ABSTRAK</b>	i
<b>PENGHARGAAN</b>	iii
<b>JADUAL ISI KANDUNGAN</b>	iv
<b>SENARAI GAMBARAJAH</b>	vi
<b>BAB 1        PENGENALAN</b>	
1.1    Pendahuluan	1
1.2    Objektif	2
1.3    Pengenalan Kepada Harmonik	2
1.3.1    Kesan Harmonik Ke Atas Peralatan Pengguna	4
1.3.2    Kesan Harmonik Ke Atas Loji Kuasa Statik	5
1.3.3    Kaedah-kaedah Pengurangan Harmonik	7
1.4    Panduan Laporan	9
1.5    Metodologi	10
<b>BAB 2        KAJIAN ILMIAH BERKENAAN PENURAS HARMONIK               AKTIF DAN PENSUISAN SPWM</b>	
2.1    Penuras Harmonik Aktif	12
2.2    Penyongsang Tiga Fasa	14
2.3    Litar Penjana Gelombang Segitiga	16
2.4    Litar Pengayun Anjakan Fasa RC	19
2.5    Litar Pembanding Isyarat Pembawa Dengan Isyarat Rujukan	20
2.6    Pengayun Santaian Gelombang Segiempat	21
2.7    Litar Lengah	23
<b>BAB 3        PENYELAKUAN MENGGUNAKAN PSPICE ORCAD 9.1               DAN REKABENTUK LITAR</b>	
3.1    Penjana Gelombang Segitiga	24
3.2    Litar Pengayun Anjakan Fasa RC	26
3.3    Pembanding Isyarat Rujukan dan Isyarat Pembawa	27

3.4	Pengayun Gelombang Segiempat	30
3.5	Pemacu MOSFET	31
3.6	Penyongsang Tiga Fasa	32
<b>BAB 4</b>	<b>PERLAKSANAAN PROJEK</b>	
4.1	Litar Pensuisan	35
4.2	Litar Penyongsang Tiga Fasa	39
4.3	Penuras Harmonik Aktif Sambungan Siri Selari	40
<b>BAB 5</b>	<b>ANALISIS BERDASARKAN PENYELAKUAN</b>	
5.1	Tanpa Penuras Harmonik Aktif	41
5.2	Dengan penuras harmonik aktif	45
5.3	Analisis Sebelum dan Selepas Penuras Harmonik Dipasang	49
5.3.1	Analisis Harmonik Arus	49
5.3.2	Analisis Harmonik Voltan	51
<b>BAB 6</b>	<b>PERBINCANGAN</b>	
6.1	Pencapaian Projek	54
6.2	Masalah-masalah yang dihadapi	54
6.3	Cadangan Penambahbaikan	56
6.4	Kesimpulan	56

## **RUJUKAN**

### **LAMPIRAN A**

**Rajah L1 : Penyongsang Tiga Fasa dan Litar Pensuisan**

**Rajah L2 : Litar Keseluruhan Projek**

### **LAMPIRAN B**

**Helaian Data**

## SENARAI GAMBARAJAH

<b>BAB 1</b>	<b>PENGENALAN</b>	
	1.1 Bentuk gelombang arus beban tidak linear	3
	1.2 Carta alir metodologi projek	10
<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN ILMIAH BERKENAAN PENURAS HARMONIK AKTIF DAN PENSUISAN SPWM</b>	
	2.1 Gambaran penuras aktif dengan gelombang yang menunjukkan pembatalan harmonik	11
	2.2 Litar penyongsang tiga fasa	13
	2.3 Bentuk gelombang keluaran dan picuan MOSFET	14
	2.4 (a) Asas penjana segitiga	15
	(b) Voltan keluaran ketika suis diubah kedudukan pada tempoh yang tetap	15
	2.5 Penjana segitiga menggunakan dua buah penguat operasi	16
	2.6 Gelombang untuk litar Rajah 2.5	16
	2.7 Litar pengayun anjakan fasa RC	18
	2.9 Litar pembanding	19
	2.10 Pengayun gelombang segiempat	20
	2.11 Gelombang untuk pengayun santaian gelombang segiempat	21
	2.12 SPWM dibandingkan dengan gelombang segiempat	21
	2.13: Litar lengah	22
<b>BAB 3</b>	<b>PENYELAKUAN MENGGUNAKAN PSPICE ORCAD 9.1 DAN REKABENTUK LITAR</b>	
	3.1 Litar penjana segitiga	23
	3.2 Gelombang segitiga dengan frekuensi 700Hz	24
	3.3 Litar pengayun anjakan fasa RC	25
	3.4 Litar pembanding bagi keluaran dedenyut untuk setengah kitar positif	26
	3.5 Litar pembanding bagi keluaran dedenyut untuk setengah kitar negatif	26



3.6	Gelombang pembawa dan gelombang rujukan	27
3.7	Litar SPWM	27
3.8	Keluaran litar PWM bagi separuh kitar positif	28
3.9	Keluaran litar PWM bagi separuh kitar negatif	28
3.10	Pengayun gelombang segiempat	29
3.11	Pemacu MOSFET IR2110	30
3.12	Kombinasi dua buah penyongsang tiga fasa	31
3.13	Gelombang pensuisan bagi setiap MOSFET di dalam penyongsang 3 fasa	32
3.14	Gelombang arus keluaran daripada penyongsang tiga fasa	32
3.15	Gelombang voltan keluaran daripada penyongsang tiga fasa	33

#### **BAB 4 PERLAKSANAAN PROJEK**

4.1	Litar pensuisan	35
4.2	Gelombang segitiga	36
4.3	Gelombang SPWM dari separuh kitar positif	36
4.4	Gelombang SPWM dari separuh kitar negatif	37
4.5	Gelombang SPWM bagi separuh kitar positif dari litar pemacu MOSFET	38
4.6	Gelombang SPWM bagi separuh kitar negatif dari litar pemacu MOSFET	38
4.7	Litar penyongsang tiga fasa	39
4.8	Penuras harmonik aktif sambungan siri selari	40

#### **BAB 5 ANALISIS BERDASARKAN PENYELAKUAN**

5.1	Beban tidak linear yang dihubungkan kepada talian Penghantaran	41
5.2	Tanpa penuras harmonik	42
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa R	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa R	
5.3	Tanpa penuras harmonik	42
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa Y	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa Y	

5.4	Tanpa penuras harmonik	43
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa B	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa B	
5.5	Dengan penuras harmonik	45
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa R	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa R	
5.6	Dengan penuras harmonik	46
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa Y	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa Y	
5.7	Dengan penuras harmonik	46
	(a) Gelombang voltan keluaran fasa B	
	(b) Gelombang arus keluaran fasa B	
5.8	Spektrum Harmonik Arus (Fasa R)	49
5.9	Spektrum Harmonik Arus (Fasa Y)	50
5.10	Spektrum Harmonik Arus (Fasa B)	50
5.11	Spektrum Harmonik Voltan (Fasa R)	51
5.12	Spektrum Harmonik Voltan (Fasa Y)	51
5.13	Spektrum Harmonik Voltan (Fasa B)	52



# BAB 1

## PENGENALAN

### 1.1 Pendahuluan

Sebelum kemunculan semikonduktor kuasa, sumber utama kepada herotan gelombang adalah relau arka elektrik, kesan yang terkumpul daripada penggunaan lampu fluoresen dan penggunaan mesin elektrik dan transformer. Peningkatan penggunaan peranti elektronik kuasa untuk mengawal peralatan kuasa dan sistem telah menimbulkan kesedaran yang tinggi terhadap kesan herotan gelombang sejak akhir-akhir ini. Penukar elektronik kuasa misalnya, boleh memenggal arus menjadi gelombang yang sembarangan. Sementara itu terdapat sebilangan kes di mana herotan adalah secara rawak ataupun rambang dan kebanyakan herotan adalah berkala atau harmonik. Bentuk gelombang yang dihasilkan lebih kurang sama dari satu kitar ke kitar yang lain dan secara perlahan-lahan ia semakin berubah. Ini telah menyebabkan penyebaran yang luas akan penggunaan perkataan **harmonik** untuk menggambarkan gangguan yang terjadi dalam sesuatu gelombang.

