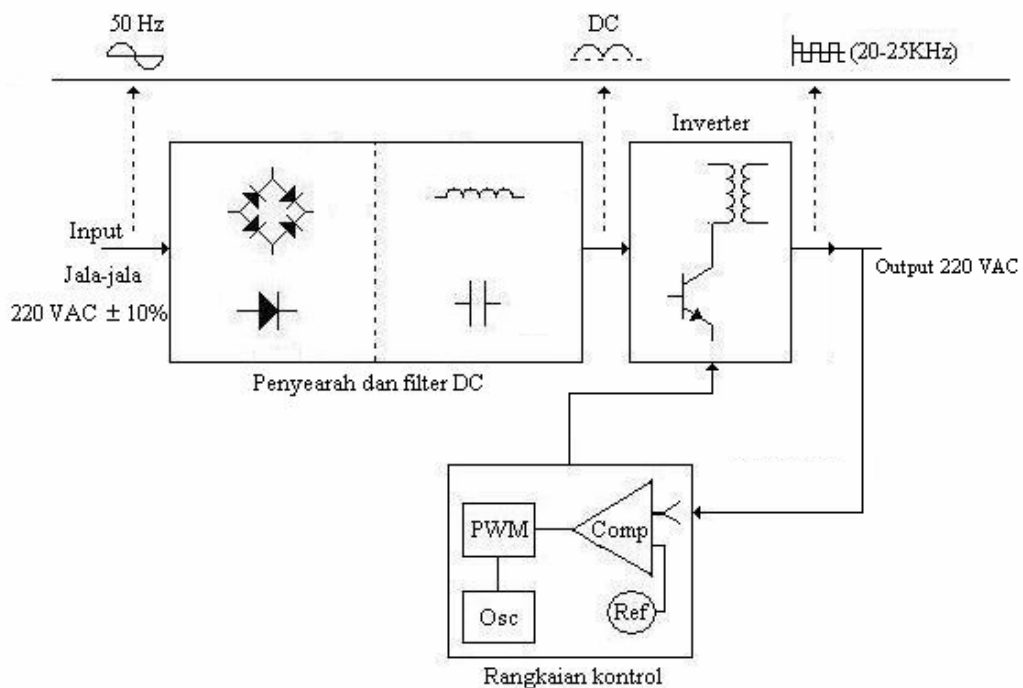


3. PERANCANGAN SISTEM

Pada perancangan Stabilisator Tegangan AC Elektronik 1 Fasa ini akan dibahas tiap bagian-bagian mulai perencanaan, proses pembuatan, sampai hasil akhir. Untuk memperjelas pembahasan tersebut, maka berikut ini disajikan blok diagram sistem:



Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem

Secara garis besar, blok diagram di atas memiliki target yaitu dihasilkannya tegangan *output* stabil sebesar 220V AC, berdaya maksimum 300 watt. *Output* tegangan AC dihasilkan oleh bagian *Inverter* dimana bagian *input*-nya dicatu tegangan DC oleh bagian penyearah dan filter DC. Kesetabilan *output* sistem dapat terwujud oleh bagian rangkaian kontrol sebagai otak sistem (yang membandingkan tegangan *output* tersebut dengan tegangan referensi), dimana ada nilai beda (*error*). Nilai beda ini akan mengontrol suplai arus pada bagian *inverter* (dimana suplai daya dapat dinaikkan atau diturunkan).

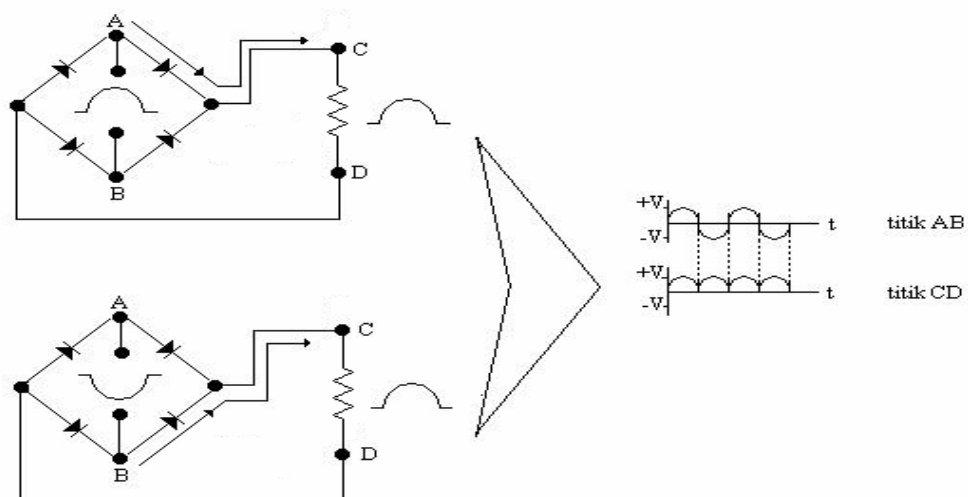
3.1. Penyearah dan Filter DC

3.1.1. Penyearah

Pada bagian *input* rangkaian stabilisator terdapat rangkaian penyearah. Disini tegangan AC dari jala-jala diubah menjadi tegangan DC. Tegangan DC tersebut bersifat ‘mutlak’ karena dalam prosesnya rangkaian stabilisator tersebut menggunakan komponen aktif berupa semikonduktor seperti MOSFET, transistor, IC, dll.

Dalam hal penggunaan tegangan DC, erat kaitannya dengan pengertian ‘daya’ DC dimana; daya (P) = tegangan (V) x arus (I). Sifat sinyal tegangan DC yang kontinu (rata) merupakan suatu keuntungan dimana salah satu variabel tegangan (V) atau arus (I) dapat digunakan dalam suatu kesempatan. Faktor ini mendukung kemudahan pengaplikasian yang akan dijelaskan pada bagian *Inverter*.

Dalam rangkaian ini digunakan jenis penyearah gelombang penuh (*Full Wave*), karena diinginkan *input-an* daya yang rata dan sama dengan daya *input-an* penyearah. Selain itu karena tegangan dari jala-jala berupa tegangan AC (*bipolar*), maka untuk mendapatkan tegangan DC yang ‘baik’ perlu menggunakan jenis ini. Berikut penjelasannya ;

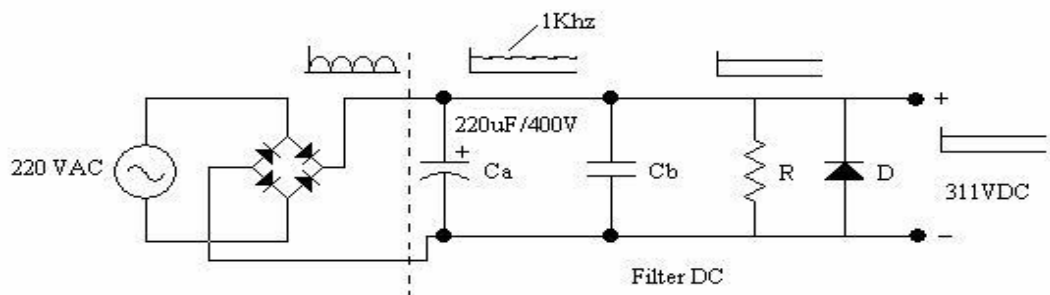


Gambar 3.2. Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave*)

Dari gambar di atas terlihat bahwa sinyal *input* titik AB (fasa positif dan negatif) akan disearahkan ke arah positif semua, dan daya yang dihasilkan pada *output* (titik CD) penyearah adalah sama besar dengan *input* penyearah.

