

# **WATER TREEING IN THE SOLID INSULATOR UNDER GROUND CABLE**

(PEPEPOHON AIR DALAM PENEHAT PEPEJAL PADA KABEL BAWAH TANAH)

## **PENYELIDIK :**

1. PROF MADYA TARMIDI BIN TAMSIR (KETUA)
2. PROFESOR DR IR ABDUL HALIM MOHD YATIM
3. PROF MADYA DR ZULKURNAIN ABDUL MALIK

**NO VOT : 71745**

FAKULTI KEJURUTERAAN ELEKTRIK  
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

2006

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

**BORANG PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN**

TAJUK PROJEK : WATER TREEING IN THE SOLID INSULATOR UNDER GROUND  
CABLE.

Saya **TARMIDI BIN TAMSIR**  
**(HURUF BESAR)**

Mengaku membenarkan **Laporan Akhir Penyelidikan** ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. \* Sila tandakan ( / )

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).

TIDAK  
TERHAD

\_\_\_\_\_  
TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK

\_\_\_\_\_  
Nama & Cop Ketua Penyelidik

Tarikh : \_\_\_\_\_

**CATATAN :** \*Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/ organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya dapatlah saya bersama rakan-rakan menyiapkan laporan akhir ini setelah menghadapi segala masalah dan kesukaran.

Setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih saya kepada rakan-rakan Profesor Dr Ir Abdul Halim Mohd Yatim dan Prof. Madya Dr Zulkurnain Abdul Malik dalam menjayakan projek ini. Jutaan terima kasih juga saya tujukan kepada pembantu penyelidik Norkhairul Bin Norjam yang telah membantu menyiapkan projek ini dan menyediakan laporan akhir ini.

Juga saya mengucapkan ribuan terima kasih kepada pihak Fakulti Kejuruteraan Elektrik dan Pusat Pengurusan Penyelidikan, UTM yang membantu dalam pengurusan dan pembiayaan perjalanan projek ini.

## ABSTRACT

This study is describes the work carried out the investigation of the problem of water trees in dielectrics used as insulation in high-voltage cables. The investigation covers the design and development of testing technique to examine the more fundamental aspects of water trees. This includes the design of variable high voltage and high frequency power supply, preparation of test samples with water electrodes and observation and measurement of growth of water trees.

## **ABSTRAK**

Kajian ini dijalankan untuk mengkaji masalah pepohon air yang berlaku dalam dielektrik pepejal yang digunakan sebagai penebat dalam kabel voltan tinggi. Kajian ini meliputi rekabentuk dan pembangunan teknik pengujian untuk menguji lebih kepada aspek asas kejadian pepohon air. Ini termasuk rekabentuk sumber bekalan voltan tinggi bolehubah dan frekuensi tinggi, persediaan sampel ujian dengan elektrod air dan pemerhatian dan pengukuran pertumbuhan pepohon air.

## KANDUNGAN

KANDUNGAN	MUKA SURAT
HALAMAN JUDUL	i
PENGHARGAAN	ii
ABSTRACT	iii
ABSTRAK	iv
KANDUNGAN	v
SENARAI RAJAH	vii
BAB 1 : PENGENALAN	
1.1    Latar Belakang	1
1.2    Objektif projek	2
1.3    Skop projek	2
BAB 2 : KAJIAN LITERATUR SUMBER BEKALAN	
2.0    Pengenalan	5
2.1    Penerus	5
2.1.1    Penerus separuh gelombang satu fasa	6
2.1.2    Penerus gelombang penuh satu fasa	8
2.2    Penyongsang	9
2.2.1    Penyongsang sumber voltan	10
2.2.1.1    VSI dengan sambungan AT bolehubah	10

2.2.1.2 VSI dengan sambungan AT tetap	11
2.2.2 Penyongsang sumber arus	12
2.3 Penyongsang satu fasa dan tiga fasa	12
2.4 Pemasa 555	13
2.4.1 Konfigurasi pin pemasa 555	14
2.4.2 Prinsip kendalian pemasa 555	15
2.5 Pemacu	16
2.5.1 Lengah	17
2.5.2 Pengasingan isyarat	18
2.6 Penapis	19
2.6.1 Penapis jalur rendah	19
2.7 Pengubah	20

### BAB 3 : PERLAKSANAAN PROJEK

3.1 Rekabentuk litar penerus dan pengatur voltan tetap	21
3.2 Rekabentuk litar penerus dan pengatur voltan bolehubah	22
3.3 Litar pemasa	23
3.4 Rekabentuk litar pemacu dan IGBT	25
3.5 Rekabentuk litar penapis	31
3.6 Rekabentuk pengubah	34

**BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN**

4.1	Keputusan projek	42
4.2	Perbincangan	43

**BAB 5 : KESIMPULAN DAN CADANGAN**

5.1	Kesimpulan	44
5.2	Cadangan	44

<b>RUJUKAN</b>	<b>45</b>
----------------	-----------

<b>LAMPIRAN</b>	
-----------------	--



## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Gambarajah keseluruhan projek	3
1.2	Aplikasi sumber bekalan voltan tinggi bolehubah	4
2.1	Penerus separuh gelombang satu fasa	6
2.2	Gelombang penerus separuh gelombang	7
2.3	Penerus gelombang penuh	8
2.4	Gelombang penerus penuh	9
2.5	Penyongsang sumber voltan	10
2.6	Penyongsang sumber voltan dengan sambungan AT bolehubah	10
2.7	Voltan masukan untuk kadaran voltan yang tinggi dan rendah	11
2.8	Penyongsang sumber voltan dengan sambungan AT tetap	11
2.9	Penyongsang sumber arus	12
2.10	Litar setara penyongsang segiempat	13
2.11	Operasi litar setara penyongsang segiempat	13
2.12	Konfigurasi pin pemasa 555	14
2.13	Litar dalaman pemasa 555	16
2.14	Lengah minimum sesuatu isyarat	17
2.15	Mengambilkira lengah untuk pemacuan	17
2.16	Komponen HCPL3150 dan HCPL315J	18
2.17	Jadual keluaran pengasing	18
2.18	Penapis jalur rendah	19
2.19	Teras, gelung dan belitan pengubah	20

3.1	Litar penerus dan voltan tetap + 5 V, +12V	21
3.2	Litar penerus dan pengatur voltan bolehubah 0 - +12 V	22
3.3	Konfigurasi astable pemasa 555	23
3.4	Gelombang keluaran pemasa 555	25
3.5	Litar pemacu bagi menghasilkan lengah	26
3.6	Litar pemacu bagi pengasingan isyarat	27
3.7	Litar pemacu bagi menghasilkan pengasingan bekalan	27
3.8	Bentuk keluaran pada sepasang IGBT	29
3.9	Lengah selama 1s pada isyarat menaik pada keluaran 1	30
3.10	Lengah selama 1s pada isyarat menurun pada keluaran 1	30
3.11	Penapis jalur rendah	31
3.12	Sambungan penapis pada litar penyongsang	33
4.1	Voltan keluaran	42

## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 Latar Belakang

Water treeing merupakan satu kejadian yang berlaku di bahagian penebat bagi kabel bawah tanah jenis pepejal. Kejadian fenomena ini merupakan kegagalan mekanisma penebat pepejal voltan tinggi untuk jangka masa panjang. Kebiasaannya proses kejadian ini mengambil masa yang lama untuk berlaku.

Tekanan voltan yang tinggi dan pendedahan terhadap kandungan penebat atau air di luar penebat akan mempercepatkan lagi kecenderungan dielektrik untuk membentuk akar. Electrical Trees merupakan pembentukan akar disebabkan pendedahan terhadap air dikenali sebagai electro-chemical atau water trees.

Proses water treeing ini boleh dikaitkan dengan penyerapan air pada penebat kabel tersebut. Lanjutan proses penyerapan air yang berlaku ini akan mengakibatkan akar yang terbentuk pada penebat kabel akan memberikan beberapa kesan yang lebih buruk pada talian penghantaran tersebut.

Lama kelamaan molekul-molekul air ini akan mengalami proses nyahcas. Proses ini akan mengakibatkan wujudnya laluan yang menjalar dalam penebat dan menghasilkan bunga api. Bunga api itu akan menyebabkan hakisan elektrik berlaku pada hujung kesan bunga api itu. Hakisan ini membuatkan permukaan dielektrik menjadi kasar dan boleh memerangkap segala habuk dan kotoran. Ini menyebabkan nilai kealiran dielektrik itu bertambah dan seterusnya menghasilkan satu laluan pengalir antara elektrod tersebut. Laluan yang berlaku berupa akar pokok yang menjalar pada bahagian penebat. Akhirnya keadaan pecah tebat antara elektrod berlaku.

Walaupun kejadian water treing ini mengambil masa yang agak panjang namun kesan daripada kejadian yang boleh mendatangkan akibat yang buruk seperti pecah tebat ataupun letupan pada kabel tersebut.

Hasil penemuan ini beberapa kajian yang dilakukan untuk menganaggar tahap ketahanan sesebuah kabel untuk keadaan water treeing ialah dengan menjalankan ujian

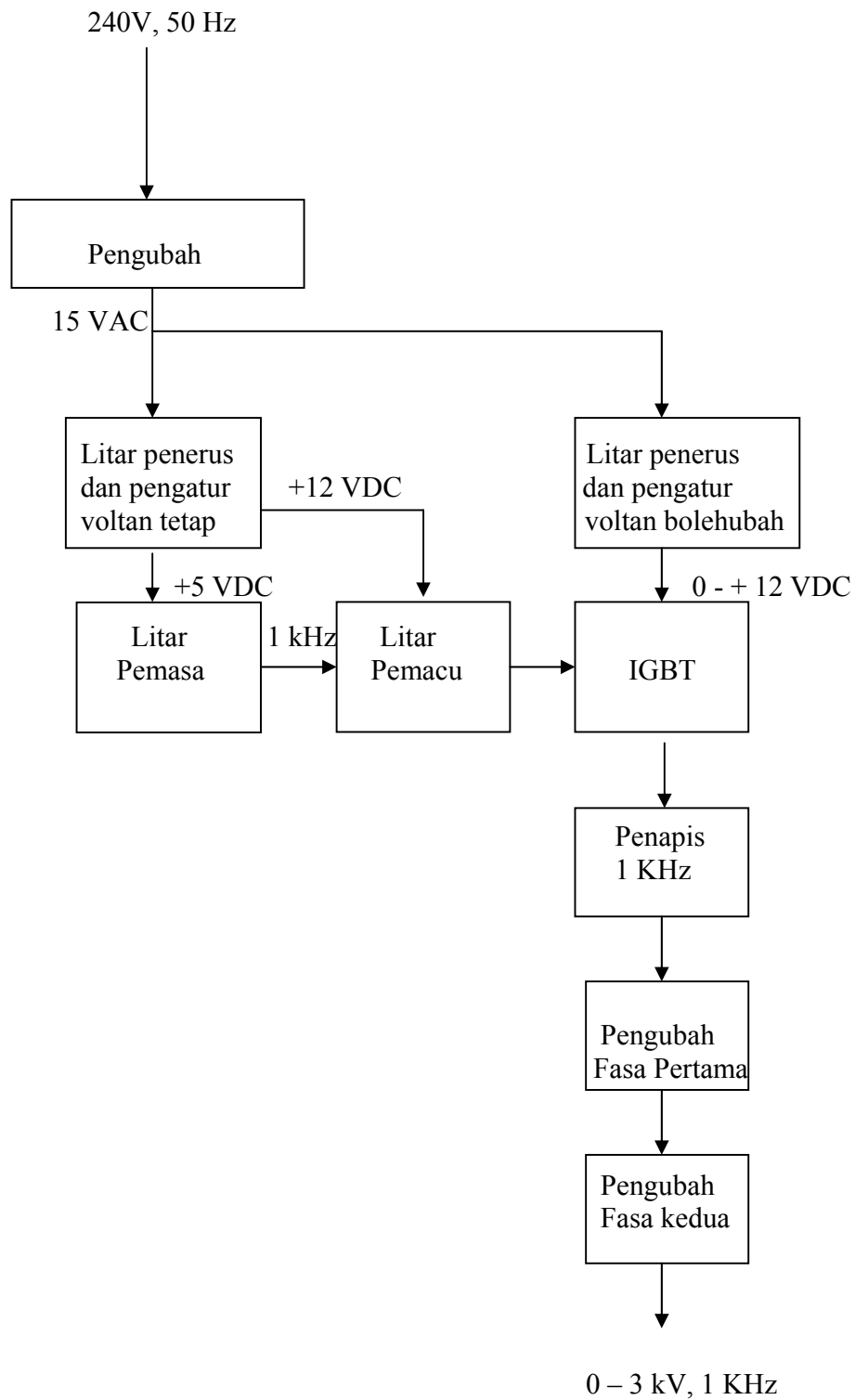
mempercepatkan hayat kabel (accelerated cable life test). Ujian ini dilakukan supaya mempercepatkan proses pengakaran. Kabel yang hendak diuji perlulah didedahkan kepada keadaan berair dengan tahap suhu, tekanan sumber oltan dan frekuensi yang ditetapkan. Dengan adanya penganggaran tempoh hayat kabel berkenaan maka tahap keselamatan penggunaan kabel dapat dipastikan. Namun, kesesuaian pengujian kabel ini hanyalah tertumpu kepada kabel bawah tanah berikutan kejadian fenomena water treeing.

