

ELEKTRONIK KUASA DALAM APLIKASI PENGECASAN KAPASITOR

Oleh

Nik Izudin Bin Nik Ramli

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

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

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

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

Mac 2005

ABSTRAK

Projek ini bertujuan untuk merekabentuk satu litar elektronik kuasa yang diguna dalam aplikasi pengecasan kapasitor. Litar ini ialah Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh. Fungsi litar ini ialah untuk membekalkan kuasa arus terus (dc) resonan (resonant power supplies). Litar ini dapat berfungsi seperti transformer di mana ia dapat menurunkan voltan masukan dc sehingga julat voltan keluaran lebih kecil dari separuh voltan masukan. Masukan voltan yang di beri ialah 30V. Analisis telah dijalankan dengan menggunakan perisian PSIM bagi menguji litar rekabentuk yang telah dibuat. Daripada simulasi PSIM dapat di ketahui bahawa voltan keluaran yang di hasilkan bergantung kepada frekuensi resonan dan frekuensi pensuisan yang dikenakan. Perubahan frekuensi pensuisan yang dilakukan akan mempengaruhi mod operasi litar. Terdapat 2 mod operasi litar iaitu mod tak berterusan dan mod berterusan. Mod tak berterusan berlaku apabila frekuensi pensuisan lebih kecil daripada separuh frekuensi resonan. Manakala mod berterusan pula berlaku apabila frekuensi pensuisan lebih besar daripada separuh frekuensi resonan. Daripada simulasi litar, pada mod tak berterusan di dapati voltan keluaran yang di hasilkan ialah 5V manakala pada mod berterusan voltan keluarannya ialah 12V. Semakin tinggi frekuensi pensuisan di kenakan, semakin tinggi voltan keluaran yang di hasilkan tetapi hanya terhad sehingga separuh voltan masukan sahaja. Rekabentuk litar pensuisan pula menggunakan teknik PWM bagi mengawal isyarat kawalan suis MOSFET.

ABSTRACT

This project is to design a power electronics circuit that can be used in capacitor charging applications. The circuit is called a Half Bridge Series Loaded Resonance Converter. The function of this circuit is to supply resonance dc power. This circuit is act like a transformer which can step down an input dc voltage until the output voltage is less than half of the input voltage. For this project, the circuit using an input voltage of 30V. Analysis have been done using PSIM software. From PSIM simulation, we know that the output voltage produced depends on resonant frequency and switching frequency. Circuit operation mode will be effected if there is some changes in switching frequency. There are two modes of circuit operations which are continuous and discontinuous mode. Discontinuous mode occured when switching frequency is less than half of resonance frequency and continuous mode occured when switching frequency is more than half of resonance frequency. From the simulation of discontinuous mode, it shows that the output voltage is 5V. While for the continuous mode the output voltage is 12V. We have already know that when switching frequency is high, the output voltage produced is also high but it is limited until half of the input voltage. The designed switching circuit is using a PWM technique to control the MOSFET.

PENGHARGAAN

Pertamanya syukur saya kehadrat Ilahi dengan limpah kurni-Nya memberikan ilmu dan kesihatan kepada saya untuk menyiapkan projek tahun akhir ini. Semoga usaha dan kerja saya ini diberkati dan di rahmati-Nya.

Saya mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan jutaan terima kasih kepada semua yang terlibat bagi menjayakan projek tahun akhir saya ini. Kepada penyelia saya Prof. Madya Dr. Che Mat Hadzer yang sentiasa memberi tunjuk ajar dan penerangan yang jelas bagi projek tahun akhir yang bertajuk Elektronik Kuasa Dalam Aplikasi Pengecasan Kapasitor.

Keduanya, kepada ayah saya Nik Ramli Bin Nik Hasan dan ibu saya Che Semah Bt Che Abd. Rahman yang sentiasa bersama-sama saya memberikan dorongan kepada saya dalam menjayakan projek tahun ini. Ucapan ribuan terima kasih kepada juruteknik-juruteknik makmal elektronik dan makmal kuasa di atas kerjasama dalam penyediaan komponen dan penggunaan alatan di dalam makmal. Selain dari itu, ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada semua tenaga pengajar di PPK Elektrik dan Elektronik dan semua staf sokongan yang terlibat sama ada secara langsung atau pun tidak langsung.

Akhir sekali, saya merakamkan ucapan terima kasih kepada kawan-kawan saya di atas sokongan dan kerjasama anda semua dalam membantu saya menyiapkan projek tahun akhir ini.

Terima kasih.

NIK IZUDIN BIN NIK RAMLI

KANDUNGAN

ABSTRAK	ii
PENGHARGAAN	iv
KANDUNGAN	v
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Objektif projek	2
1.3 Perancangan projek	2
1.4 Panduan laporan	4
BAB 2 TEORI DAN KAJIAN ILMIAH	
2.1 Bekalan Kuasa Pengecasan Kapasitor	5
2.2 Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh	7
2.3 Bekalan Kuasa Arus Terus (DC) Resonan	10
2.4 Pengenalan Penyongsang Tetimbang Separuh	12
2.5 Pengenalan penerus (rectifier).	14
BAB 3 LITAR PENSUISAN	
3.1 Pengenalan	17
3.2 Rekabentuk Litar PWM	18
3.3 Pemacu MOSFET	21
3.4 Keluaran daripada litar pensuisan	22
BAB 4 SIMULASI ,ANALISIS DAN PENGIRAAN LITAR	
4.1 Simulasi litar Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh	25
4.2 Keputusan simulasi	28
4.3 Pengiraan parameter litar	34

BAB 5	REKABENTUK LITAR	
5.1	Rekabentuk Dan Pembinaan Litar	38
5.2	Pemilihan Komponen	39
5.3	Gabungan Litar Projek	41
5.4	Bentuk gelombang PWM yang terhasil daripada litar pensuisan	43

BAB 6	KESIMPULAN DAN MASALAH	
6.1	Kesimpulan	45
6.2	Masalah yang berlaku	46

RUJUKAN

LAMPIRAN: HELAIAN DATA

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Pada hari ini elektronik kuasa memainkan peranan penting dalam teknologi moden. Elektronik kuasa banyak digunakan dalam produk yang berkuasa tinggi seperti kawalan motor, kawalan lampu, bekalan kuasa, sistem arus terus voltan tinggi (HVDC) dan sebagainya. Antara litar elektronik kuasa yang biasa di gunakan ialah pemenggal langkah turun (Buck), pemenggal langkah naik (Boost), pemenggal langkah turun-naik (Buck-Boost), Cuk, Flyback dan Ward. Setiap litar elektronik kuasa ini, mempunyai keistimewaan tersendiri dan fungsi yang berbeza. Dimana ada di antaranya berfungsi seperti transformer iaitu dapat meningkatkan voltan keluaran, menurunkan atau kedua-duanya sekali. Contohnya Buck yang dapat menurunkan voltan keluaran, Boost dapat meningkatkan voltan keluaran dan penukar Buck-Boost dapat kedua-duanya. Walaubagaimanapun,litar ini bukanlah bertindak seperti transformer sebenar. Julat bezaan voltan masukan dan keluaran tidaklah terlalu besar seperti yang dapat di hasilkan oleh transformer. Selain itu teknologi elektronik kuasa juga diguna untuk pengecasan simpanan kapasitor yang diaplikasikan di dalam penukar pensuisan. Salah satu topologi penukar pensuisan yang diguna dalam aplikasi pengecasan kapasitor ialah penukar resonan sesiri. Untuk projek, topologi ini telah dipilih dalam merekabentuk litar. Litar yang akan direkabentuk ialah Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh.

