

PERANCANGAN INVERTER *HALF BRIDGE ZERO VOLTAGE SWITCHING* PADA APLIKASI BALLAST ELEKTRONIK UNTUK LAMPU *HIGH PRESSURE SODIUM*

Muhammad Syaifulhaq¹, Agung Warsito², Karnoto²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275
email : ipulhaq@yahoo.com, a.warsito@elektro.ft.undip.ac.id,

Abstrak

Lampu sodium bertekanan tinggi atau *High Pressure Sodium (HPS) Lamps* termasuk dalam kelas lampu discharge tekanan tinggi, yang efisien dalam pencahayaan dan banyak digunakan sekarang ini. Lampu jenis ini pada umumnya masih banyak menggunakan ballast elektromagnetik. Ballast elektromagnetik memang lebih simpel dan murah dalam penggunaannya, tetapi kelemahannya adalah faktor daya yang rendah, efisiensi yang rendah, tidak dapat didimmer, serta berat dan ukuran yang besar dll. Ballast elektronik adalah alternative lain untuk mensuplay lampu HPS yang dapat menaikkan unjuk kerja ballast konvensional

Pada tugas akhir ini dibuat Inverter Resonansi Seri frekuensi tinggi topologi half bridge dengan mosfet sebagai piranti pensaklarannya. Inverter beroperasi pada kondisi Zero Voltage Switching (ZVS), dengan frekuensi nominal di atas frekuensi resonansinya. Kontrol frekuensi pemicuannya menggunakan IC TL 494, pengaturan daya output dilakukan dengan mengubah frekuensi pemecuan, sehingga lampu dapat diredupkan (didimmer).

Pengoperasian lampu dengan inverter frekuensi tinggi dapat memperbaiki kinerja lampu. Pengaturan daya output dilakukan dengan penambahan frekuensi switching yang menyebabkan lampu dapat didimmer. Peredupan yang dilakukan dapat dilakukan pada rentang 150 watt sampai dengan 30 watt pada frekuensi 22 KHz sampai dengan 40 KHz.
kata kunci : Ballast elektronik, Inverter half bridge, resonansi seri, Zero Voltage Switching (ZVS)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu discharge bertekanan tinggi dikenal sebagai metode yang paling efisien dan murah dalam pencahayaan. Lampu jenis ini membutuhkan beberapa rangkaian dan komponen tambahan, seperti ballast, untuk mengatur arus yang melewati lampu. Jenis lampu tersebut sebagian besar masih memakai ballast yang konvensional, yakni ballast elektromagnetik. Ballast elektromagnetik memang lebih simpel dan murah dalam penggunaannya, tetapi kelemahannya adalah faktor daya yang rendah, efisiensi yang rendah, efek *stroboscopic*, dan lain-lain. Ballast elektronik dapat mengurangi berat dan ukuran, dan memperbaiki kekurangan ballast elektronik, bahkan dapat didesain berkemampuan untuk di dimmer. Dengan berkembangnya komponen elektronika daya yakni mosfet yang murah dengan respon cepat dapat didesain ballast elektronik yang berupa inverter frekuensi tinggi untuk menggantikan ballast elektromagnetik yang konvensional. Dengan mengoperasikan lampu discharge pada frekuensi yang tinggi diharapkan dapat meningkatkan kinerja lampu tersebut.

1.1 Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah mengaplikasikan inverter half bridge resonansi seri frekuensi tinggi pada kondisi zero voltage switching untuk aplikasi ballast elektronik lampu *High Pressure Sodium* yang dapat didimmer.

1.2 Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi oleh :

- Rangkaian daya yang digunakan berupa inverter frekuensi tinggi dengan topologi half bridge dengan mosfet sebagai komponen pensaklarannya
- Inverter beroperasi pada kondisi ZVS (*Zero Voltage Switching*).
- Rangkaian kontrol yang digunakan adalah dengan menggunakan IC TL 494
- Beban lampu yang digunakan adalah lampu sodium bertekanan tinggi (*High Pressure Sodium Lamp*) merek Phillips dengan daya 150 W.

- Ballast elektronik yang dibuat tidak memiliki EMI (*Electromagnetic Interference*) filter dan *power factor correction*
- Tidak membahas efek resonansi akustik (*Acoustic resonance*) dan pengaruhnya terhadap karakteristik Lampu Sodium bertekanan tinggi (*High Pressure Sodium Lamp*).