## **1.2 Objektif projek**

Secara umumnya projek yang telah dilaksanakan ini adalah merekabentuk peranti yang dapat mengubah bekalan arus ulangalik satu fasa yang mempunyai voltan punca min kuasa dua 240 V dan frekuensi 50 Hz kepada arus ulangalik satu fasa yang mempunyai voltan punca min kuasa dua boleh ubah daripada 0 hingga 3 kV dan frekuensi 1 kHz. Dengan adanya rekaan projek ini diharap dapat mengesan fenomena water treeing yang berlaku pada penebat kabel dan kerosakan yang berlaku terhadap sistem talian penghantaran voltan tinggi.

## **1.3 Skop Projek**

Skop projek adalah untuk merekabentuk sebuah penjana voltan tinggi yang dapat dikendalikan pada frekuensi tinggi. Projek ini tertumpu kepada penghasilan voltan ulang alik berfrekuensi tinggi. Secara ringkas, bahagian utama projek ini dapat ditunjukkan dalam rajah 1.1.

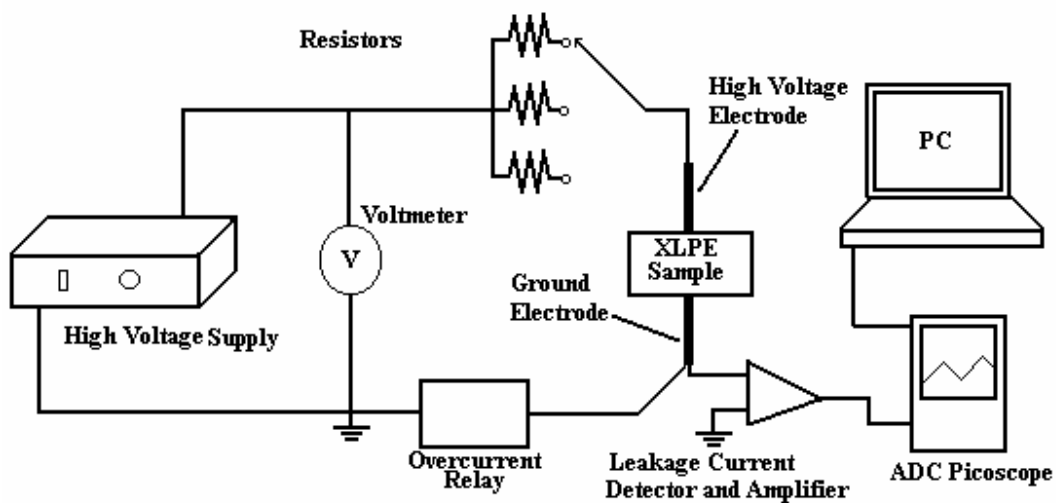


**Rajah 1.1 : Gambarajah keseluruhan Projek.**

Merujuk kepada rajah 1.1, bekalan kuasa daripada TNB dikecilkan kepada 15 VAC sebelum dimasukkan kepada litar penerus. Terdapat dua litar penerus yang akan menghasilkan voltan tetap 5 VDC dan 12 VDC, dan satu lagi akan menghasilkan voltan boleh ubah 0 V sehingga 12 VDC. Litar pemasa akan menjana frekuensi 1 kHz dan akan dimasukkan ke litar pemacu. Litar pemacu pula akan memacu IGBT untuk menghasilkan voltan ulangalik daripada pengatur voltan bolehubah.

Bentuk keluaran voltan daripada IGBT itu adalah merupakan gelombang segiempat, berfrekuensi 1 KHz. Untuk mendapatkan bentuk voltan sinusoidal, penapis yang mempunyai elemen kapasitor dan induktor digunakan. Gelombang sinusoidal 1 kHz itu pula seterusnya akan dimasukkan kepada pengubah sebanyak dua peringkat bagi mendapatkan nilai maksimum 3 kV.

Secara ringkas, aplikasi sumber bekalan voltan bolehubah ini boleh diterangkan melalui Rajah 1.2.



**Rajah 1.2 : Aplikasi Sumber Bekalan Voltan Tinggi Bolehubah.**

## BAB 2

### KAJIAN LITERATUR SUMBER BEKALAN

#### 2.0 Pengenalan

Sumber bekalan yang direka merupakan sumber voltan tinggi yang mempunyai frekuensi lebih daripada frekuensi yang dibekalkan oleh pihak TNB. Untuk mendapatkan sumber bekalan ini rekabentuk seperti diterangkan dalam skop projek meliputi litar penerus, penyongsang, litar pemasa, litar pemacu, penapis dan pengubah menaik.

#### 2.1 Penerus

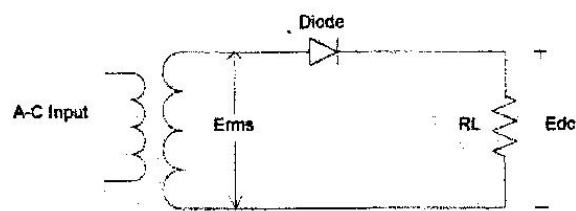
Penerus adalah merupakan salah satu proses untuk menukarkan voltan arus ulang alik kepada arus terus. Penerus jenis tembaga oksida merupakan semikonduktor yang paling baik, manakala jenis germanium, selenium dan silikon juga dihasilkan dan digunakan secara meluas.

Untuk menukarkan dari arus ulang alik kepada arus terus, komponen seperti penerus diod jenis silikon adalah komponen yang paling sesuai kerana kecekapan yang tinggi dan mudah dikendalikan.

Biasanya, penerus terdiri daripada penerus gelombang separuh dan penerus gelombang penuh. Bagi penerus separuh gelombang, ianya merupakan litar yang menukarkan voltan masukan ulang alik kepada voltan arus terus dengan satu denyut pada setiap kitar berbanding dengan penerus gelombang penuh yang menghasilkan keluaran dua denyut pada setiap kitar. Disamping itu, penerus gelombang penuh membenarkan arus mengalir satu arah ke beban 360 darjah pada satu kitar.

### 2.2.1 Pernerus Separuh Gelombang Satu Fasa

Litar penerus separuh gelombang adalah menukarkan komponen voltan sinus ulagalik kepada komponenvoltan arus terus dengan satu denyut keluaran pada setiap kitar masukan. Litar penerus separuh gelombang satu fasa dapat dilihat dalam rajah 2.1.

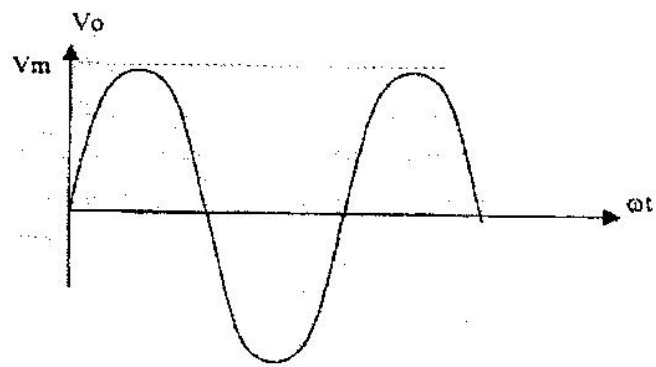


Rajah 2.1 : Pernerus Separuh gelombang Satu Fasa

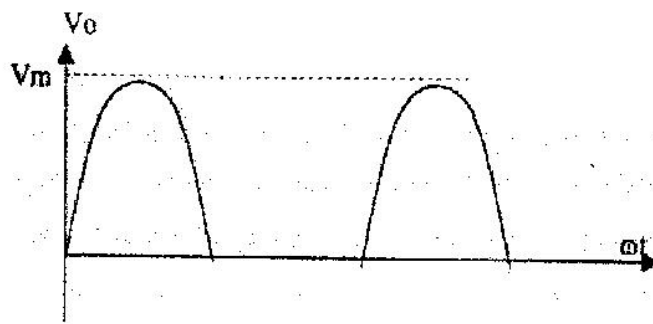
Gelombang sinus yang bermula dari sifar kepada puncak positif dan kemudian menuju ke sifar semula. Seterusnya ianya menuju ke puncak negatif sebelum kitar lengkap menuju sifar semula. Ini bermakna hanya kitar positif sahaja untuk arus mengalir manakala bahagian kitar negatif arus disekat. Maka arus yang mengalir pada kitar positif dipanggil arus terus kerana voltan masih menuju naik dari sifar ke puncak positif dan ke sifar semula. Namun begitu frekuensi bagi arus masih sama 50 Hz. Voltan keluaran untuk pernerus separuh gelombang ini dapat dilihat dalam rajah 2.2.

Pernerus separuh gelombang sangat jarang digunakan dalam applikasi, hanya untuk applikasi yang mudah. Ianya juga adalah komponen sru rendah kerana kestabilan voltan adalah tidak kritikal serta kuasa permintaan yang tetap. Selin itu, arus puncak yang tinggi serta riak frekuensi yang rendah memerlukan penapis kapasitor yang tinggi untuk memastikan riak amplitud voltan rendah. Disamping itu pengaturan bagi litar ini adalah kurang serta kecekapan yang rendah merupakan keburukan yang terdapat pada litar separuh gelombang ini.

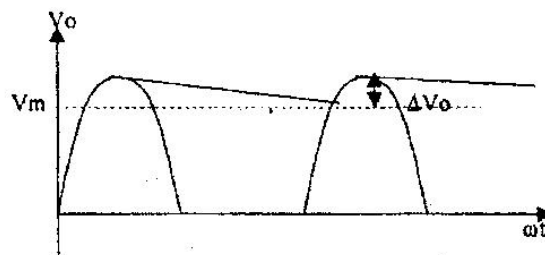




(a)



(b)



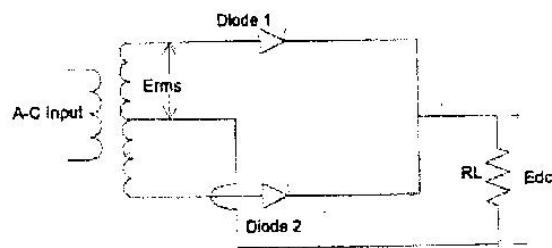
(c)

Rajah 2.2 : Gelombang penerus se[aruh gelombang

- (a) Keluaran voltan tanpa penerus
- (b) Keluaran voltan melalui penerus tanpa kapasitor
- (c) Keluaran voltan melalui penerus dengan kapasitor

### 2.1.2 Pernerus Gelombang Penuh Satu Fasa

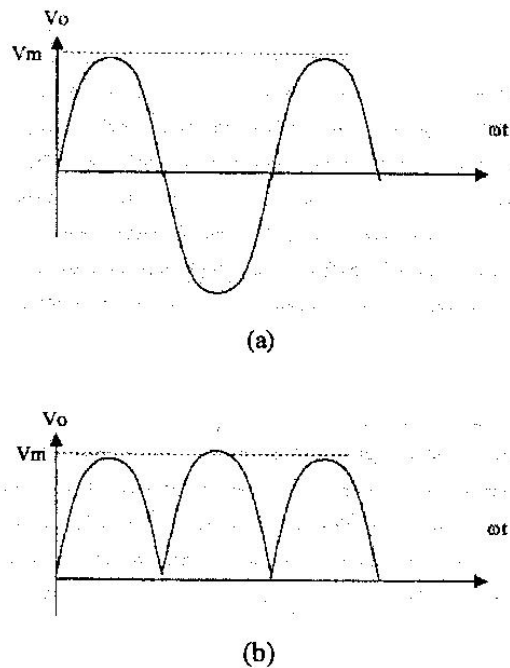
Bagi litar ini pula, ianya sangat popular digunakan. Pernerus ini merupakan gabungan litar separuh gelombang yang bekerja pada kedua-dua kitar gelombang sinus ulangalik. Namun begitu sambungan tengah pada bahagian sekunder pengubah kuasa amat di[erlukan untuk pernerus jenis ini. Litar pernerus penuh gelombang ditunjukkan dalam rajah 2.3.



