

KINERJA RANGKAIAN TRIPLE LC PADA INVERTER PUSH PULL FREKUENSI TINGGI

Okky Rusty Wibowo^{*)}, Agung Warsito, and Mochammad Facta

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : rustybro.wallace@gmail.com

Abstrak

Permintaan catu daya dengan nilai tegangan keluaran yang lebih tinggi merupakan tantangan dalam pembuatan suplai daya listrik. Dengan berkembangnya teknologi pesaklaran, sehingga dimungkinkan produksi catu daya dapat dibuat dengan proses konversi listrik melalui inverter. Catu daya menggunakan prinsip resonansi dan inverter dimungkinkan menghasilkan keluaran tegangan yang lebih tinggi. Pada penelitian ini akan meneliti sebuah metode atau topologi baru berdasarkan rangkaian resonan triple LC. Dalam perancangan triple LC, nilai dari penguatan tegangan dan komponen pasif RLC harus dirumuskan dan dihitung kemudian. Topologi RLC ini menggunakan tiga buah L dan C serta 1 buah R. Rangkaian triple LC ini akan disuplai oleh inverter push pull frekuensi tinggi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat tiga buah puncak penguatan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian triple LC. Hasil yang diperoleh sesuai dengan perhitungan dan simulasi yang dicari terlebih dahulu sebelum percobaan. Setelah percobaan, akan dianalisis kinerja rangkaian triple LC pada inverter push pull frekuensi tinggi agar didapatkan hasil pada topologi baru ini. Berdasarkan hasil penelitian penguatan tegangan maksimal terjadi pada 401 Volt ketika frekuensi kerjanya 9 kHz dan efisiensi terbaik sebesar 84,9 % diperoleh ketika frekuensi kerjanya 26 kHz.

Kata Kunci : catu daya, rangkaian triple LC, inverter push pull

Abstract

Power supply demand with higher output voltage value is a challenge in production of electrical power supply. With development of switching technology, so it is possible that a power supply product can be made as a process of electrical with conversion by using inverter. Power supply using resonant principle and inverter is possible to produce higher output. This research will examine a new method or topology based on triple LC resonant circuit. In the triple LC design, the value of voltage gain and passive components of RLC must be formulated and calculated first. This RLC topology uses three pair of LC and one resistor. This triple LC circuit was supplied by a high frequency push pull inverter. The result of experiment shows that there are three voltage gain peak produced by the proposed triple LC circuit. The result is in accordance to formulation and simulation which were carried out before experiment. After the experiment, it will be analyzed the triple LC circuit performance on the high frequency push pull inverter in order to obtain results in the new topology. Based on results the maximum voltage gain occur at 401 Volt when the frequency operation was 9 kHz and the best efficiency at 84,9% obtained when the frequency operation was 26 kHz.

Keywords : power supply, triple LC circuit, push pull inverter

1. Pendahuluan

Teknologi resonan merupakan salah satu metode atau topologi dalam elektronika daya yang berfungsi untuk menaikkan gelombang keluaran tegangan atau arus. Selain itu pada rangkaian resonan dapat menggunakan frekuensi yang tinggi atau dapat kita atur sesuai kebutuhan agar tidak berisik dan dengan frekuensi yang tinggi dapat memperkecil komponen elektroniknya..

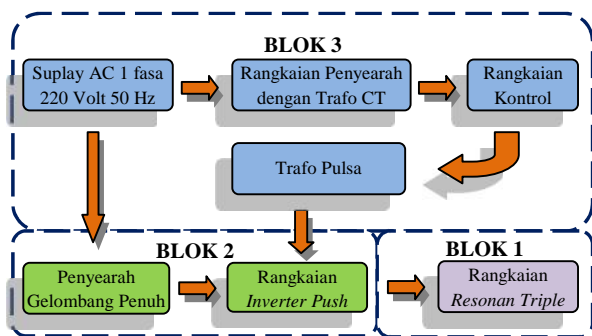
Rangkaian resonan sendiri terdiri dari komponen pasif yaitu berupa induktor (L), komponen kapasitor (C), dan resistor (R). Di dalam buku karangan Fang Lin Luo dan Hong Ye berjudul “*Advanced DC-DC Converter*”^[6] didalamnya terdapat pembahasan mengenai DC/AC resonan inverter yang meneliti beberapa topologi rangkaian RLC.

Berdasarkan buku “*Advanced DC-DC Converter*”^[6] dan penelitian – penelitian tugas akhir sebelumnya maka pada penelitian tugas akhir ini akan dibuat sebuah perangkat

keras menggunakan topologi baru yaitu rangkaian *triple LC*. Dimana rangkaian *triple LC* ini nantinya akan diteliti karakteristiknya lebih lanjut dari segi penguat tegangan (*gain*) dan kinerjanya terhadap *inverter push pull* frekuensi tinggi. Penelitian ini dilakukan karena pada “*Advanced DC-DC Converter*”^[6] terdapat kombinasi dua LC selain itu tugas akhir sebelumnya tidak diperjelas tentang persamaan penguat tegangan.