Herotan harmonik bukanlah fenomena baru di dalam sistem kuasa dan keseimbangan akan herotan ini semakin menular. Sejak era 1930-an dan 1940-an, banyak artikel telah dihasilkan mengenai permasalahan ini. Ketika itu, didapati sumber primer herotan harmonik adalah dari transformer dan masalah utama yang timbul ialah interferens induktif dengan sistem telefon wayar terbuka. Walau bagaimanapun, ahli-ahli fizik dan saintis telah menemui bahawa jika sistem kuasa diuruskan secara teratur untuk mengawal permintaan kuasa beban, terdapat kemungkinan yang rendah untuk harmonik mendatangkan masalah kepada sistem kuasa. Masalah sistem kuasa biasanya meningkat apabila kapasitans di dalam sistem menghasilkan resonans pada harmonik yang kritikal yang menyebabkan peningkatan herotan mendadak dan melebihi aras normal. Kebanyakan masalah ini didapati pada sistem pengguna manakala kes yang lebih teruk berlaku di dalam sistem kuasa perindustrian kerana tahap resonansnya yang terlalu tinggi [12].

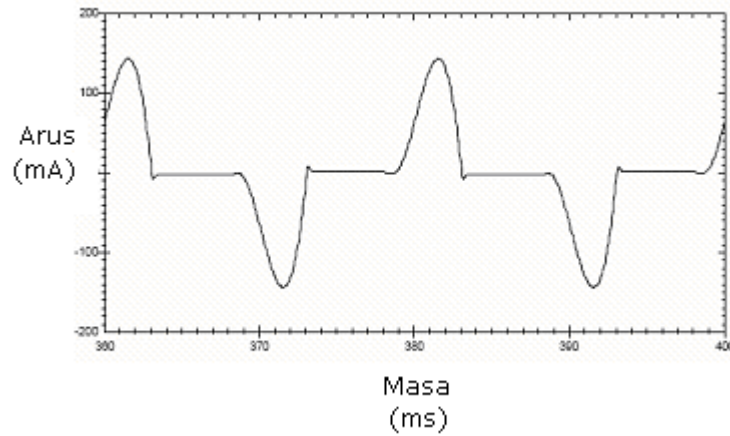
## 1.2 Objektif

Objektif utama projek ini adalah untuk merekabentuk sebuah penuras harmonik aktif sambungan siri selari terdiri daripada litar penyongsang yang mengaplikasikan teknik pensuisan pemodulatan lebar denyut bersinus atau *Sinusoidal Pulse-Width Modulation* (SPWM). Litar yang direkabentuk berupaya meningkatkan kualiti kuasa dengan mengurangkan kesan gangguan harmonik dalam talian pengagihan tenaga elektrik.

## 1.3 Pengenalan kepada harmonik

Harmonik ialah kandungan fungsi yang mana frekuensinya adalah integer berganda frekuensi asas sistem [1]. Untuk gelombang sinus, harmonik adalah integer berganda frekuensi gelombang tersebut. Sebagai contoh, jika frekuensi ialah  $f$ , harmonik mempunyai frekuensi  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$  dan seterusnya. Walau bagaimanapun, harmonik tertib genap berupaya untuk membatalkan antara satu sama lain. Oleh itu, harmonik tertib ganjil lebih diutamakan kerana ia dapat mencipta semula isyarat gelombang segiempat yang sempurna yang akan hampir kepada bentuk gelombang sinus.

Sebutan harmonik dan tidak linear sering digunakan bertukarganti. Tidak linear merujuk kepada hubungan di antara arus dan voltan. Beban linear seperti mentol mengalirkan arus yang berkadaran kepada voltan. Arus dihasilkan daripada voltan dan impedans (bertentangan dengan aliran arus). Jika impedans konstan, arus juga konstan. Memandangkan impedans yang berubah di dalam mentol tidak begitu signifikan, maka arus dianggap konstan. Ini menghasilkan hubungan linear di antara arus dan voltan. Walau bagaimanapun, herotan harmonik adalah disebabkan oleh peranti tidak linear di dalam sistem kuasa. Peranti tidak linear merujuk kepada arus yang tidak berkadaran dengan voltan yang dikenakan [9]. Rajah 1.1 di bawah menunjukkan bentuk gelombang arus beban tidak linear seperti komputer.



**Rajah 1.1** : Bentuk gelombang arus beban tidak linear

Voltan dan arus sistem tiga fasa boleh diwakili oleh siri Fourier di bawah [10]:

$$\begin{aligned}
 v_R(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin(h\omega_1 t + \theta_h) \\
 v_Y(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin\left(h\omega_1 t - \frac{2\pi}{3} + \theta_h\right) \\
 v_B(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin\left(h\omega_1 t + \frac{2\pi}{3} + \theta_h\right)
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

$$\begin{aligned}
 i_R(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin(h\omega_1 t + \delta_h) \\
 i_Y(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin\left(h\omega_1 t - \frac{2\pi}{3} + \delta_h\right) \\
 i_B(t) &= \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin\left(h\omega_1 t + \frac{2\pi}{3} + \delta_h\right)
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

di mana  $h$  ialah tertib harmonik ( $h = 1, 2, 3, \dots$ )

Jumlah herotan pada voltan dan arus atau jumlah herotan harmonik atau *total harmonic distortion* (THD) diberi oleh [10]:

$$THD_V = \sqrt{\sum_{h \neq 1}^{\infty} \left(\frac{V_h}{V_1}\right)^2} \times 100\% \tag{1.3}$$

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h \neq 1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \times 100\% \quad (1.4)$$

yang mana nilai rms voltan dan arus boleh ditunjukkan seperti berikut:

$$V = V_R = V_Y = V_B = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} = V_1 \sqrt{1 + (THD_V)^2} \quad (1.5)$$

$$I = I_R = I_Y = I_B = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = I_1 \sqrt{1 + (THD_I)^2} \quad (1.6)$$

Kehadiran harmonik ini telah mendatangkan banyak implikasi terutama di dalam sistem kuasa. Antara kesan utama harmonik arus dan voltan di dalam sistem kuasa adalah [1] :

- i. Keupayaan arus harmonik untuk meningkat lebih tinggi disebabkan oleh resonans selari dan sesiri.
- ii. Pengurangan kecekapan di dalam sistem penjanaan, penghantaran dan penggunaan tenaga elektrik.
- iii. Penuaan penebatan dalam komponen loji elektrik akibat daripada jangka hayat yang pendek.
- iv. Komponen loji atau sistem tidak berfungsi.

### 1.3.1 Kesan Harmonik Ke Atas Peralatan Pengguna

Harmonik juga turut mengganggu peralatan pengguna. Antara kesan-kesan utamanya ialah [1]:

- i. Penerima televisyen

Harmonik yang memberi kesan kepada puncak voltan boleh menyebabkan perubahan dalam saiz gambar televisyen dan kecerahan. Inter-harmonik menyebabkan modulasi amplitud pada frekuensi asas; dengan aras inter-harmonik 0.5% sahaja sudah berupaya menghasilkan pembesaran berkala dan pengurangan imej dalam tiub sinar katod.

ii. Fluoresen dan lampu arka raksa

Peralatan ini kadangkala mempunyai kapasitor yang mana induktans pada ballast dan litar boleh menghasilkan frekuensi resonans. Jika ini bertindak kepada harmonik yang terjana, kepanasan terlampau dan kerosakan akan berlaku. Walau bagaimanapun, frekuensi resonans di kebanyakan lampu adalah dalam julat 75-80 Hz dan sepatutnya tidak saling bertindak dengan bekalan kuasa. Hingar bolehdengar adalah antara kesan yang mungkin daripada herotan voltan harmonik.

iii. Komputer

Terdapat had rekabentuk untuk menerima herotan harmonik dalam komputer dan litar bekalan sistem memproses data. Kadar harmonik (geometrik) yang diukur dalam vakum mestilah kurang daripada  $-3\%$  (Honeywell, DEC) atau  $5\%$  (IBM). CDC mengspesifikkan nisbah puncak kepada nilai efektif voltan bekalan mestilah sama dengan  $1.41 \pm 0.1$ .

### **1.3.2 Kesan Harmonik Ke Atas Loji Kuasa Statik**

Harmonik turut memberi kesan kepada loji kuasa statik seperti di talian penghantaran, transformer dan bank kapasitor. Berikut diterangkan serba sedikit kesan-kesannya:

#### **1.3.2.1 Sistem penghantaran**

Aliran arus harmonik di dalam rangkaian penghantaran menghasilkan dua kesan utama. Pertama, pertambahan kehilangan kuasa disebabkan oleh peningkatan nilai rms gelombang arus. Kedua, penghasilan kejatuhan voltan harmonik merintang pelbagai impedans litar. Manakala bagi sistem penghantaran yang menggunakan kabel, voltan harmonik akan meningkatkan tekanan dielektrik yang berkadar dengan puncak voltan. Ini akan memendekkan jangka hayat kabel dan seterusnya meningkatkan kerosakan. Secara tidak langsung kos membaikpulih akan meningkat [1].