Rajah 2.3 : Pernerus gelombang penuh

Dalam litar pernerus gelombang penuh ini, diod mampu untuk menampung untuk bekerja pada puncak voltan yang mana bersamaan nilai puncak voltan yang merintang skunder pengubah,  $2E_{rms}$ . Arus yang mengalir dalam litar ini tidak berarah maka untuk mengelakkan keadaan terputus voltan dan arus pada beban, komponen kapasitor disambung pada beban untuk menghasilkan keluaran yang licin (tiada riak).

Litar ini menggunakan kedua-dua kitar iaitu kitar positif dan negatif gelombang sinus yang menghasilkan frekuensi dua kali ganda dari litar separuh gelombang. Di antara kebaikan litar ini berbanding litar separuh gelombang adalah frekuensi tinggi mewmerlukan penapis yang bernilai kecil untuk menghasilkan keluaran arus terus berbanding jika menggunakan frekuensi rendah. Selin itu, penggunaan sentuhan tengah litar (center tapped) lebih pratikal serta ekonomi selain pengaturan voltan yang baik, kestabilan voltan dan keperluan yang penting dalam litar ini. Voltan keluaran daripada pernerus penuh gelombang ini dapat ditunjukkan dalam rajah 2.4.



Rajah 2.4 : Gelombang penerus penuh

(a) Gelombang masukan

(b) Gelombang keluaran

## 2.2 PENYONGSANG

Pealatan yang menukarkan sumber arus terus ( $at$ ) kepada arus ulangalik ( $ua$ ) dikenali penyongsang. Penyongsang ini berperanan sebagai menukarkan masukan  $at$  kepada keluaran  $ua$  dengan magnitud dan frekuensi yang tertentu. Terdapat pelbagai cara untuk menghasilkan keluaran yang berbagai seperti mengubah masukan  $at$  atau mengubah nilai gandaan bagi penyongsang tersebut. Gandaan adalah nisbah keluaran  $ua$  dengan masukan  $at$ . Kepelbagain gandaan dapat dicapai dengan mengawal nilai Pulse Width Modulation (PWM).

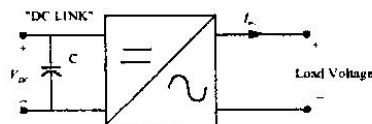
Secara pratikal, keluaran yang diperolehi mengandungio harmonik dan menyebabkan gelombang tidak sinusoidal berbanding dengan gelombang keluaran voltan yang unggul.

Penggunaan peralatan semikonduktor kuasa laju tinggi serta teknik pensuisan litar, kandungan harmonik yang terhasil dapat dikurangkan.

Kebanyakan penyongsang banyak digunakan dalam aplikasi perindustrian seperti kepelbagaian kelajuan pemacu motor arus ulangalik, bekalan kuasa siapsedia dan sebagainya. Disebabkan masukan bagi penyongsang adalah arus terus maka bateri, bateri sel solar, sel bahan api atau punca at yang lain boleh digunakan.

Penyongsang mempunyai pelbagai jenis diantaranya penyongsang sumber voltan dan penyongsang sumber arus.

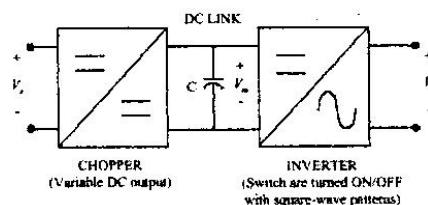
### 2.2.1 Penyongsang Sumber Voltan (Voltage source Inverter, VSI)



Rajah 2.5 : Penyongsang sumber voltan

Penyongsang jenis ini terdapat pelbagai cara sambungan masukan yang boleh digunakan antaranya seperti keadah sambungan masukan at boleh ubah dan keadah sambungan at tetap. Rajah 2.5 menunjukkan gambarajah blok penyongsang sumber voltan.

#### 2.2.1.1 VSI dengan sambungan AT bolehubah

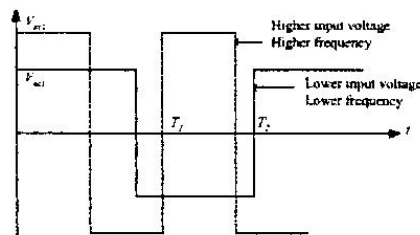


Rajah 2.6 : Penyongsang sumber voltan dengan sambungan AT bolehubah

Dengan menggunakan pemacuan penggal, voltan at berubah dengan penukar at kepada at (penerus kawalan). Keluaran ini merupakan masukan kepada penyongsang dan seterusnya menghasilkan keluaran segiempat. Rajah 2.6 menunjukkan rajah blok penyongsang jenis ini.

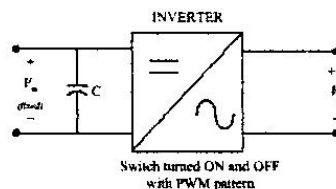
Sebarang perubahan keluaran bergantung kepada perubahan sambungan at. Manakala frekuensi voltan keluaran berubah dengan pengubahkan nilai denyutan frekuensi segiempat itu.

Kepelbagian penyongsang sambungan at mempunyai kebaikan dan keburukannya. Di antaranya adalah ia mampu menghasilkan satu gelombang yang mudah dan boleh dipercayai. Namun begitu ia melibatkan penukaran peringkat yang tinggi serta menghhasilkan harmonik yang besar seperti ditunjukkan dalam rajah 2.7.



Rajah 2.7 : Voltan masukan untuk kadar voltan yang tinggi dan rendah

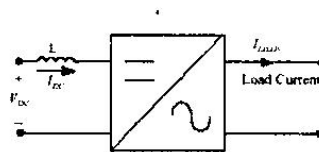
### 2.2.1.2 VSI dengan sambungan AT tetap



Rajah 2.8 : penyongsang sumber voltan dengan sambungan AT tetap

Penyongsang jenis ini, masukan voltan AT adalah tetap. Maka dengan menggunakan teknik PWM, amplitud voltan keluaran serta frekuensi berubah secara serentak. Kebaikan kaedah ini adalah harmonik yang terhasil pada keluaran adalah kecil manakala keburuknnya pula adalah gelombang keluaran terlalu kompleks.

### 2.2.2 Penyongsang sumber arus (current source inverter, CSI)



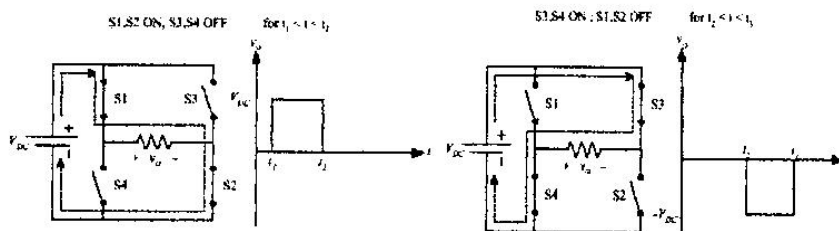
Rajah 2.9 : Penyongsang sumber arus

Penyongsang jenis arus ini seperti ditunjukkan dalam rajah 2.9, arus masukan akan dipotong bagi menghasilkan keluaran arus ulangalik. Oleh yang demikian, nilai aruhan,  $L$  yang besar amat diperlukan bagi menjadikan arus tersebut berterusan. Tetapi jenis CSI ini kurang popular berbanding dengan VSI.

## 2.3 PENYONGSANG SATU FASA DAN TIGA FASA

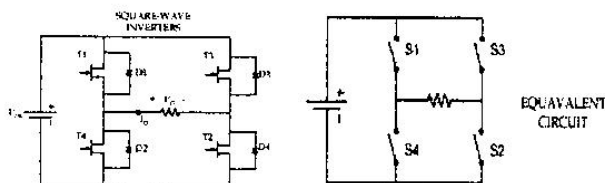
Penyongsang boleh diperolehi dalam bentuk satu fasa dan tiga fasa. Namun ia berdasarkan kepada kaedah asas seperti penghasilan gelombang segiempat.

Gelombang keluaran yang terhasil adalah segiempat seperti rajah 2.10. Inya menerangkan tentang proses penghasilan voltan arus ulanalik. Pada kitar positif, suis S1 dan S2 akan berfungsi menghasilkan keluaran voltan p[ositif manakala pada kitar negatif pula suis S3 dan S4 berfungsi menghasilkan keluaran voltan negatif.



Rajah 2.10 : Litar setara penyongsang segiempat

Rajah 2.10 menunjukkan perwakilan litar setara untuk litar penyongsang segiempat.



Rajah 2.11 : Operasi litar setara penyongsang segiempat

Kaedah penghasilan keluaran segiempat tersebut boleh dicapai dengan menggunakan penyongsang separuh geganti dan penyongsang penuh geganti.

## 2.4 PEMASA 555

Pemasa 555 merupakan salah satu litar berdepadu yang banyak dibangunkan dalam industri semikumduktor. Selalunya pemasa ini terdapat dalam bentuk satu atau dua pakej dan wujud dalam versi cmos kuasa rendah – ICM7555, Antara nombor yang utama adalah seperti LM555, NE555, LM556 dan NE556.

Biasanya pemasa 555 mengandungi dua pembanding voltan, dua flip flop stabil, transistor discas serta rangkaian pembahagi rintangan. Pemasa 555 sering digambarkan

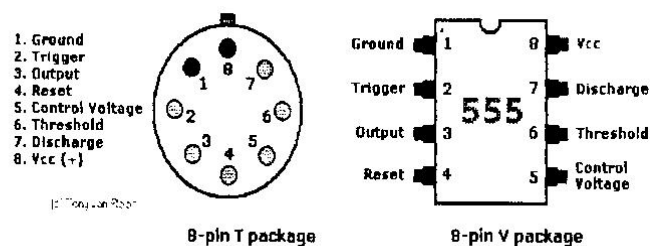
sebagai pengawal kestabilan tinggi yang berkemampuan dalam menghasilkan masa lengah yang tepat atau pengayunan.

Dalam operasi mas alengah, tempoh yang jitu ketepatannya dikawal oleh satu rintangan luaran serta kapasitor. Maka operasi yang stabill seperti pengayun, ayunan beban frekuensi serta tempoh kitaran yang tepat bagi kedua-duanya dikawal oleh dua rintangan luaran dan satu kapasitor.

#### 2.4.1 Konfigurasi Pin Pemasa 555

Secara asasnya, aplikasi pemasa 555 termasuk kejitian dalam pemasaan, pemjanaan denyut, turutan pemasaan, penjanaan masa lengah serta memodulat lebar denyut (PWM).

Rajah 2.12 merupakan bebarapa pin konfigurasi bagi pemasa 555.



Rajah 2.12 : Konfigurasi pin pemasa 555

Pemasa 555, terdapat 8 pin konfigurasi yang perlu diketahui seperti berikut:

- Pin 1 – bumi
- Pin 2 – pemicu
- Pin 3 – keluaran
- Pin 4 – reset
- Pin 5 – kawalan



Pin 6 – Threshold

Pin 7 – discas

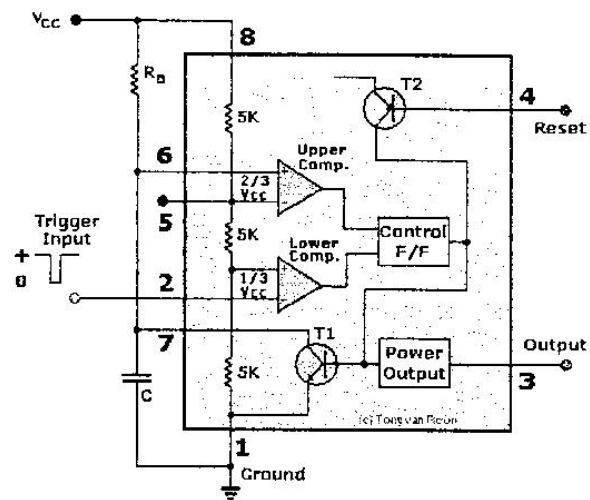
Pin 8 – V+

#### **2.4.2 Prinsip Kendalian Pemasa 555**

Sekiranya dikonfigurasi seperti penayun, maka pemasa 555 juga dikonfigurasi seperti rajah 2.18. Mod operasi bebas dan pemicu dikenakan pada pin threshold. Ketika kuasa meningkat, kapasitor dinyahcas dan menahan pemicu rendah. Pemicu pemasa mewujudkan laluan kapasitor yang mengecas melalui Ra dan Rb. Bila kapasitor mencapai paras  $2/3 V_{cc}$ , kelauarn akan susut rendah dan transistor akan nyahcas mula beroperasi.