3.1.2. Filter DC¹

Rangkaian filter DC diperlukan untuk mendapatkan sinyal tegangan DC yang rata, sehingga dapat diperoleh kestabilan sistem yang memadai. Filter yang dimaksud terdiri atas kapasitor dan resistor. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah gambar rangkaian filter DC;



Gambar 3.3. Rangkaian Filter DC

Pada gambar di atas terlihat sinyal tegangan dari penyearah yang diratakan oleh kapasitor polar Ca dengan kapasitas 220uF/400V. Karena hasil dari kapasitor Ca masih mengandung *ripple* yang frekuensinya relatif tinggi (1 KHz), untuk menekan noise berupa *ripple* tersebut maka dipasang kapasitor Cb dengan kapasitas 100nF yang diparalel dengan resistor 2,5 K Ω , nilai-nilai tersebut diperoleh dari perhitungan berikut berikut;

Frekuensi *noise* berupa *ripple* = 1KHz (dari pengamatan)

$$f = 1/T$$

$$C_b = 100\text{nF} = 10^{-7} \text{ F (dipilih)}$$

$$T = 4.R.C$$

$$0,001 = 4.R.10^{-7}$$

$$\text{Maka nilai } R = 2500 \Omega$$

¹ Horowitz, Paul and Winfield Hill. The Art of Electronics. USA: Cambridge University Press. 2nd ed. 1989. p.47.

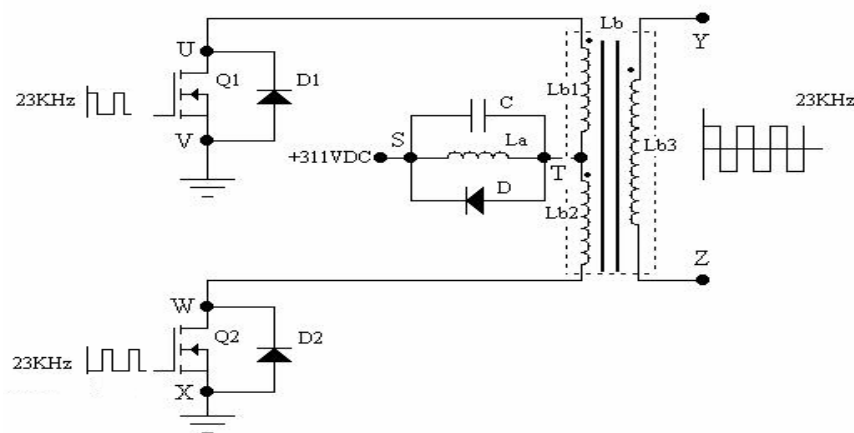
Terlihat dari gambar di atas terdapat dioda D yang dipasang paralel, dioda tersebut berfungsi untuk proteksi agar arus balik tidak terjadi, mengingat rangkaian berikutnya (*inverter*), melibatkan komponen induktor berupa transformator pulsa yang berpotensi menghasilkan arus balik (*inductive kick*²). Pada bagian *input* dari jala-jala AC memiliki tegangan sebesar 220 V yang merupakan tegangan RMS. Setelah disearahkan dan melalui proses filter DC, menghasilkan keluaran tegangan C sebesar 311 V. Hasil tersebut dapat dibuktikan melalui formulasi berikut;

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \sqrt{2} \cdot V_{ac_{RMS}} \\ &= \sqrt{2} \cdot 220 \\ V_{dc} &= 311,12 \text{ V} \end{aligned}$$

Sampai pada tahap ini kualitas tegangan DC yang diperlukan untuk rangkaian Stabilisator Tegangan AC Elektronik 1 Fasa sudah dapat dikatakan memenuhi syarat

3. 2. *Inverter*

Inverter berikut merupakan rangkaian yang mengkonversikan daya DC ke daya AC dengan frekuensi tinggi. Rangkaian ini terdiri dari bagian utama dan bagian penunjang, *inverter* ini memiliki daya maksimal 300 watt. Berikut ini adalah analisa perancangan *inverter*;



Gambar 3.4. *Inverter*

² ibid. p.52.

$$V_{La} = V_C = V_D = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{DSQ1} = V_{DSQ2} = 1,8 \text{ V}$$

$$V_S = 311 \text{ V}$$

$$V_{Lb1} = V_{Lb2}$$

$$V_S = V_{La} + V_{Lb1} + V_{DS}$$

$$311 = 0,7 + V_{Lb1} + 1,8$$

$$V_{Lb1} = V_{Lb2} = 308,5 \text{ V}$$

Dari gambar di atas terlihat bagian utama, yaitu; lilitan Lb berupa transformator pulsa, 2 bagian MOSFET (Q1,Q2) sebagai pensaklar (*switcher*), dan bagian penunjang berupa lilitan La, kapasitor C, dan dioda D yang dipasang secara paralel, dimana bagian ini berfungsi sebagai pembatas arus.

Untuk memperjelas tentang data analisa di atas, berikut ini penjelasan masing-masing bagian:

3.2.1. Pembatas Arus

Bagian ini berfungsi untuk memberikan batas arus maksimal rangkaian *inverter* yang dikaitkan dengan daya maksimal rangkaian sebesar 300 watt. Berikut analisa rangkaiannya;

$$P = 300 \text{ watt}$$

$$V_{\text{sumber}} = 311 \text{ V}$$

$$V_{La} = V_C = V_D = 0,7 \text{ V}$$

$$I_{\text{sumber}} = P / V_S$$

$$I_{\text{sumber}} = 300/311 = 0,96\text{A} \approx 1 \text{ A}$$

Untuk operasi dengan mode pensaklaran (*switching*) I_{OD} di-*over drive*kan sebesar 4X,maka;

$$I_{OD} = 4\text{A}$$

Untuk mempermudah analisa, maka lilitan La disubstitusikan menjadi resistor (R) dengan analisa DC hukum Ohm, sehingga;

$$V_{La} = I_S \cdot R$$

$$R = V_{La} / I_S$$

$$R = 0,7/4 = 0,175 \Omega$$

Dari nilai R di atas maka nilai lilitan La;

$$X_L = Z = 1/R$$

$$X_L = 1/0,175$$

$$X_L = 5,71 \Omega$$

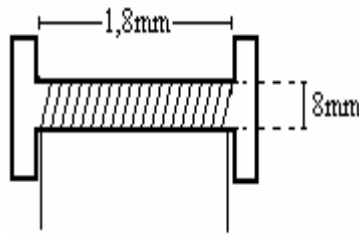
$$X_L = \omega L$$

$$L = X_L/\omega$$

$$= 5,71/ 2.\Pi.f , \textit{ inverter} \text{ beroperasi pada frekuensi } 23 \text{ KHz}$$

$$L = 5,71/ 2.\Pi.23000 = 39.51\mu\text{H}$$

Setelah nilai induktansi lilitan yang dibutuhkan diketahui, maka berikut proses pembuatan lilitannya. Untuk memperkecil dimensi lilitan, maka lilitan tersebut akan dibuat dengan inti ferit berdiameter 8mm dan panjang inti 1,8mm;