II. DASAR TEORI

2.1 Ballast Elektronik

Ballast elektronik adalah konverter elektronika daya untuk mensuplai *discharge lamp*. Ballast elektronik menjadi sangat populer setelah perkembangan mosfet berdaya besar yang murah, dengan kemampuan mosfet tersebut, membuat implementasi pemakaian ballast elektronik menjadi lebih mudah. Manfaat utama ballast elektronik adalah menaikkan efisiensi lampu dan ballast secara keseluruhan, menambah umur lampu, berkurangnya ukuran dan berat ballast, dan peningkatan kualitas penyinaran lampu serta untuk mengontrol daya lampu.

2.1.1 Bagian-bagian Ballast Elektronik

1. Konverter AC- DC

Biasanya berupa penyearah jembatan penuh dengan dioda dan difilter dengan kapasitor. Penyearahan yang sederhana ini menimbulkan faktor daya yang rendah pada sisi sumber.

2. Inverter frekuensi tinggi dan ballast frekuensi tinggi.

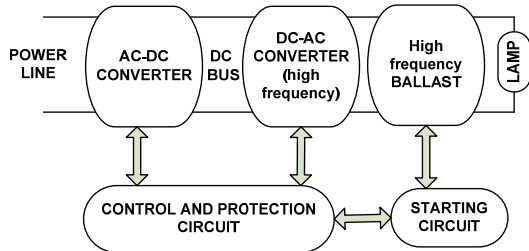
Bagian ini berguna untuk mensuplai lampu dengan tegangan berfrekuensi tinggi. Inverter membangkitkan gelombang frekuensi tinggi, dan ballast digunakan untuk membatasi arus ketika discharge. Induktor dan kapasitor dapat digunakan untuk fungsi tersebut. Kelebihan frekuensi kerja yang tinggi adalah ukuran induktor dan kapasitor yang kecil dan ringan

3. Starting circuit

Lampu discharge tekanan tinggi membutuhkan tegangan tinggi untuk starting nyalanya. Sehingga dibutuhkan rangkaian penyalan yang terpisah, terutama jika digunakan untuk starting lampu pada saat kondisi lampu masih panas karena operasi nyala lampu yang sebelumnya.

4. Rangkaian kontrol dan proteksi

Bagian ini termasuk *oscillator utama*, *error amplifier* untuk mengatur arus lampu, proteksi tegangan keluaran yang berlebihan, timer untuk mengontrol waktu penyalaan, proteksi arus lebih, proteksi kegagalan lampu, dan lain-lain. Hal ini dapat didesain dengan rangkaian yang sederhana seperti ballast yang berosilasi sendiri (*self oscillating ballast*) sampai pada hal yang kompleks yang bila diperlukan membutuhkan *microprocessor* sebagai rangkaian kontrol.



Gambar 1 Blok diagram umum Ballast Elektronik.

2.1.2 Klasifikasi Topologi Ballast Elektronik

Ballast elektronik diklasifikasikan menjadi 2 yakni ballast *non resonant* dan ballast *resonant*

2.1.2.1 Ballast Non Resonant

Lampu disupply arus berbentuk gelombang kotak. Topologi non resonant mempunyai beberapa kekurangan, seperti adanya *spike* / lonjakan tegangan yang tinggi pada pensaklaran, dan rugi-rugi pensaklaran yang tinggi karena proses *hard switching*.

- topologi *boost*
- topologi *symmetric boost*
- topologi *flyback*
- topologi *push pull inverter*

2.1.2.2 Ballast Resonant

Ballast jenis ini menggunakan *resonant tank* untuk mensupply lampu. Tangki resonansi akan memfilter harmonisa pada orde tinggi, sehingga arus yang melalui lampu mendekati sinusoida. Ballast resonansi diklasifikasikan menjadi 2 yakni ballast resonansi sumber arus (*current-fed*) dan ballast resonansi sumber tegangan (*voltage-fed*)

1. *Current fed resonant ballast*

Disupply oleh sumber arus DC dengan menggunakan induktor yang dipasang seri dengan sumber tegangan DC.

- topologi *class E*
- topologi *ful bridge*
- topologi *push pull*

2. *Voltage fed resonant ballast*

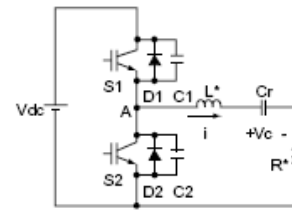
Ballast jenis ini merupakan yang paling sering dipakai. Tegangan dengan bentuk kotak didapat dari *switching* komponen transistor dengan duty cycle 50%, dan digunakan untuk mensupply rangkaian resonant yang dipasang seri. Rangkaian resonansi memfilter harmonisa atas dan mensupply lampu dengan tegangan sinusoida.

