

DETEKSI WAKTU TUNDA UNTUK MEMPEROLEH ZERO VOLTAGE SWITCHING PADA KONVERTER DC-DC INTERLEAVED FLYBACK 500 W/ 225V YANG MENGGUNAKAN KLEM AKTIF POSITIF

Andriyatna Agung Kurniawan ¹⁾, Eka Firmansyah ²⁾, F. Danang Wijaya ³⁾

^{1),2),3)}Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2 Yogyakarta
Email : andriyatna.sie14@mail.ugm.ac.id

Abstrak. Penggunaan rangkaian klem aktif selain menawarkan pemulihan energi yang bocor juga memberikan dampak yang mengarah pada losses pensaklaran. Deteksi waktu tunda untuk memperoleh zero voltage switching (ZVS) pada konverter flyback interleaved yang menggunakan klem aktif positif telah diusulkan untuk mengatasi losses pada pensaklaran yang terjadi akibat resonansi komponen kapasitor klem dan induktansi bocor. Pada penelitian ini disimulasikan rangkaian Konverter interleaved flyback 500W/ 225V yang menggunakan klem aktif positif dengan deteksi waktu tunda PWM. Hasil dari simulasi didapat efisiensi tertinggi pada saat waktu tunda 0.4 μ S dengan besar 91.25 %.

Kata kunci : ZVS, interleaved, flyback, switch, delay .

1. Pendahuluan

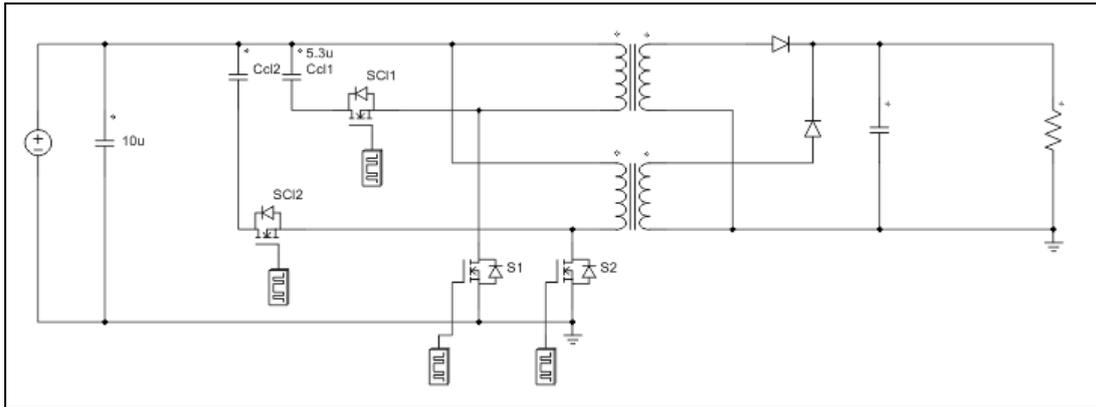
Konverter dengan topologi *flyback* lebih menarik digunakan karena *flyback* relatif lebih simpel dibandingkan topologi lainnya [1]. Selain lebih simpel topologi *flyback* juga menawarkan biaya produksi yang lebih rendah. Untuk mengurangi ukuran konverter digunakanlah frekuensi pensaklaran yang tinggi, meskipun frekuensi pensaklaran yang rendah memiliki efisiensi energi yang lebih baik [2]. Kekurangan dari topologi ini adalah adanya kebocoran induktansi yang menyebabkan tegangan kejut. Untuk mengatasi tegangan kejut para peneliti sering menambahkan rangkaian *snubber* maupun rangkaian klem. Rangkaian klem aktif digunakan pada banyak konverter. Dengan klem aktif kebocoran energi dapat dipulihkan dan tegangan kejut pada saklar dapat dijepit [3]. Tanpa penggunaan rangkaian klem aktif kebocoran energi dari trafo menyebabkan tegangan kejut yang tinggi pada MOSFET akibat fenomena resonansi yang terjadi antara kebocoran energi dan kapasitansi pada MOSFET [4].