Gambar 3.5. Induktor dengan Inti Ferit

maka melalui formulasi; $L = \mu_0 \cdot \mu \cdot N^2 \cdot A/l$ (dari sub bab 2.3.2.1)

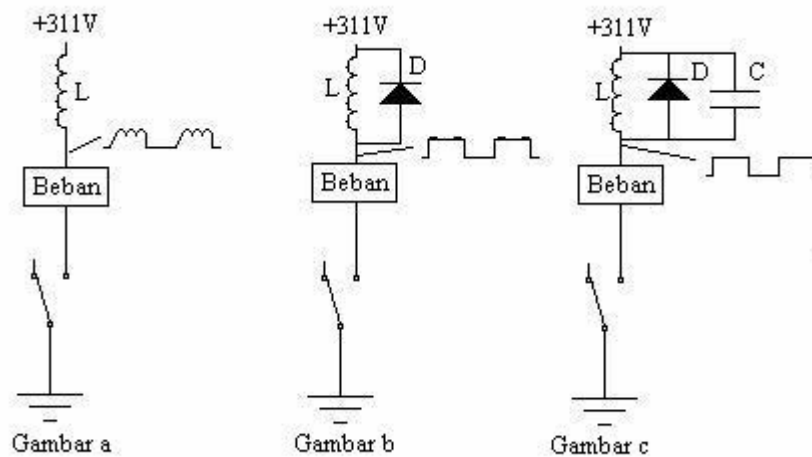
diketahui : $L = 39.51\mu\text{H}$

$$\mu_0 = 4\Pi.10^{-7}$$

$$\mu = 7,8.10^{-3}$$

$$A = 5.10^{-3} \text{ m}^2$$

Melalui formulasi induktor di atas, maka didapatkan jumlah lilitan (N) sebanyak 120 lilitan.



Gambar 3.6. Rangkaian Pembatas Arus

Sampai tahap ini, bagian kumparan pembatas arus tersebut belum bisa diterapkan pada rangkaian tersebut, karena kumparan tersebut akan beresonansi terhadap pulsa pensaklar (*switcher*) seperti terlihat pada gambar 3.6a. Oleh karena itu harus diparalel oleh dioda D yang merupakan dioda frekuensi tinggi (lihat gambar 3.6b). Bila D tidak dipasang maka akan muncul sinyal harmonisa yang tidak diinginkan. Dari gambar 3.6b sinyal fundamentalnya muncul (dengan *noise* berupa *ripple*). Agar *noise* dapat hilang, maka perlu diparalel dengan kapasitor C (lihat gambar 3.6c). Kini bagian pembatas arus sudah dapat dikatakan layak untuk diaplikasikan dalam sistem.

3.2.2. Transformator Pulsa

Bagian ini merupakan inti dari *inverter*, dimana proses konversi daya dari bagian primer ke bagian sekunder terjadi. Alasan dipakainya transformator pulsa, yaitu efisiensi daya yang relatif tinggi (dibanding transformator linier konvensional), selain itu dimensi ukurannya yang kecil. Untuk aplikasi stabilisator tegangan AC akan difokuskan pada transformator pulsa dengan inti ferit berbentuk toroida, dimana rugi-rugi (*losses*) akibat celah udara (*air gap*) adalah kecil.

Ada berbagai macam metoda pensaklaran (*switching*) terhadap transformator pulsa, seperti *single Ended*, *Push pull*, *Bridge*, dll. Pada pembahasan ini digunakan metoda lain yaitu kombinasi *Single Ended & Full-Bridge* yang memenuhi syarat kerjanya. Pada metoda tersebut, transformator pulsa

mendapatkan sinyal *set* pada kumparan L_{b1} dan *reset* pada L_{b2} , metoda ini sangat tepat dalam mengatasi setiap kendala pada metoda-metoda lainnya yang pernah dicoba sebelumnya. Inti ferit (core) transformator pulsa akan mendapatkan sinyal *reset* yang sesuai, sehingga daya primer dapat terdistribusi penuh ke bagian sekunder, sehingga rugi-rugi (*losses*) transformator dapat lebih ditekan. Bagian primer transformator pulsa terdiri dari 2 buah kumparan yang identik dalam hal jumlah lilitan, diameter kawat, arah penggulungan, dan besar induktansinya (L). Karena kesamaan tersebut (untuk pembahasan bagian primernya), maka diambil satu kumparan saja (*set* atau *reset* saja).

Untuk merancang transformator pulsa toroida, diperlukan data spesifikasi yang diperlukan. Karena tidak semua informasi dapat diperoleh, maka pada beberapa bagian dilakukan dengan metoda *trial and error*.

Berikut ini adalah data yang diperlukan dalam pembuatan transformator pulsa dengan inti ferit berbentuk toroida;

$$V_{Lb1} = V_{Lb2} \text{ (tegangan pimer) } = 308,5 \text{ V (data sebelumnya)}$$

Asumsi tegangan primer = tegangan sekunder

maka;

$$V_{Lb1} = V_{Lb2} = (V_{Lb3} : \text{tegangan sekunder})$$

Transformator pulsa dapat menghasilkan tegangan sekunder (*output*) yang dapat diatur dari tegangan dan catu arus primer (berdasar bentuk dan frekuensinya).