### **1.3.2.2 Transformer**

Kesan primer harmonik sistem kuasa ke atas transformer ialah penambahan kepanasan yang dijana oleh kehilangan yang disebabkan oleh kandungan harmonik pada arus beban. Masalah lain yang terlibat ialah resonans di antara induktans transformer dan kapasitans sistem, tekanan penebatan mekanikal (belitan dan lapisan) disebabkan oleh kitaran suhu dan getaran teras yang kecil. Kehadiran voltan harmonik meningkatkan kehilangan arus *eddy* dan histerisis di dalam lapisan dan tekanan penebatan. Peningkatan dalam kehilangan teras yang disebabkan oleh harmonik bergantung kepada kesan yang didapati pada harmonik di bekalan voltan dan rekabentuk teras transformer. Pengaliran arus harmonik pula meningkatkan kehilangan tembaga [1].

### **1.3.2.3 Bank kapasitor**

Kehadiran herotan voltan akan meningkatkan kehilangan dielektrik dalam kapasitor. Resonans sesiri dan selari di antara kapasitor dan keseluruhan sistem boleh menyebabkan voltan lampau dan arus yang tinggi dan seterusnya meningkatkan kehilangan dan panas lampau pada kapasitor secara mendadak. Situasi ini akan memusnahkan kapasitor tersebut. Oleh sebab itu resonans yang berkemungkinan perlu diambil kira di dalam rekabentuk kapasitor pembetulan faktor kuasa dan lain-lain aplikasi seperti motor induksi satu fasa [1].

### 1.3.3 Kaedah-kaedah Pengurangan Harmonik

Terdapat dua kaedah untuk mengurangkan harmonik iaitu [8]:

- i. Binaan dalaman pada peralatan beban
- ii. Pampasan luaran

#### 1.3.3.1 Binaan Dalaman Pada Peralatan Beban

- i. Pencekik dc sesiri

Sama seperti kes satu fasa, pencekik dc boleh ditambahkan kepada rektifier tiga fasa. Apabila pencekik dc ditambahkan dengan nilai yang mencukupi, arus yang dihasilkan menjadi segiempat. Arus segiempat yang dihasilkan masih menjadi persoalan sama ada memenuhi standard IEC atau tidak.

- ii. Pencekik dc sesiri dan penuras LC

Penyelesaian yang mungkin adalah dengan menambah penuras LC untuk menghapuskan harmonik individu. Biasanya, penuras ini boleh dilaraskan sehingga harmonik ke-5. Apabila harmonik ke-5 boleh dilaras, maka tertib harmonik lain boleh dikurangkan.

- iii. Penukar tiga fasa pembentukan arus

Terdapat pelbagai cara membentuk arus masukan untuk titi rektifier tiga fasa. Pembentukan arus tiga fasa boleh dicapai dengan penukar boost suis tunggal. Walau bagaimanapun, penukar boost suis tunggal memerlukan voltan bus dc yang terlalu tinggi; biasanya 4 atau 5 kali lebih tinggi daripada voltan puncak masukan ac. Suis yang ada perlu menahan voltan yang tinggi dan tekanan arus. Penukar boost jenis suntikan arus dua suis juga boleh digunakan tetapi ia memerlukan komponen magnet yang banyak. Maka cara yang paling efektif pembentukan arus tiga fasa tetapi mahal sedikit ialah dengan penukar tiga titi. 6 suis boleh beroperasi dengan pemodulatan lebar denyut ataupun modulasi vektor ruang seperti di dalam aplikasi penyongsang tiga fasa. Masukan arus bersinus dengan faktor kuasa 0.99 dan jumlah herotan harmonik (THD) kurang daripada 5% boleh dicapai dengan litar tersebut.

### 1.3.3.2 Pampasan Luaran

i. Penuras pasif selari dan aktif sesiri

Di dalam sistem kuasa tinggi, penggunaan penuras aktif dihadkan dengan adanya voltan dan arus tinggi pada peranti semikonduktor. Pampasan penuras pasif tulen didapati mempunyai masalah dengan tindakan sistem yang kuat. Oleh itu, penuras hibrid yang mengandungi penuras aktif sesiri dan penuras pasif selari telah dicadangkan. Saiz keperluan kVA untuk bahagian aktif boleh serendah 5% daripada keseluruhan sistem. Maka, kaedah ini didapati boleh mengatasi masalah yang telah disebutkan tadi dan telah dianggap pendekatan efektif pengurangan harmonik bagi aplikasi kuasa tinggi dan sederhana.

ii. Penuras aktif selari dan sesiri

Sambungan selari penuras aktif adalah cara yang berkesan untuk menyuntik dan membatalkan arus harmonik. Walau bagaimanapun, untuk membuang voltan harmonik yang biasanya peratus jumlah herotan harmonik (THD) adalah kecil memerlukan penuras aktif sambungan sesiri. Oleh itu, untuk penyelesaian sepenuhnya pembatalan voltan dan arus harmonik, penuras aktif selari dan sesiri telah dicadangkan. Pendekatan ini telah dilaksanakan pada produk komersil. Walaupun kaedah ini adalah paling efektif, namun kos yang tinggi menjadi masalah utama.

Di dalam projek ini, kaedah yang digunakan dalam pembatalan harmonik ialah dengan penuras aktif sambungan sesiri dan selari.

## 1.4 Panduan Laporan

Laporan ini dibahagikan kepada enam bab. Berikut diterangkan serba sedikit berkenaan isi kandungan setiap bab:

**Bab 1** - Bahagian ini mengandungi pendahuluan, memerihalkan objektif projek, pengenalan kepada harmonik dan panduan laporan.

**Bab 2** - Bahagian ini akan menerangkan secara ilmiah topologi yang digunakan dalam merekabentuk penuras harmonik aktif iaitu litar penyongsang yang mengaplikasikan teknik pensuisan pemodulatan lebar denyut bersinus atau *Sinusoidal Pulse-Width Modulation* (SPWM).

**Bab 3** - Bahagian ini melibatkan penyelakuan litar yang dijalankan menggunakan perisian Pspice Orcad 9.1. Gelombang-gelombang yang terhasil ditunjukkan dan diterangkan secara ringkas. Litar-itar yang direkabentuk kemudian akan digabungkan di bahagian praktikal.

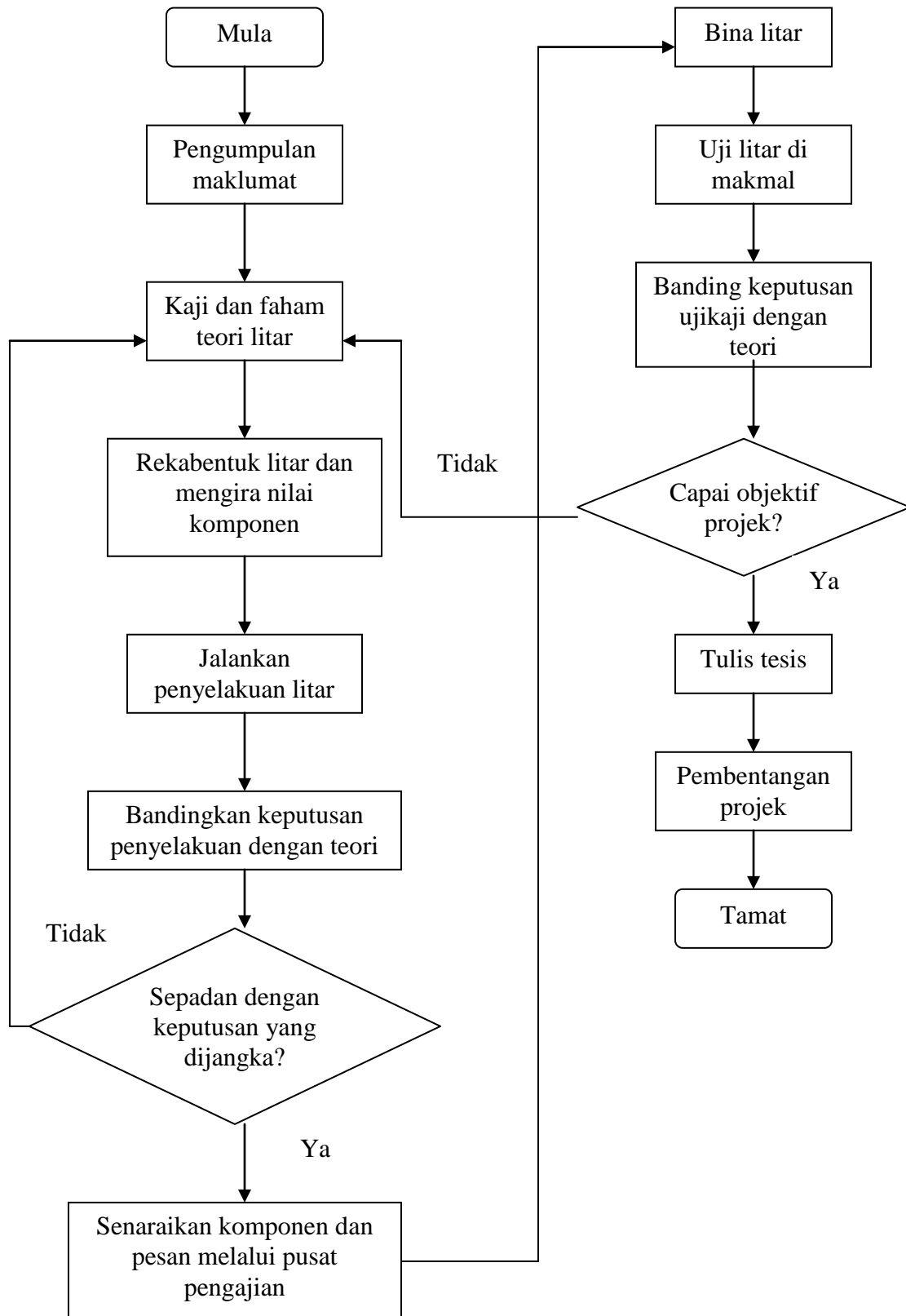
**Bab 4** - Bahagian ini adalah kesinambungan daripada Bab 3 iaitu berkenaan dengan analisis terhadap litar dan gelombang yang telah dihasilkan.