Rangkaian klem aktif menggunakan komponen pasif berupa kapasitor dan komponen aktif berupa *switch*. Dalam pemasangannya komponen kapasitor pada rangkaian klem aktif akan beresonansi dengan komponen induktor pada trafo (L_{Lkg}). Resonansi ini menyebabkan arus kejut yang tinggi sehingga mengarahkan pada timbulnya *losses* [4]. Kondisi ini dapat diatasi menggunakan *Zero Voltage Switching* (ZVS) dengan mengatur waktu tunda kondisi nyala dan mati dari saklar utama dan saklar klem pada rangkaian. Pada penelitian ini waktu tunda dideteksi untuk memperoleh *Zero Voltage Switching* (ZVS). Paper terdiri dari pendahuluan, pembahasan, simulasi, dan kesimpulan.

2. Pembahasan

2.1. Interleaved Flyback Converter

Prinsip dasar dari *interleaved flyback converter* adalah beberapa konverter yang disusun secara paralel sehingga setiap fase konverter berselingan satu sama lain. Jika dua fase konverter yang digunakan, kemudian masing-masing dioperasikan 180° tertinggal dari fase yang lain (yaitu saklar utama dari setiap konverter memiliki sinyal gerbang yang sama dengan yang lain, tetapi digeser oleh 180° di siklus *switching*). Setiap konverter dioperasikan dengan cara yang sama dengan pengaturan *interleaved* terdiri dari dua *flyback* konvensional [5].



Gambar 1. Rangkaian *interleaved flyback* dengan klem aktif

Gambar 1. Menunjukkan rangkaian *interleaved flyback* dengan klem aktif. Dalam langkah perancangan konverter *interleaved flyback* yang perlu ditentukan terlebih dahulu adalah nilai nilai dari D , N_p dan N_s yang tertuang dalam rumus :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N_s}{N_p} \times \frac{D}{1-D} \dots\dots\dots(1)$$

D merupakan *duty cycle* yang bekerja pada MOSFET, N_p dan N_s merupakan jumlah lilitan pada sisi primer dan sekunder trafo.

Dalam menentukan desain induktor perlu ditentukan terlebih dahulu arus input (i_{in}) yang bekerja dimana diperoleh dengan rumus :

$$i_{in} = \frac{P_{out}}{V_{in} \times \eta} \dots\dots\dots(2)$$

P_{out} adalah daya keluaran yang diinginkan, V_{in} adalah tegangan DC masukan dan η adalah efisiensi yang diharapkan. Dari persamaan tersebut maka dapat ditentukan besarnya magnetisasi induktansi (L_m) yang bekerja pada trafo yaitu dengan persamaan :

$$L_m = \frac{V_{in}}{\Delta i_{in}} \times \frac{D}{f_s} \dots\dots\dots(3)$$

f_s merupakan frekuensi switching yang bekerja pada MOSFET.

2.2. Rangkaian Klem Aktif

Fungsi utama dari rangkaian klem aktif adalah untuk memulihkan kebocoran energi dari trafo tanpa menyebabkan kondisi tegangan berlebih [4]. Tanpa adanya rangkaian klem aktif, tegangan kejut yang ditimbulkan akibat kebocoran induktansi dapat berdampak pada rusaknya MOSFET. Pada umumnya mengatasi dampak tegangan kejut tersebut dapat diatasi dengan rangkaian snubber, tetapi efek samping dari rangkaian snubber adalah penurunan efisiensi [4].

Dari besarnya induktansi bocor L_{Lkg} dapat diperoleh persamaan untuk mencari besarnya kapasitor klem yang ditunjukkan :

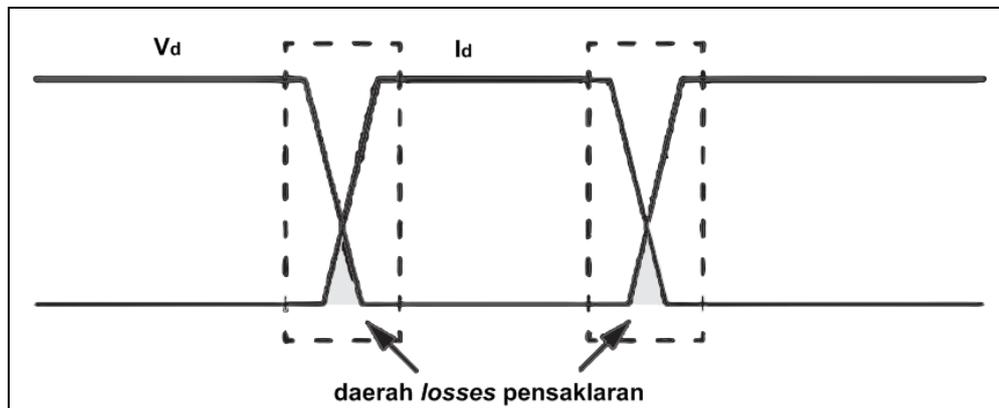
$$C_{cl} \geq \frac{(1-D)^2_s}{\pi^2 \cdot L_{kg} \cdot f_s^2} \dots\dots\dots(4)$$

Saklar yang digunakan pada rangkaian klem aktif sama dan identik dengan saklar yang digunakan sebagai *switch* utama konverter *flyback*.