1.2 Objektif Projek

Setiap projek yang dijalankan mempunyai objektifnya, begitu juga dengan projek ini.

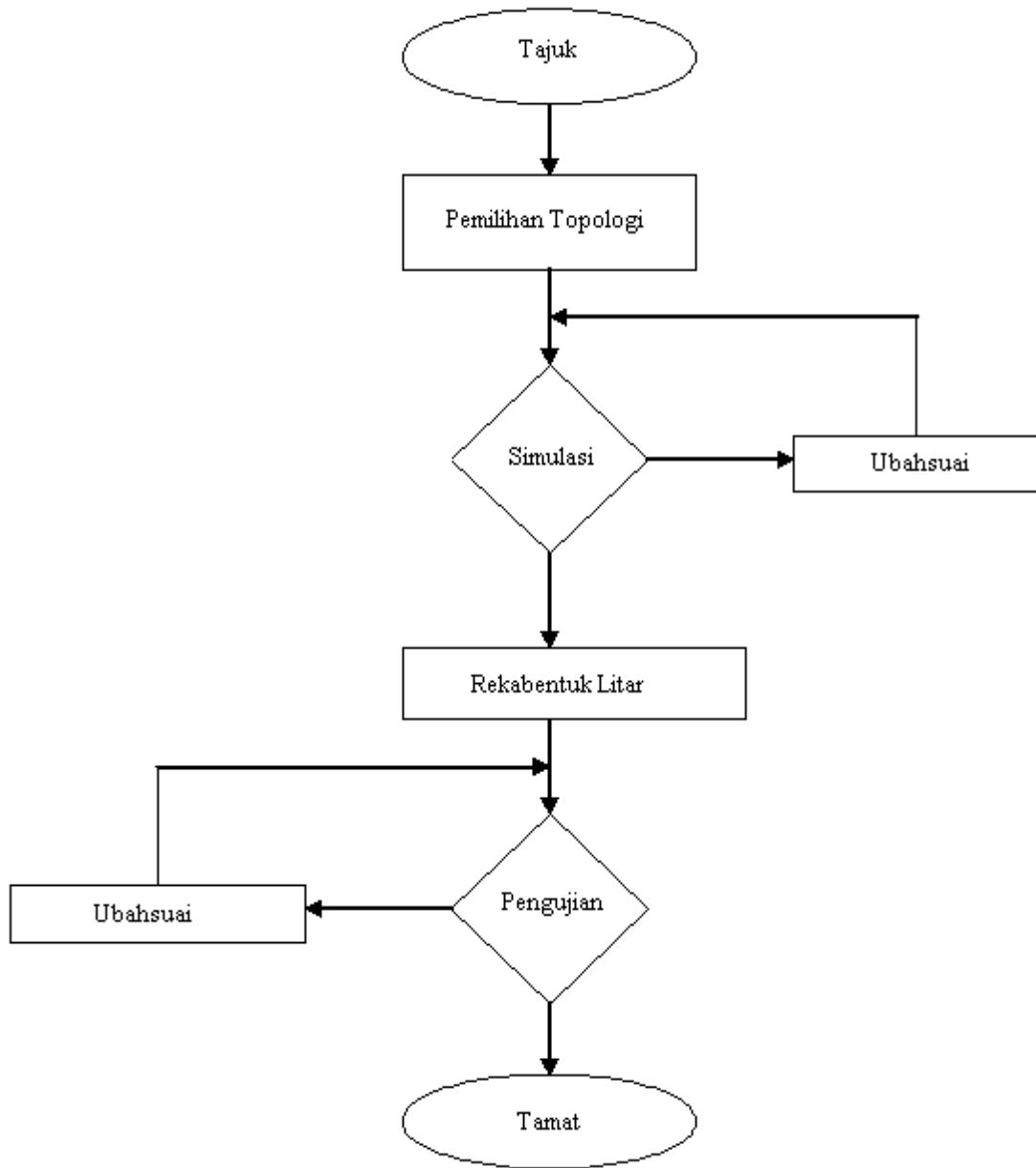
Berikut adalah objektif projek yang dijalankan

- i. Mengkaji penggunaan elektronik kuasa dalam aplikasi pengecasan kapasitor.
- ii. Mengkaji topologi penukar pensuisan yang di guna dalam aplikasi pengecasan kapasitor. Topologi itu ialah penukar resonan sesiri.
- iii. Merekabentuk satu litar iaitu Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh bersama dengan satu litar pensuisan bagi mengawal komponen suis iaitu MOSFET.
- iv. Membuat analisis dan memberi kesimpulan berdasarkan keputusan yang di perolehi daripada nilai teori dan praktikal. Biasanya terdapat sedikit perbezaan antara keputusan teori dan praktikal. Nilai teori didapatkan daripada simulasi dan pengiraan litar.
- v. Melatih pelajar mengurus sesuatu projek , menguji kemampuan pelajar dalam mencari maklumat, pengurusan masa dan menguji pelajar dalam mempraktikkan apa yang telah di pelajari. Serta melihat kebolehan pelajar dalam merekabentuk litar.

1.3 Perancangan Projek

Sebelum sesuatu projek dijalankan, perancangan haruslah dilakukan supaya perjalanan dan perlaksanaan projek tidak menghadapi masalah dan apa yang harus dilakukan di ketahui. Rajah 1.1 menunjukkan proses perjalanan projek yang telah dilakukan. Proses projek dimulakan dengan pemilihan topologi litar dan seterusnya simulasi litar. Simulasi dilakukan berkali-kali supaya keluaran litar yang diperolehi bertepatan dengan nilai yang dikehendaki. Selepas itu rekabentuk litar secara praktikal akan dilakukan berdasarkan litar

simulasi dan disusuli dengan pengujian litar. Jika pengujian litar tidak berjaya, maka litar akan diubahsuai sehingga pengujian litar berjaya dilakukan.



Rajah 1.1 : Carta alir menunjukkan proses yang di lakukan untuk membuat projek ini.

1.4 Panduan Laporan

Laporan projek ini terdiri daripada 6 bab yang telah disusun mengikut proses perlaksanaan projek. Berikut di terangkan serba sedikit tentang kandungan bagi setiap bab laporan yang di lakukan.

Bab 1 menerangkan tentang pengenalan projek, objektif projek yang dilakukan dan perjalanan atau perancangan projek. Objektif dijelaskan supaya pemeriksa dan pembaca akan mengetahui seterusnya memahami perlaksanaan projek yang dilakukan.

Bab 2 pula menerangkan tentang teori dan kajian ilmiah projek yang didapatkan daripada buku, jurnal dan juga internet. Selain itu ia juga mengandungi rajah litar projek yang direkabentuk.

Bab 3 menerangkan tentang litar pensuisan iaitu litar yang di guna untuk mengawal komponen suis MOSFET. Rajah litar pensuisan yang disambung kepada litar utama ditunjuk dalam bab ini.

Bab 4 pula tentang analisis, simulasi dan pengiraan litar yang dilakukan. Pengiraan litar dilakukan dengan menggunakan rumus daripada teori persamaan litar yang diperolehi daripada buku.

Bab 5 tentang rekabentuk litar yang dilakukan. Bab ini merupakan bahagian yang paling utama iaitu rekabentuk litar secara praktikal dan juga pengujian litar telah dilakukan untuk mendapatkan hasil keluaran bagi membuat perbandingan dengan nilai teori.