**Bab 5** - Bahagian ini menerangkan projek yang telah dilaksanakan iaitu litar yang telah difabrikasi dan gelombang keluaran yang dipaparkan di osiloskop.

**Bab 6** - Bahagian ini mengulas pencapaian projek, mengutarakan masalah yang dihadapi, cadangan penambaihan dan kesimpulan keseluruhan projek yang telah dijalankan.

## 1.5 Metodologi

Sebaik sahaja tajuk projek difahami, maklumat dan pengetahuan mengenai projek ini dikumpulkan daripada pelbagai sumber seperti internet, buku–buku rujukan dan jurnal-jurnal IEEE. Selepas itu, kesemua teori tentang penuras harmonik aktif dikaji untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas akan rekabentuknya. Berbekalkan pengetahuan berdasarkan kajian, litar yang akan dibina untuk projek ini direka. Kemudian, litar yang siap direka dijalankan penyelakuan menggunakan perisian Pspice Orcad 9.1. Penyelakuan litar perlulah memperolehi keluaran yang dikehendaki. Jika tidak, litar perlu dikaji semula dan rekabentuk diperbaiki. Proses kajian dan pembetulan rekabentuk perlulah diulang sehingga penyelakuan memberikan keluaran yang betul dan tepat. Langkah seterusnya ialah menyenaraikan komponen-komponen yang terlibat dan menempahnya melalui pusat pengajian. Apabila komponen-komponen yang diterima, litar penyongsang dan litar SPWM dibina dan diuji di makmal kuasa. Jika ujikaji yang dijalankan gagal mendapatkan keputusan yang dijangka, litar dan sambungan diperiksa semula.. Jika perlu, pembetulan litar dibuat. Pemeriksaan dan pembetulan litar dibuat sehingga objektif projek dicapai. Laporan ditulis untuk merekodkan setiap butir projek dan draf laporan dihantar sepanjang projek berjalan. Akhir sekali, projek yang telah sepenuhnya siap dibentangkan. Kesemua langkah-langkah untuk mencapai objektif projek dapat ditunjukkan dalam carta alir berikut.

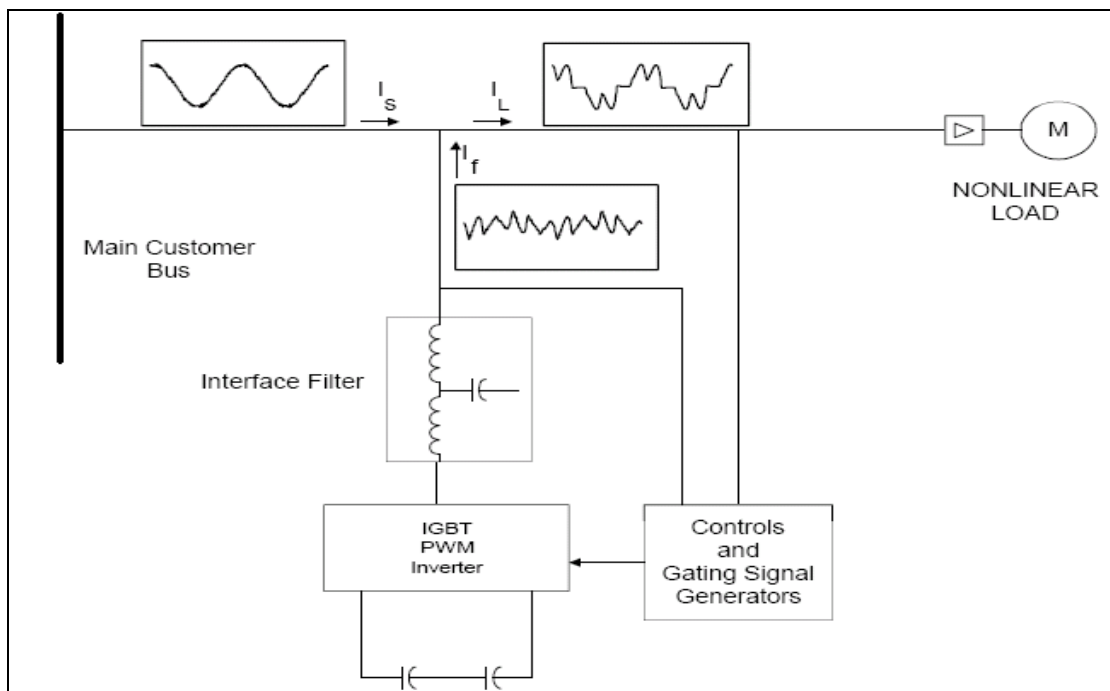


**Rajah 1.2** : Carta alir metodologi projek

**BAB 2**  
**KAJIAN ILMIAH BERKENAAN PENURAS HARMONIK AKTIF DAN**  
**PENSUISAN SPWM**

**2.1 Penuras Harmonik Aktif**

Penuras harmonik aktif menggunakan pensuisan elektronik kuasa untuk menjana arus harmonik yang akan membatalkan arus harmonik daripada beban tidak linear [3]. Penuras harmonik aktif yang direkabentuk adalah gabungan dua buah litar penyongsang yang disambung secara sesiri antara satu sama lain dan selari dengan beban yang hendak dipampas. Penuras ini berfungsi mengurangkan harmonik yang wujud di dalam voltan dan arus yang disebabkan oleh beban tidak linear. Ini dapat dicapai dengan mengawal keluaran voltan daripada penyongsang yang disambungkan terus kepada talian 3 fasa 4 wayar melalui transformer. Arus yang dikeluarkan daripada penuras pula akan sama dengan arus sumber. Dengan itu, faktor herotan dan gangguan harmonik dapat dikurangkan. Gambarajah di bawah menunjukkan konsep pembatalan arus harmonik supaya arus yang dibekalkan daripada sumber adalah sinus [3].



**Rajah 2.1** : Gambaran penuras aktif dengan gelombang yang menunjukkan pembatalan harmonik.

Di dalam kebanyakan penggunaan, voltan keluaran penyongsang perlu dikawal mengikut keperluan. Di antara tujuan kawalan voltan bagi litar-itar penyongsang adalah [2]:

- i. Mendapat penyesuaian terhadap perubahan voltan masukan dc.
- ii. Menghasilkan pengaturan voltan yang lebih baik.
- iii. Mendapat kawalan mantap untuk voltan dan frekuensi.