2. Metode

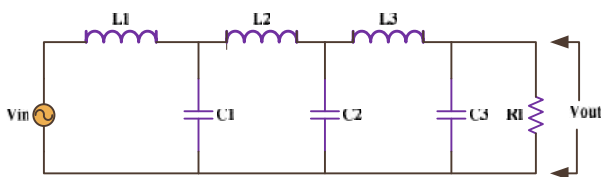
Perancangan rangkaian *triple LC* inverter push pull frekuensi tinggi ini tersusun dari tiga blok utama. Gambar 1 adalah blok diagram perancangan perangkat keras.



Gambar 1 Blok diagram perancangan alat

2.1 Perancangan Rangkaian *Triple LC*

Tugas Akhir ini akan merancang rangkaian *triple LC* dan menganalisa kinerjanya lebih lanjut, dimana rangkaian *triple LC* ini terdiri dari tiga induktor, tiga kapasitor dan satu resistor. Sumber rangkaian ini merupakan tegangan bolak – balik frekuensi tinggi yang berasal dari inverter. Berikut ini adalah gambar perancangan rangkaian *triple LC* secara keseluruhan.



Gambar 2 Rangkaian *triple LC*

Dari rangkaian Gambar 2 dengan menggunakan analisis mesh current^[2] maka dapat dicari persamaan gain rangkaian *triple LC* yang dituliskan oleh Persamaan (1)

$$G(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{(-\omega^6 L^3 C^3 + 5\omega^4 L^2 C^2 - 6\omega^2 LC + 1) + \frac{1}{R}(\omega^5 L^3 C^2 - 4\omega^3 L^2 C - 3\omega L)} \quad (1)$$

Tahap selanjutnya adalah menentukan frekuensi resonansi yang diinginkan. Frekuensi resonansi dapat dicari menggunakan Persamaan (2)^[2] berikut :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{L}{CR^2}} \quad (2)$$

Pada pembuatan perangkat keras Tugas Akhir ini frekuensi yang diinginkan adalah sebesar 21 kHz. Nilai C yang digunakan adalah sebesar 90 nF, disesuaikan dengan kapasitor yang ada di pasaran. Nilai R yang dipakai sebesar 12 kOhm 10 watt Dengan mengetahui nilai frekuensi, C dan R maka dapat dicari nilai dari L, nilai induktansi yang dibutuhkan dapat dicari menggunakan Persamaan (2)

$$21 \cdot 10^3 = \frac{1}{2\sqrt{L \cdot 90 \cdot 10^{-9}}} \sqrt{1 - \frac{L}{90 \cdot 10^{-9} (12 \cdot 10^3)^2}}$$

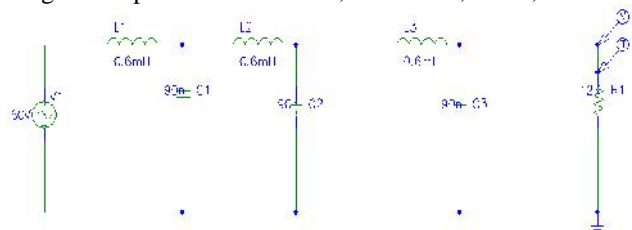
$$1,74099 \cdot 10^{10} = \frac{1}{90 \cdot 10^{-9} \cdot L} - 857338,82$$

$$L = 0,638 \text{ mH}$$

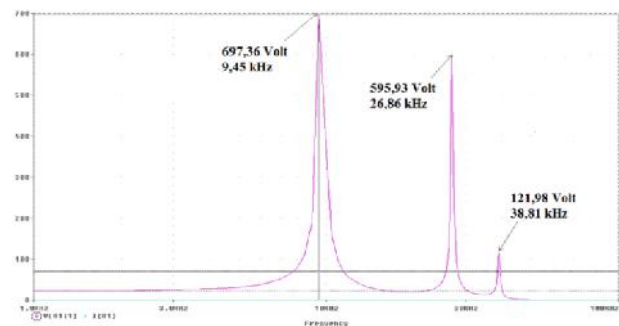
Dalam perancangan perangkat keras nanti nilai $L_1 = L_2 = L_3$ dan $C_1 = C_2 = C_3$. Pemilihan ini dikarenakan untuk mempermudah dalam pembuatan perangkat keras dan ketersediaan komponen di pasaran.

2.2 Simulasi Perancangan Rangkaian *Triple LC*

Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak PSpice. Berikut ini adalah rangkaian *triple LC* dan hasil simulasi dengan komponen $R=12 \text{ kOhm}$, $C=90 \text{ nF}$, $L=0,6 \text{ mH}$.