2.3. Rangkaian Pembentuk Waktu Tunda dan ZVS

Untuk mengurangi *losses* pensaklaran, teknologi *soft switching* dapat mengurangi terjadinya lonjakan tegangan dan arus sehingga efektif dalam meringankan masalah gangguan elektromagnetik serta meningkatkan kehandalan rangkaian [6].

Penggunaan rangkaian klem aktif yang berfungsi untuk memulihkan kebocoran induktansi juga masih memiliki kelemahan berupa *losses* pada pensaklaran. Hal ini ditimbulkan karena adanya resonansi komponen kapasitor klem C_{cl} dan induktansi bocor L_{Lkg} . Dampak resonansi tersebut menimbulkan pergeseran waktu *on* dan *off* saklar.

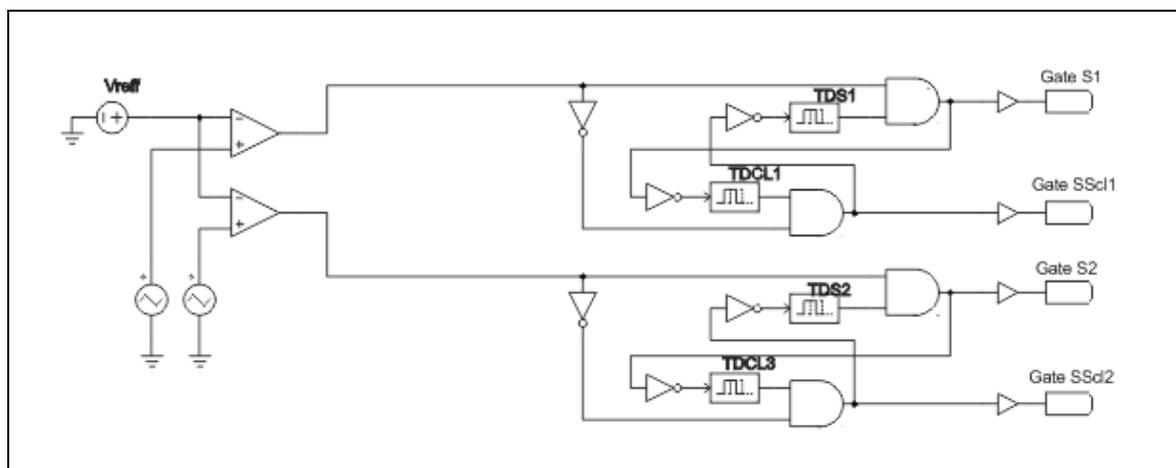


Gambar 2. Losses yang timbul akibat resonansi kapasitor dan induktor.

Dari nilai kapasitor klem dan induktansi bocor dapat kita hitung besarnya waktu tunda maksimal *delay* [4]. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$T_{und-max} = \sqrt{L_{Lkg} + C_{cl}} \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(5)$$

Pada rangkaian *interleaved flyback* waktu tunda dapat diimplementasikan dengan menambah rangkaian pembantu (*auxiliary*) pada *flyback* dan juga dengan mengatur kontrol PWM. Pada penelitian ini pengaturan waktu tunda dilakukan dengan mengatur kontrol PWM. Gambar 3. Merupakan gambar dari rangkaian kontrol pengatur waktu tunda PWM.



Gambar 3. Rangkaian pembentuk waktu tunda PWM.