Bab 6 merupakan bab yang terakhir membincangkan tentang kesimpulan dan masalah yang dihadapi dalam perlaksanaan projek.

BAB 2

TEORI DAN KAJIAN ILMIAH

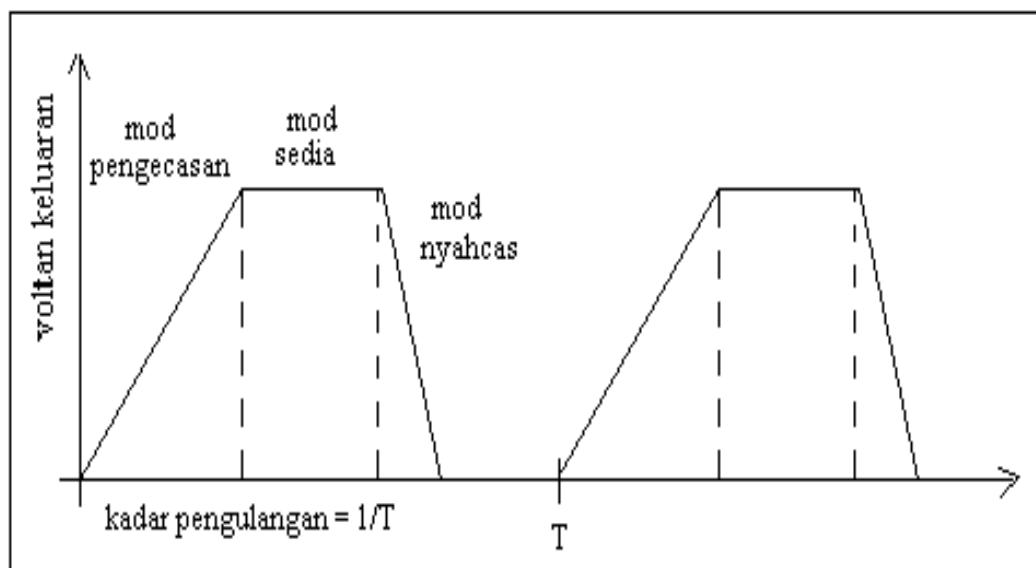
2.1 Bekalan Kuasa Pengecasan Kapasitor

Penggunaan teknologi elektronik kuasa dapat dilihat dalam aplikasi pengecasan kapasitor. Teknologi elektronik kuasa direka untuk berfungsi sebagai bekalan kuasa pengecasan kapasitor (CCPS). Secara teorinya, tenaga dapat disimpan di dalam kapasitor. Kapasitor akan dicaskan oleh voltan bekalan sehingga voltan pada kapasitor telah menyamai voltan bekalan. Kemudian voltan pada kapasitor ini akan dinyahcaskan semula oleh beban sehingga voltan pada kapasitor ini telah habis. Seterusnya kapasitor tadi akan dicaskan semula menggunakan bekalan kuasa pengecasan kapasitor (CCPS) dan hal ini akan terus berulang.

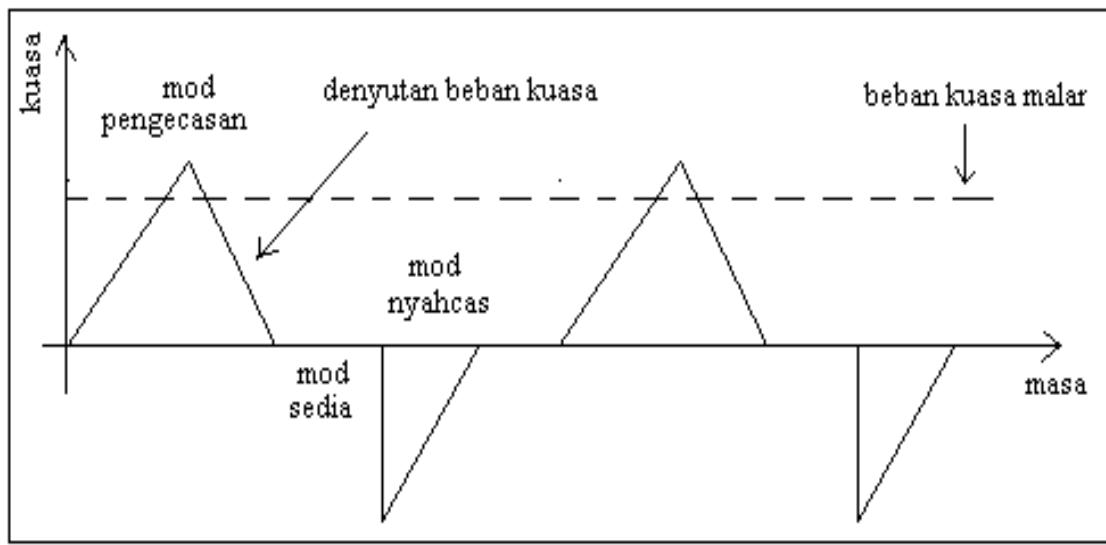
CCPS mempunyai 3 mod operasi dan ini boleh dilihat pada Rajah 2.1. Mod pertama di panggil mod pengecasan. Dalam keadaan ini kapasitor akan dicaskan dari nilai voltan kosong hingga nilai voltan tertentu. Jangka masa mod pengecasan ini ditentukan oleh nilai kapasitor itu yang dapat simpan tenaga. Mod yang kedua pula di kenali sebagai mod sedia (stanby). Apabila nilai voltan keluaran jatuh di bawah nilai tertentu maka CCPS akan aktif dan menghantar tenaga bagi mengganti nilai voltan kapasitor yang telah hilang tadi. Bagi jangka masa mod sedia ini, ia ditentukan oleh kadar pengulangan beban. Manakala nama bagi mod terakhir operasi ialah mod nyahcas, di mana tenaga kapasitor akan dinyahcas oleh beban. Jumlah baki masa CCPS dalam mod ini ditentukan oleh berapa cepat masa yang diambil oleh beban untuk menyahcas kapasitor.

Dalam Rajah 2.2 pula menunjukkan perbandingan antara kuasa keluaran CCPS dengan bekalan kuasa DC yang di bekalkan kepada beban. Di sini dapat di lihat bahawa, kuasa keluaran CCPS telah melebihi had bekalan kuasa DC. Tetapi hal ini hanya berlaku seketika atau sekejap sahaja dan ia di sebabkan oleh proses pengecasan kapasitor yang pantas. Semakin besar nilai kapasitor, maka semakin besarlah julat perbandingan kuasa keluaran yang wujud.

Bagi mengawal kadar pengulangan pengecasan kapasitor dan seterusnya mengawal penghasilan voltan keluaran kaedah pensuisan telah di gunakan. Teknik pensuisan yang biasa digunakan dalam litar elektronik kuasa ini ialah Pemodulatan Lebar Denyut (PWM). Peranti yang bertindak sebagai suis ialah MOSFET, IGBT, BJT, GTO dan sebagainya.