Tegangan 308.8V merupakan hasil dari percobaan, dan menghasilkan tegangan yang diinginkan pada bagian berikutnya. Diawali dari bagian primer transformator pulsa, untuk memudahkan, analisa harus diarahkan menjadi analisa DC;

$$V = I \cdot R \text{ (hukum ohm)}$$

$$V_{Lb1} = V_{Lb2} = 308.5$$

$$I_{Lb1} = I_{OD} = I_{Lb2} = 4 \text{ A}$$

$$V_{Lb1} = V_{Lb2} = I_{Lb1} \cdot R$$

$$308.8 = 4 \cdot R$$

$$R = 77,12 \ \Omega$$

$$X_L = 1/R$$

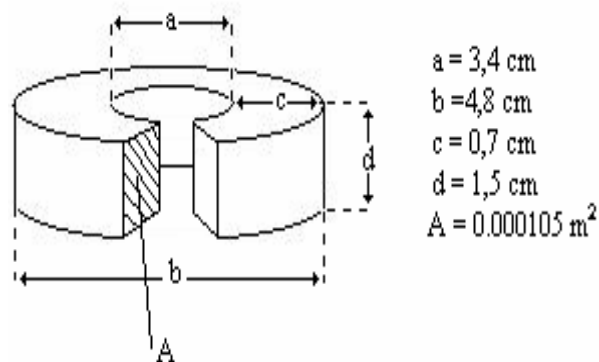
$$X_L = 1/77,12 \ \Omega$$

$X_L = 2.\Pi.f.L$, Melalui percobaan inti (*core*) memiliki frekuensi tengah 23KHz (dibahas pada paragraf akhir sub bab transformator pulsa), maka untuk mendapatkan nilai L;

$$\begin{aligned} L &= X_L / 2.\Pi.f \\ &= 1/7712. \Pi.23000 \\ L &= 8,96 \text{ nH} = 8,96.10^{-8} \text{ H} \end{aligned}$$

Setelah nilai L diketahui, maka :

$$L = \mu.\mu_0.N^2.A/2.\Pi.r$$



Gambar 3.7. Inti Ferit Toroida

$$\begin{aligned} \mu &= 29,94 \\ \mu_0 &= 4. \Pi.10^{-7} \\ r &= b-a/2 = 0,007 \text{ m} \\ A &= 0.000105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dari formulasi di atas terdapat 1 buah variabel yang belum diketahui yaitu N (jumlah lilitan), maka untuk mendapatkan nilai N;

$$N = \frac{L.2.\Pi.r}{\mu.\mu_0.A}$$

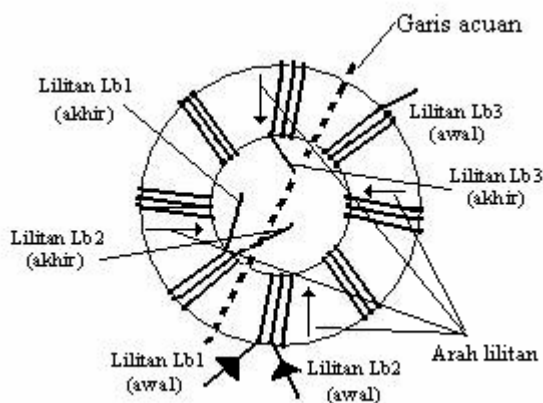
$$N = \frac{8,96.10^{-8} .2. \Pi 0.007}{29.94 . 4. \Pi.10^{-7} .0,000105}$$

$$N = 30 \text{ lilitan}$$

Untuk mempermudah analisa (spesifikasi kawat harus ada), maka dipilih kawat email dengan merek Darwin H-200, Grade 2 yang berstandar Inggris (*british*) BWG. Kawat yang digunakan berdiameter tembaga 1mm dengan nilai hambatan (R_w) = 0.02 Ω / m.

Bagian sekunder dari transformator pulsa mempunyai perbandingan 1:1 terhadap salah satu bagian primer, baik dalam hal jumlah lilitan, diameter kawat, arah penggulangan, dan besar induktansinya (L).

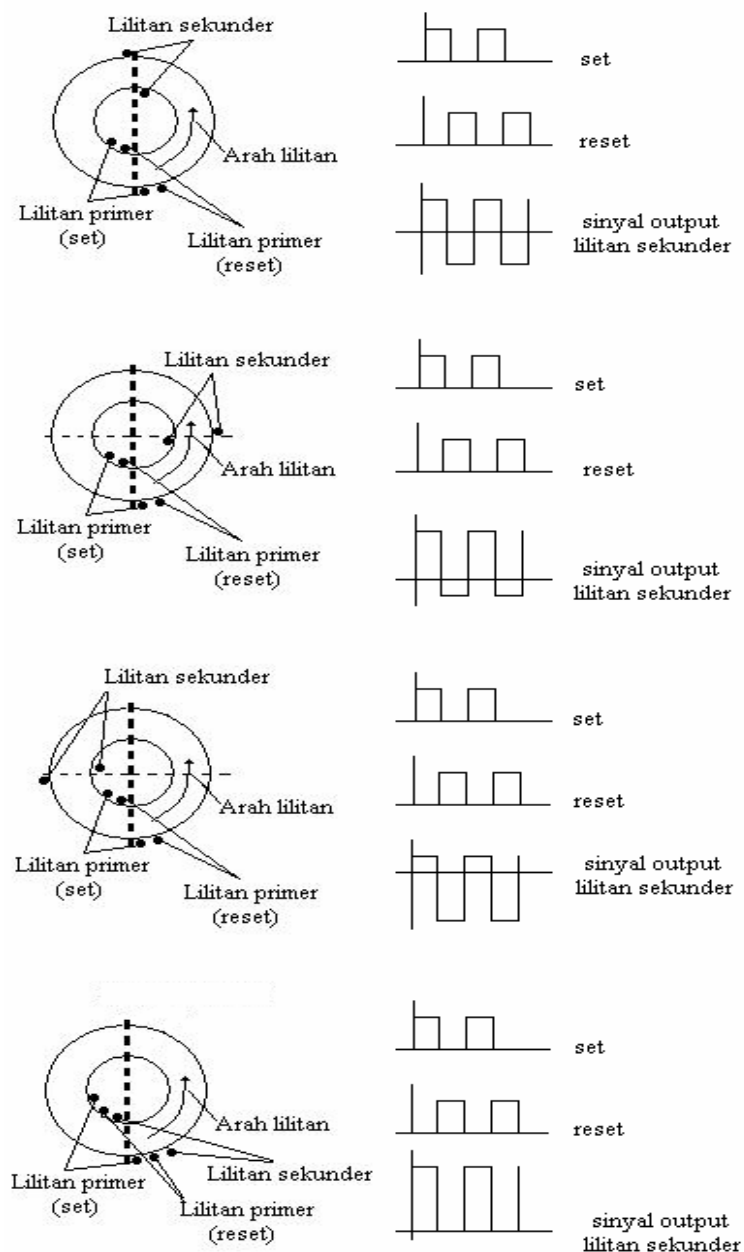
Cara penggulangan kumparan primer dan kumparan sekunder pada inti ferit (*core*) toroida dapat dilihat pada gambar berikut ini;



Gambar 3.8. Cara Penggulangan Transformator Pulsa Toroida

Pada gambar 3.8, terlihat bahwa untuk menggulung kawat primer (L_{b1} , L_{b2}) dibutuhkan 3 utas kawat dengan diameter 1 mm, digulung bersamaan (menjaga keidentikan) sebanyak 30 lilitan dengan tarikan yang seimbang antara satu dengan lainnya. Kesetabilan nilai induktansi lilitan harus benar-benar terjaga, diperlukan pita pembalut yang dipasang pada inti ferit toroida dan diluar lilitan. Untuk membuat transformator pulsa yang stabil (berkaitan dengan nilai induksi), maka transformator pulsa yang telah jadi perlu direndam dalam cairan transformator (orang awam biasa menyebut 'lak') AC-43. Cara mengetahui lilitan manakah yang merupakan *set* atau *reset*, dapat diketahui bila bagian awal lilitan yang terkena catu daya positif adalah *set* dan bagian akhir lilitan yang terkena catu daya positif adalah *reset*. Untuk kasus di atas yang berlaku sebagai *set* adalah lilitan primer L_{b2} dan *reset* lilitan primer L_{b1} .