Gambar 3 Rangkaian *triple LC* dengan menggunakan PSpice



Gambar 4 Grafik hasil simulasi dengan menggunakan PSpice

Dari Gambar 4 dapat dilihat, bahwa rangkaian *triple LC* terdapat 3 buah puncak gelombang penguat tegangan, dimana puncak 1 saat resonansi terdapat pada gelombang dengan frekuensi 9,45 kHz dan V_{out} sebesar 697,36 volt. Puncak 2 saat resonansi terdapat pada gelombang dengan

frekuensi 26,86 kHz dan V_{out} sebesar 595,93 volt. Sedangkan puncak 3 saat resonansi terdapat pada gelombang frekuensi 38,81 kHz dengan V_{out} sebesar 121,98 volt.

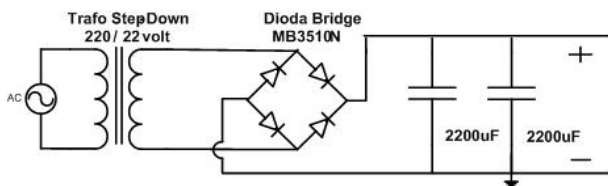
2.3 Perancangan Inverter Push Pull Frekuensi Tinggi

2.3.1 Suplai AC Satu Fasa

Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala – jala PLN dengan spesifikasi tegangan 220 volt AC dan frekuensi 50 Hz, kemudian diturunkan dengan trafo penurun tegangan menjadi 22 volt AC. Tegangan sumber inverter ini relatif rendah karena tugas akhir ini hanya ingin menganalisa kinerja rangkaian *triple LC*.

2.3.2 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah gelombang penuh ini menggunakan dioda bridge untuk mengubah AC ke DC, kapasitor digunakan menghilangkan *ripple* tegangan.

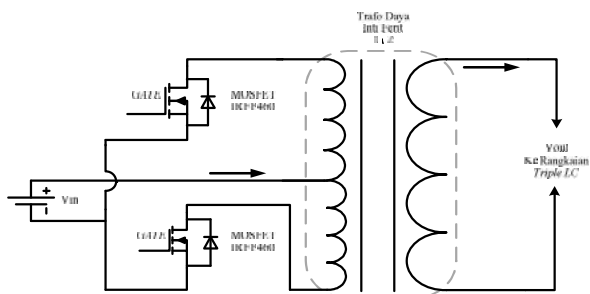


Gambar 5 Rangkaian penyearah gelombang penuh

Penyearah ini menggunakan masukan $22 V_{AC}$ dirubah menjadi $31,11 V_{DC}$ dengan menggunakan dioda bridge MB3510N. Fungsi pemasangan dua buah kapasitor dengan kapasitas $2200\mu F/50$ Volt adalah untuk menghilangkan riak sehingga menjadi DC murni.

2.3.3 Rangkaian Inverter Push Pull

Rangkaian *inverter push pull* berfungsi mengubah tegangan DC yang berasal dari penyearah gelombang penuh menjadi tegangan AC frekuensi tinggi.



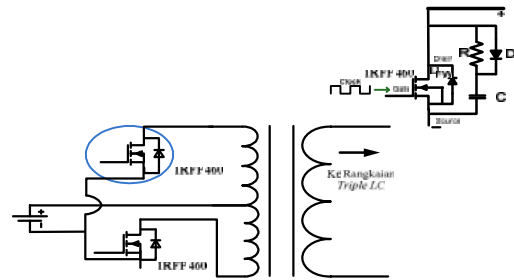
Gambar 6 Rangkaian inverter push pull

Dalam perancangan *inverter push pull* ada hal – hal yang perlu diperhatikan diantaranya pemilihan MOSFET dan

perancangan trafo inti ferit. Perancangan trafo inti ferit, digunakan inti ferit karena bekerja pada frekuensi tinggi dimana inti ferit lebih baik daripada inti besi saat bekerja pada frekuensi tinggi.

2.3.4 Rangkaian Snubber

Untuk melindungi MOSFET dari *spike* tegangan dan arus yang terjadi selama pensaklaran dapat dipasang rangkaian *snubber*.



Gambar 7 Rangkaian inverter push pull Inset : Rangkaian Snubber

Rangkaian *snubber* ini dapat membuat perubahan pensaklaran pada MOSFET menjadi lebih lembut sehingga tegangan naik yang terjadi pada saat pensaklaran lebih lambat.

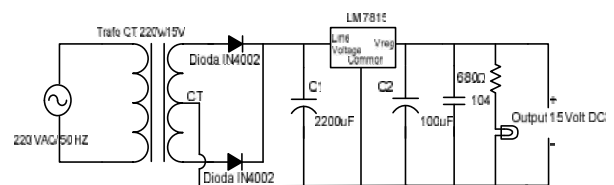
2.4 Perancangan Rangkaian Kontrol

2.4.1 Suplai AC Satu Fasa

Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala – jala PLN dengan spesifikasi tegangan 220 volt AC dan frekuensi 50 Hz. Tegangan ini kemudian diturunkan dengan trafo *center tap* menjadi 15 volt AC.