- topologi *push-pull*
- topologi *half bridge*
- topologi *full bridge*

2.2 Inverter Half Bridge Resonansi Seri

Rangkaian inverter resonan seri setengah jembatan terdiri dari dua buah saklar, induktor resonansi (L_r), dan kapasitor resonansi (C_r). Arus pada rangkaian mencapai nilai maksimum ketika frekuensi sumber sama dengan frekuensi resonansi dan semakin berkurang jika frekuensi sumbernya

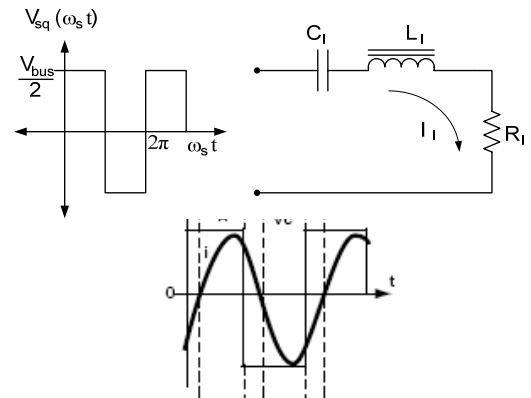
ditambah atau dikurangi. Ketika frekuensi lebih rendah dari frekuensi resonansi, reaktansi induktif akan lebih kecil. Karena reaktansi lebih bersifat kapasitif, arus akan lebih tinggi dan tegangan akan lebih kecil. Jika frekuensi dinaikkan, reaktansi akan bersifat induktif sehingga arus akan lebih kecil dan tegangan akan naik.



Gambar 2 inverter resonan seri

2.3 Zero Voltage Switching(ZVS) pada Inverter half bridge Resonansi Seri

Zero Voltage Switching adalah *switching* dengan frekuensi di atas frekuensi resonansi ($f > f_0$). *ZVS* dapat menghilangkan rugi *turn on* kapasitif dan cocok digunakan pada frekuensi yang tinggi karena *ZVS* beroperasi pada kontrol *turn-off* yang konstan. Tegangan keluaran inverter setengah gelombang adalah setengah dari VDC dengan bentuk gelombang kotak.



Gambar 3 Rangkaian resonansi seri dengan input gelombang kotak dari inverter

Gelombang kotak yang dihasilkan inverter dikopling ke beban melalui blocking C_1 dan inductor L_1 untuk mengatur arus yang melalui beban (R_1). Daya yang disalurkan ke beban (R) Pada gambar 3 diatas dapat dihitung dengan :

$$P_1 = \frac{2V_{bus}^2 R_1}{\pi^2 \left[\left(\omega_s L_1 - \frac{1}{\omega_s C_1} \right)^2 + R_1^2 \right]} \dots \dots \dots (1)$$

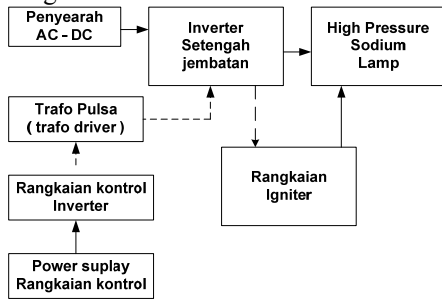
Dengan $\omega_s = 2\pi f_s$, f_s adalah frekuensi switching. Sehingga untuk mengatur daya dapat dilakukan dengan mengatur besarnya frekuensi pensaklaran. Semakin besar frekuensi, maka daya keluaran akan semakin kecil dan sebaliknya, semakin kecil frekuensi pensaklaran, maka daya output semakin besar.

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Pertimbangan dalam mendesain ballast elektronik

1. Frekuensi Kerja
2. Bentuk gelombang
3. Prosedur starting lampu
4. Fitur Dimming
5. Resonansi Akustik (*Acoustic Resonance*)

Skema blok perancangan alat dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4 Diagram blok Ballast elektronik

3.2 Perancangan power suplay

Power suplay pada ballast elektronik ini ada dua, yakni penyearah satu fasa dengan diode bridge untuk suplay rangkaian daya dan untuk rangkaian kontrol. Suplai AC 1 fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz. Penyearah (*rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan DC

3.3 Rangkaian Inverter Half Bridge

Rangkaian daya yang digunakan untuk *mensuplay High Pressure Sodium Lamp* adalah inverter setengah jembatan dengan MOSFET sebagai piranti pensaklarannya. Inverter dipilih karena lampu akan lebih lama umur pemakaiannya jika pada kedua elektroda tabungnya *dicharge* secara bergantian dengan gelombang yang simetris. Gelombang kotak yang dihasilkan oleh inverter disuplay ke lampu melalui *blocking* kapasitor dan induktor yang dipasang seri untuk mengontrol arus lampu.