Rajah 2.1: Tiga mod operasi bekalan kuasa pengecasan kapasitor (CCPS)



Rajah 2.2: Kuasa yang diperlukan untuk denyutan kuasa dan beban kuasa malar

2.2 Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh

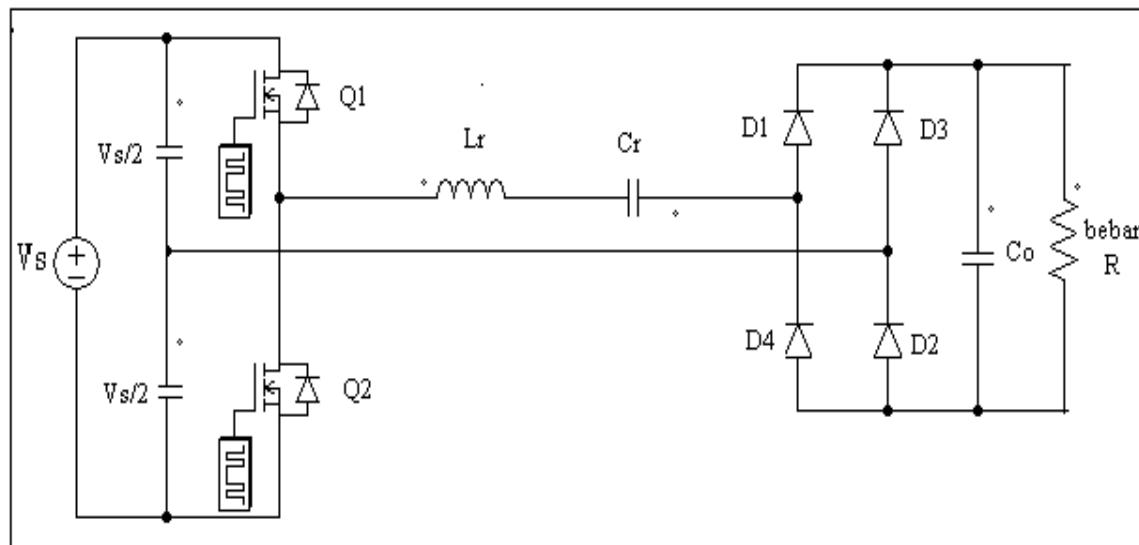
Salah satu topologi penukar (converter) yang biasa digunakan dalam aplikasi pengecasan kapasitor ialah penukar resonan sesiri. Litar yang akan direkabentuk ialah Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh. Litar ini dapat di lihat pada Rajah 2.3. Fungsi litar ini ialah untuk menurunkan voltan masukan arus terus (Vdc) dan seterusnya bertindak sebagai bekalan kuasa dc kepada beban [3]. Litar ini banyak diguna dalam aplikasi industri dan di guna untuk aplikasi voltan tinggi. Litar ini, bertindak seperti penukar ‘Buck’, di mana ia dapat menurunkan voltan masukan. Voltan keluaran yang dihasilkan adalah lebih kecil dari voltan masukan ($V_o < V_s$).

Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh ini menggunakan 2 gabungan litar elektronik kuasa iaitu penyongsang (inverter) dan penerus (rectifier). Penyongsang berfungsi untuk menukarkan voltan dc kepada voltan ac dan seterusnya voltan ac ini akan ditukar semula kepada voltan dc bagi keluarannya oleh penerus. Dua komponen resonan

iaitu induktor resonan L_r dan kapasitor resonan C_r telah di sambung secara siri dengan beban keluaran melalui litar penerus gelombang penuh. Untuk keluaran penapis (filter) kapasitor yang sangat besar, litar penerus dan beban boleh di gambarkan sebagai sumber voltan keluaran malar V_o . Persamaan litar bagi Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh ini boleh di tunjukkan seperti Rajah 2.4 dengan menganggap semua parameter rintangan tiada. Dalam keadaan tetap, operasi Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh boleh di kelaskan dalam salah satu keadaan iaitu mod berterusan atau mod tak berterusan [3]. Dua keadaan ini bergantung kepada frekuensi pensuisan PWM dan frekuensi resonan (f_n). Untuk setiap mod operasi, rumus pengiraan litarnya adalah berlainan.

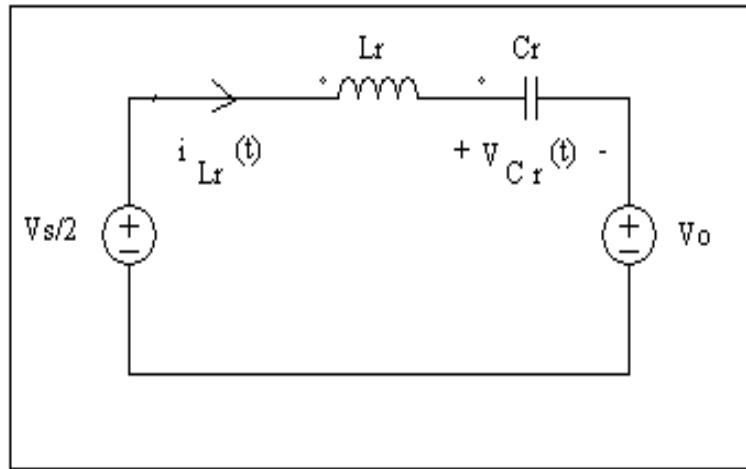
Mod Operasi Litar

- I. mod berterusan (continuous)
- II. mod tidak berterusan (discontinuous)



Rajah 2.3: Litar Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh

Rajah 2.4 adalah litar persamaan yang akan terhasil daripada litar Rajah 2.3 apabila salah satu suis MOSFET Q1 atau Q2 di bukakan. Q1 dan Q2 direka supaya ia tidak akan dibuka atau tutup pada masa yang sama.



Rajah 2.4: Litar persamaan bagi litar penukar resonan

Mod Tidak Berterusan ($f < 0.5 f_n$)

Berdasarkan Rajah 2.4, kadar peningkatan arus induktor resonan adalah

$$\frac{di_{Lr}(t)}{dt} = \frac{Vs/2 - Vo - v_{Cr}(t)}{L_r} \quad (2.1)$$

manakala, kadar bagi peningkatan voltan kapasitor resonan ialah

$$\frac{dv_{Cr}(t)}{dt} = \frac{i_{Lr}(t)}{C_r} \quad (2.2)$$

Arus yang mengalir melalui induktor resonan ialah

$$i_{Lr}(t) = \frac{Vs - 2V_o(t)}{Z_o} \sin \omega_n t \quad (2.3)$$

dan voltan yang melintasi kapasitor resonan ialah

$$v_{Cr}(t) = \frac{Vs}{2} - V_o - (Vs - 2V_o) \cos \omega_n t \quad (2.4)$$

di sini,

$$\text{frekuensi resonan ialah } \omega_n = \frac{1}{\sqrt{LrCr}} \quad (2.5)$$

$$\text{dan impedan, } Z_o = \sqrt{\frac{Lr}{Cr}} \quad (2.6)$$

Mod Berterusan (f > 0.5 fn)

Berdasarkan Rajah 2.4, kadar peningkatan arus induktor resonan adalah

$$\frac{di_{Lr}(t)}{dt} = \frac{Vs/2 - Vo - v_{Cr}(t)}{L_r} \quad (2.7)$$

manakala, kadar bagi peningkatan voltan kapasitor resonan ialah

$$\frac{dv_{Cr}(t)}{dt} = \frac{i_{Lr}(t)}{C_r} \quad (2.8)$$

Arus yang mengalir malalui induktor resonan ialah

$$i_{Lr}(t) = \frac{Vs/2 - Vo - v_{Cr}(0)}{Zn} \sin \omega_n t + i_{Lr}(0) \cos \omega_n t \quad (2.9)$$

dengan keadaan awal $i_{Lr}(0) > 0$

dan voltan yang melintasi kapasitor resonan ialah

$$v_{Cr}(t) = \left(\frac{Vs}{2} - Vo \right) - \left[\frac{Vs}{2} - Vo - v_{Cr}(0) \right] \cos \omega_n t + i_{Lr}(0) Zn \sin \omega_n t \quad (2.10)$$

dengan keadaan awal $v_{Cr}(0) < 0$

2.3 Bekalan Kuasa Arus Terus (DC) Resonan

Bekalan kuasa dc terbahagi kepada tiga jenis [1] iaitu

- a) Bekalan kuasa mod pensuisan
- b) Bekalan kuasa resonan
- c) Bekalan kuasa dua arah (bidirectional)

Jenis bekalan kuasa dc ini di tentukan oleh teknik penukar dan arah kawalan kuasa. Bagi litar projek ini, ia telah menggunakan 2 komponen resonan iaitu kapasitor dan induktor yang telah di sambung secara siri dengan litar penyongsang. Oleh itu litar Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh ini berfungsi sebagai bekalan kuasa resonan. Beza antara bekalan kuasa mod-pensuisan dengan bekalan kuasa resonan hanyalah pada 2 komponen ini sahaja, dimana litar bekalan kuasa mod pensuisan tidak menggunakan komponen resonan.