Bagian Garis tebal putus-putus yang membagi 2 bagian sama besar antara lilitan primer awal dan primer akhir (sebagai acuan), dimana posisi lilitan sekunder terbagi 2 sama besar oleh garis tersebut, ini menunjukkan keluaran lilitan sekunder L_{b3} merupakan sinyal *bipolar* dimana sinyal bagian atas (+) sama dengan sinyal bagian bawah (-). Untuk lebih jelasnya berikut adalah gambar sinyal keluaran lilitan primer L_{b3} berdasarkan posisinya terhadap garis acuan;



Gambar 3.9. Posisi Lilitan Sekunder terhadap Sinyal Keluaran

Posisi di atas hanya berlaku untuk metoda kombinasi *Single Ended & Full-Bridge*. Hasil yang tergambar di atas didapat dari percobaan.

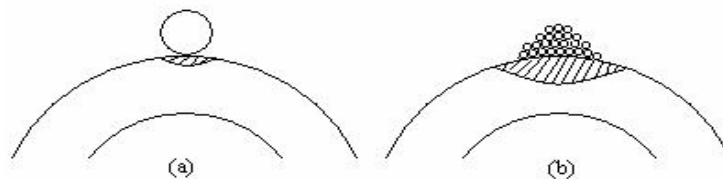
Pada percobaan terakhir, telah dicoba dengan mengganti kawat email berdiameter 1mm dengan 20 utas kawat email berdiameter 0.005mm, dan hasilnya lebih bagus (dalam arti bekerja lebih sempurna). Medan listrik(B) yang dihasilkan terhadap inti ferit lebih terdistribusi luas tanpa mengubah nilai induktansi kumparan. Agar lebih jelas berikut ini penjelasannya;

$$\text{Diameter asal kawat email} = 1\text{mm} = 0.001\text{m}$$

$$\text{Luas penampang asal kawat email} = \Pi.r^2 = 7,85.10^{-7} \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter kawat email pengganti} = 5.10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang 10 utas kawat email pengganti} = 7,85.10^{-7} \text{ m}^2$$

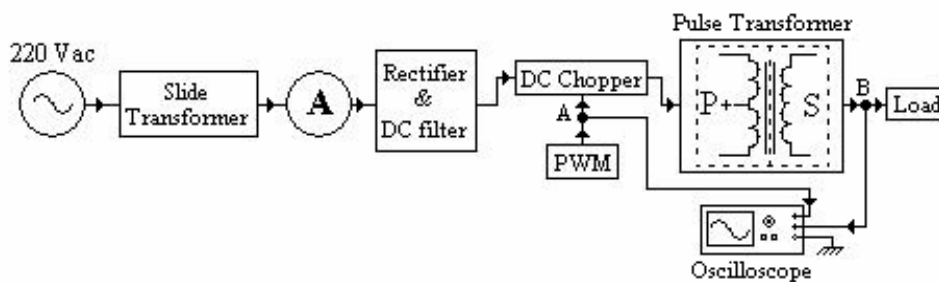


Gambar 3.10. Perbedaan Medan Listrik pada Inti Ferit

Dari gambar di atas terlihat perbedaan pendistribusian medan listrik (B), gambar b menunjukkan medan listrik lebih luas dibandingkan gambar a. Oleh karena itu diputuskan untuk memakai kawat email dengan diameter kecil (0.005mm). Secara kuantitas banyak, namun nilai induktansi yang di hasilkan akan tetap sama dengan kawat email dengan diameter 1mm (sehingga analisa di atas tetap digunakan). Dengan demikian sampai tahap ini efisiensi transformator pulsa semakin semakin baik disertai disipasi daya yang tampak pada bagian pensaklar (*switcher*) menurun. Hal ini tandai dengan semakin rendahnya suhu MOSFET, tadinya panas ($\pm 55^{\circ}\text{C}$) sekarang menjadi hangat-hangat saja ($\pm 45^{\circ}\text{C}$).

Untuk mendapatkan frekuensi tengah (*center*) dari inti ferit toroida, perlu dilakukan pengujian dengan berbagai perbandingan lilitan primer dan sekunder serta variasi jumlah lilitannya. Setelah sistem berjalan, maka pada bagian sekunder diberikan beban (lampu pijar). Pada *input* sistem diberikan tegangan yang stabil, kemudian dilakukan penyetelan frekuensi PWM (*loop*

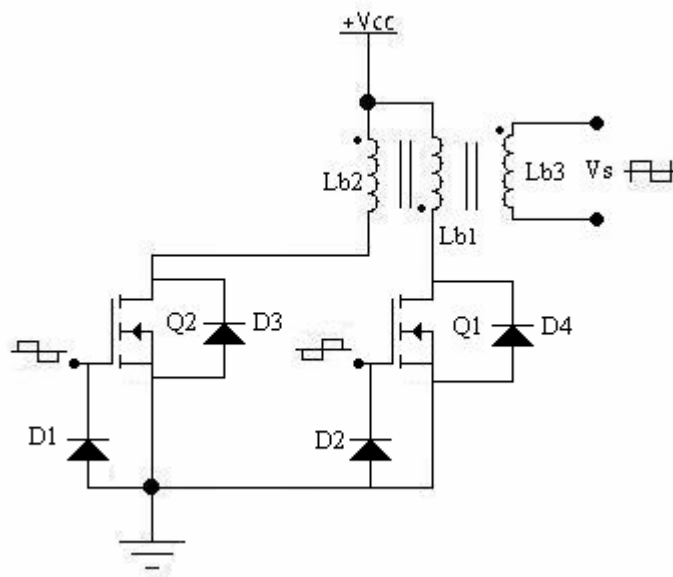
terbuka) sehingga diperoleh tegangan *output* sekunder tertinggi dengan penarikan arus bagian *input* paling kecil. Bentuk sinyal yang dihasilkan pada bagian sekunder harus semirip mungkin dengan sinyal PWM (pengujiannya pada titik A dan titik B), perbedaan yang diijinkan hanya pada amplitudo sinyal. Berikut ini adalah gambar pengujian frekuensi tengah :



Gambar 3.11. Pengujian Frekuensi Tengah

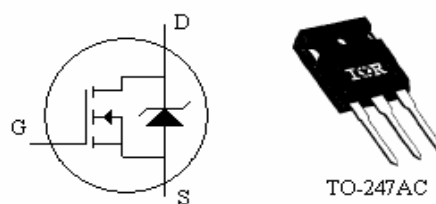
3.2.3. Pensaklar (*switcher*)