Ketika proses nyahcas pula, pemasaan kapasitor akan nyahcas melalui rintangan Rb. Proses ini akan menyebabkan voltan kapasitor menurun kepada  $1/3 V_{cc}$ . Setelah itu, proses pemicu pembandingan terbelantik secara automatik akan memicu pemasa dan membentuk penayun dengan nilai frekuensi yang tertentu. Nilai frekuensi dapat diketahui dengan menggunakan formula seperti berikut:

$$F = 1.49/[(Ra + 2Rb)*C]$$



Rajah 2.13 : Litar dalam pemasa 555

## 2.5 PEMACU

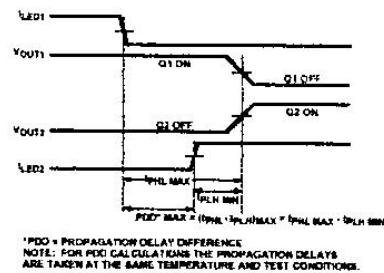
Dalam pemsuisan, terdapat perkara yang perlu dititikberatkan untuk membuat litar pemsuisan berfungsi dengan baik. Antaranya adalah pemacu pemsuisan. Pemacu dalam konteks ini berfungsi sebagai interaksi di antara komponen pemsuisan terhadap keluaran yang dikehendaki.

Ringkasnya, pemacu dalam pemsuisan voltan, memfokuskan kepada beberapa parameter yang penting seperti masa lengah, pengasingan isyarat dan gandingan pengubah penukar AT-AT.

Selain itu, bahagian ini akan menerangkan beberapa perkara yang penting dalam membina pemacu untuk litar penyongsang seperti masa lengah, pengasingan sumber bekalan dan perngasingan isyarat.

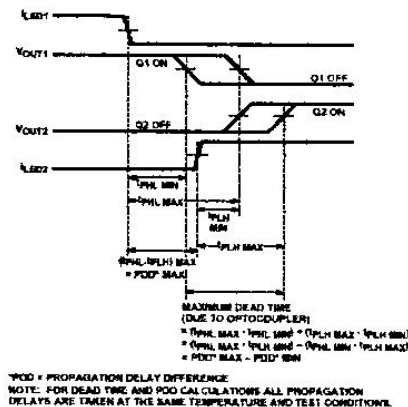
### 2.5.1 Lengah

Dalam pemacuan penyongsang lengah sesuatu isyarat mestilah diambilkira dengan memastikan isyarat yang dipicu tidak menyebabkan komponen pensuisan tidak bekerja secara serentak bagi mebgelakan kejadian 'blaking time'. Pratikalnya fenomena ini mampu menyebabkan kerosakan beban serta keseluruhan litar. Ini dapat difahami dengan merujuk pada rajah 2.14 yang mana isyarat tersebut tidak dilengahkan. Maka masa on dan off berlaku secara serentak.



Rajah 2.14 : Lengah minimum sesuatu isyarat

Sekiranya lengah diambilkira dalam pemacuan, terdapat perbezaan masa fungsi yang boleh ditentukan sendiri mengikut applikasi litar yang diperlukan. Ini dapat difahami dengan merujuk pada rajah 2.15.



Rajah 2.15 : Mengambilkira lengah untuk pemacuan

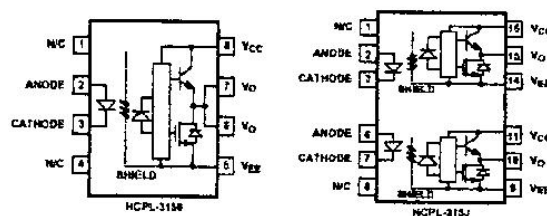
## 2.5.2 Pengasingan Isyarat

Pemacuan penyongsang juga melibatkan pengasingan isyarat yang mana keluaran lengah yang dihasilkan dilakukan pengayunan supaya lengah tersebut dapat dihasilkan. Ini kerana isyarat lengah mesti diberikan kepada komponen pensuisan serta diasingkan supaya tidak berlaku litar pintas akibat punca bumi yang sama.

Selain itu, pengasingan tersebut dibuat dengan menggunakan komponen seperti ‘Amp output current IGBT gate drive optocoupler’, pengubah dan lain lagi. Penggunaan komponen Amp output current IGBT boleh didapati seperti HCPL3150 untuk satu keluaran dan HCPL315J untuk dua keluaran.

Pengasingan isyarat tersebut juga memerlukan pengasingan sumber bekalan supaya bekalan voltan dengan mengambilkira lengah wujud untuk setiap komponen pensuisan serta mengelakan berlakunya litar pintas.

Rajah 2.16 menunjukkan litar skematik dalaman bagi suatu komponen pengasingan isyarat manakala rajah 2.17 menunjukkan proses pangasingan isyarat.



Rajah 2.16 : Komponen HCPL3150 dan HCPL315J

LED	$V_{CC} - V_{EX}$ "Positive Going" (i.e., Turn-On)	$V_{CC} - V_{EX}$ "Negative-Going" (i.e., Turn-Off)	$V_O$
OFF	0 - 30 V	0 - 30 V	LOW
ON	0 - 11 V	0 - 0.5 V	LOW
ON	11 - 13.5 V	9.5 - 12 V	TRANSITION
ON	13.5 - 30 V	12 - 30 V	HIGH

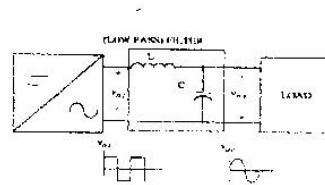
Rajah 2.17 : Jadual keluaran pengasing

## 2.6 PENAPIS

Keluaran sesuatu penyongsang biasanya mengandungi harmonik yang teruk. Oleh yang demikian satu penapis haruslah dipasang pada keluaran penyongsang. Biasanya penapis jenis jalur rendah digunakan untuk mengurangkan frekuensi harmonik tinggi bagi mendapatkan nilai yang dikehendaki.

Namun terdapat beberapa aplikasi yang tidak menggunakan penapis untuk mendapatkan keluaran yang dikehendaki. Antaranya pemacu motor ulangalik.

### 2.6.1 Penapis Jalur Rendah



Rajah 2.18 : Penapis Jalur Rendah

Rajah 2.18 menunjukkan penapis jalur rendah. Komponen penapis ini terdiri daripada aruhan, L dan pemuat, C. Manakala nilai 'cut-off' adalah tetap maka saiz sesuatu penapis ditentukan oleh nilai VA penyongsang. Harmonik selalunya mengandungi harmonik ke 3, 5, 7, ... didarabkan dengan frekuensi asas iaitu 50 Hz.

Salah satu cara untuk mengecilkan saiz penapis, teknik pensuisan PWM boleh digunakan yang mana harmonik dimansuhkan ke frekuensi tinggi menyebabkan nilai 'cut-off' frekuensi penapis bertambah. Berbanding dengan gelombang keluaran segiempat penyongsang. Nilai keluaran maksimum boleh dicapai dengan tiada pengawalan terhadap harmonik dan magnitud.

## 2.7 PENGUBAH

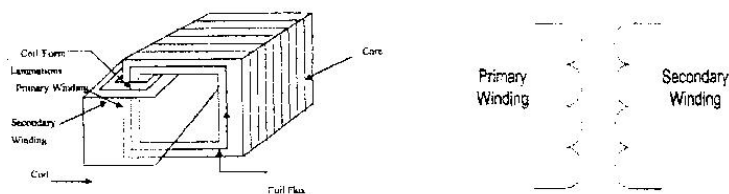
Pengubah merupakan komponen pasif yang berfungsi sebagai satu alat penukaran voltan dan arus dari satu paras ke paras yang lain. Kecekapan bagi sesuatu pengubah boleh dicapai sehingga ketahap 95%. Sekiranya fungsi pengubah adalah menaikkan paras voltan maka inya dekenalai sebagai pengubah langkah menaik manakala jika paras voltan diturunkan pengubah tersebut dikenali sebagai pengubah langkah menurun.

Secara fizikalnya pengubah mengandungi teras besi yang dililit dengan dua gegelung, gelung primer dan sekunder. Ketelapan besi yang tinggi menyebabkan fluks magnet menumpu pada bahagian teras ini.

Pengubah terdiri daripada dua gelung dawai dan komponen aruhan berpasangan. Arus ulangalik dengan frekuensi tertentu mengalir dalam gelung maka voltan ulangalik yang mempunyai frekuensi yang sama juga akan diperolehi pada gelung sekuender. Namun nilai voltan yang terhasil bergantung pada darjah kebocoran fluks pada gelung.

Secara tiori, gelung yang disambung pada sumber bekalan dikenali sebagai gelung primer maka voltan yang terhasil adalah voltan primer. Nisbah lilitan di antara gelung primer dengan gelung sekunder memberikan kesan yang besar terhadap nilai voltan yang terhasil pada bahagian sekunder.

Gambaran fizikal pengubah dapat ditunjukkan dalam rajah 2.19. Ia terdiri daripada behagian utama dan bahagian sekunder.

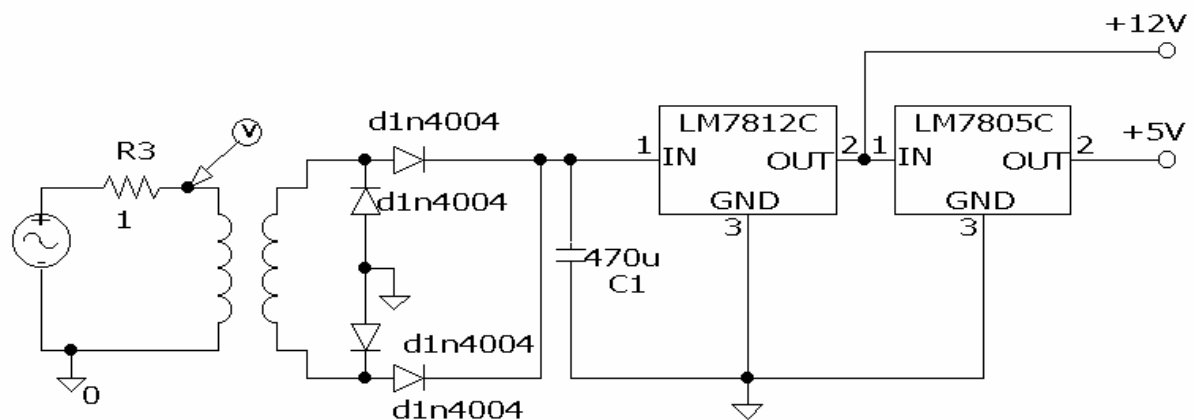


Rajah 2.19 : Teras, gelung dan belitan pengubah.

### BAB 3 PERLAKSANAAN PROJEK

#### 3.1 Rekabentuk Litar Pernerus dan Pengatur Voltan Tetap

Litar pernerus dan pengatur voltan tetap dicipta bagi menukarkan voltan AC daripada pengubah ke voltan dc, dimana terdapat dua nilai voltan yang diperolehi, 5 V dan 12 V. Voltan ini seterusnya digunakan untuk membekalkan kuasa kepada litar pemasa dan pemacu. Rekabentuk litar sepenuhnya ditunjuk dalam rajah 3.1.

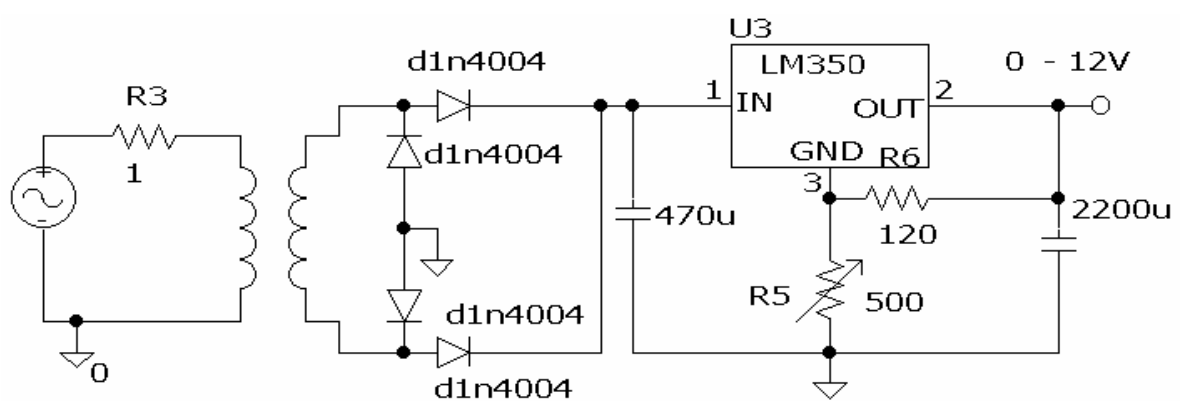


**Rajah 3.1 : Litar Pernerus dan Voltan Tetap + 5 V, +12 V.**

IC 7812 telah digunakan bagi menukarkan voltan 15 VAC daripada transformer kepada 12 VDC, dimana voltan yang terhasil itu tetap pada nilai 12 VDC, dengan syarat voltan yang diberikan daripada transformer tidak kurang daripada 14 VAC. Seterusnya, bagi mendapatkan voltan 5 VDC yang stabil, komponen 7805 telah digunakan. Voltan daripada IC 7812 digunakan sebagai masukan kepada IC 7805.