Secara teorinya, bagi bekalan kuasa mod-pensuisan litar tetimbang separuh yang di gunakan sebagai bekalan kuasa dc hanya dapat menghasilkan voltan keluaran separuh daripada voltan masukan ($V_o = Vs/2$). Bagi mendapatkan beza voltan keluaran yang lebih kecil lagi iaitu $V_o < Vs/2$ maka komponen resonan telah di gunakan. Oleh sebab itulah, maka ia telah di kenali sebagai bekalan kuasa resonan, di mana voltan keluaran dapat di turunkan tidak terhad sehingga $Vs/2$ sahaja. Walaubagaimanapun voltan keluaran yang terhasil bergantung juga kepada frekuensi resonan dan frekuensi pensuisan. Biasanya frekuensi resonan telah di tetapkan nilainya. Manakala bagi frekuensi pensuisan ia tidak di tetapkan dan boleh di laras bagi mendapatkan nilai voltan keluaran yang sesuai. Frekuensi pensuisan ini bergantung kepada isyarat kawalan pemodulatan lebar denyut (PWM). Kita boleh tentukan nilai frekuensi yang dikehendaki dengan mengawal isyarat PWM.

Frekuensi resonan di dalam litar di katakan akan berlaku apabila nilai impedan bagi induktor, L dan kapasitor, C adalah sama atau jumlah impedan, Z adalah kosong. Frekuensi resonan boleh di kira seperti di bawah.

Apabila nilai impedan, $X_L = X_C$, maka

$$X_L = X_C \quad (2.11)$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

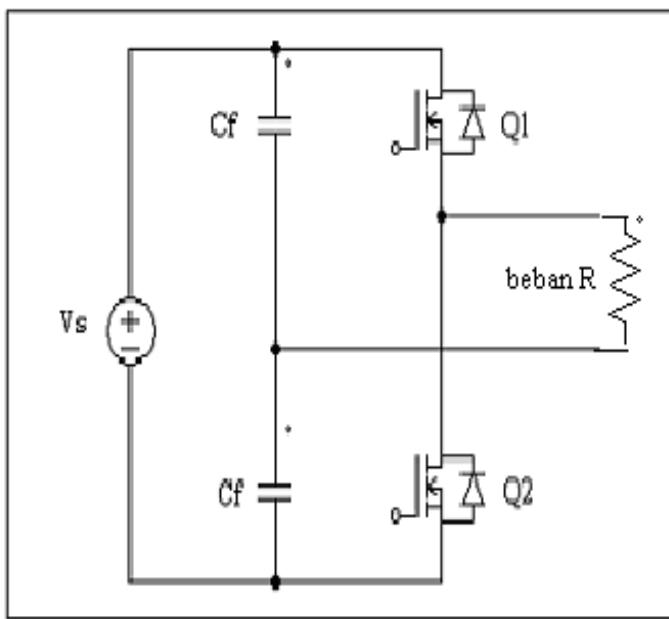
$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{LC}$$

Frekuensi resonan $f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (2.12)

2.4 Pengenalan Penyongsang Tetimbang Separuh.

Litar penyongsang merupakan penukar voltan pertama bagi litar Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh sebelum melalui litar penerus. Penyongsang (inverter) juga dikenali sebagai penukar DC ke AC. Fungsi utama penyongsang ialah untuk menukarkan voltan masukan dc kepada voltan keluaran ac simetri [1]. Voltan keluaran yang dihasilkan boleh di dapatkan samada keluaran tetap atau boleh ubah dengan frekuensi yang tetap atau boleh ubah. Gelombang voltan keluaran yang terhasil sepatutnya berbentuk sinusoidal tetapi susah untuk mendapatkan bentuk keluaran sinusoidal yang sempurna di sebabkan faktor harmonik yang wujud. Penyongsang boleh di bahagikan kepada dua iaitu penyongsang satu fasa dan penyongsang tiga fasa. Untuk litar ini yang menggunakan

penyongsang tetimbang separuh ia adalah penyongsang satu fasa. Litar ini dapat di lihat pada Rajah 2.5. Pada litar penyongsang tetimbang separuh terdapat 2 pemenggal yang bertindak sebagai suis (Q1 dan Q2). Fungsi suis ini adalah untuk mengawal buka (ON) dan tutup (OFF). Untuk litar ini, MOSFET sebagai suis telah digunakan. Bagi menghasilkan voltan keluaran ac, isyarat kawalan pemodeulatan lebar denyut (PWM) yang disambung terus kepada MOSFET telah digunakan.



Rajah 2.5 : Penyongsang tetimbang separuh

Prinsip Kerja Penyongsang Tetimbang Separuh

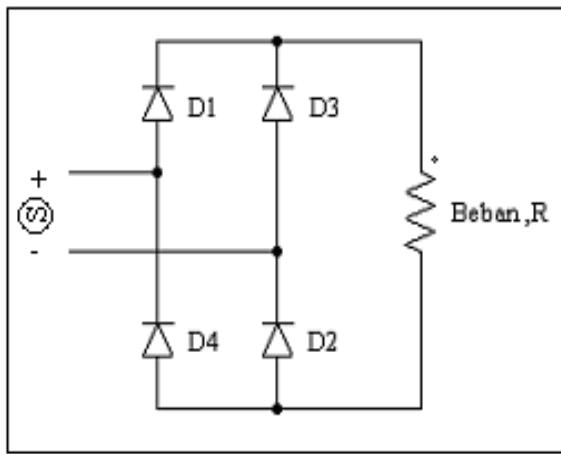
Apabila bekalan kuasa Vs di bekalkan, maka kapasitor C_f akan dicaskan. Oleh kerana terdapat dua buah kapasitor yang sesiri dan mempunyai nilai kapasitan yang sama, maka voltan yang akan muncul pada kapasitor itu ialah $V_s/2$ pada setiap satu. Kemudian bila Q1 di buka untuk masa $T_0/2$, voltan seketika (instantaneous) akan muncul pada beban R dengan nilai $V_s/2$. Di mana voltan kapasitor tadi akan dinyahcaskan oleh beban. Jika Q2

pula di bukakan untuk masa $T_0/2$, voltan yang akan muncul pada beban ialah $-Vs/2$. Proses ini berlaku dengan cepat, apabila kapasitor tadi di nyahcaskan oleh beban, maka ia akan dicaskan semula oleh bekalan kuasa Vs dan proses ini akan terus berulang. Logik litar ini di reka supaya Q1 dan Q2 tidak akan di buka pada waktu yang sama. Voltan keluaran rms yang akan muncul pada beban dapat di kira seperti berikut [1],

$$\begin{aligned}
 V_O &= \left[\frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{T_0}{2}} \left(\frac{Vs}{2} \right)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[\frac{2}{T_0} \times \frac{Vs^2}{4} \times \frac{T_0}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{Vs}{2}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