Bagian pensaklar sebenarnya memiliki beberapa metode, antara lain; *Single Ended, Push Pull, bridge*, dll. Pada kenyataannya, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (data pada bab 2), dimana masing-masing tidak dapat diterapkan pada sistem ini. Setelah dilakukan serangkaian percobaan dengan menggunakan transformator di atas, didapatkan metoda yang mengkombinasi masing-masing kelebihan dan kekurangan metoda pensaklaran (*switcher*) di atas, yaitu metoda kombinasi *Single Ended* dan *Full-Bridge*. Berikut penjelasannya; pada metoda *Single ended* terdapat kekurangan pada pensaklaran yang tidak dapat *me-reset* inti ferit transformator pulsa karena arah arus yang satu arah saja, sehingga daya tidak dapat tertransfer secara maksimal pada *output*-nya. Kekurangan tersebut tidak terjadi pada metoda *Full-Bridge* yang memiliki pensaklaran yang saling bergantian dan arus yang saling berlawanan sehingga sehingga inti ferit transformator pulsa pada kondisi “*set dan reset*” (yang menjadikan daya dapat tertransfer keluar pada jalur keluaran secara maksimal). Masalah pensaklaran pada metoda *Full-Bridge* yang terpisah oleh kumparan primer dapat diatasi dengan metoda *Single Ended*. Berikut adalah gambar rangkaian:



Gambar 3.12. Rangkaian Kombinasi *Single Ended & Full-Bridge*

Bagian kumparan primer, transformator pulsa terdiri dari 2 bagian kumparan primer (L_{b1} , L_{b2}) terpisah (menyebabkan efek dari masing-masing kumparan hampir tidak saling mempengaruhi, dan keluaran sinyal pada jalur keluaran menjadi minim *noise*). D1 dan D2 berfungsi untuk mencegah sinyal negatif PWM, D3 dan D4 berfungsi mengamankan MOSFET dari arus balik (*inductive kick*) dari transformator pulsa. Pensaklaran (*switching*) dilakukan oleh MOSFET (HEXFET) kanal- n *enchantment* IRFP 460 produk *International Rectifier*. Berikut ini data-data mengenai IRFP 460 :



Gambar 3.13 IRFP 460

$$V_{DS} = 500V$$

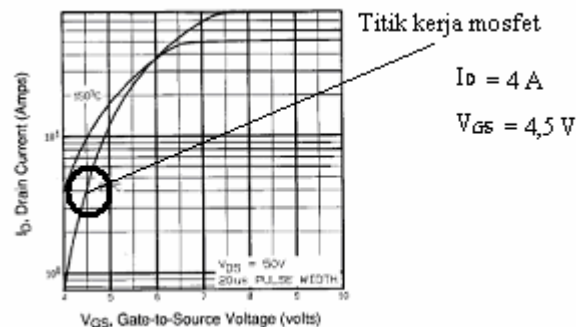
$$R_{DS} = 0.27 \Omega$$

$$I_{Dmaks} (DC) = 20 A$$

$$I_{D\text{maks}} (\text{Push Pull}) = 80 \text{ A}$$

$$V_{DS} (\text{Saturasi}) = 1,8 \text{ V}$$

Untuk merancang pensaklar (*switcher*) dibutuhkan spesifikasi teknis sebagai acuan, dengan tidak menggunakan analisa rangkaian sepenuhnya, sebab pensaklar (*switcher*) bekerja pada kondisi kritis, yaitu daerah kurva tegak (gambar 2.17). Untuk pengaplikasian pada rangkaian stabilisator tegangan AC ini, MOSFET bekerja pada arus 4 ampere (I_D) dimana Tegangan maksimal antara *Gate* dan *Source* ($V_{GS\text{maks}}$) diberi tegangan DC 4,5 V, seperti tertera pada data dibawah ini;



Gambar 3.14. Kurva I_D - V_{GS} IRFP 460

Untuk bagian ini, tidak banyak penjelasannya karena pengoperasiannya memang sederhana sekali, namun penjelasan sinyal masukan dari PWM akan dijelaskan pada bagian rangkaian kontrol.

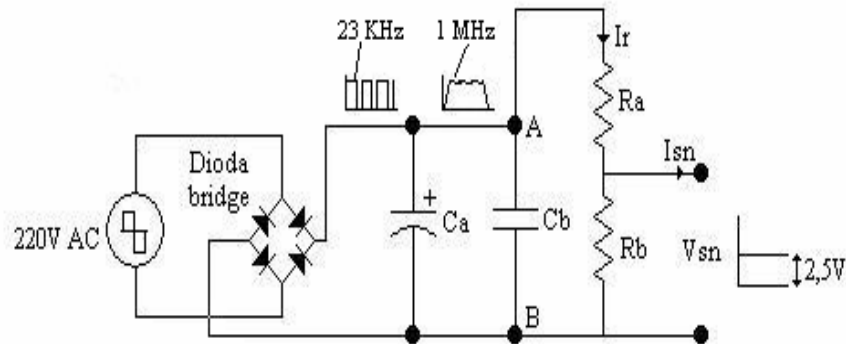
Hasil keluaran *Inverter* berupa tegangan AC (*bipolar*) frekuensi 23KHz dengan level tegangan yang dapat diatur tergantung dari suplai arus pada bagian pensaklar (*switcher*).

3.3. Rangkaian Kontrol

Bagian ini merupakan rangkaian yang mengontrol (agar tegangan keluaran *inverter* tetap 220V AC) dengan mengatur catu arus pada rangkaian *inverter*. Ada 2 rangkaian utama pada bagian ini, yaitu; rangkaian *sensing* dan rangkaian PWM, berikut akan dijelaskan masing-masing rangkaian;

3.3.1. Rangkaian *sensing*

Rangkaian ini berfungsi untuk menyesuaikan bentuk sinyal *output inverter*, sehingga sesuai dengan sinyal pada jalur *feed back* PWM. Dalam hal ini sinyal AC diubah menjadi DC dengan level tegangan tertentu. Di bawah ini penjelasan rangkaiannya;



Gambar 3.15. Rangkaian Sensing

Gambar di atas memperlihatkan tegangan AC 220V yang disearahkan oleh dioda *bridge* kemudian diratakan ke kapasitor C_a yang bernilai $4,7\mu\text{F}/400\text{V}$. Namun masih memiliki *noise* berupa *ripple*, maka untuk menghilangkannya;

$$C_b = 10\text{pF}$$

$$f = 1\text{ MHz}$$

$$T = 4 \cdot (R_a + R_b) \cdot C$$

$$R_a + R_b = 10^{-6} / (4 \cdot 10^{-12})$$

$$R_a + R_b = 25000\ \Omega = 25\ \text{K}\Omega$$

$$V_{AB} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311\text{V}$$

Dari nilai $R_a + R_b$ di atas maka;