3.3.1 Langkah desain inverter

langkah-langkah perancangan inverter setengah jembatan resonansi seri adalah sebagai berikut:

1. Memilih frekuensi switching nominal (F_{snom}) untuk acuan sesuai dengan range frekuensi operasi yang diinginkan, dan disesuaikan kemampuan mosfet dan memperhatikan range frekuensi untuk dimmer. Dalam hal ini dipilih frekuensi sekitar 22 Khz.
2. Menghitung resistansi (R_l) Lampu HPS pada frekuensi 50 Hz. Dengan :

$$R_l = \frac{P_l}{I_{rms l}^2} = \frac{150}{1.8^2}$$

$$R_l = 46.3\Omega$$

3. Menghitung parameter A^* , parameter desain :

$$A^* = \sqrt{\frac{2V_{DC}^2}{\pi^2 R_l P_l} - 1}$$

$$A^* = 1.3$$

4. Memilih $\omega_s C_1 R_l$ dari gambar 5

$$\omega_s C_1 R_l \approx 1.5$$

5. Menghitung Kapasitor blocking C_1 dari nilai $\omega_s C_1 R_l$ yang telah dipilih

$$\omega_s C_1 R_l = 1.5$$

$$C_1 = 224,69 \text{ nF}$$

Digunakan kapasitor sebagian 220nF yang setelah diukur terilai 202.2 nF

6. Memilih $\omega_s L_1 / R_l$ dari gambar 3.4 dari $\omega_s C_1 R_l$ yang telah dipilih dan nilai A^* yang telah dihitung.

Menurut perhitungan :

$$\frac{\omega_s L_1}{R_l} = A^* + \frac{1}{\omega_s C_1 R_l}$$

$$\frac{\omega_s L_1}{R_l} = 1,3 + \frac{1}{1,5}$$

$$\frac{\omega_s L_1}{R_l} = 1,966$$

Setelah di plot pada grafik, maka nilai $\omega_s L_1 / R_l$ adalah 1,966

7. Menghitung induktansi L_1 dari nilai $\omega_s L_1 / R_l$ yang didapat

$$\frac{\omega_s L_1}{R_l} = 1,966$$

$$L_1 = 686,95 \text{ uH}$$

Sehingga induktor yang diperlukan adalah sebesar 0,687 mH. Setelah didesain nilai L yang didapat adalah 0,713mH

8. Mengecek kembali frekuensi resonansi setelah didapatkan nilai C dan L yang aktual. Untuk mendapatkan zero voltage switching, frekuensi switching (ω_s) seharusnya di atas frekuensi resonansi (ω_o) yakni,

$$\omega_s > \omega_o$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot 14 \cdot \sqrt{0,706 \cdot 10^{-3} \cdot 202 \cdot 10^{-9}}}$$

$$f = 13.334,06 \text{ hz}$$

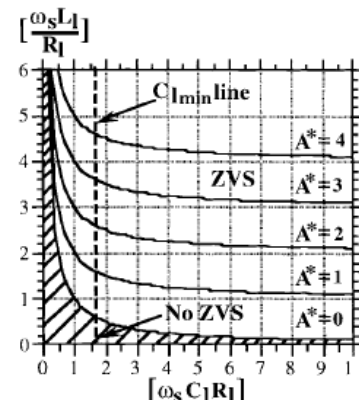
Sehingga frekuensi resonan untuk switching inverter adalah di atas 13.334,06 hz dan frekuensi nominal yang dipilih sebesar 22 Khz adalah diatas frekuensi resonan tersebut.

9. Menghitung perbandingan lilitan (n):

$$n = \frac{V_{ig}}{V_{BUS}}$$

Dimana $V_{ig} \approx 1.3 V_{lamp}$ karena pada prakteknya, tegangan spike akan lebih rendah dari pada perhitungan teorik.