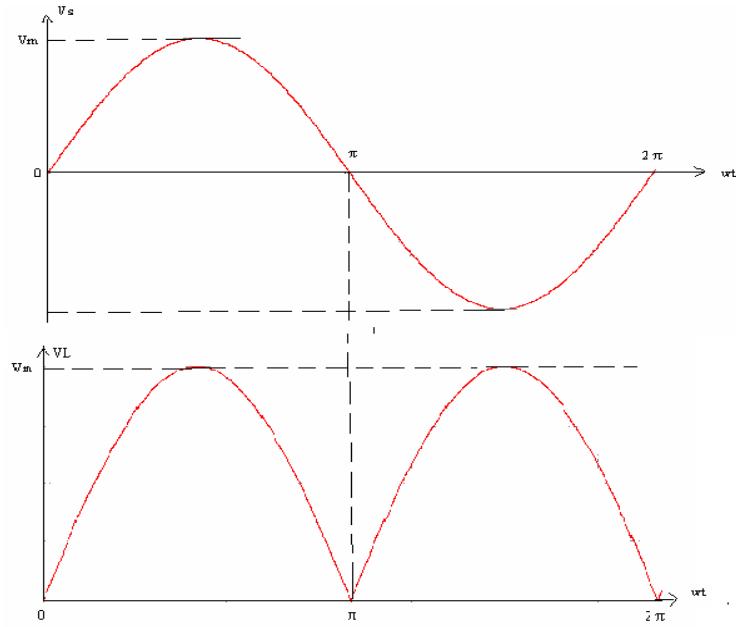
2.5 Pengenalan Penerus (rectifier)

Dalam litar elektronik kuasa ini iaitu Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh terdapat penggunaan diod bagi tujuan menukar voltan ac kepada dc yang di kenali sebagai penerus. Litar penerus adalah penukar yang kedua yang di gunakan dalam litar Penukar Resonan Beban Sesiri Tetimbang Separuh selepas penyongsang. Penerus boleh di bahagi kepada dua iaitu gelombang penuh dan gelombang separuh [1]. Untuk litar ini ia dikenali sebagai litar penerus gelombang penuh satu fasa kerana empat buah diod telah di gunakan. Litar penerus ini juga di kenali sebagai penerus tetimbang dan ia banyak di guna dalam industri. Litar penerus dapat ditunjukkan seperti Rajah 2.6.



Rajah 2.6: Penukar ac-dc satu fasa (rectifier)

Rajah 2.7 menunjukkan voltan masukan arus ulang –alik (ac) yang telah dibekalkan kepada litar penerus pada Rajah 2.6 dan akan terhasil voltan keluaran yang hampir voltan arus terus (dc).



Rajah 2.7: Gelombang voltan keluaran penerus

Purata voltan keluaran dapat dikira daripada bentuk gelombang voltan keluaran pada Rajah

2.7. Pengiraan purata voltan keluaran ialah [1],

$$\begin{aligned}V_{dc} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt \\V_{dc} &= \frac{2V_m}{\pi} \\V_{dc} &= 0.6366V_m\end{aligned}\tag{2.14}$$

Prinsip Kerja Penerus Gelombang Penuh Satu Fasa

Empat buah diod telah di gunakan dalam litar penerus seperti pada Rajah 2.6. Semasa kitar separuh positif voltan masukan ac, kuasa yang di bekalkan kepada beban akan melalui diod D1 dan D2 dan diod ini di katakan mengkonduk untuk kitar positif. Manakala untuk kitar negatif, diod D3 dan D4 pula akan mengkonduk. Secara teorinya voltan keluaran dc akan dapat di lihat pada beban. Walau bagaimanapun, mungkin bentuk gelombang yang terhasil pada beban tidak menunjukkan gelombang dc secara sempurna. Ini kerana mungkin terdapat gangguan harmonik pada gelombang voltan keluaran.

BAB 3

LITAR PENSUISAN

3.1 Pengenalan

Litar pensuisan di lakukan dalam suatu bekalan kuasa dc adalah bagi kawalan terhadap litar pemacu suis semikonduktor kuasa seperti Tyristor, Transistor kuasa, MOSFET, IGBT dan sebagainya. Asas operasi mod suis boleh dicapai dengan teknik pemodulatan lebar denyut (PWM). Melalui teknik PWM nilai frekuensi voltan keluaran, f dan kitar tugas, k yang di ingini dapat di perolehi. Hubungan antara frekuensi pensuisan dan kitar tugas diberikan oleh persamaan berikut:

$$k = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = f(t_{on}) \quad (3.1)$$

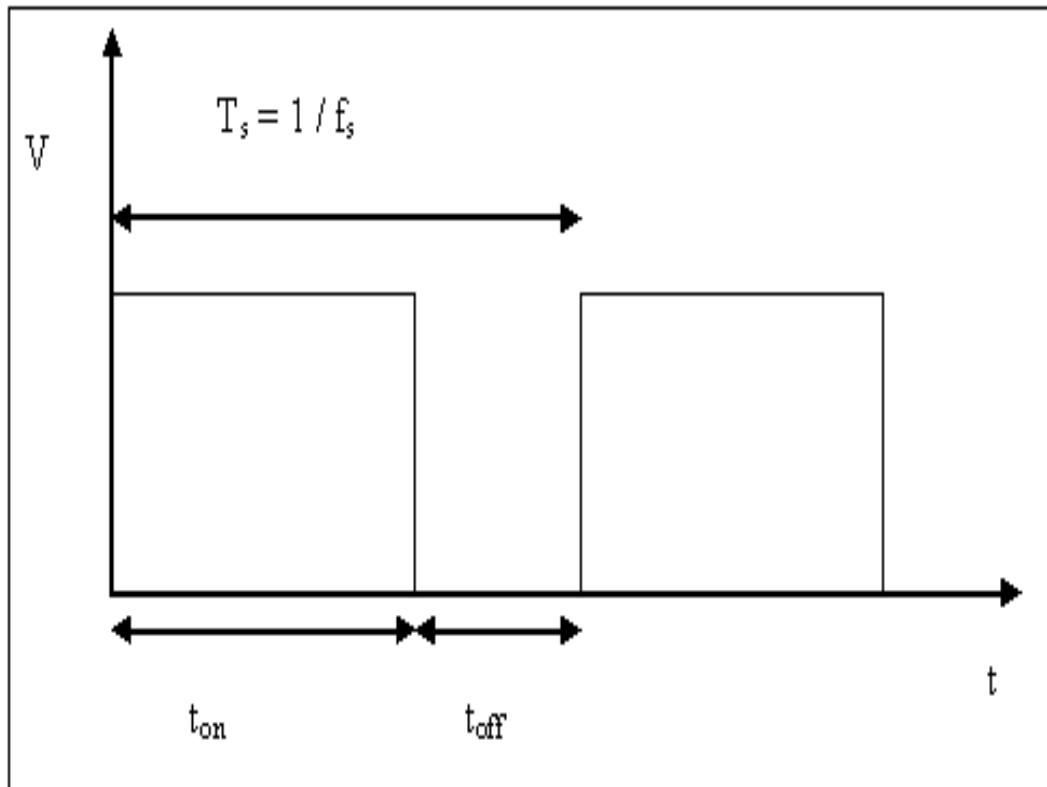
Di sini T merupakan jumlah masa bagi satu kitar pensuisan iaitu:

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (3.2)$$

$$\text{frekuensi , } f = \frac{1}{T}$$

Di sini, t_{on} merupakan tempoh suis dihidupkan (ON) dah t_{off} adalah merupakan tempoh suis di matikan (OFF). Perubahan pada setiap nilai kitar tugas akan memberikan nilai voltan keluaran dc yang berlainan. Pensuisan memainkan peranan yang sangat penting dalam menentukan kecekapan suatu litar kuasa kerana penukaran kuasa pada litar penyongsang bergantung kepada frekuensi pensuisan. Pada frekuensi yang terlalu tinggi, akan mengakibatkan kehilangan kuasa apabila arus dan voltan yang tinggi diaruhkan pada suis.