I_{sn} ditetapkan $0,2\ \text{mA}$ (dari *data sheet* maksimal $0,3\text{mA}$)

$$I_r = (V_{AB} / (R_a + R_b)) + I_{sn}$$

$$I_r = (311 / 25000) + 0,0002 = 12,64\ \text{mA}$$

V_{sn} ditetapkan sebesar $2,5\text{V}$, maka;

$$R_b = V_{sn} / (I_r - I_{sn}) \\ = 2,5 / (0,0126 - 0,0002)$$

$$R_b = 201,6\ \Omega$$

$$R_a = 25000 - 201,6 = 24,798 \text{ K}\Omega$$

$$\text{Daya resistor (P}_R) R_b = V_{sn} \cdot (I_r - I_{sn})$$

$$P_{Rb} = 0,031 \cong 0,25 \text{ watt}$$

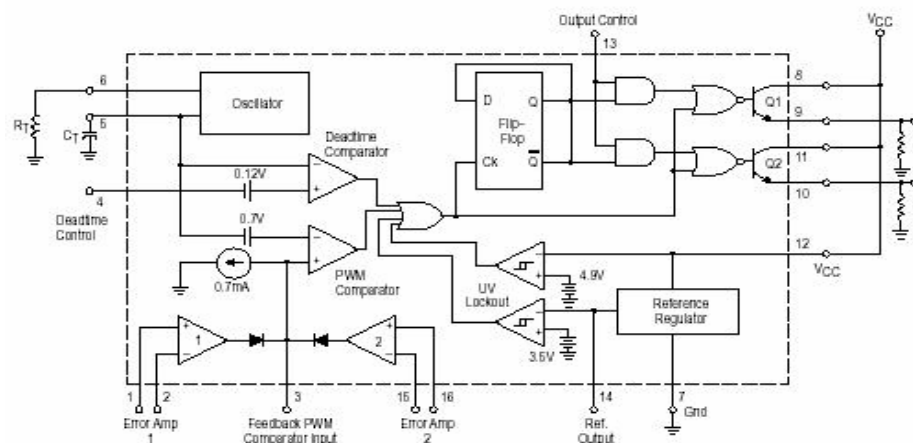
$$\text{Daya resistor (P}_R) R_a = (V_{AB} - V_{sn}) \cdot I_r$$

$$= (311 - 2,5) \cdot 0,0126$$

$$P_{Ra} = 3,88 \cong 5 \text{ watt}$$

3.3.2. Rangkaian PWM

Rangkaian ini menggunakan IC PWM TL494 yang difungsikan secara *push pull* dengan frekuensi 23 KHz. Keluaran rangkaian ini dimasukkan pada *Gate* Q1 dan Q2 rangkaian *inverter*. Disini sistem *feed back* diaktifkan dengan memberikan status level tegangan pada *error amplifier 1* dan *error amplifier 2*. Untuk lebih jelasnya berikut ini penjelasan desainnya;



Gambar 3.16. Rangkaian PWM TL494

Rangkaian PMW ini dicatu dengan tegangan (V_{cc}) 12 volt

frekuensi *oscillator* = 23 KHz, maka;

$C_t = 6,8 \text{ nF}$ (pendekatan rekomendasi dari *data sheet*)

$$f_{osc} = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (\text{dari data sheet})$$

$$R_t = 1,1 / (23000 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9})$$

$$R_t = 7357,8 \Omega$$

Bagian *Gate* Q1 dan Q2 rangkaian *inverter*, membutuhkan tegangan maksimal (V_{GSmaks}) sebesar 4,5 V. Dari formulasi berikut ini akan memberikan tegangan keluaran (V_o) PWM :

$$Duty\ cycle_{maks} = 50\% = 0,5$$

$$V_o = 4,5\text{ volt}$$

$V_{E_{\text{max}}}$: Tegangan antara emitor dan *ground*

$$V_{CEQ1} = V_{CEQ2} = 2\text{ volt}$$

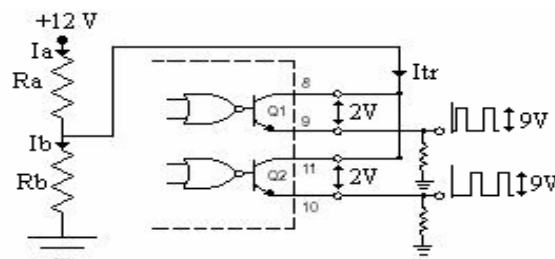
$$V_i = V_{E_{\text{max}}Q1} = V_{E_{\text{max}}Q2}$$

$$V_{E_{\text{max}}Q1} = V_{C_{\text{max}}Q1} - V_{CeQ1}$$

$$V_o = V_i \cdot Duty\ cycle_{maks}$$

$$4,5 = V_i \cdot 0,5$$

$$V_i = 9\text{ volt}$$



Gambar 3.17. Pembagi Tegangan

Pada *Gate* IRFP 460 membutuhkan pengendali berupa level tegangan, maka arusnya tidak perlu besar, cukup sekitar 1 mA saja.

$$I_{tr} = 1\text{ mA (dipilih)}$$

$$I_b = 0,1\text{ mA (dipilih)}$$

$$I_a = I_{tr} + I_b$$

$$= 0,001 + 0,0001$$

$$I_a = 0,0011\text{ A}$$

$$\text{Untuk } V_{RB} = V_{CEQ1} + V_o$$

$$= 2 + 9$$

$$V_{RB} = 11\text{ volt}$$

$$R_B = V_{RB} / I_b$$

$$= 11 / 0,0001$$

$$R_B = 110000\ \Omega = 110\text{ K}\Omega$$

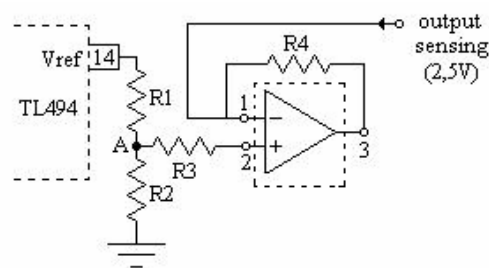
$$V_a = V_{cc} - V_{RB}$$

$$R_a = V_a / I_a$$

$$= (12 - 11) / 0,0011$$

$$R_a = 909 \Omega$$

Duty cycle dapat diubah-ubah dari 4% sampai maksimal 50%. Ada 2 cara untuk mengatur *duty cycle*, yaitu lewat pin 4 (*deadtime control*) atau pin 3 (*feed back*). Cukup dipilih salah satu saja, disini diaktifkan pin 3 (*feed back*) dan pin 4 (*deadtime control*) diberikan status '0' (di-groundkan). Jika pin 3 diaktifkan, maka akan melibatkan *error amplifier* sebagai kontrol. Jenis kontrol pada aplikasi stabilisator tegangan AC yang di gunakan adalah proporsional. Berikut penjelasannya :



Gambar 3.18. *Error Amplifier*

Tegangan referensi (V_{ref}) = 5V

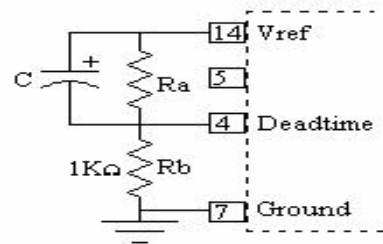
$$R1 = R2 = 5K\Omega$$

$$R3 = 500 \Omega$$

$$R4 = 50 K\Omega$$

Error amplifier membandingkan tegangan dari titik A dengan *output sensing* yang akan mengatur sinyal (*duty cycle*)keluaran PWM sehingga keluaran *inverter DC to AC* tetap stabil.