### 3.2 Rekabentuk Litar Pernerus dan Pengatur Voltan Bolehubah

Litar pernerus dan pengatur voltan bolehubah digunakan bagi mendapatkan bekalan voltan terus bolehubah yang akan ditukarkan kepada arus ulangalik. Proses penukaran kepada voltan ulangalik berfrekuensi tinggi itu akan dilakukan oleh litar IGBT, dimana pemacuan frekuensi 1 kHz dilakukan oleh pemacu. Litar sepenuhnya ditunjuk dalam rajah 3.2.



**Rajah 3.2 : Litar Pernerus dan Pengatur Voltan bolehubah 0 - +12**

Bagi mendapatkan nilai voltan keluaran yang dikehendaki, perintang bolehubah digunakan. Rumus bagi voltan keluaran diberi melalui persamaan berikut:

$$V_{OUT} = V_{REF} ( 1 + R_5/R_6 ) + I_{ADJ}R_5$$

Dimana  $V_{REF} = 1.25 \text{ V}$

$R_5 = 500 \ \Omega$  (maksimum)

$R_6 = 120 \ \Omega$

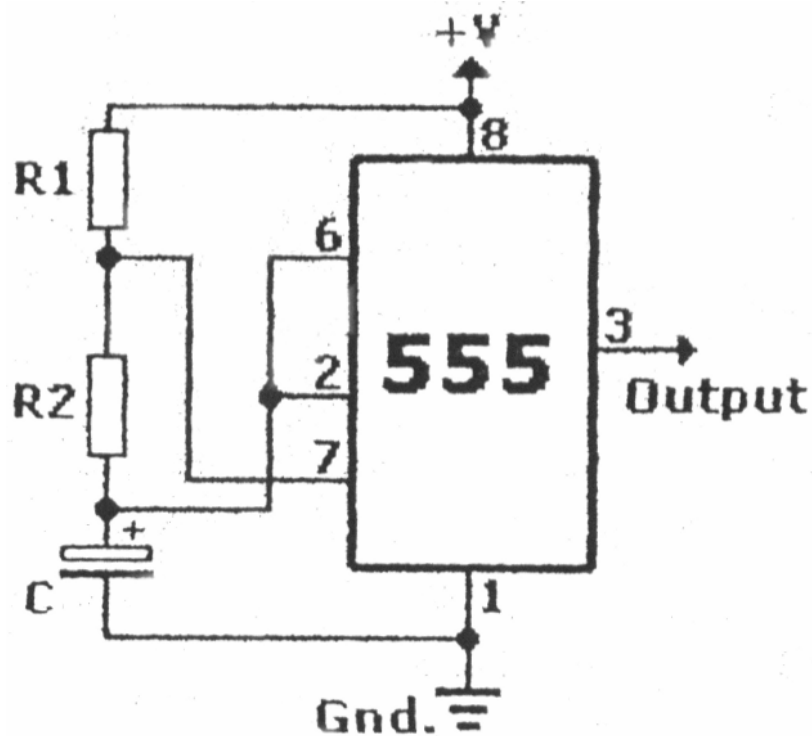
Oleh kerana nilai  $I_{ADJ}$  adalah terlalu kecil, maka ianya boleh diabaikan dalam kiraan. Nilai perintang bolehubah sebesar  $500 \ \Omega$  dipilih kerana ia adalah nilai paling



hampir kepada nilai sebenar iaitu sebesar  $360 \Omega$ . Perintang  $360 \Omega$  tidak digunakan kerana ianya tidak terdapat dalam pasaran.

### 3.3 Litar Pemasa

Komponen utama yang digunakan dalam litar pemasa ialah Pemasa 555 dimana ianya menghasilkan denyut yang akan menentukan frekuensi voltan keluaran. Litar yang digunakan adalah jenis konfigurasi 'astable' yang berkeupayaan menghasilkan banyak denyut berbanding konfigurasi 'monostable' yang menghasilkan hanya satu denyut sahaja. Konfigurasi 'astable' ditunjukkan dalam rajah 3.3.



**Rajah 3.3 : Konfigurasi Astable Pemasa 555**

Frekuensi yang dikehendaki boleh dihasilkan dengan mengawal nilai dua rintangan  $R_1$ ,  $R_2$  dan kapasitor  $C$ . Secara formula, ianya dapat ditentukan dengan formula di bawah.

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Dengan nilai frekuensi yang dikehendaki yaitu 1 kHz, maka nilai kapasitor ditentukan dahulu bagi memudahkan proses mendapatkan komponen. Anggapan adalah seperti di bawah:

$$C = 0.01 \mu\text{F}$$

$$R_2 = 64.65 \text{ k}\Omega$$

Maka, berdasarkan formula di atas,

$$R_1 = \frac{1.44}{f} - 2R_2$$

$$R_1 = \frac{1.44}{f} - 2(64650)$$

$$R_1 = 14.5 \text{ k}\Omega$$

Untuk masa tinggi dan rendah, ianya boleh diketahui dengan menggunakan formula di bawah:

Masa tinggi:

$$\begin{aligned} &= 0.693 (R_1 + R_2) \times C \\ &= 0.693 (14500 + 64650) \times 0.01 \mu\text{F} \\ &= 548.5095 \mu\text{s} \end{aligned}$$

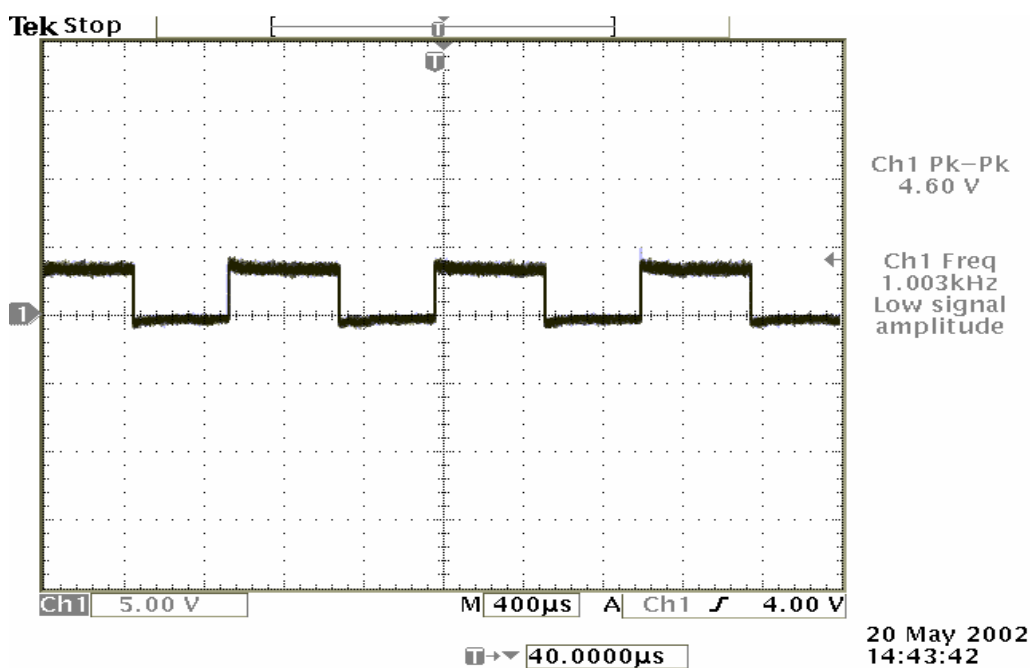
Masa rendah:

$$\begin{aligned} &= 0.693 R_2 \times C \\ &= 0.693 (64650) \times 0.01 \mu\text{F} \\ &= 448.0245 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Kitar tugas (duty ratio) pula boleh diketahui menggunakan formula berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kitar tugas} &= \frac{\text{Masa tinggi}}{\text{Masa satu kitar}} \\ &= \frac{548.5095\mu\text{s}}{548.5095\mu\text{s} + 448.0245\mu\text{s}} \\ &= 0.5504 \end{aligned}$$

Rajah 3.4 menunjukkan keluaran bagi pemasa yang akan digunakan untuk memicu litar pemacu.



Rajah 3.4 : Gelombang keluaran pemasa 555

### 3.4 Rekabentuk Litar Pemacu dan IGBT

Untuk memastikan proses pensuisan isyarat berjalan dengan sempurna, litar pemacu amatlah diperlukan untuk memacu IGBT pada frekuensi yang tertentu. Ianya

mestilah mengambilkira tempoh pensuisan yang selamat bagi mengelakkan kejadian 'blanking time' yang boleh merosakkan komponen-komponen elektronik akibat pasangan IGBT yang beroperasi pada masa yang sama.

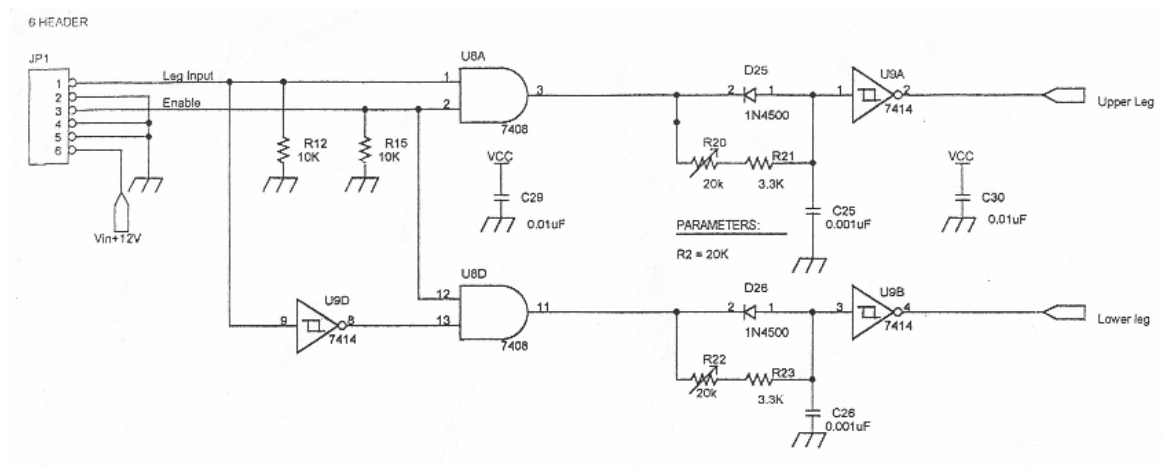
Bagi merekabentuk satu litar pemacu yang baik, prosedur-prosedur berikut telah dikenali:

Langkah 1: Mengkaji spesifikasi pemacu yang dikehendaki.