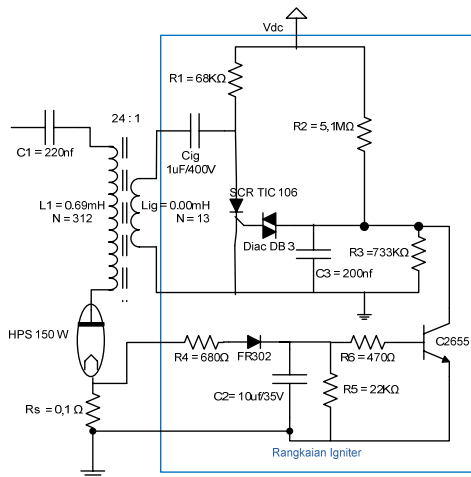
$$n = \frac{1,3 \cdot 4000}{311.13} = 18.8 \approx 19$$



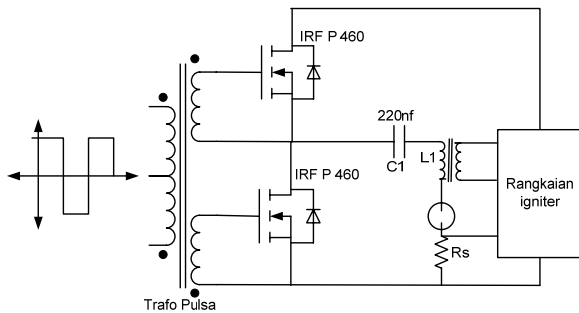
Gambar 5 Grafik panduan dalam mendesain ZVS.

3.4 Perancangan Rangkaian Igniter

Proses starting lampu sodium tekanan tinggi membutuhkan pulsa tegangan 3,5 KV sampai dengan 4,5 KV. Lonjakan pulsa tegangan tinggi ini dibangkitkan oleh igniter. Prinsip igniter ini adalah memanfaatkan arus pengosongan kapasitor oleh SCR, dimana SCR dipicu oleh DIAC. Arus pengosongan tersebut di naikan tegangannya oleh trafo *step-up* yang sekaligus berfungsi sebagai L pada inverter resonan.



Gambar 7 Rangkaian detail igniter



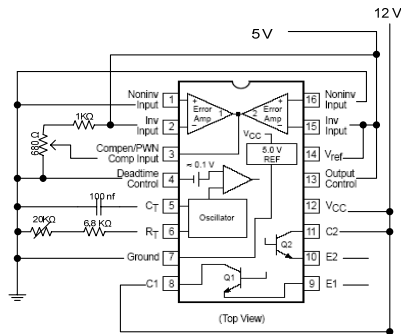
Gambar 6 Resonant Inverter half bridge dalam Ballast Elektronik

3.5 MOSFET

MOSFET merupakan singkatan dari *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* yang merepresentasikan bahan-bahan penyusunnya yang terdiri dari logam, oksida dan semikonduktor. Terdapat 2 jenis MOSFET yaitu tipe NPN atau N channel dan PNP atau biasa disebut P channel. Pada tugas akhir ini digunakan mosfet IRFP460 (arus max = 20A, Tegangan max = 500 V)

3.6 Perancangan Rangkaian Kontrol PWM

IC TL 494 merupakan komponen terintegrasi yang mempunyai 16 pin dalam dua jalur (*Dual In Package, DIP*) sebagai sebagai komponen utama pembangkit lebar pulsa termodulasi. Rangkaian kontrol PWM yang direncanakan seperti pada gambar 8. Frekuensi osilator ini dapat diatur melalui 2 komponen luar yaitu R_T dan C_T . Frekuensi pensaklaran yang dirancang besarnya antara 22kHz – 80kHz. Rangkaian osilator pada TL 494 dapat dilihat pada gambar 8.

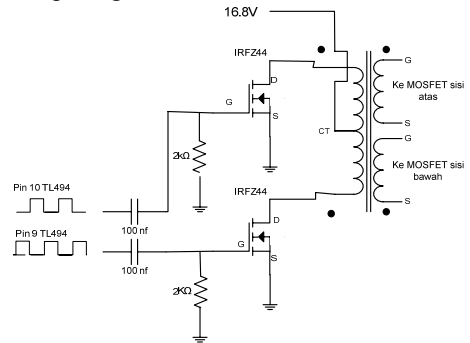


Gambar 8 Rangkaian kontrol PWM

3.7 Rangkaian Driver dan Isolator Pulsa

Rangkaian ini terdiri dari Mosfet IRF Z44N dan Transformator Pulsa untuk men-drive MOSFET pada

rangkaian inverter. Karena lilitan primer dan sekunder terpisah secara elektrik, maka *transformator driver* ini juga dapat dipandang sebagai rangkaian pelindung (*isolator*) antara rangkaian kontrol dengan inverter. Rangkaian Driver dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