2.4.2 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa dengan CT

Rangkaian penyearah ini berguna untuk mensuplai tegangan masukan IC TL 494, kipas DC dan rangkaian isolator pulsa. Berikut ini adalah gambar rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa *center tap* dengan menggunakan regulator tegangan.



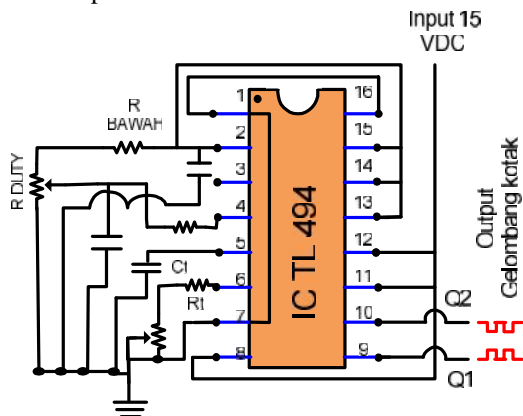
Gambar 8 Rangkaian penyearah gelombang penuh

Penyearah ini menggunakan sumber $15 V_{AC}$ yang disaraskan menggunakan 2 dioda IN4002 menjadi 21,21

volt, kemudian keluaran tegangan tersebut ditapis menggunakan kapasitor 2200µF / 35 volt. Untuk menstabilkan tegangan 15 V_{DC} digunakan LM7815, kapasitor 104nF, memiliki fungsi untuk meningkatkan respon transien dan diberi indikator berupa kapasitor 100µF, resistor dan LED.

2.4.3 Rangkaian Kontrol IC TL494

Perancangan rangkaian kontrol untuk pemucuan MOSFET inverter menggunakan IC TL494. Rangkaian kontrol ini yang menentukan frekuensi dan *duty cycle* yang akan diatur untuk pemucuan.



Gambar 9 Rangkaian kontrol IC TL494

Untuk menentukan nilai frekuensi, resistor dan kapasitor maka digunakan persamaan^[15] berikut ini :

$$f = \frac{1,1}{R_t C_t} \quad (3)$$

Kapasitor yang digunakan sebesar 10 nF sehingga nilai resistor adalah

$$R_t = \frac{1,1}{C_t \cdot f_{osc}} \quad (4)$$

Pada frekuensi maksimal 80 kHz

$$R_t = \frac{1,1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 80 \cdot 10^3} = 1375 : 2 = 687,5 \Omega$$

Pada frekuensi minimal 3 kHz

$$R_t = \frac{1,1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^3} = 36667 : 2 = 18333$$

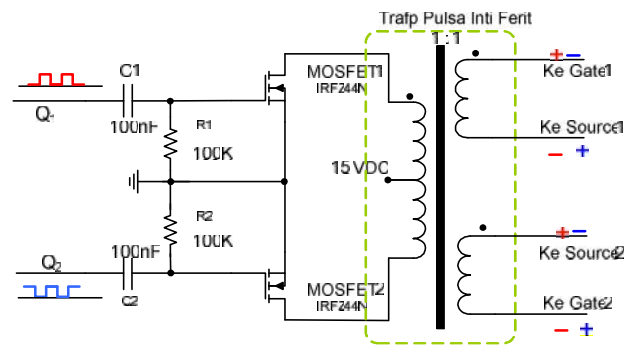
Kemudian dengan menyesuaikan komponen yang tersedia dipasaran yaitu :

- CT : 10 nF
- RT : 680 Ohm
- V_R : 20 KOhm

Gelombang keluaran dari rangkaian IC TL 494 ini terdapat pada kaki 9 dan 10.

2.4.4 Rangkaian Driver dan Trafo Isolator Pulsa

Gambar berikut ini adalah gambar rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa.



Gambar 10 Rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa

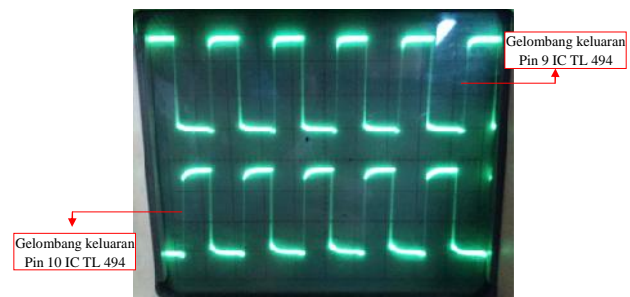
Rangkaian driver digunakan sebagai penguat sinyal keluaran IC TL494 dengan menggunakan kapasitor 100 nF, resistor 100k dan MOSFET IRFZ44N. Trafo isolator pulsa digunakan untuk pemisah rangkaian kontrol dan rangkaian daya.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian

3.1.1 Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital KENWOOD CS – 4125. Gelombang keluaran rangkaian kontrol pemucuan yang diukur pada keluaran kaki 9 dan 10 IC TL494.