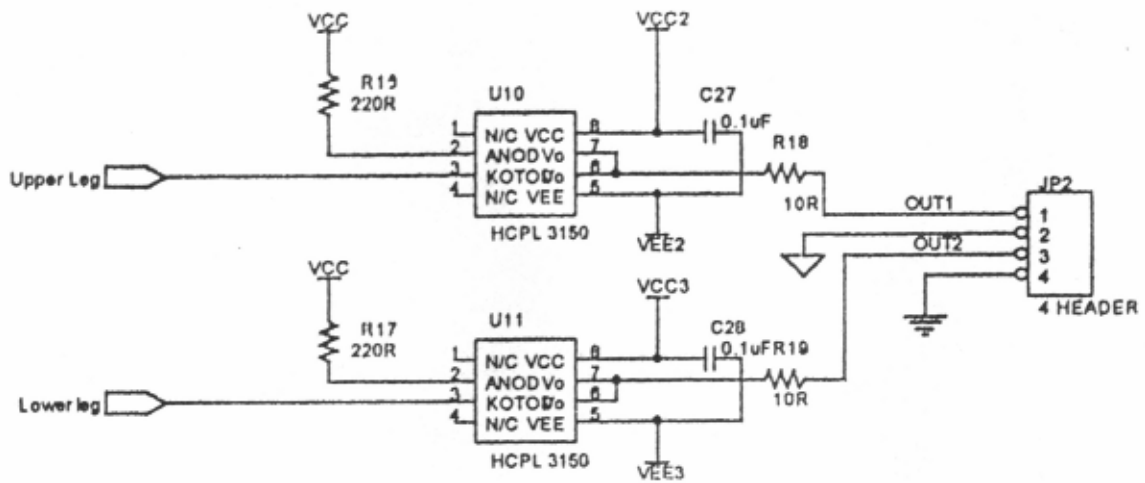
Parameter yang diinginkan adalah seperti berikut:

- Masukan voltan DC,  $V_{DC} = 12\text{ V}$
- Masukan voltan litar 'dead time',  $V_{DC} = 5\text{ V}$
- Masa lengah bagi dua isyarat pensuisan ialah sekurang-kurangnya  $1\mu\text{s}$

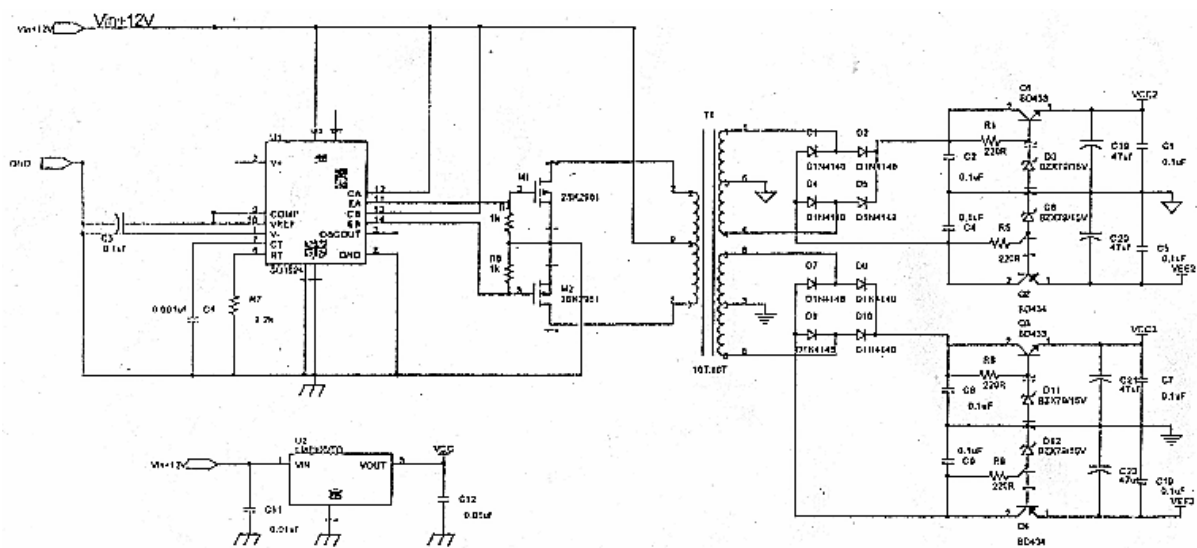
Langkah 2: Mengkaji rekabentuk litar pemacu yang mengandungi litar lengah, litar pengasingan bekalan dan litar pengasingan isyarat.



**Rajah 3.5 : Litar Pemacu Bagi Menghasilkan Lengah**



Rajah 3.6 : Litar Pemacu Bagi Pengasingan Isyarat



Rajah 3.7 : Litar Pemacu Bagi Menghasilkan Pengasingan Bekalan

Rajah 3.5, 3.6 DAN 3.7 menunjukkan litar yang diperlukan bagi memenuhi spesifikasi pemacu yang diperlukan, dimana setiap litar berfungsi untuk menghasilkan lengah, membuat pengasingan isyarat dan pengasingan bekalan.

Langkah 3: Mengenalpasti komponen-komponen yang akan digunakan dalam menghasilkan perkakasan pemacu.

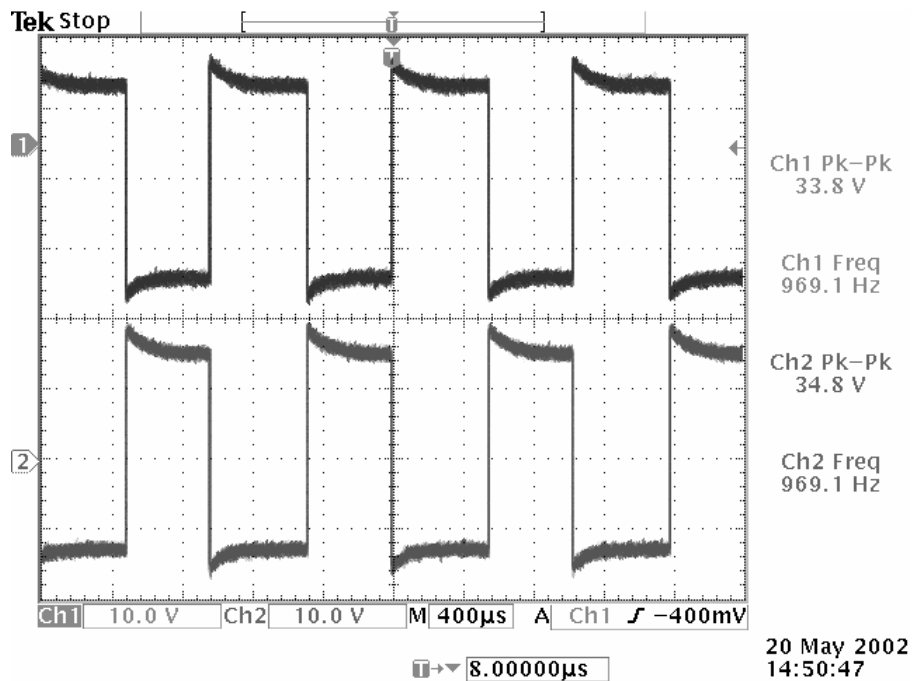
Setelah proses merekabentuk litar pemacu selesai, proses pengecaman terhadap komponen yang perlu disediakan untuk pelaksanaan perkakasan pemacu perlu dijalankan. Proses ini penting bagi mengenalpasti secara fizikal bentuk komponen bagi disesuaikan dengan rekabentuk layout yang akan dibuat menggunakan perisian OrCAD.

Berikut merupakan senarai komponen yang digunakan dalam rekabentuk litar pemacu:

<b>Komponen</b>	<b>Jenis</b>
Diod	BAV19
Diod Zener	BZX79C15
IC Mosfet	2SK2951
Regulating PWM	SG3524
Optocoupler	HCPL3150
Kapasitor	47 $\mu$ F / 25V
Kapasitor	0.1 $\mu$ F / 63V
Kapasitor	0.001 $\mu$ F / 50V
Kapasitor	0.01 $\mu$ F / 50V
Perintang	220 $\Omega$ , 1k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 10 $\Omega$ , 2.2k $\Omega$
Transistor	BD139, BD140
IC	74CT14E, 74ACT08E
Pengatur Voltan	LM78L05ACZ
Perintang Preset	47k $\Omega$

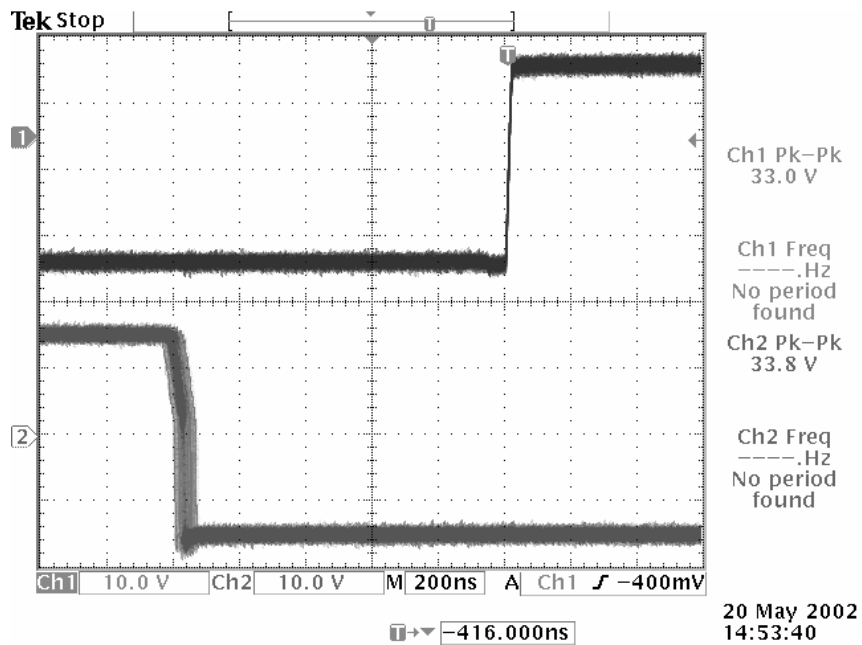
Bagi tujuan pensuisan pula, komponen IGBT digunakan. IGBT yang dipilih adalah dari jenis Ultrafast Soft Recovery Diode (IRD 4PH40UD). IGBT ini digunakan bagi menukarkan voltan arus terus kepada voltan ulangalik berbentuk segiempat.

Rajah 3.8 menunjukkan keluaran pada sepasang pasangan IGBT yang dipacu oleh litar pemacu:

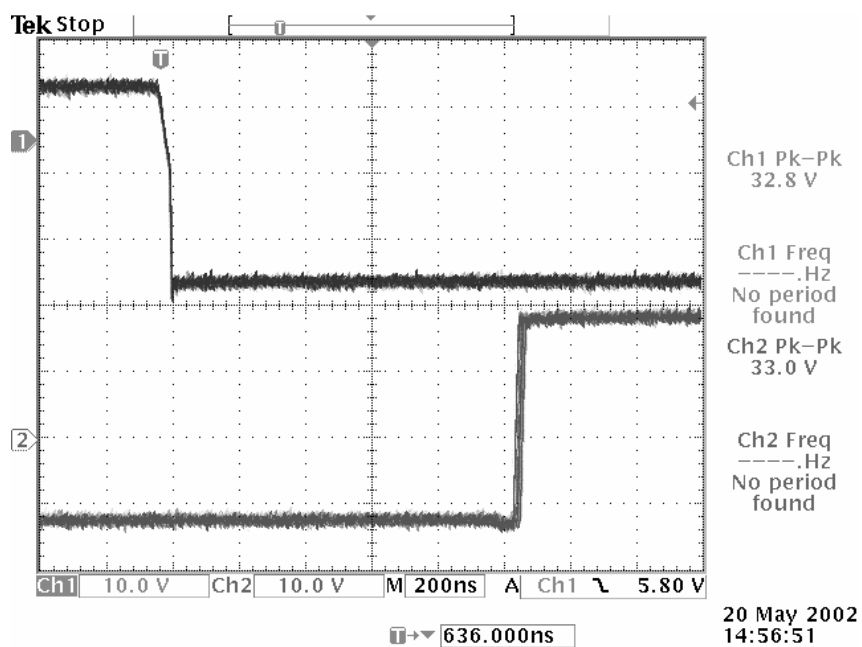


**Rajah 3.8 : Bentuk Keluaran Pada Sepasang IGBT**

Gambarajah 3.9 DAN 3.10 pula menunjukkan lengah masa yang terhasil pada isyarat pacuan bagi mengelakkan kejadian litar pintas pada komponen IGBT. Jelas kelihatan lengah yang dihasilkan iaitu selama 1 μs, mencukupi bagi mengelakkan kejadian litar pintas.



Rajah 3.9 : Langkah selama  $1\mu\text{s}$  pada isyarat menaik pada keluaran 1

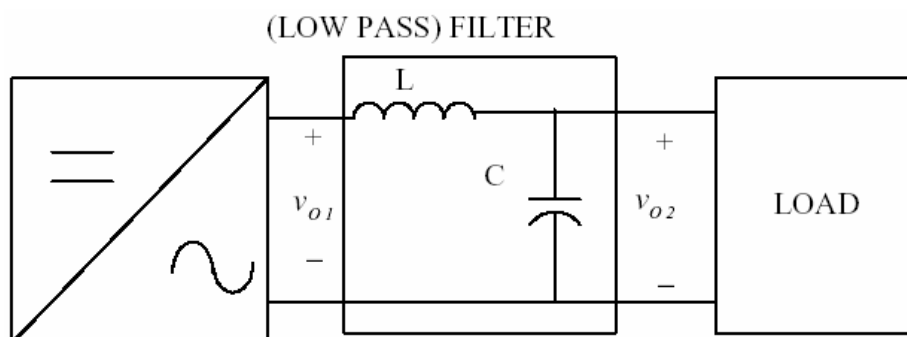


Rajah 3.10 : Langkah selama  $1\mu\text{s}$  pada isyarat menurun pada keluaran 1



### 3.5 Rekabentuk litar penapis

Penapis adalah peranti yang dapat memperbaiki isyarat masukan kepada isyarat keluaran yang dikehendaki. Ianya juga digunakan untuk membuang komponen harmonik isyarat keluaran. Dalam projek ini, penapis yang digunakan adalah dari jenis penapis lulus rendah (low pass filter). Ianya akan menukarkan bentuk voltan segiempat kepada bentuk voltan sinus. Secara ringkas, aplikasi litar penapis dapat ditunjukkan melalui rajah 3.11.