3. Simulasi

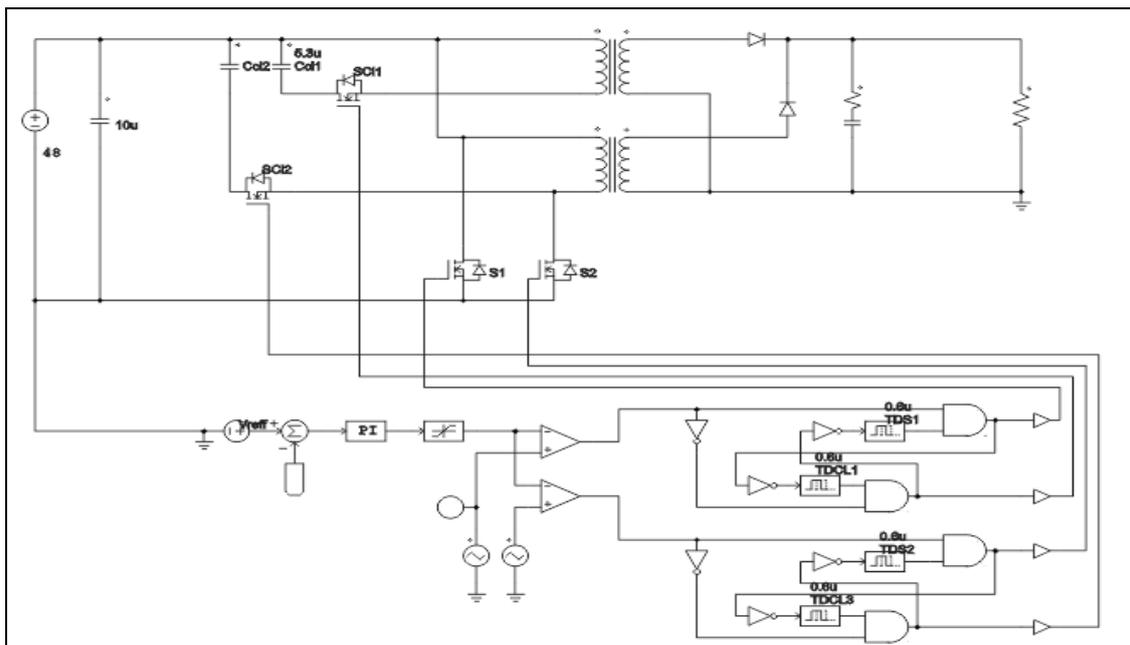
Pada penelitian ini disimulasikan pengaruh waktu tunda terhadap perubahan efisiensi sistem. Table 1. Menunjukkan parameter komponen-komponen yang dikerjakan dalam simulasi. Pada simulasi digunakan komponen-komponen ideal seperti trafo dan MOSFET. Pada tabel 1., parameter no 1, 3, 5, dan 7 ditetapkan, sedangkan no 2 diperoleh dari perhitungan rumus (1) ,no 6 diasumsikan 2 % dari perhitungan rumus (3) dan no 8 dari perhitungan rumus (4).

Tabel 1. Parameter Rangkaian Simulasi

No	Komponen	Nilai dan satuan
1	Vdc	48 V
2	N (rasio)	10:50
3	D (<i>duty cycle</i>)	0.5
4	S1, S2, Scl1, Scl2	N-MOSFET (ideal)
5	C _{in}	10 μF
6	L _{LKG}	0.1 μH
7	C _{out}	25 μF
8	C _{Cl}	5.3 μF

Dari persamaan (5) diperoleh besarnya waktu tunda maksimal sebesar 1.14 μS. Dari waktu tunda maksimal tersebut disimulasikan dengan mengambil tujuh waktu tunda yang berbeda dari 0 S (tanpa tunda) hingga waktu maksimal tunda yaitu 1.14 μS. hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai waktu tunda yang lebih optimal.

Gambar 4. Menunjukkan rangkaian sistem yang disimulasikan dengan bantuan *software* PSIM. Tabel 2. Menunjukkan hasil perbandingan simulasi dengan waktu tunda dari 0 S – 1.14 μS.