Cara kawalan yang paling berkesan ialah dengan mengubah gandaan penyongsang menerusi kawalan Modulasi Lebar Denyut (PWM). Modulasi lebar denyut merupakan satu cara untuk mengurangkan jumlah herotan harmonik (THD) arus beban. Keluaran penyongsang PWM dengan penurasan akan memperolehi jumlah herotan harmonik yang kurang berbanding teknik pensuisan gelombang segiempat. Keluaran PWM yang tidak dituras akan mempunyai jumlah herotan harmonik yang tinggi. Namun harmonik yang dihasilkan dengan frekuensi tinggi ini lebih mudah dituras berbanding gelombang segiempat [11]. Di antara teknik yang biasa digunakan bagi penyongsang tiga fasa ialah [2]:

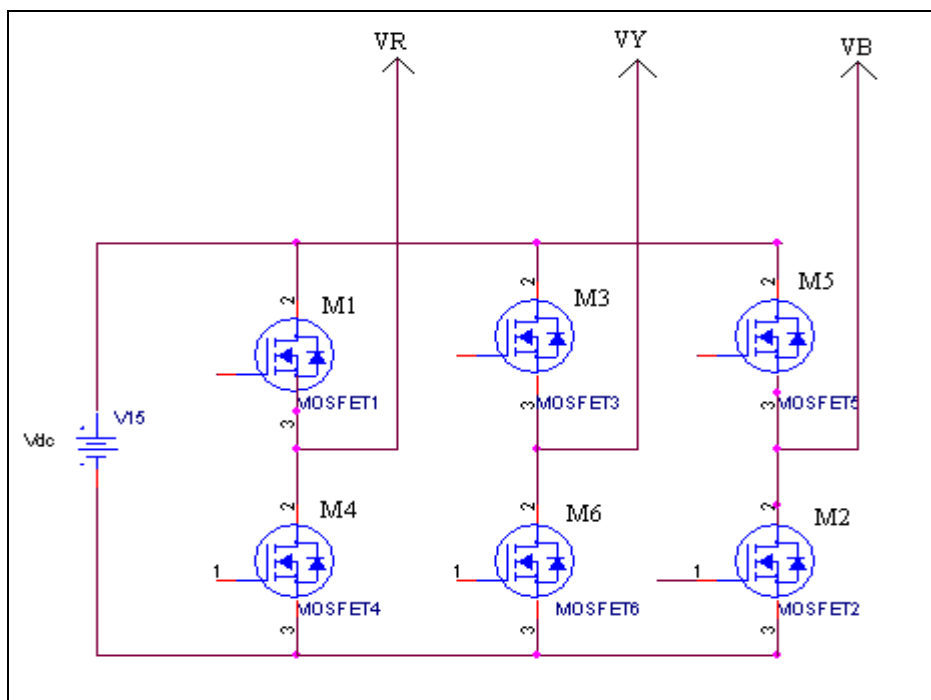
- i. Pemodulatan lebar denyut (PWM) bersinus
- ii. Pemodulatan lebar denyut (PWM) harmonik ketiga
- iii. Pemodulatan lebar denyut (PWM)  $60^\circ$
- iv. Modulasi vektor ruang

Untuk projek ini, kaedah pemodulatan lebar denyut (PWM) bersinus digunakan. Denyut-denyut di dalam kaedah ini dihasilkan dengan membandingkan isyarat rujukan bersinus dengan isyarat pembawa segitiga. Teknik ini dapat mengubah lebar tiap-tiap denyut. Tujuan menggunakan kaedah ini ialah untuk mengurangkan faktor herotan dan juga harmonik peringkat terendah litar. Di dalam projek ini gelombang segitiga dijanakan menggunakan dua buah penguat operasi dan kemudian dibandingkan dengan isyarat rujukan bersinus di litar pembeding. Keluaran yang dihasilkan adalah untuk operasi penyongsang bagi separuh kitar positif. Manakala bagi operasi separuh kitar negatif, keluaran yang dihasilkan tadi akan menjadi masukan bagi litar pemodulatan lebar denyut bersinus (SPWM) songsang.



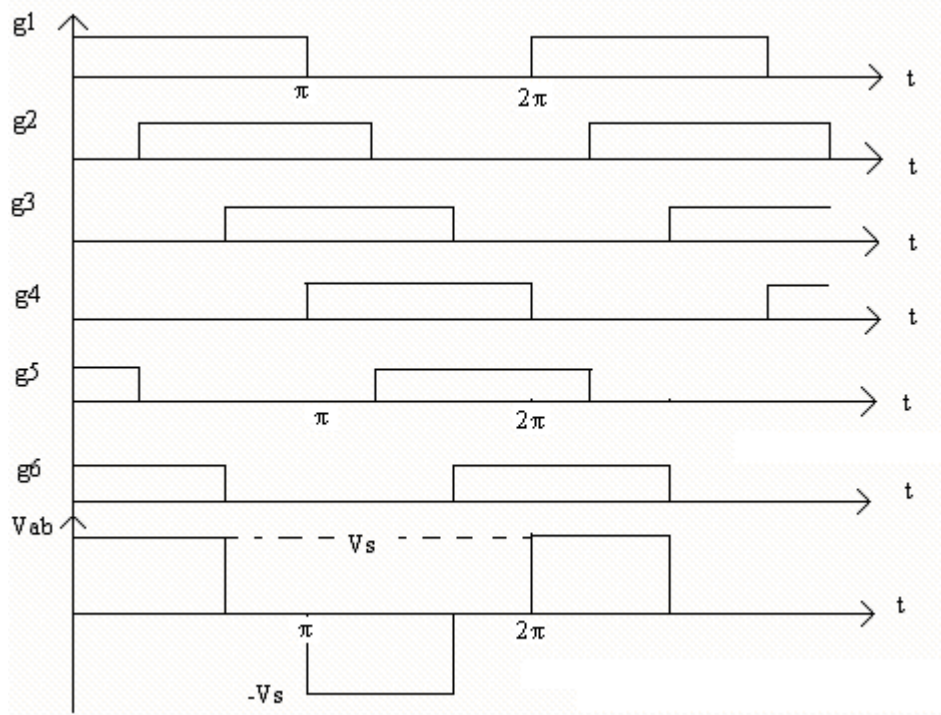
## 2.2 Penyongsang Tiga Fasa

Litar penyongsang berfungsi menukar voltan masukan dc kepada voltan keluaran simetri ac. Voltan keluaran yang dihasilkan mempunyai nilai magnitud yang dikehendaki. Perubahan voltan keluaran boleh dihasilkan pada frekuensi tetap ataupun pada frekuensi berubah. Gandaan bagi penyongsang adalah nisbah voltan keluaran voltan ac ke voltan masukan dc. Pada keadaan lurus bentuk gelombang voltan keluaran adalah sinus. Bagaimanapun, secara praktik ianya tidak lurus disebabkan oleh kehadiran harmonik. Kemunculan peranti pensuisan laju tinggi boleh mengurangkan kesan harmonik di dalam litar menerusi teknik-teknik pensuisan yang cekap. Antara peranti yang sering digunakan dalam litar rekabentuk litar penyongsang ialah BJT, MOSFET, BJT, IGBT, MCT, SIT dan GTO [5]. Di dalam projek ini, MOSFET digunakan kerana ia sesuai untuk aplikasi yang memerlukan voltan sekatan yang rendah dan operasi berfrekuensi tinggi [11]. Keluaran tiga fasa boleh diperolehi daripada konfigurasi 6 transistor dan 6 diod seperti dalam Rajah 2.2. Dua jenis isyarat kawalan transistor boleh digunakan iaitu pengaliran  $180^\circ$  atau pengaliran  $120^\circ$ . Projek ini menggunakan pengaliran  $180^\circ$  kerana ia cara yang lebih baik dan memberikan pensuisan yang lebih cekap [2].