Gambar 11 Gelombang keluaran rangkaian kontrol

Dari gambar gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

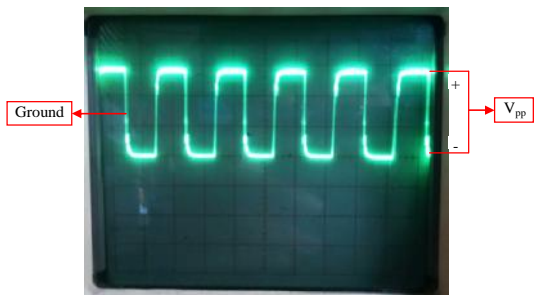
$$T = 2 \times 20 \mu\text{s/div} = 40 \mu\text{s}, \text{ maka } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{40 \mu\text{s}} = 25 \text{ kHz}$$

$$V_{pp} = 2,9 \times 5 \text{ V/div} = 14,5 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 25 kHz dan tegangan V_{pp} 14,5 volt. Gelombang ini selanjutnya akan menjadi sumber masukan untuk trafo isolator pulsa.

3.1.2 Pengujian Rangkaian *Driver* dan Trafo Isolator Pulsa

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital KENWOOD CS – 4125. Gelombang keluaran dari rangkaian driver dan isolator pulsa.



Gambar 12 Gelombang keluaran rangkaian driver dan trafo isolator pulsa

Dari gambar gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

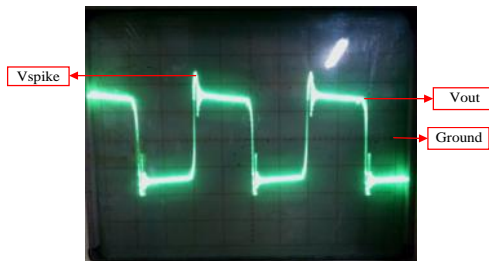
$$T = 2 \times 20 \mu\text{s/div} \times 10 = 40 \mu\text{s}, \text{ maka } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{40\mu\text{s}} = 25 \text{ kHz}$$

$$V_{pp} = 2,8 \times 1 \text{ V/div} \times 10 = 28 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 25 kHz dan tegangan V_{pp} 28 volt. maka dapat diketahui pada polaritas positif bernilai +14 V dan pada polaritas negatif bernilai -14 V. Nilai ini sudah memenuhi dan dapat digunakan untuk pemicuan.

3.1.3 Pengujian Inverter Push Pull

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital KENWOOD CS - 4125. Gambar dibawah ini adalah gelombang keluaran dari rangkaian inverter push pull.



Gambar 13 Gelombang keluaran rangkaian inverter push pull

Gambar diatas merupakan tegangan keluaran inverter push pull dengan nilai sebesar 2,7 div, sedangkan tegangan spike sebesar 0,8 div. Pengukuran menggunakan skala 5 V/div dengan faktor pengali 10 x. Maka tegangan yang terukur adalah sebesar

$$V_{pp} = 2,7 \times 5 \text{ V/div} \times 10 = 135 \text{ Volt}$$

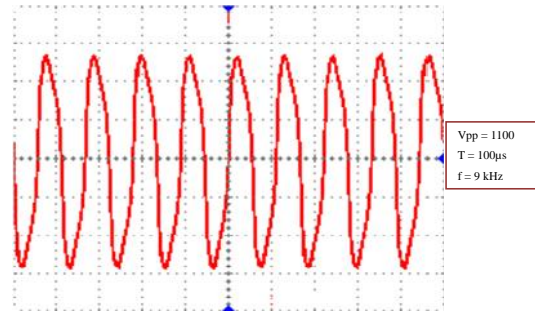
$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{135}{2} = 67,5 \text{ Volt}$$

Seharusnya tegangan masukan dibanding tegangan keluaran 1:2 sehingga bila tegangan masukan 31,11 volt maka tegangan keluaran 62,22 volt. Terdapat sedikit perbedaan antara pengukuran dan perancangan, hal ini disebabkan oleh panjang lilitan trafo yang kurang presisi.

3.1.4 Pengujian Rangkaian Triple LC

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital GW INSTEK GOS-2104. Gambar dibawah ini adalah gelombang keluaran dari rangkaian triple LC.

➤ Pengujian pada puncak pertama (f=9kHz)



Gambar 14 Gelombang keluaran rangkaian triple LC puncak pertama pada frekuensi 9 kHz

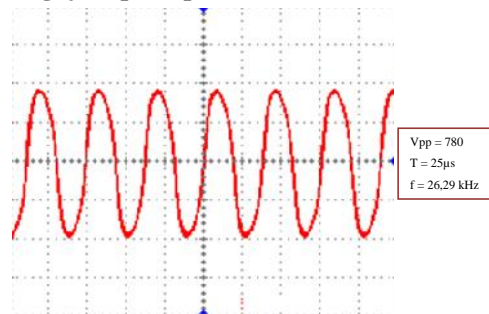
Gelombang keluaran ini memiliki tegangan 5,5 div, 200 mV/div dan probe dikali 1000. Maka tegangan yang terukur sebagai berikut :

$$V_{pp} = 5,5 \times 200\text{mV/div} \times 1000 = 1100 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{1100}{2} = 550 \text{ Volt}$$

Maka tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 550 Volt dalam keadaan V_m di titik frekuensi 9 kHz.