**Rajah 3.11 : Penapis Lulus Rendah**

Dua perkara penting yang perlu ditentukan ialah nilai kapasitor dan induktor bagi menghasilkan voltan sinus berfrekuensi 1 kHz. Daripada simulasi, nilai kapasitor yang diperlukan ialah  $10\mu\text{F}$ . Untuk membolehkan penapis beroperasi pada kadaran voltan yang tinggi, maka kapasitor jenis *Polyester* yang boleh menahan voltan sehingga 400 V telah dipilih. Oleh kerana tidak terdapat nilai kapasitor  $10\mu\text{F}$  dalam pasaran, maka 10 unit kapasitor yang setiap satu mempunyai nilai  $1\mu\text{F}$  telah disusun secara selari, yang mana nilai keseluruhannya bernilai  $10\mu\text{F}$ .

Bagi induktor pula, nilai yang diperlukan adalah sebanyak 20mH. Masalah utama yang dihadapi adalah ketiadaan induktor bernilai 20mH dalam pasaran. Oleh itu, satu induktor yang memenuhi spesifikasi yang dikehendaki perlu dicipta. Berikut merupakan langkah-langkah yang perlu bagi merekabentuk induktor:

Langkah 1:

Menentukan spesifikasi peraruh

- i.  $L = 20\text{mH}$
- ii. Arus ulangalik =  $0.92\text{A}$
- iii. Arus rms =  $0.6505\text{A}$
- iv. Frekuensi =  $1\text{ kHz}$

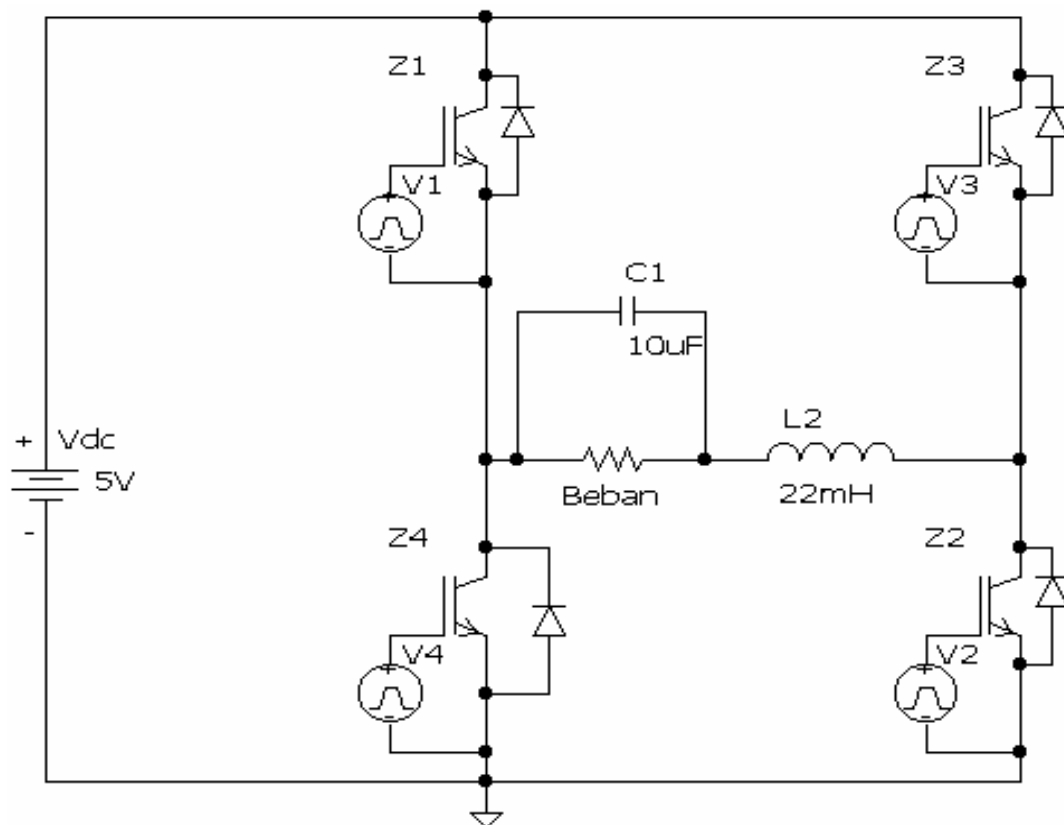
Langkah 2:

Langkah seterusnya adalah merekabentuk teras, saiz dan jenis. Teras yang digunakan adalah dari jenis *ferrite* kerana ianya dapat menanggung frekuensi yang tinggi. Wayar kuprum yang digunakan dengan faktor  $k=0.3$  kerana jenis ini mempunyai kehilangan arus rendah.

Langkah 3:

Rekabentuk peraruh ini dilakukan dengan cara cuba-jaya. Dengan menggunakan wayar kuprum  $0.5\text{ mm}$ , lilitan dibuat pada bobbin. Lilitan yang kemas adalah amat penting kerana ianya akan mempengaruhi nilai aruhan yang terhasil. Lilitan sebanyak 74 lilit telah dililit pada bobbin berkenaan dan ujian dilakukan pada multimeter untuk mengetahui nilai aruhan yang terhasil. Daripada 74 lilit yang telah dilakukan, didapati nilai aruhan adalah sebanyak  $22\text{mH}$ . Maka nilai tersebut telah diambil sebagai induktor yang digunakan sebagai penapis lulus rendah bagi menghasilkan frekuensi  $1\text{ kHz}$ .

Rajah 3.12 menunjukkan cara sambungan penapis lulus rendah pada litar penyongsang dan beban.



**Rajah 3.12 : Sambungan Penapis Pada Litar Penyongsang**

Pemasangan komponen dilakukan seperti rajah 3.12. Seperti biasa pematerian hendaklah dilakukan ke atas board dengan berhati-hati. Dalam melakukan pemasangan, ketelitian adalah diperlukan bagi mengelakkan terjadinya litar pintas. Pengujian litar untuk setiap pemasangan boleh diuji dengan menggunakan multimeter.

### 3.6 Rekabentuk Pengubah (Transformer)

Dalam menyiapkan keseluruhan model projek ini, ianya memerlukan 2 buah transformer bagi menaikkan voltan sehingga mencapai 3 kV. Walau bagaimanapun, disebabkan faktor bobbin yang kecil, voltan yang dihasilkan itu hanya boleh mencecah sehingga nilai 2.5 kV sahaja. Ianya akan diterangkan secara lanjut dalam bahagian kiraan.

Komponen-komponen yang diperlukan ialah sebuah teras bersama bobbinnya dan belitan dilakukan keatas bobbin tersebut. Secara praktikalnya, pengubah yang terhasil adalah dari jenis pengubah tak unggul. Ini bermakna terdapat kehilangan kuasa dalam pengubah tersebut.

Dalam bahagian ini, pengiraan bagi setiap pengubah adalah berbeza. Oleh yang demikian, perlulah dilakukan pengiraan yang berbeza bagi setiap transformer.

Pengubah Fasa Pertama:

Berikut merupakan langkah-langkah dalam merekabentuk pengubah fasa pertama:

Langkah 1

Spesifikasi yang dikehendaki:

- i. Kadaran voltan primer,  $V_{pri} = 50 \text{ V}$
- ii. Kadaran arus primer,  $I_{pri} = 0.65 \text{ A}$
- iii. Nisbah pengubah,  $N = 20$
- iv. Operasi frekuensi,  $f = 1 \text{ kHz}$
- v. Suhu maksimum teras  $T_s = 155^\circ\text{C}$  dan suhu ambient  $T_a = 350^\circ\text{C}$

### Langkah 2

Dapatkan kadaran kuasa VA bagi masukan  $V_{pri}$

$$\begin{aligned} S &= V_{pri} I_{pri} \\ &= (50) (0.65) \\ &= 32.5 \text{ VA} \end{aligned}$$

### Langkah 3

Langkah seterusnya ialah memilih jenis teras yang hendak digunakan. Pemilihan teras berdasarkan kadaran yang disertakan di dalam datasheet. Kadaran yang diperlukan adalah pada  $2.22K_{cu} F J_{rms} B A_{teras} A_w$  yang dipilih hendaklah lebih besar daripada nilai kadaran S yang dikira. Teras yang sesuai adalah dari jenis ferrite. Ini adalah kerana ianya amat bersesuaian dimana tahap kemampuan bekerja pada frekuensi yang tinggi hingga mencapai nilai 200 kHz disamping tahap pengaliran fluks yang baik.

Dalam menentukan wayar kuprum sebagai belitan pada pengubah, kadaran yang diperlukan ialah nilai arus primer dan sekunder yang mengalir melalui teras berkenaan. Melalui pengiraan, arus primer adalah 0.65 A dan arus sekunder ialah empat kaliganda lebih kecil dari arus primer. Maka, wayar kuprum yang dipilih adalah jenis 1 ampere (diameter 0.5mm) untuk belitan primer dan wayar 0.5 ampere (0.25mm) untuk belitan sekunder.

### Langkah 4

Dalam menentukan nilai belitan yang hendak dilakukan, beberapa data perlulah diambil dari datasheet teras berkenaan. Antara nilai yang diperlukan ialah:

- i. Ketumpatan fluks,  $B = 200 \text{ mT}$
- ii. Voltan masukan,  $V_{pri} = 70.7 \text{ V}$
- iii. Luas keratan rentas,  $A = 6 \text{ cm}^2$
- iv.  $\omega = (2\pi)(1 \text{ kHz})$

Berdasarkan formula, nilai belitan ditentukan:

$$e = \frac{N\omega\phi}{\sqrt{2}}$$

dan

$$B = \frac{\phi}{A}$$

Berdasarkan dua formula tersebut,

Belitan primer:

$$N = \frac{e\sqrt{2}}{B\omega A}$$

$$N = \frac{70.7}{(0.0006)(2\pi)(1000)(0.2)}$$

$$= 93.7 \text{ lilit}$$

Belitan sekunder:

$$N_2 = 20 \times N_1$$

$$N_2 = 20 \times 93.7$$

$$N_2 = 1874 \text{ lilit}$$

### Pengubah Fasa Kedua:

Perbezaan utama pengubah fasa pertama dan pengubah fasa kedua ialah pengubah fasa kedua diperlukan bagi menaikkan voltan sehingga mencapai 3 kV. Berikut merupakan langkah-langkah yang perlu dijalankan.

#### Langkah 1:

Spesifikasi yang dikehendaki:

- i. Kadaran voltan primer,  $V_{\text{pri}} = 100 \text{ V}$
- ii. Kadaran arus primer,  $I_{\text{pri}} = 0.325 \text{ A}$
- iii. Nisbah pengubah,  $N = 30$
- iv. Operasi frekuensi,  $f = 1 \text{ kHz}$
- v. Suhu maksimum teras  $T_s = 155^\circ\text{C}$  dan suhu ambient  $T_a = 350^\circ\text{C}$

#### Langkah 2:

Dapatkan kadaran kuasa VA bagi masukan  $V_{\text{pri}}$

$$\begin{aligned} S &= V_{\text{pri}} I_{\text{pri}} \\ &= (100)(0.325) \\ &= 32.5 \text{ VA} \end{aligned}$$

#### Langkah 3:

Teras yang dipilih adalah sama seperti pengubah fasa pertama iaitu ferrite kerana kebolehannya beroperasi pada frekuensi tinggi. Wayar yang digunakan untuk membuat belitan pada bobbin adalah dari jenis kuprum. Saiz wayar yang digunakan untuk belitan primer dan sekunder adalah berdiameter 0.25mm.

Langkah 4:

Dalam menentukan bilangan belitan yang dikehendaki, parameter-parameter berikut diambil kira.

- i. Ketumpatan fluks,  $B = 200 \text{ mT}$
- ii. Voltan masukan,  $V_{\text{pri}} (\text{rms}) = 141.4 \text{ V}$
- iii. Luas keratan rentas,  $A = 6\text{cm}^2$
- iv.  $\omega = (2\pi)(1 \text{ kHz})$

Berdasarkan formula sebelum ini, kiraan terhadap belitan dilakukan.