Rajah 2.2 : Litar penyongsang tiga fasa

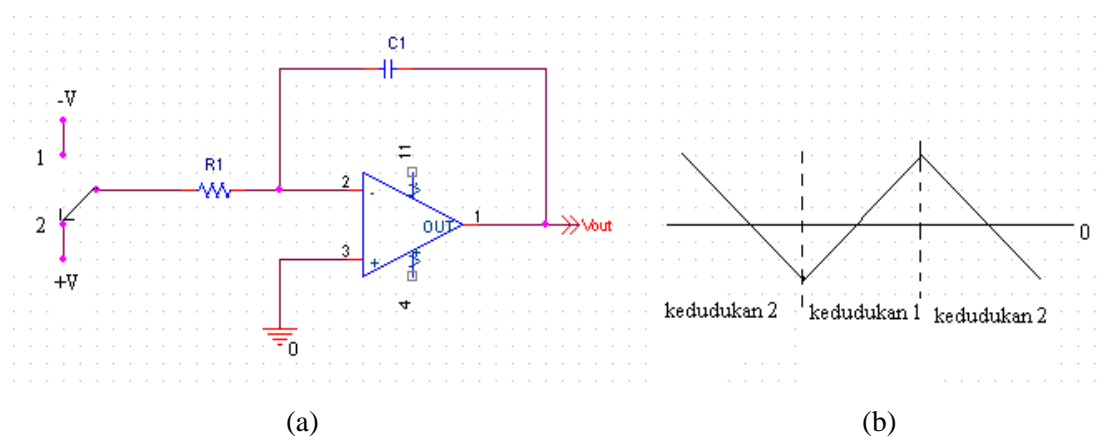
Litar penyongsang tiga fasa kebiasaannya digunakan untuk aplikasi voltan tinggi. Tiga penyongsang satu fasa dapat disambungkan secara selari untuk menghasilkan satu penyongsang tiga fasa. Get-get pemicuan untuk penyongsang satu fasa mestilah diatur supaya dipicu pada sudut kelambatan  $120^\circ$  di antara satu sama lain untuk memperolehi voltan tiga fasa yang seimbang. Litar penyongsang tiga fasa ditunjukkan seperti dalam Rajah 2.2. Setiap MOSFET mengalirkan arus untuk tempoh  $180^\circ$  dan hanya tiga MOSFET kekal dalam keadaan ON dalam satu-satu masa. Apabila MOSFET M1 diONkan,  $V_R$  disambungkan kepada terminal positif voltan masukan dc. Apabila MOSFET M4 diONkan,  $V_R$  disambungkan kepada terminal negatif voltan masukan dc. Ini beerti hanya satu suis boleh beroperasi dalam satu masa bagi sepasang suis (contohnya hanya M1 akan ON manakala M4 akan berada dalam keadaan OFF). Mana-mana pasangan suis pada penyongsang (S1 dan S4, S3 dan S6 atau S5 dan S2) tidak boleh diONkan serentak. Ini kerana litar pintas akan wujud di bekalan voltan penghubung dc. Begitu juga, bagi mengelakkan keadaan dan voltan talian keluaran ac yang tidak dapat dikenalpasti, mana-mana pasangan suis tidak boleh diOFFkan serentak. Ini akan menjadikan voltan bergantung pada polariti arus talian. Dalam rekabentuk ini, setiap MOSFET diON oleh get picuan selepas  $60^\circ$  antara satu dengan lain [2]. Ini dapat digambarkan seperti dalam Rajah 2.3.



**Rajah 2.3** : Bentuk gelombang keluaran dan picuan MOSFET

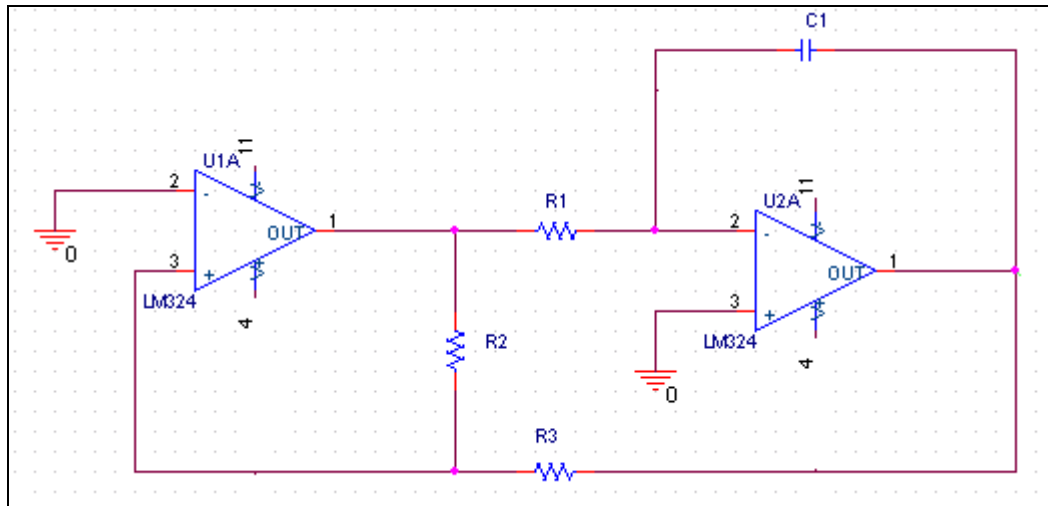
### 2.3 Litar Penjana Gelombang Segitiga

Idea asas untuk penjana gelombang segitiga digambarkan dalam Rajah 2.4 (a) di mana dual polariti, input bersuis digunakan. Suis digunakan hanya untuk memperkenalkan konsep; ia bukan cara praktikal untuk melaksanakan litar. Apabila suis di kedudukan 1, voltan negatif dikenakan dan keluaran adalah tanjakan ke positif. Apabila suis di kedudukan 2 pula, tanjakan ke negatif dihasilkan [6]. Apabila suis diulang di kedudukan 1 dan 2 dalam tempoh yang tetap, keluarannya adalah gelombang segitiga yang mengandungi perubahan tanjakan ke positif dan tanjakan ke negatif seperti dalam Rajah 2.4 (b).



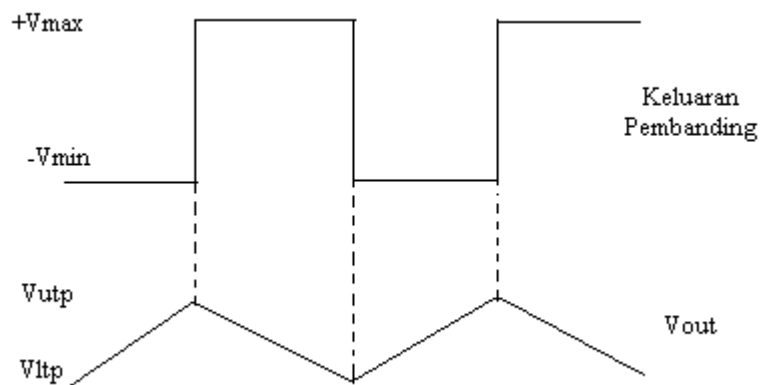
**Rajah 2.4 :** (a) Asas penjana segitiga (b) Voltan keluaran ketika suis diubah kedudukan pada tempoh yang tetap

Satu pelaksanaan praktikal penjana gelombang segitiga (gelombang pembawa) menggunakan pembanding penguat operasi bagi menunjukkan fungsi pensuisan ditunjukkan pada Rajah 2.5.



**Rajah 2.5** : Penjana segitiga menggunakan dua buah penguat operasi

Operasinya adalah seperti berikut. Sebagai permulaan, anggap voltan keluaran pembanding pada aras maksimum negatif. Keluaran ini disambungkan kepada masukan menyongsang pengamir melalui  $R_1$  dan menghasilkan tanjakan ke positif pada keluaran pengamir. Apabila tanjakan voltan mencapai titik picu atas atau *upper trigger point* (UTP), pembanding mensuis ke aras maksimum positif. Aras positif ini menyebabkan tanjakan pengamir berubah ke arah negatif. Tanjakan ini berterusan di arah ini sehingga titik picu bawah atau *lower trigger point* (LTP) pembanding dicapai. Pada titik ini, keluaran pembanding mensuis semula ke aras maksimum negatif dan kitar ini berulang. Perlakuan ini digambarkan dalam Rajah 2.6.



**Rajah 2.6** : Gelombang untuk litar Rajah 2.5

Memandangkan pembanding menghasilkan gelombang keluaran segiempat, litar tersebut boleh digunakan sebagai penjana gelombang segitiga dan segiempat. Peranti jenis ini dikenali sebagai penjana fungsi kerana ia menghasilkan lebih daripada satu fungsi keluaran. Amplitud gelombang keluaran segiempat diset oleh ayunan keluaran pembanding dan perintang  $R_2$  dan  $R_3$  menyetkan amplitud keluaran segitiga dengan menerbitkan voltan UTP dan LTP mengikut formula di bawah:

$$V_{HTP} = +V_{\max} \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \quad (2.1)$$