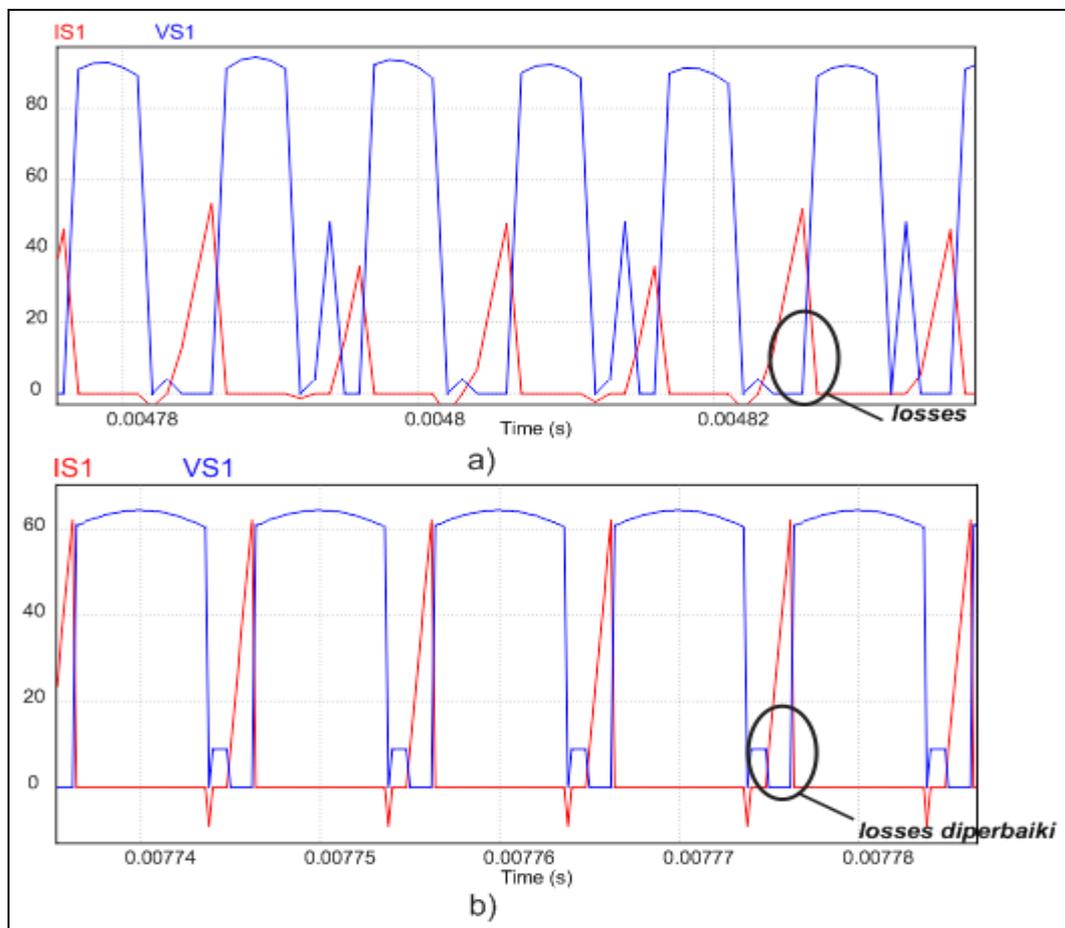
Gambar 4. Rangkaian simulasi *interleaved flyback* menggunakan klem aktif dengan kontrol delay PWM.

Dengan menggunakan parameter pada Tabel 1., untuk rangkaian klem aktif *interleaved flyback* diperoleh tegangan keluaran $V_{out} = 225 \text{ V}$ dan daya keluaran $P_{out} = 500 \text{ W}$. Dari rangkaian klem aktif *interleaved flyback* ditambahkan rangkaian kontrol waktu tunda PWM seperti Gambar 4. Maka diperolehlah beberapa perbandingan nilai efisiensi dari rentang waktu tunda $0 \text{ S} - 1.14 \mu\text{S}$ yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Perbandingan Hasil Simulasi klem aktif interleaved flyback dengan kontrol waktu tunda dan tanpa waktu tunda.

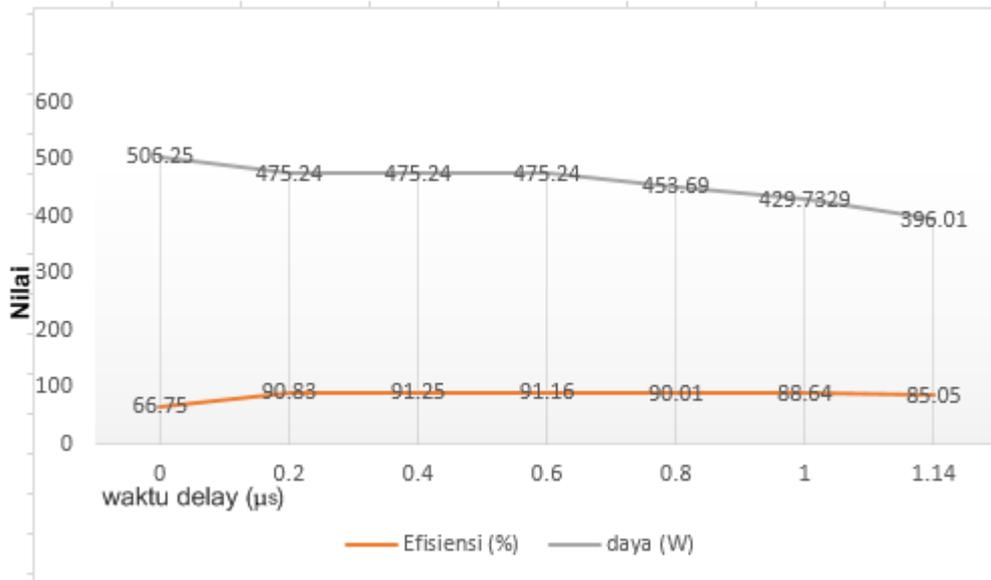
No.	Waktu Delay (μs)	P_{in}	P_{out}	Efisiensi
1	0	758.4	506.25	66.75%
1	0.2	523.2	475.24	90.8%
2	0.4	520.8	475.24	91.25%
3	0.6	521.28	475.24	91.16%
4	0.8	504	453.69	90%
5	1	484.8	429.73	88.64%
6	1.14	465.6	396	85%