Rajah 3.1 menunjukkan contoh rupa bentuk isyarat voltan keluaran PWM yang akan terhasil daripada litar pensuisan.



Rajah 3.1 : Contoh Isyarat kawalan mod pensuisan

3.2 Rekabentuk Litar PWM

Dalam bab ini, teknik pensuisan yang di gunakan ialah pemodulatan lebar denyut (PWM), dimana ia memainkan peranan yang penting dalam mendapatkan bentuk gelombang keluaran yang baik. Sebelum litar utama di rekabentuk, litar bagi teknik pensuisan perlu direka terlebih dahulu supaya ia dapat memberikan frekuensi pensuisan dan nilai kitar tugas yang dikehendaki kepada semikonduktor kuasa seperti MOSFET dan IGBT. MOSFET kuasa iaitu IRF740 sebagai suis telah digunakan. Litar pensuisan ini

terdiri daripada IC SG3524, TC4426 dan beberapa komponen perintang dan kapasitor. SG3524 ini menggabungkan kesemua fungsi yang diperlukan dalam pembinaan pengatur bekalan kuasa, penyongsang atau pengatur pensuisan. IC ini juga boleh di gunakan sebagai elemen kawalan bagi aplikasi keluaran kuasa tinggi. SG3524 ini terdiri daripada pengatur buka-cip, ralat-penguat (error-amplifier), program pengayun (oscillator), denyut-pemacu flip-flop, penghad arus, litar pemutus dan pembanding (high-gain comparator).

Pada mulanya SG3524 ini direkabentuk bagi mendapatkan voltan keluaran dengan frekuensi yang tetap, tetapi setelah di ubahsuai frekuensi bagi voltan keluaran dapat di ubah-ubah mengikut nilai yang dikehendaki. Frekuensi bagi voltan keluaran dapat di ubahsuai dengan melaraskan nilai R_t iaitu rintangan boleh ubah. Julat bagi rintangan ini ialah $100\text{k}\Omega$. Manakala bagi kitar tugas untuk litar pensuisan ini pula ialah antara 0.1 hingga 0.9. Kitar tugas ini pula dapat di ubah dengan melaraskan rintangan boleh ubah, R_a yang berjulat $10\text{k}\Omega$ pada Rajah 3.3.

Nilai frekuensi kawalan bagi SG3524 ini boleh di kira dengan menggunakan rumus ini

$$f = \frac{1.3}{R_t C_t} \quad (3.3)$$

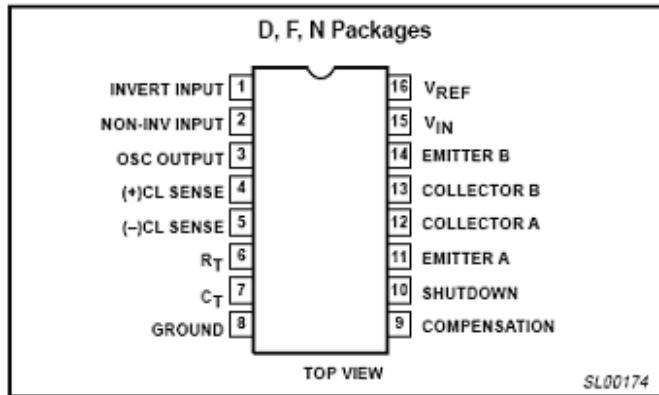
disini R_t adalah dalam $\text{k}\Omega$

C_t di beri nilai tetap iaitu $0.01\mu\text{F}$

f adalah dalam kHz .

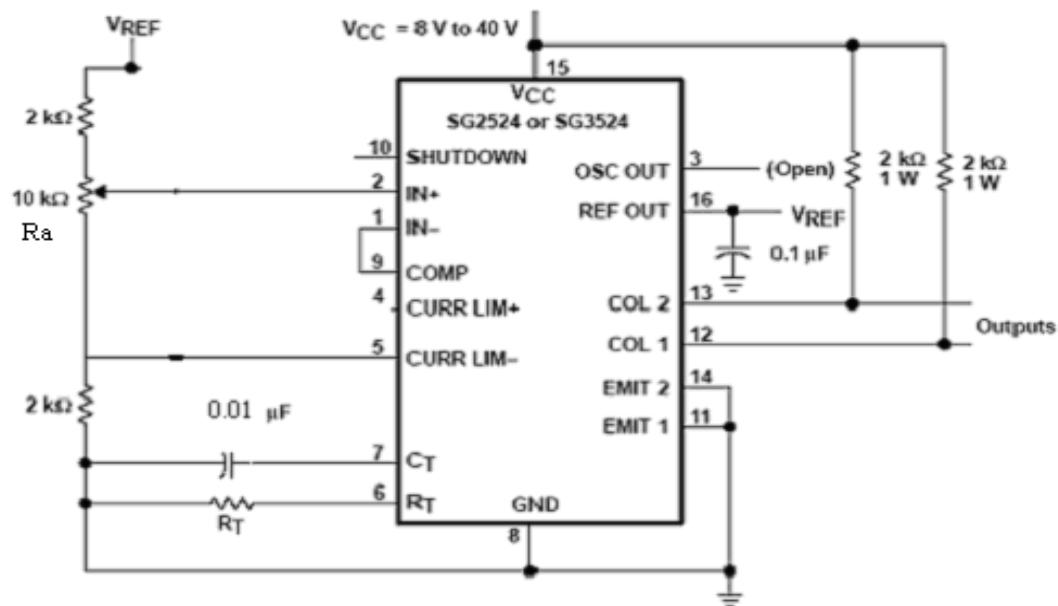
Julat bagi nilai R_t telah di tentukan iaitu antara $1.8\text{k}\Omega$ hingga $100\text{k}\Omega$. Dengan itu julat frekuensi antara 1300 Hz hingga 722 kHz.

Rajah 3.2 di bawah ialah IC SG3524 yang menunjukkan kaki IC untuk sambungannya. IC ini terdiri daripada 16 kaki.