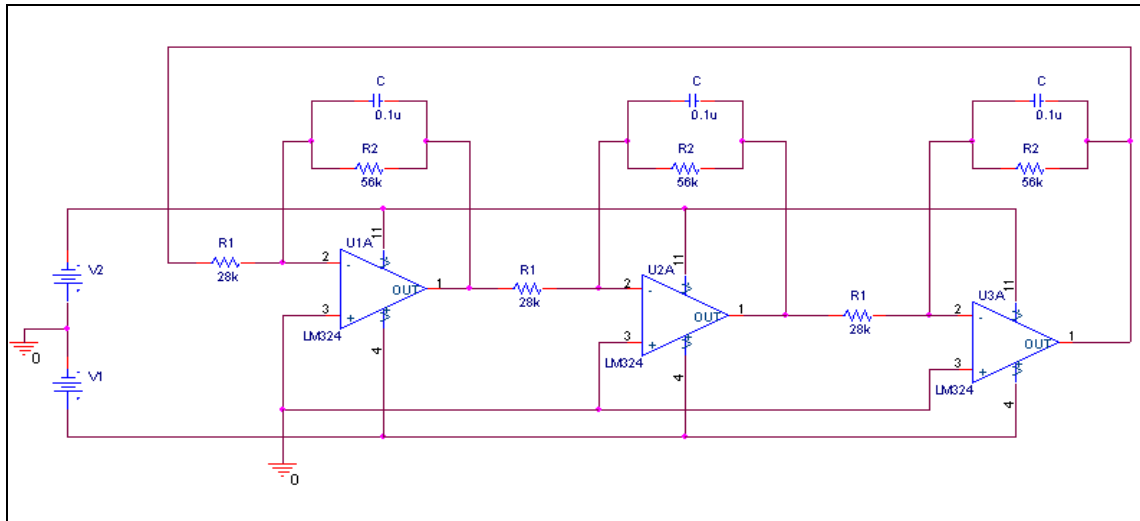
$$V_{LTP} = -V_{\max} \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \quad (2.2)$$

di mana aras keluaran pembanding,  $+V_{\max}$  dan  $-V_{\max}$  adalah sama. Frekuensi kedua-dua gelombang bergantung kepada pemalar masa  $R_1C$  seperti perintang penyetan amplitud  $R_2$  dan  $R_3$ . Dengan mengubah  $R_1$ , frekuensi penjana boleh diubah tanpa mengubah amplitud keluaran dan persamaannya diberikan seperti di bawah [6]: .

$$f_r = \frac{1}{4R_1C} \left( \frac{R_2}{R_3} \right) \quad (2.3)$$

## 2.4 Litar pengayun anjakan fasa RC (Litar penjana gelombang sinus dengan anjakan fasa)

Litar di bawah merupakan litar pengayun anjakan fasa yang mengandungi tiga *lossy integrator* yang disambungkan secara kaskad dengan suapbalik ringkas.



**Rajah 2.7** : Litar pengayun anjakan fasa RC

Syarat bagi pengayunan ialah  $R_2 = 2R_1$ . Jika dipilih  $R_1 = R$ , maka  $R_2 = 2R$  dan frekuensi litar boleh didapati daripada rumus di bawah:

$$\omega_o^2 = \frac{\sqrt{3}}{R_2^2 C^2} \quad \text{atau} \quad \omega_o = \frac{\sqrt{3}}{2RC} \quad (2.4)$$

Maka, frekuensi litar pengayun anjakan fasa RC,  $f = \frac{\sqrt{3}}{4\pi RC}$  Hz (2.5)

Jika voltan  $v_1$  dipilih sebagai rujukan, maka  $v_1(t) = V_m \sin \omega_o t$ . Memandangkan setiap litar memberikan anjakan fasa sebanyak  $120^\circ$ , didapati

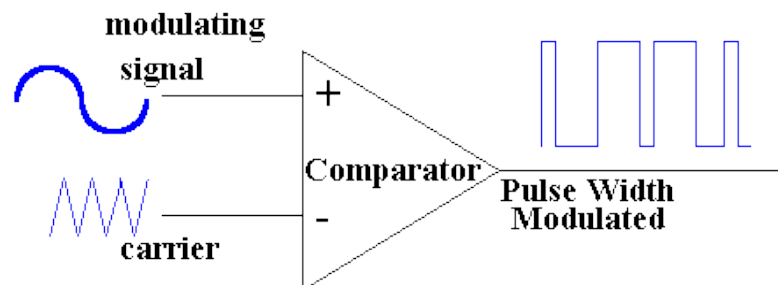
$$v_2(t) = V_m \sin(\omega_o t + 120^\circ) \quad \text{dan} \quad (2.6)$$

$$v_3(t) = V_m \sin(\omega_o t - 120^\circ) \quad (2.7)$$

Tiga voltan tersebut mempunyai amplitud yang sama tetapi berbeza fasa  $120^\circ$  di antara satu sama lain. Oleh itu, voltan-voltan yang dihasilkan mempunyai bentuk yang sama seperti voltan di dalam sistem kuasa tiga fasa [4].

## 2.5 Litar Pemanding Isyarat Pembawa Dengan Isyarat Rujukan

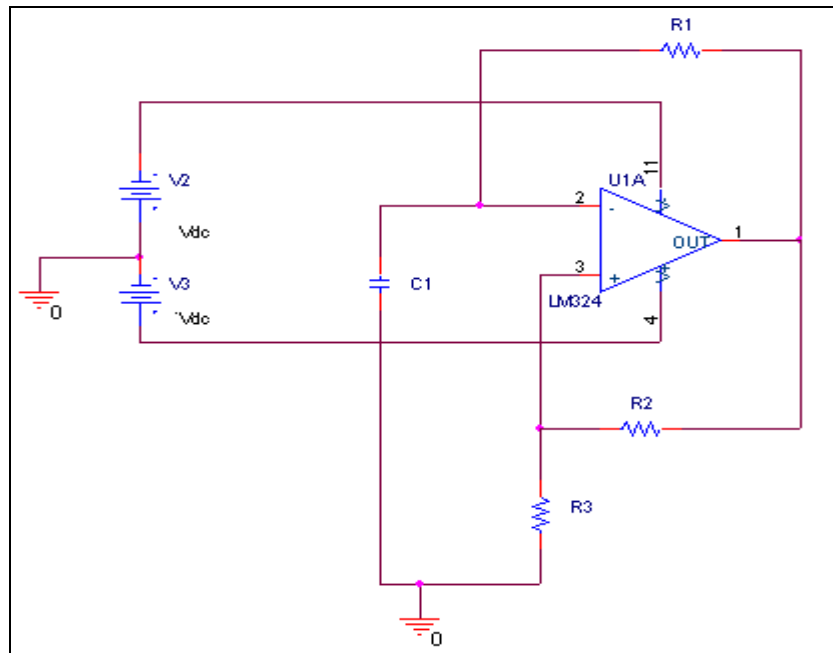
Untuk menjanakan isyarat yang diperlukan untuk memicu satu MOSFET, gelombang rujukan dan gelombang pembawa perlu dipicu kepada satu litar pemanding (Rajah 2.9). Litar pemanding menggunakan penguat operasi LM324 sebagai peranti utama. Isyarat untuk memicu satu MOSFET diperolehi dengan membandingkan isyarat rujukan berbentuk sinus dengan gelombang segitiga yang bertindak sebagai gelombang pembawa. Amplitud gelombang rujukan adalah 4V dengan frekuensi 50 Hz manakala gelombang pembawa pula mempunyai amplitud 5V dengan frekuensi 700 Hz. Frekuensi gelombang pembawa yang diperolehi merupakan frekuensi gelombang maksimum. Ini kerana nilai frekuensi yang melebihi 700 Hz akan menghasilkan gelombang yang sedikit terherot dan herotan bertambah teruk dengan peningkatan nilai frekuensi. Gelombang yang dihasilkan oleh litar pemanding dipanggil sebagai Pemodulatan Lebar Denyut Bersinus atau *Sinus Pulsed-width Modulation* (SPWM).



Rajah 2.9 : Litar pemanding

## 2.6 Pengayun santaian gelombang segiempat

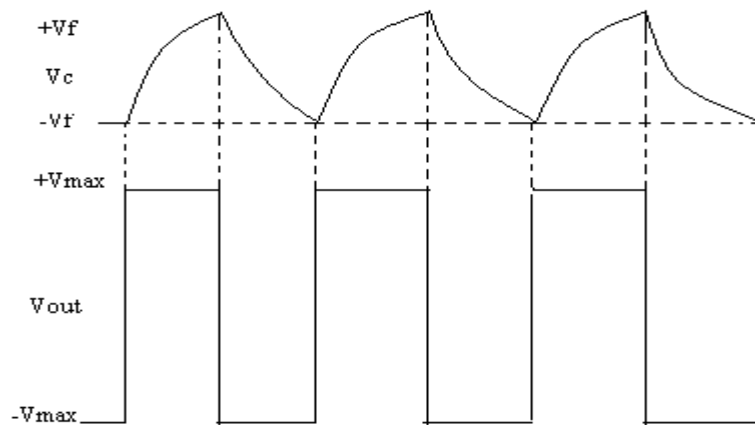
Pengayun gelombang segiempat yang asas seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.10 adalah jenis pengayun santaian kerana operasinya berdasarkan pengecasan dan penyahcasan kapasitor.