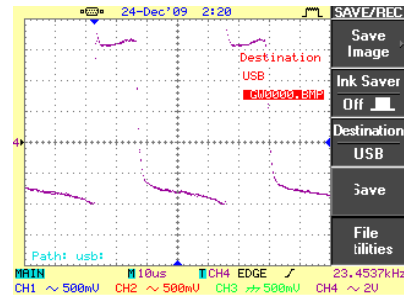


Gambar 9. Driver MOSFET dengan menggunakan Transformator pulsa

BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISA

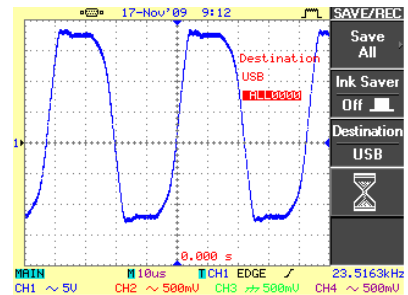
4.1 Sinyal Pemicuan dan Output Driver

Sinyal pemicuan MOSFET merupakan sinyal kotak yang dihasilkan oleh kaki 9 dan 10 pada IC TL494. Pengujian dilakukan pada kondisi semua rangkaian terhubung, tidak dilakukan pada masing-masing rangkaian secara terpisah. Bentuk gelombang sinyal pemicuan transistor dari IC TL 494 dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 10 Sinyal output Ic TL 494

Sinyal pemicuan dari IC TL494 ini selanjutnya dilewatkan ke rangkaian *driver* dan output dari *driver* ini yang akan memicu gate MOSFET. Tegangan keluaran transformator pulsa tidak boleh melebihi 20 Volt tiap siklus positif atau negatif sebab akan mengakibatkan dadal pada MOSFET sebab tegangan V_{GS} MOSFET IRF P460 adalah 20 Volt. tegangan negatif ini berguna untuk membantu mempercepat mengosongi muatan pada gate ketika MOSFET turn-off. Sinyal pemicuan pada MOSFET dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 11 Sinyal pemicuan Vgs pada MOSFET

4.2 Pengujian Pengukuran Daya

Pengukuran daya bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi pensaklaran MOSFET terhadap

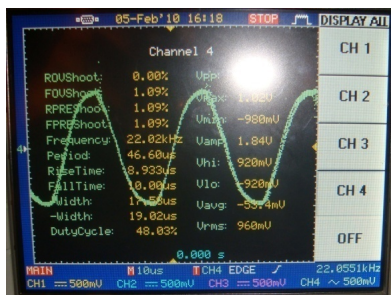
daya output inverter yang masuk ke lampu, dan untuk mengetahui efisiensi ballast elektronik pada beberapa tingkatan peredupan. Pada frekuensi 22Khz adalah daya maksimal yang telah didesain agar lampu high pressure sodium lamp menyala dengan daya penuh sebesar 150 Watt. Pada frekuensi 21,92 Khz dengan nilai $L = 0,713\mu\text{H}$ dan $C=202,2\text{nF}$ maka daya output yang diharapkan pada saat perancangan adalah:

$$P_i = \frac{2V_{bus}^2 R_l}{\pi^2 \left[\left(\omega_s L_l - \frac{1}{\omega_s C_l} \right)^2 + R_l^2 \right]}$$

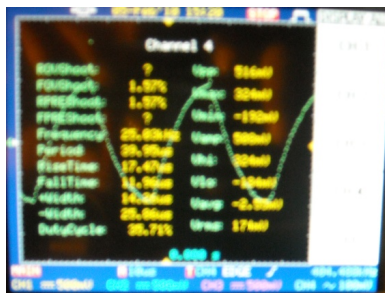
$$P_i = \frac{2.(311.13)^2 \times 46,3}{3,14^2 \left[\left(2 \times 3,14 \times 21920 \times 0,713 \times 10^{-3} - \frac{1}{2 \times 3,14 \times 21920 \times 202,2 \times 10^{-9}} \right)^2 + 46,3^2 \right]}$$

$$P_i = 150,15$$

Hasil pengukuran gelombang tegangan dan arus dengan menggunakan osiloskop didapatkan data sebagai berikut :



a.



b.

Gambar 12 a. Gelombang tegangan lampu pada frekuensi 22 Khz
b. Gelombang arus lampu pada frekuensi 22 Khz

Pada gambar 12.a tegangan rms pada terminal lampu adalah 960mV, karena pengukuran dilakukan dengan pelindung probe osiloskop dengan skala 100:1 maka tegangan rms terminal lampu adalah 96V. Pada gambar 12.b. Menunjukkan tegangan rms yang melewati resistor pengukuran sebesar 0,11 ohm sehingga arus lampu adalah:

$$I_{rms} = \frac{171mV}{0,11\Omega} = 1.5545A$$

Sifat lampu sodium bertekanan tinggi ketika disuplay oleh tegangan dengan frekuensi tinggi adalah resistif, sehingga daya pada lampu:

$$P = 96 \times 1,5545 = 149,232 \text{ watt}$$

	min	max
P	0.160 kW	0.16
S	0.277 kVA	0.278
PF	0.576	0.578

Efisiensi ballast pada frekuensi 22 Khz adalah :

$$\eta = \frac{149,232}{160} \times 100 = 93,27\%$$

Hasil dari variasi frekuensi terhadap daya output dapat dilihat pada tabel berikut ini :