Belitan primer:

$$N = \frac{e\sqrt{2}}{B\omega A}$$

$$N = \frac{141.4}{(0.0006)(2\pi)(1000)(0.2)}$$

$$N = 187.5$$

Belitan sekunder:

$$N_2 = 30 \times N_1$$

$$N_2 = 30 \times 187.5$$

$$N_2 = 5625 \text{ lilit}$$

Walau bagaimana pun, disebabkan saiz bobbin yang kecil, belitan sebanyak 5625 tidak dapat dilakukan. Alternatif yang dilakukan adalah mengurangkan bilangan belitan primer dan sekunder, tetapi masih mengekalkan nisbah sebanyak 30. Setelah pengubahsuaian dilakukan, maka belitan primer ditetapkan kepada 136 dan belitan sekunder pada 4080. Akibat pengubahsuaian itu, kadaran voltan primer dan sekunder telah bertukar. Ianya boleh ditentukan melalui formula berikut:



Belitan primer:

$$N = \frac{e\sqrt{2}}{B\omega A}$$

$$136 = \frac{e\sqrt{2}}{(0.0006)(2\pi)(1000)(0.2)}$$

$$e = \frac{102.54}{\sqrt{2}}$$

$$e = 72.51 \text{ V}$$

Belitan sekunder:

$$N = \frac{e\sqrt{2}}{B\omega A}$$

$$4080 = \frac{e\sqrt{2}}{(0.0006)(2\pi)(1000)(0.2)}$$

$$e = \frac{3076.3}{\sqrt{2}}$$

$$e = 2175.3 \text{ V}$$

Dalam projek yang telah dijalankan, didapati voltan keluaran daripada transformer kedua boleh mencecah sehingga 2.5 kV voltan berbentuk sinus tanpa berlaku herotan. Tetapi, apabila nilai voltan dinaikkan lagi, didapati bentuk keluaran voltan yang terhasil bukan lagi berbentuk sinus dimana terdapat herotan pada voltan puncak. Maka, dalam projek ini nilai akhir voltan yang digunakan adalah sehingga 2.5 kV sahaja.

Beberapa ujian telah dilakukan bagi menguji prestasi transformer. Antara ujian yang telah dijalankan adalah ujian bagi menentukan nisbah lilitan transformer. Ujian ini menggunakan *Transformer Turn Ratio Meter (Type 2793)*, keluaran *Tettex Instruments*. Keputusan ujian tersebut adalah seperti berikut:

Ujian Pengubah Fasa Pertama:

$V_{\text{test}}$	$I_{\text{pri}}$	Fasa	Nisbah
10 V	0.7 mA	$0.3^\circ$	22.367:1
40 V	2.1 mA	$0.2^\circ$	22.366:1
100 V	299.5 mA	$13.7^\circ$	25.28:1

Ujian Pengubah Fasa Kedua:

$V_{\text{test}}$	$I_{\text{pri}}$	Fasa	Nisbah
10 V	0.1 mA	$0.2^\circ$	29.98:1
40 V	0.5 mA	$0.1^\circ$	29.98:1
100 V	1.2 mA	$0.1^\circ$	29.98:1

Ujian Pengubah Fasa Pertama dan Fasa Kedua:

$V_{\text{test}}$	$I_{\text{pri}}$	Fasa	Nisbah
10 V	0.1 mA	$0.4^\circ$	670.2:1
40 V	0.5 mA	$0.3^\circ$	670.4:1

Daripada ujian ini, didapati hasil gabungan dua pengubah dalam keadaan selari telah menghasilkan nisbah sebanyak 670.4. Ini bermakna untuk menghasilkan voltan tinggi, ianya hanya memerlukan voltan sekitar 3 V sahaja. Ujian seterusnya adalah bagi menentukan voltan keluaran yang terhasil apabila voltan masukan dinaikkan secara berperingkat. Keputusan bagi ujian itu adalah seperti Jadual 3.1.

Jadual 3.1 : Jadual Voltan Keluaran pada pengubah.

<b>Voltan Masukan</b>	<b>Voltan Keluaran Secara Teori</b>	<b>Voltan Keluaran Sebenar</b>
<b>0.2 V</b>	<b>134.08 V</b>	<b>130 V</b>
<b>0.4 V</b>	<b>268.16 V</b>	<b>259 V</b>
<b>0.6 V</b>	<b>407.24 V</b>	<b>399 V</b>
<b>0.8 V</b>	<b>536.32 V</b>	<b>529 V</b>
<b>1.0 V</b>	<b>670.4 V</b>	<b>663 V</b>
<b>1.2 V</b>	<b>804.48 V</b>	<b>796 V</b>
<b>1.4 V</b>	<b>938.56 V</b>	<b>930 V</b>
<b>1.6 V</b>	<b>1072.64 V</b>	<b>1061 V</b>
<b>1.8 V</b>	<b>1206.72 V</b>	<b>1196 V</b>
<b>2.0 V</b>	<b>1340.8 V</b>	<b>1327 V</b>
<b>2.2 V</b>	<b>1474.88 V</b>	<b>1457 V</b>
<b>2.4 V</b>	<b>1608.96 V</b>	<b>1589 V</b>
<b>2.6 V</b>	<b>1743.04 V</b>	<b>1722 V</b>
<b>2.8 V</b>	<b>1877.12 V</b>	<b>1852 V</b>
<b>3.0 V</b>	<b>2011.2 V</b>	<b>1993 V</b>
<b>3.2 V</b>	<b>2145.28 V</b>	<b>2122 V</b>
<b>3.4 V</b>	<b>2279.36 V</b>	<b>2258 V</b>
<b>3.6 V</b>	<b>2413.44 V</b>	<b>2380 V</b>
<b>3.8 V</b>	<b>2547.52 V</b>	<b>2493 V</b>

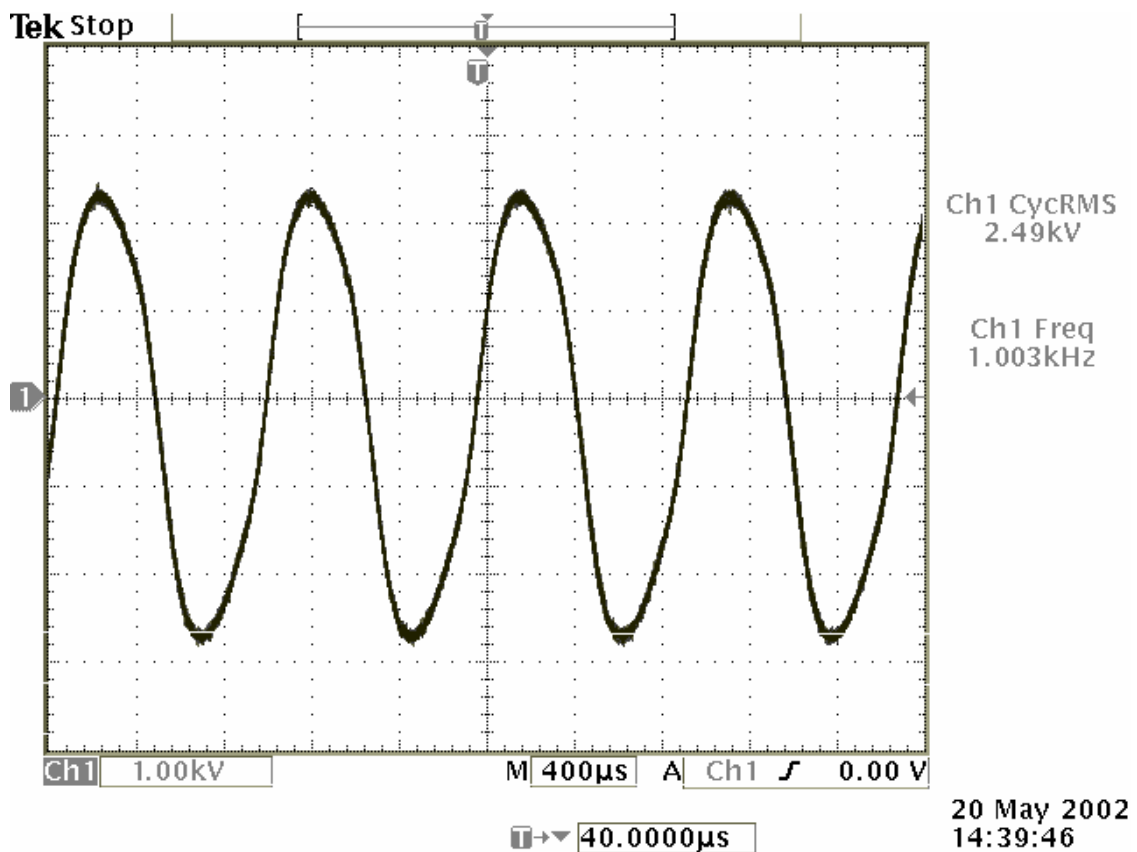
Melalui ujian tersebut, didapati voltan keluaran yang boleh dijana oleh kedua-dua pengubah itu ialah sebanyak 2.493 kV walaupun melalui kiraan asal, ianya hanya mampu menjana sehingga 2.175 kV sahaja.

## BAB 4

### Keputusan dan Perbincangan

#### 4.1 Keputusan Projek

Dalam projek ini, ternyata ianya mencapai objektif apabila bekalan kuasa voltan dan frekuensi tinggi ini dapat menghasilkan voltan sehingga 2.5 kV dan berfrekuensi 1 kHz. Voltan keluaran bagi projek ini boleh dilihat dalam Rajah 4.1.



**Rajah 4.1 : Voltan Keluaran**

Daripada rajah 4.1, voltan yang dihasilkan adalah sebanyak 2.49 kV dan frekuensi keluaran adalah sebanyak 1.003 kHz.

## 4.2 Perbincangan

Dalam merekabentuk litar keseluruhan, adalah penting bagi mengambil kira haba yang dibebaskan oleh komponen-komponen elektronik. Oleh yang demikian, dalam projek ini *heatsink* telah digunakan bagi mengurangkan kesan haba terhadap komponen pengatur voltan, dimana komponen pengatur voltan merupakan komponen yang banyak membebaskan haba. Selain itu, kipas yang berkuasa rendah telah digunakan untuk membuang haba yang terperangkap di dalam casing bekalan kuasa bolehubah ini.

Sebagai langkah keselamatan, sebelum menghidupkan bekalan kuasa ini, pastikan *knob* diputar ke nilai minimum bagi mengelakkan berlakunya kejutan elektrik. Perlu diingatkan juga bahawa apabila *knob* diputar ke minimum, bukan bermakna tiada voltan terhasil di antara kedua terminal HV dan Ground, kerana wujud voltan offset yang kecil pada pengatur voltan bolehubah yang akan dinaikkan nilai voltannya oleh pengubah.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari keputusan yang diperolehi, dapat disimpulkan di sini bahawa objektif projek ini untuk menghasilkan satu sistem penjanaan voltan tinggi yang berfrekuensi tinggi berjaya dibangunkan.

Voltan keluaran bolehubah yang berfrekuensi 1 kHz boleh dihasilkan daripada sistem penjaan ini yang boleh mencapai voltan tinggi iaitu 2.49 kV. Voltan keluaran setinggi 2 kV berfrekuensi 1 kHz boleh digunakan untuk memecutkan lagi proses kejadian pembentukan pepohon air di dalam penebat pepejal.

Walau bagaimanapun kajian untuk menghasilkan pepohon air di dalam penebat pepajal belum dapat dilaksanakan disebabkan budget yang tidak mencukupi dan kekurangan tenaga. Di dalam laporan kemajuan projek 2003 (lampiran) ada menyebutkan akan kekurangan peruntukan dan tenaga yang tidak mencukupi.

#### **5.2 Cadangan**

Untuk meneruskan kajian kejadian pepohon air di dalam penebat pepejal kabel bawah tanah mencapai matlamatnya, cadangan berikut perlu dilaksanakan.

- merebentuk dan menyediakan pemegang sample penebat pepejal.
- Merekabentuk dan menyediakan sample elektrod air yang akan digunakan dalam kajian pembentukan pepohon air.
- Melakukan ujian, memperhatikan dan menganalisis yang berterusan sehingga pepohon air terbentuk.

**RUJUKAN**

1. Daniel W. Hart, 1997. Introduction to power electronics, Prentice Hall, Valpairaso University Valpairaso, Indiana.
2. Abraham Marcus, Samuel E. Gender, 1971. Basic Electronic, 2nd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
3. John Markus, 1980. Modern Electronic Circuit reference manual, McGraw Hill International Edition.
4. Robert Boylestad, Louis Nashelsky, 1992. Electronic Devices and Circuit Theory, 5th Edition, Prentice Hall International Edition.
5. Barry Clegg, Underground Cable Fault, 1990. McGraw Hill Book Company.
6. William M. Flanagan, Handbook of Transformer Design & Application, 2nd Edition, McGraw Hill.
7. Reuben Lee, Leo Wilson, Charles E. Caster, Electronic Transformer & Circuit, 3rd Edition. John Wiley & Son.