**Rajah 2.10** : Pengayun gelombang segiempat

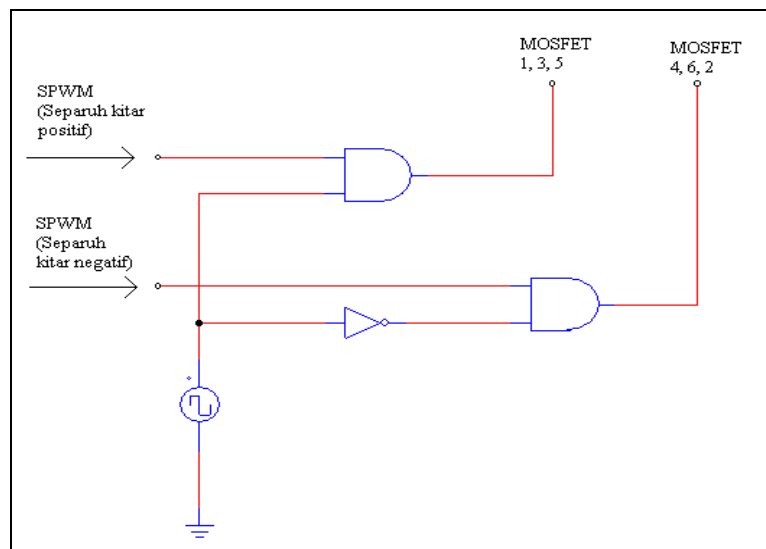
Perhatikan masukan menyongsang penguat operasi adalah voltan kapasitor dan masukan tak menyongsang adalah keluaran yang disuapbalik melalui perintang  $R_2$  dan  $R_3$ . Apabila litar diONkan, kapasitor akan menyahcas. Oleh itu, masukan menyongsang adalah 0V. Ini menjadikan keluaran maksimum positif dan kapasitor mula mengecas ke arah  $V_{out}$  melalui  $R_1$ . Bila voltan kapasitor,  $V_c$  mencapai nilai yang sama dengan voltan suapbalik,  $V_f$  pada masukan tak menyongsang, penguat operasi mensuis kepada keadaan negatif maksimum. Pada titik ini, kapasitor akan mula mengecas daripada  $+V_f$  ke  $-V_f$ . Apabila voltan kapasitor mencapai  $-V_f$ , penguat operasi mensuis semula ke keadaan positif maksimum. Perlakuan ini berterusan berulang-ulang seperti dalam Rajah 2.11 dan voltan keluaran gelombang segiempat diperolehi [6].





**Rajah 2.11** : Gelombang untuk pengayun santaian gelombang segiempat

Keluaran pengayun gelombang segiempat ini akan dibandingkan dengan keluaran separuh kitar positif litar SPWM sebelum disambungkan ke litar lengah. Bagi separuh kitar negatif litar SPWM pula, gelombang keluaran akan dibandingkan dengan songsangan keluaran pengayun santaian gelombang segiempat. Tujuan perbandingan ini ialah untuk memberikan masa lengah  $180^\circ$  supaya tidak berlaku pertindihan pensuisan. Keluaran pengayun santaian gelombang segiempat boleh disongsangkan dengan menyambungkan kepada get not iaitu cip CD4049BC. Ini dapat digambarkan seperti Rajah 2.12.

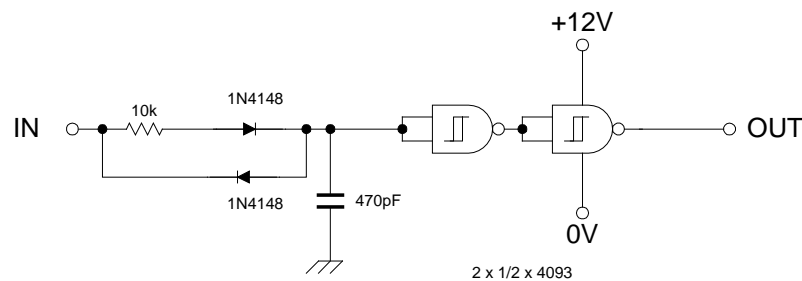


**Rajah 2.12** : SPWM dibandingkan dengan gelombang segiempat

## 2.7 Litar Lengah

Denyut picuan (SPWM) mestilah dilengahkan untuk mengelakkan pertindihan operasi pensuisan dalam cabang yang sama. Jika tidak, ia akan merosakkan suis. Masa lengah yang diperlukan bergantung kepada ciri-ciri pensuisan. Bagi peranti pensuisan IGBT dan MOSFET, masa lengah yang biasa digunakan ialah  $1\mu\text{s}$  hingga  $10\mu\text{s}$ . Perhatian yang teliti perlu dibuat terhadap pemilihan peranti. Ini kerana masa lengah yang terlalu panjang akan meningkatkan harmonik di dalam rekabentuk manakala masa lengah yang terlalu singkat akan memanaskan suis dan seterusnya memusnahkannya.

Litar bagi lengah masa ditunjukkan di dalam Rajah 2.13. Litar ini memberikan masa lengah kira-kira  $5\mu\text{s}$ . Masa lengah boleh diselaraskan dengan mengubah masukan kapasitor ataupun masukan perintang [7].



**Rajah 2.13** : Litar lengah

**BAB 3**  
**PENYELAKUAN MENGGUNAKAN PSPICE ORCAD 9.1**  
**DAN REKABENTUK LITAR**

Sebelum memulakan fabrikasi litar, litar yang direkabentuk disimulasi bagi mendapatkan keluaran tepat yang dikehendaki. Penyelakuan litar dijalankan menggunakan perisian Pspice Orcad 9.1. Perisian ini dipilih untuk digunakan kerana ia lebih stabil dan memberikan keputusan yang lebih jitu.

**3.1 Penjana gelombang segitiga**

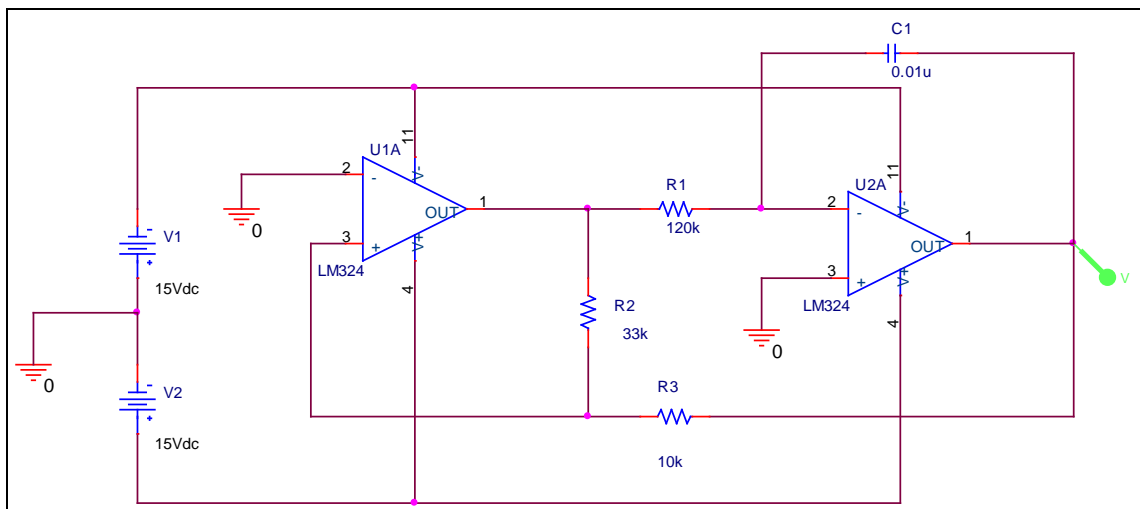
Litar seperti dalam Rajah 3.1 digunakan untuk menjana gelombang segitiga. Pembolehubah dan parameter yang terlibat adalah:

$$\pm V_{dc} = 15 \text{ V} \quad R_1 = 118\text{k}\Omega \quad R_2 = 33\text{k}\Omega \quad R_3 = 10\text{k}\Omega \quad C_1 = 0.01\mu\text{F}$$

Berdasarkan Rumus (2.3), frekuensi penjana segitiga,  $f_r = \frac{1}{4R_1C} \left( \frac{R_2}{R_3} \right)$

$$\text{Maka, frekuensi litar, } f_r = \frac{1}{4 \times 118\text{k} \times 0.01\mu} \left( \frac{33\text{k}}{10\text{k}} \right)$$

$$f_r = 700\text{Hz}$$



**Rajah 3.1 : Litar penjana segitiga**