➤ Pengujian pada puncak kedua (f=26kHz)



Gambar 15 Gelombang keluaran rangkaian triple LC puncak pertama pada frekuensi 26 kHz

Gelombang keluaran ini memiliki tegangan 3,9 div, 200 mV/div dan probe dikali 1000. Maka tegangan yang terukur sebagai berikut :

$$V_{pp} = 3,9 \times 200\text{mV/div} \times 1000 = 780 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{780}{2} = 390 \text{ Volt}$$

Maka tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 390 Volt dalam keadaan V_m di titik frekuensi 26,29 kHz.

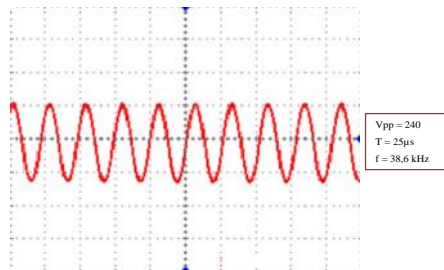
Gelombang keluaran ini memiliki tegangan 2,4 div, 100 mV/div dan probe dikali 1000. Maka tegangan yang terukur sebagai berikut :

$$V_{pp} = 2,4 \times 100\text{mV/div} \times 1000 = 240 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{240}{2} = 120 \text{ Volt}$$

Maka tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 120 Volt dalam keadaan V_m di titik frekuensi 38,6 kHz.

➤ **Pengujian pada puncak ketiga ($f=38\text{kHz}$)**



Gambar 16 Gelombang keluaran rangkaian *triple LC* puncak pertama pada frekuensi 38 kHz

3.2 Analisa Pengujian Rangkaian *triple LC*

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital GW INSTEK GOS-2104. Data yang diambil berupa tegangan, arus dan THD.

Tabel 1 Data perbandingan frekuensi terhadap gain tegangan dan arus

Frekuensi (kHz)	V _{out} (Volt)		I _a (Amp)		I _b (Amp)		K e t
	Tidak Berbeban	Berbeban	Tidak Berbeban	Berbeban	Tidak Berbeban	Berbeban	
6	196	132	1,68	4	2,18	3,97	x
8	359	175	1,88	5,51	1,52	5,17	x
9	401	141	2,78	4,48	2,23	4,07	v
10,24	450	107	6,48	3,4	5,3	3,93	x
13	84	75	1,79	2,19	2,39	2,66	x
18	92	87	1,07	1,75	1,77	1,79	v
20	130	113	1,12	2,16	1,57	1,97	v
22	200	164	1,83	3,73	2,04	3,29	v
24,5	269	92	2,03	2,44	2,97	2,69	v
26	290	68	3,25	1,82	3,25	1,62	v
31,75	60	60	1,16	1,56	1,74	1,43	x
33	82	75	1,5	2,26	1,87	1,97	v
34,5	89	77	1,78	2,75	2,07	2,42	v
36	82	30	2,68	1,71	1,80	2,25	v
38	80	-	2,36	-	2,53	-	v
39,5	75	-	2,16	-	2,35	-	v

*) Keterangan : x = Tidak Gelombang Sinusoidal Murni
= Gelombang Sinusoidal Murni

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan pada frekuensi 9 kHz saat tidak berbeban mencapai 401 volt dengan gelombang sinus, frekuensi 26 kHz saat tidak berbeban mencapai 290 volt dengan gelombang sinus, dan frekuensi 34,5 saat tidak berbeban dan gelombang sinus.

3.2.1 Penguat Tegangan (*Gain*)

Dalam penguat tegangan ini dibandingkan hasil pengukuran dan perhitungan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut hasil analisis hasil perhitungan

$$V_m = \frac{4V_1}{\pi} \tag{5}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{n} \tag{6}$$

V_m adalah tegangan maksimal, V_1 adalah tegangan peak yang terukur pada osiloskop sedangkan n adalah rasio trafo.^[9]

$$V_m = \frac{4 \times 135}{3,14} = 171,97 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = \frac{171,97}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} = 60,8 \text{ Volt}$$

Maka masukan rangkaian *triple LC* sebesar 60,8 volt dengan komponen RLC terukur adalah