No	Frekuensi	Daya Input Inverter	Daya Output Inverter	Efisiensi (%)
1	22 Khz	160 watt	149,232 watt	93,270
2	24 Khz	132 watt	120,388 watt	91,203
3	25 Khz	111 watt	101,126 watt	91,225
4	26 Khz	98 watt	89,435 watt	90,399
5	27 Khz	88 watt	83,421 watt	94,797
6	36 Khz	45 watt	41,106 watt	91,350
7	40 Khz	36 watt	33,014 watt	91,705

Sedangkan besarnya perancangan desain daya output dengan realisasi pengukuran daya yang dihasilkan dapat ditabelkan sebagai berikut:

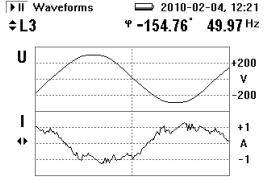
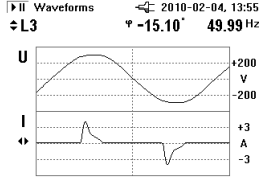
No	Frekuensi	Daya yang direncanakan	Daya yang dicapai
1	22 Khz	150,15 watt	149,232 watt
2	24 Khz	117,04 watt	120,388 watt
3	25 Khz	104,84 watt	101,126 watt
4	26 Khz	94,44 watt	89,435 watt
5	27 Khz	85,529 watt	83,421 watt
6	36 Khz	41,89 watt	41,106 watt
7	40 Khz	32,75 watt	33,014 watt

4.3 Perbandingan Unjuk Kerja dengan Ballast Konvensional

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan unjuk kerja ballast elektronik dengan ballast konvensional pada tegangan kerja 220 volt. Pengukuran pada ballast konvensional dilakukan menggunakan power quality analyser pada sisi masukan ballast dan pada sisi yang masuk ke lampu. Pengukuran daya input ballast elektronik dilakukan dengan *power quality analyser* sedangkan pada sisi yang masuk ke lampu, karena frekuensinya tinggi maka digunakan osiloskop. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

No	Ballast Konvensional	Ballast Elektronik																								
1	<p>Volts/Amps/Hz 2010-02-04, 12:21</p> <p>L3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>min</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U</td> <td>219.3 V_{rms}</td> <td>219.2 219.3</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0.834 A_{rms}</td> <td>0.834 0.835</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>49.93 Hz</td> <td>49.93 49.94</td> </tr> </tbody> </table>		min	max	U	219.3 V _{rms}	219.2 219.3	I	0.834 A _{rms}	0.834 0.835	F	49.93 Hz	49.93 49.94	<p>Volts/Amps/Hz 2010-02-04, 13:55</p> <p>L3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>min</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U</td> <td>220.2 V_{rms}</td> <td>219.9 220.3</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>1.084 A_{rms}</td> <td>1.079 1.086</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>50.00 Hz</td> <td>50.00 50.00</td> </tr> </tbody> </table>		min	max	U	220.2 V _{rms}	219.9 220.3	I	1.084 A _{rms}	1.079 1.086	F	50.00 Hz	50.00 50.00
	min	max																								
U	219.3 V _{rms}	219.2 219.3																								
I	0.834 A _{rms}	0.834 0.835																								
F	49.93 Hz	49.93 49.94																								
	min	max																								
U	220.2 V _{rms}	219.9 220.3																								
I	1.084 A _{rms}	1.079 1.086																								
F	50.00 Hz	50.00 50.00																								
2	<p>Harmonics 2010-02-04, 12:17</p> <p>L1 THD 32.9% I_{rms} 0.466 A</p>	<p>Harmonics 2010-02-04, 13:56</p> <p>L3 THD 97.8% I_{rms} 1.093 A</p>																								

Gambar 13 Hasil pengukuran daya input ballast dengan *power quality analyser*

3		
4	efisiensi ballast : $(142/162) \times 100\%$ $= 87.654\%$	efisiensi ballast : $(149,232/160) \times 100\%$ $= 93,27\%$