Rajah 3.2 : Kaki bagi sambungan SG3524

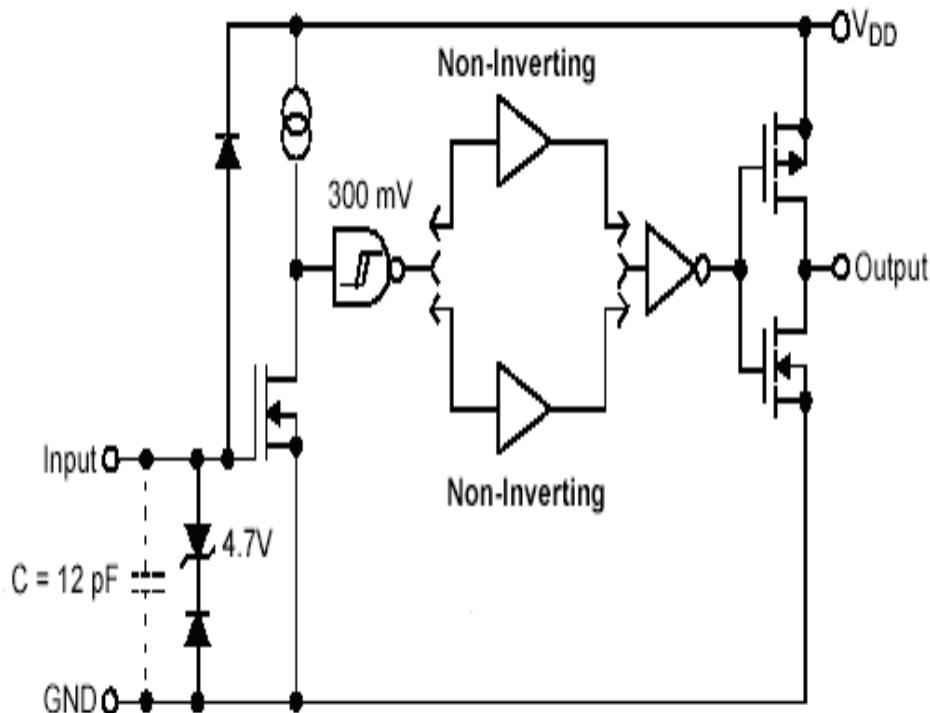
Rajah 3.3 menunjukkan sambungan litar untuk IC SG3524 yang akan menghasilkan isyarat PWM.



Rajah 3.3: Sambungan litar bagi SG3524

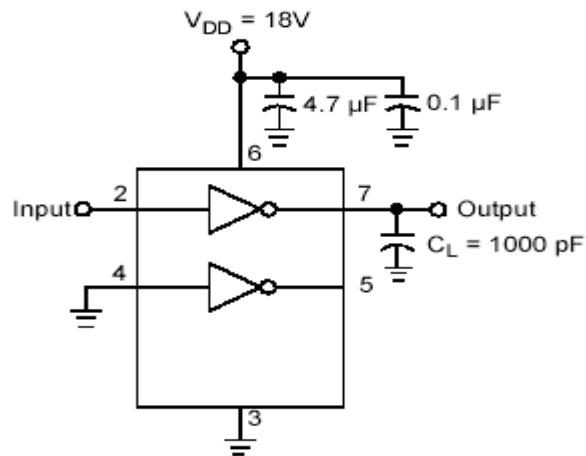
3.3 Pemacu Mosfet

Pemacu MOSFET TC4426 telah digunakan dalam litar pensuisan ini. Litar pemacu MOSFET ini adalah sambungan antara muka litar penjana PWM dan suis MOSFET. Keluaran litar penjana PWM iaitu SG3524 akan di sambung kepada pemacu MOSFET sebelum di sambung terus kepada MOSFET kuasa. TC4426 ini biasa di guna dalam aplikasi untuk bekalan kuasa mod-pensuisan, pemacu talian dan pemacu denyutan transforrner. Ia juga mempunyai masa jatuh dan meningkat yang sesuai apabila get MOSFET dicas dan dinyahcaskan. Tujuan litar ini adalah sebagai pemacu kepada komponen suis iaitu MOSFET dan ia juga berfungsi bagi mendapatkan gelombang yang lebih baik. Pada Rajah 3.4 di bawah menunjukkan susun atur litar pemacu MOSFET.



Rajah 3.4: Susun atur litar pemacu MOSFET

IC TC4426 ini terdiri daripada 8 kaki. Rajah 3.5 menunjukkan sambungan litar untuk IC TC4426 yang akan berfungsi sebagai pemacu MOSFET kuasa. Sambungan untuk litar ini tidak terlalu rumit dan tidak memerlukan banyak komponen lain seperti rintangan dan kapasitor. Hanya 3 buah kapasitor sahaja digunakan bagi membentuk litar pemacu MOSFET.



Rajah 3.5: Sambungan litar pemacu MOSFET

3.4 Keluaran Daripada Litar Pensuisan

Keputusan Jadual 3.1,3.2 dan 3.3 diperolehi daripada litar pensuisan iaitu IC SG3524. Terdapat dua elemen yang di ubah untuk mendapatkan frekuensi dan kitar tugas yang dikehendaki. Elemen itu ialah rintangan Ra dan Rt. Rintangan Ra adalah untuk mengawal kitar tugas dan Rt untuk mengawal frekuensi pensuisan. Untuk melihat hubungan rintangan Ra dan kitar tugas,k, dua frekuensi pensuisan yang dihasilkan iaitu 10kHz dan 20kHz telah dipilih dan ini ditunjuk pada Jadual 3.1 dan 3.2. Bagi Jadual 3.1 ukuran nilai yang ditetapkan ialah $C_t=0.01\mu F$, $Rt = 6 k\Omega$ dan $f = 10kHz$. Manakala untuk Jadual 3.2 ukuran nilai yang ditetapkan ialah $C_t = 0.01\mu F$, $Rt = 3 k\Omega$ dan $f = 20 kHz$.

Jadual 3.1: Nilai rintangan Ra untuk menghasilkan kitar tugas k bagi $f = 10\text{kHz}$

Kitar tugas	Rintangan, Ra ($\text{k}\Omega$)	Frekeunsi pensuisan (kHz)
0	0	10
0.1	1.5	10
0.2	2.6	10
0.3	4	10
0.4	4.5	10
0.5	5	10
0.6	4.5	10
0.7	4	10
0.8	2.6	10
0.9	1.5	10
1.0	0	10

Jadual 3.2: Nilai rintangan Ra untuk menghasilkan kitar tugas k bagi $f = 20\text{kHz}$

Kitar tugas	Rintangan, Ra ($\text{k}\Omega$)	Frekeunsi pensuisan (kHz)
0	0	20
0.1	1.5	20
0.2	3.0	20
0.3	4	20
0.4	4.5	20
0.5	5	20
0.6	4.5	20
0.7	4	20
0.8	3.0	20
0.9	1.5	20
1.0	0	20

Daripada keputusan Jadual 3.1 dan 3.2 dapat disimpulkan bahawa rintangan boleh ubah, Ra memainkan peranan dalam mengawal kitar tugas,k dan ia tidak di pengaruhi oleh frekuensi.

Hanya terdapat sedikit sahaja beza perubahan Ra pada frekuensi 10 kHz dan 20 kHz. Untuk kitar tugas kurang daripada 0.5, ia telah di ambil daripada keluaran pemacu MOSFET TC4426 dan bagi kitar tugas 0.5 ke atas ia telah di ambil terus daripada keluaran penjana PWM iaitu SG3524.

Jadual 3.3: Nilai rintangan Rt untuk menghasilkan frekuensi yang dikehendaki.

Rintangan, Rt (kΩ)	Frekuensi (kHz)
0.5	50
1	40
3	18
5	10
10	5.7
20	2.9
30	2
50	1.25
70	0.9
100	0.625

Jadual 3.3 menunjukkan frekuensi voltan keluaran yang diperolehi apabila nilai rintangan Rt dilaraskan. Nilai kapasitor C_t , rintangan bolehubah Ra dan kitar tugas k tidak mempengaruhi dalam menghasilkan frekuensi ini. Julat bagi rintangan R_t ialah 0 hingga 100kΩ. Semakin kecil nilai rintangan Rt yang dikenakan maka semakin besar nilai frekuensi pensuisan yang dapat dihasilkan.