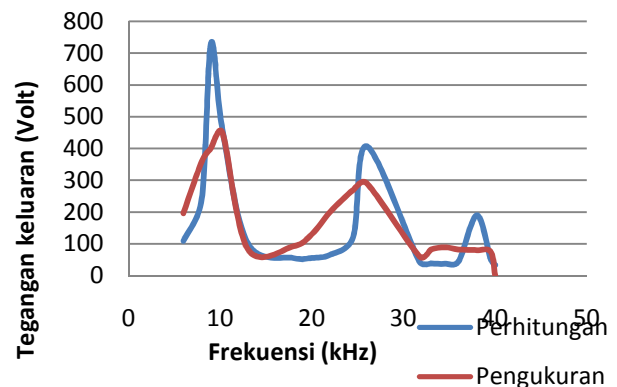
- Resistor = 12 kOhm
- Kapasitor = 90 nF
- Induktor = 0,62 mH

Dengan memasukkan nilai – nilai diatas ke Persamaan (1) maka didapat hasil seperti Tabel 2 :

Tabel 2 Perbandingan pengukuran dan perhitungan penguat tegangan

Frekuensi (kHz)	Pengukuran (Volt rms)	Perhitungan (Volt rms)
6	196	109,52
8	359	242,47
9	401	730,95
10,24	450	461,72
13	84	102,63
18	92	55,32
20	130	55,83
22	200	65,70
24,5	269	120,76
26	290	406,82
31,75	60	43,99
33	82	38,59
34,5	89	37,61
36	82	44,90
38	80	189,95
39,5	75	52,45

Dari tabel diatas didapat grafik sebagai berikut :



Gambar 17 Grafik perbandingan pengukuran dan perhitungan tegangan

Dari Gambar 17 terlihat perbedaan yang cukup tampak, baik frekuensi maupun tegangan. Perbedaan nilai tegangan perhitungan dan pengukuran ini terjadi karena disebabkan beberapa hal, yaitu :

- Pada proses pembuatan terjadi efek parasitik yang disebabkan pada penyambungan komponen menggunakan jalur PCB yang disolder. Ini dapat menimbulkan adanya penambahan nilai resistansi, kapasitansi dan induktansi. Hal tersebut dapat menimbulkan pergeseran nilai frekuensi sehingga nilai penguat tegangan juga berubah.
- Dalam alat ini juga banyak terjadi rugi-rugi sehingga mendapatkan nilai yang berbeda dari perhitungan.
- Pada perhitungan tegangan keluaran, tidak memperhitungkan nilai tegangan harmonisa yang terjadi, sedangkan pada alat ukur (osiloskop) sudah memperhitungkan tegangan tersebut.
- Pada komponen induktor tidak hanya memiliki nilai induktif melainkan memiliki nilai kapasitif dan resistif.
- Pada komponen kapasitor tidak hanya memiliki nilai kapasitif melainkan memiliki nilai induktif dan resistif.

3.2.2 Pengukuran Duty Cycle

Berikut ini adalah hasil pengukuran *duty cycle*

Tabel 3 Hasil pengukuran *duty cycle*

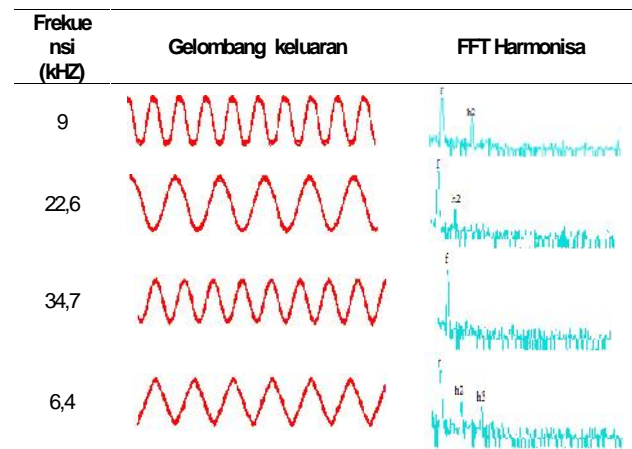
Frekuensi (kHz)	Duty Cycle (%)	Tegangan keluaran (V)
6	15	166,90
	20	206,51
	40	234,79
	50	246,11
9	15	353,61
	20	392,50
	40	410,18
	50	424,33
22	15	183,88
	20	212,16
	40	220,65
	50	222,77
26	15	76,38
	20	274,40
	40	297,03
	50	304,10
35	15	82,04
	20	84,87
	40	88,40
	50	90,52
36	15	26,52
	20	31,12
	40	34,65
	50	42,43

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa variasi *duty cycle* berbanding lurus dengan tegangan keluaran.