Pada kenyataannya, rangkaian stabilisator akan menarik arus yang besar (bila kontrol PWM langsung aktif bersama dengan bagian lain). Ini di karenakan rangkaian kontrol pada posisi *duty cycle* maksimal. Agar penarikan arus besar tidak terjadi, maka perlu diberikan *soft start*. Berikut ini penjelasannya;

Gambar 3.19. *Soft Start*

Rangkaian *soft start* akan memunculkan sinyal PWM secara perlahan. Sinyal tersebut akan muncul apabila pin 4 diberi status '0' (dari gambar 2.26). Bila catu daya utama dihidupkan, maka kondisi awal pin 4 akan bertegangan V_{ref} (+5 V), sehingga sinyal PWM tidak muncul atau kecil. Kemudian kapasitor C akan terisi perlahan, sehingga sinyal PWM akan muncul perlahan. Pin 4 akan mulai memunculkan sinyal pada level 0,5 V (≈ 0 V). Berikut adalah formulasi yang dipakai untuk merancang rangkaian *soft start*;

Soft start secara umum memiliki batas antara 25 sampai 100 kali sinyal segitiga (pin5). Untuk aplikasi rangkaian ini diambil 50 kali

Rasio 1 : 10 untuk Rb dan Ra

$$F = 23 \text{ KHz}$$

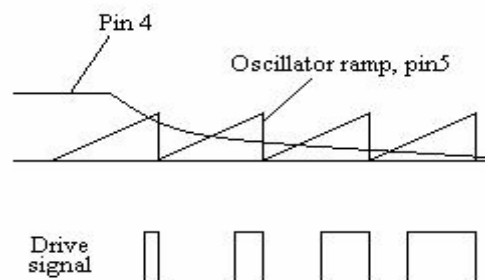
$$T = 1/F = 4,3 \cdot 10^{-5}$$

Nilai kapasitor C;

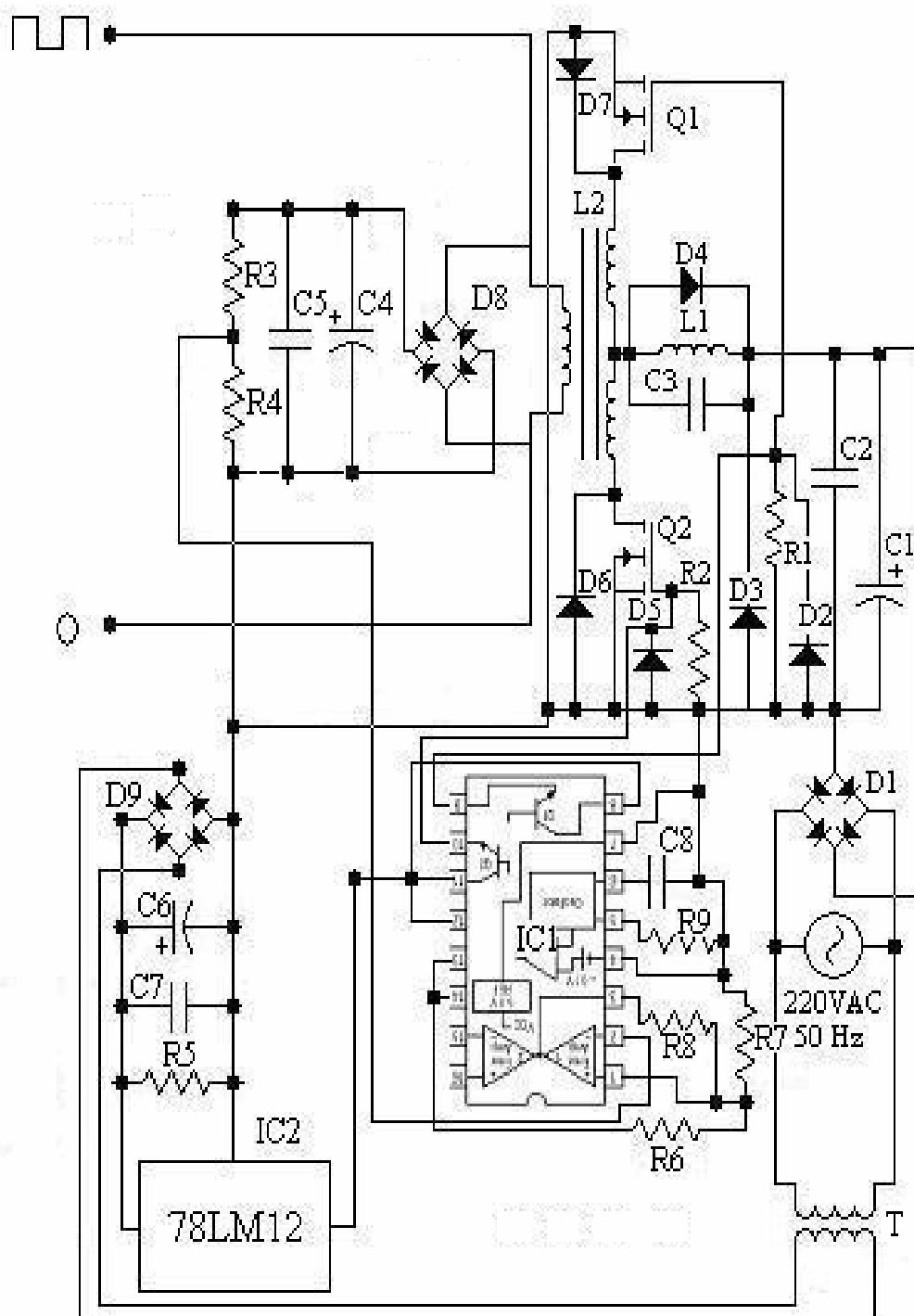
$$C = (4,3 \cdot 10^{-5} \cdot 50 \text{ kali})/R6$$

$$C = 2,1 \mu\text{F}$$

Gambar 3.23 menunjukkan proses terjadinya kondisi *soft start* pada rangkaian PWM.

Gambar 3.20. Sinyal *Soft Start*

Berikut ini adalah skematik rangkaian Stabilisator Tegangan AC Elektronik 1 Fasa secara keseluruhan:



Gambar 3.20. Skematik rangkaian Stabilisator Tegangan AC Elektronik 1 Fasa