Dari data di atas, dapat dilihat bahwa ballast elektronik lebih sedikit dalam konsumsi daya, tetapi menimbulkan arus harmonisa yang tinggi. Karakteristik arus hasil penyearahan sederhana dengan diode tidak sebetulnya dengan tegangan sinus yang diterapkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Lampu sodium bertekanan tinggi (High Pressure Sodium Lamp) dapat disupply oleh tegangan AC dengan frekuensi tinggi dengan bantuan inverter frekuensi tinggi.
2. Daya lampu dipengaruhi oleh frekuensi inverter. Semakin tinggi frekuensi inverter semakin rendah daya pada lampu, ditunjukkan dengan semakin redupnya lampu, dan sebaliknya semakin rendah frekuensi inverter maka daya lampu semakin tinggi dan lampu semakin cerah
3. Efisiensi ballast elektronik lebih besar dari pada efisiensi ballast konvensional. Ballast elektronik lebih sedikit mengkonsumsi daya untuk mensupply lampu dari pada ballast konvensional yakni di atas 90%.
4. *Power factor ballast* elektronik yang dibuat lebih rendah dari pada ballast elektronik konvensional, karena ballast elektronik yang dibuat tidak mempunyai unit *power factor correction*.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Ballast elektronik menarik arus dengan harmonisa yang besar, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat digunakan unit *power factor correction*
2. Menggunakan mikroprocessor untuk rangkaian kontrol inverter sehingga dapat di program waktu nyala dan waktu mati, tingkat daya lampu pada jam-jam tertentu, dan fungsi-fungsi otomatis lainnya untuk aplikasi penerangan jalan umum (PJU).
3. Menggunakan topologi jembatan penuh untuk beban yang lebih tinggi, misalnya 250 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad H. Rashid, Ph.D, *Power Electronics, Circuit, Devices and Applications 3rd Edition*. Prentice Hall. New Delhi. 2004
2. M.E. Van Valkenberg, Analisis jaringan Listrik, Erlangga, Jakarta, 1994
3. Mohan Ned dkk, *Power Electronic Converter, Application, and design*. John Wiley & Sons. Inc. Singapore

4. I. Pressman, Abraham, *Switching Power Supply Design*, The McGraw-Hill Companies Inc, 1998
5. S. Clemente, et al, *Gate Drive Characteristic and Requirement for HEXFET[®]s*, International Rectifier, Application Note 937
6. Kazimierczuk K Marian dan Czarkowski Darius. *Resonant Power Converter*. John Willey and Son. 1996
7. Shmuel Ben- Yakaakov dan Michael Gulko, "*Design and Performance of an electronic Ballast for High Pressure Sodium (HPS) Lamp*". Journal IEEE pada industrial Electronic vol 44, No 4 Agustus 1997, halaman 486-491
8. Wang Wei, Zhang Weiqiang. "*A Study of an Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamp*". Institut Teknologi Harbin, Harbin, Cina
9. Ribarich. Tom. "*How to design a dimming fluorescent electronic Ballast*". International Rectifier
10. Bum Suk Kang dan Hee Jum Kim. "*High Power Factor Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamp*" Universitas Hanyang, Korea IEEE. 1999
11. Alonso, J. M., Blanco, C., Lo'pez, E., Calleja, A. J. and Rico, M.: "*Analysis, design and optimization of the LCC resonant inverter as a high-intensity discharge lamp ballast*," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No. 3, pp. 573–585, May 1998
12. Marcos Alonso, Ph.D. *Electronic Ballast*. University of Oviedo DIEECS—Tecnologia Electronica Campus de Viesques s=n, Edificio de Electronica 33204 Gijón—Spain
13. F. Dos Reis, R. Tonkoski Jr., *Full Bridge Single Stage Electronic Ballast for a 250 W High Pressure Sodium Lamp*. Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS Department of Electrical Engineering Porto Alegre, RS - BRASIL
14. L.M.F. MORAIS, P.F, *Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps without Acoustic Resonance via Controlled Harmonic Injection Synthesized with PWM*. Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Engenharia Eletrônica . Belo Horizonte, MG – BRASIL
15. L.M.F. Morais, P.F. Donoso-Garcia, *Acoustic resonance Effects in High Pressure Sodium Lamps*. Electrical Engineering Department.University of Oviedo Gijón, Spain
16. www.irf.com
17. _____, <http://www.alldatasheet.com>



Muhammad Syaifulhaq
L2F004495

Lahir dan besar di Solo, Jawa Tengah. Selepas SMA tahun 2004 melanjutkan studi di Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan konsentrasi Ketenagalistrikan.

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP.19580617 198703 1 002

Karnoto, ST, MT
NIP.19690709 199702 1 001