3.2.3 Perhitungan dan Pengukuran THD

Berikut ini adalah tabel gelombang keluaran dan harmonisa yang terjadi pada rangkaian *triple LC*

Tabel 4 Perbandingan pengukuran dan perhitungan penguat tegangan



Dari tabel dapat dilihat :

- Data pertama adalah harmonisa pada frekuensi 9 kHz dengan harmonisa yang terukur 3,5 %
- Data kedua adalah harmonisa pada frekuensi 22,6 kHz dengan harmonisa yang terukur 2,9 %
- Data ketiga adalah harmonisa pada frekuensi 34,5 kHz dengan harmonisa 0 %
- Data keempat adalah harmonisa pada frekuensi 6 kHz dengan harmonisa 2,9 %

3.2.4 Efisiensi (%)

Efisiensi ini dihitung dengan daya masukan inverter dan daya keluaran rangkaian *triple LC*

Tabel 5 Data Pengukuran daya masukan dengan daya keluaran

Frekuensi	Input			Output		
	Vac (Volt)	I (A)	Cos	Vac (Volt)	I (A)	Cos
9 kHz	22	4,48	1	141	0,56	1
26 kHz	22	1,82	1	68	0,5	1
34,5 kHz	22	2,75	1	77	0,23	1

Dari data diatas maka dapat dicari efisiensi sebagai berikut :

Tabel 6 Data daya masukan, keluaran dan efisiensi

Frekuensi	Daya Masukan	Daya Keluaran	Efisiensi
9 kHz	98,56 Watt	78,96 Watt	80,11 %
26 kHz	40,04 Watt	34 Watt	84,9 %
38 kHz	60,5 Watt	17,71 Watt	29,27 %

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat efisiensi terbaik terdapat pada frekuensi 26 kHz dengan 84,9 %.

4. Kesimpulan

1. Pada rangkaian *triple LC* memiliki 3 puncak gelombang saat frekuensi resonan pada frekuensi 9kHz, 26kHz dan 38 kHz, dengan bentuk gelombang keluaran sinus.
2. Rangkaian *triple LC* pada puncak pertama mempunyai karakteristik tegangan keluaran sebesar 401 Volt, THD sebesar 3,5%, dan efisiensi 80,11%
3. Rangkaian *triple LC* pada puncak kedua mempunyai karakteristik tegangan keluaran sebesar 290 Volt, THD sebesar 2,9%, dan efisiensi 84,9%
4. Rangkaian *triple LC* pada puncak ketiga mempunyai karakteristik tegangan keluaran sebesar 89 Volt, THD sebesar 0%, dan efisiensi 29,27%
5. Pada saat rangkaian *triple LC* dioperasikan diluar frekuensi resonansi atau diluar ketiga puncak, gelombang menjadi tidak sinus dan penguatan tegangan menjadi tidak maksimal.
6. Pengaruh pengaturan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran rangkaian *triple LC* berbanding lurus. Semakin kecil *duty cycle* maka tegangan keluaran semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin besar *duty cycle* semakin besar tegangan keluarannya.
7. Dari ketiga puncak frekuensi resonan pada rangkaian *triple LC* maka untuk frekuensi yang optimal adalah berkisar antara 22 kHz – 26 kHz, karena pada range frekuensi ini memiliki efisiensi terbesar dan memiliki gelombang sinus lebih lebar rangenya.

Referensi

- [1]. Rashid, Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*, 2nded., Prentice Hall International, United States, 1993.
- [2]. Ramadhani. Mohamad, S.T., M.T., *Rangkaian Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2008.
- [3]. Hendrawan, Alvian Dwi, *Analisis Filter Seri-Paralel Dalam Rangkaian Inverter Frekuensi Tinggi Penaik Tegangan*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [4]. Nugraha, Dionisius V., *Analisis Inverter Dual Resonan Sebagai Catu Daya Lampu LED*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [5]. Ilmanda, Hermawan, *Pembuatan Catu Daya Arus DC Menggunakan Topologi Inverter Jembatan Penuh dan Penyearah*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [6]. Luo, Fang Lin, Hong Ye. *Advanced DC/DC Converters*. CRC PRESS. Florida. 2004.
- [7]. Kazimierczuk Marian K, Czarkowski Darius. *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc., United States, 1995.
- [8]. Zuhul, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta, 1995.
- [9]. Mohan, Ned, T.M. Undeland, and W.P. Robbins, *Power Electronics: Converters Applications, and Design 2nded.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.
- [10]. Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems 5thed.*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2002.
- [11]. Arrillaga, J, N.R. Watson, *Power System Harmonics 2nded.*, John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [12]. McLyman, Colonel Wm. *Transformer and Inductor Design Handbook 3rdedition, Revised and Expanded*, United States of America. 2004.
- [13]. Margaranu, Fitria Panji. *Simulasi dan Analisis Load Resonant & Quasi Resonant Dc–Dc Converters Dengan Psim Versi 4.1*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [14]. Ariwibowo, Cahyo, *Perancangan Inverter Dual Conversion Push-Full Bridge Pada Aplikasi Fotovoltaik*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [15]. <http://www.alldatasheet.com/>
- [16]. Pratama, Sandi Pandu, *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Untuk Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [17]. Edminister, Joseph A, Mahmood Navi, *Rangkaian Listrik Edisi keempat*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2003.