Perubahan kurva tegangan dan arus pada saklar utama ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6. Ditunjukkan perbandingan kondisi kurva tegangan dan arus pada saat pensaklaran dengan menggunakan waktu tunda (b) dan tanpa waktu tunda (a).



Gambar 6. Diagram arus dan tegangan pada Saklar utama. (a) tanpa waktu *delay* . (b) dengan waktu *delay*.

Penambahan rangkaian kontrol waktu *delay* PWM memiliki dampak positif pada peningkatan efisiensi daya yang dihasilkan oleh sistem konverter. Peningkatan efisiensi dengan kontrol waktu *delay* PWM ditunjukkan hasilnya dengan grafik pada Gambar 7. Gambar 7. Merupakan grafik hasil perbandingan efisiensi terhadap waktu *delay*.



Gambar 7. Grafik perubahan efisiensi terhadap waktu *delay* PWM.

Pada grafik yang disajikan Gambar 7., diketahui bahwa efisiensi tertinggi diperoleh saat waktu delay 0.4 μs sebesar 91.25 % pada daya keluaran 475 W. Penurunan daya keluaran dari 500 W menjadi 475 terjadi akibat adanya pergeseran kurva tegangan dan arus untuk beroperasi ZVS.

4. Simpulan

Mengatasi tegangan kejut akibat kebocoran induktansi dengan rangkaian klem aktif dipercaya dapat memulihkan energi yang bocor akan tetapi berdampak kepada *losses* yang lain yaitu pada proses pensaklaran. Dampak tersebut dapat diminimalisir dengan membuat *Zero Voltage Switching* (ZVS) pada pola pensaklarannya.

Pada penelitian ini telah diusulkan rangkaian pembentuk waktu tunda PWM untuk konverter *interleaved flyback dc-dc* dengan klem aktif untuk mencapai kondisi ZVS. Waktu tunda maksimal yang diperoleh adalah 1.14 μs . Rangkaian disimulasikan dengan range waktu tunda 0 S - 1.14 μs diperoleh hasil efisiensi tertinggi yaitu sebesar 91.25% saat waktu tunda 0.4 μs pada daya keluaran 475 W.

Daftar Pustaka

- [1]. R. Watson, G. C. Hua, F. C. Lee, "Characterization of an active clamp flyback topology for power factor correction applications," IEE Trans. Power Electron., vol.11, no.1, pp.191-198, Jan. 1996.
- [2]. H. Pinheiro, P. K. Jain, and G. Joos, "A Comparison of UPS for Powering Hybrid Fiber/Coaxial Networks," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 17, no. 3, pp. 389-397, May 2002.
- [3]. W. Li, J. Shi, M. Hu, X. He., "An Isolated Interleaved Active-Clamp ZVT Flyback-Boost Converter with Coupled Inductors", IEEE European Conference on Power Electronics and applications. 2007.
- [4]. P. Kaur T., "Design of Low Voltage Active Electric Accumulator With Integrated DC-DC Converter for Control and Protection," A Thesis MCMMASTER UNIVERSITY CANADA, June 2014.
- [5]. Mukherjee, "Single Stage Flyback Micro-Inverter for Solar Energy Systems," 2013.
- [6]. H. Liang Cheng, Y. Nong Chang, H. Chenyen, "A Novel Interleaved Flyback – Typed Converter with ZVS Operation," 2016.