

Reduksi Rugi-Rugi Pensaklaran Pada Konverter *Dc-Dc* Zeta Dengan Teknik *Zero Voltage Transition*

Anung¹, Givy Devira Ramady², Muchamad Sobri Sungkar³, Yoddy Agung Nuhgraha⁴, Agung Wirjawan⁵

^{1,2,5}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung

³Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Harapan Bersama, Tegal

⁴Jurusan Teknik Mesin, Politeknik TEDC, Cimahi

^{1,2,5}Jln. Soekarno-Hatta no 597, Kota Bandung, 40284, Indonesia

³Jln.Mataram No 9, Kota Tegal, 52147, Indonesia

⁴Jln.Pesantren KM.2, Kota Cimahi, Indonesia

email: ¹ anungstmt@gmail.com, ² givy.d.ramady@gmail.com, ³ sobrisungkar@gmail.com, ⁴ yan_nuhgraha@poltektedc.ac.id,
⁵ agung.wrwan@gmail.com

Abstract – This paper presents a dc-dc ZETA converter with reduced switching losses at the main switch. Reducing switching losses is obtained by application of a resonance switch, where turn-on by the zero voltage and rising voltage at turn-off is limited by capacitor that it's placed parallel with main switch. The operational principle of the proposed dc-dc ZETA converter with reduced switching losses has been analyzed under different modes of switching operation. To validate the proposed converter, the implementation is carried out using PSIM software. Simulation result shows that the main switch turn-on at the zero voltage and turn-off at the main switch voltage increase in a quadratic function, so that the result of the voltage and current multiplying is lower, on the other hand the losses of the main switch can be reduced.

Keywords: ZETA converter, switching losses, Zero voltage, switching transition

Abstrak – Makalah ini menyajikan konverter dc-dc ZETA dengan reduksi rugi pensaklaran pada saklar utama. Pengurangan rugi pensaklaran diperoleh dengan aplikasi saklar resonan, dimana sewaktu turn-on tegangan nol dan kenaikan tegangan sewaktu turn-off dibatasi oleh kenaikan tegangan kapasitor yang diletakkan parallel dengan saklar utama. Prinsip kerja dari konverter dc-dc ZETA dengan pengurangan rugi pensaklaran telah dianalisis pada mode operasi pensaklaran yang berbeda. Untuk memvalidasi konverter yang diusulkan, implementasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saklar utama turn-on tegangan nol dan kenaikan tegangan sewaktu turn-off dibatasi oleh kapasitor, dengan kata lain rugi energy sewaktu turn-on dan turn-off dapat dikurangi.

Kata Kunci : Konverter ZETA, Rugi-rugi pensaklaran, Tegangan Nol, Transisi pensaklaran

I. PENDAHULUAN

Dc-dc konverter banyak digunakan pada catu daya tegangan mode pensaklaran dan sebagai penggerak motor dc.

Tegangan masukan ke konverter merupakan tegangan dc yang tidak diatur. Tegangan dc tersebut merupakan hasil penyearahan tegangan ac, yang berfluktuasi akibat perubahan tegangan jala-jala. Catu daya dc mode pensaklaran digunakan untuk mengkonversikan tegangan dc masukan yang tidak teregulasi menjadi tegangan keluaran dc yang terkendali.

Berdasarkan tegangan keluaran untuk dc-dc konverter yang tidak terisolasi elektrik dapat dikelompokkan menjadi lima jenis yaitu : penurun tegangan (*buck*) konverter, penaik tegangan (*boost*) konverter, penaik-penurun tegangan (*buck-boost*) konverter, Cuk konverter, ZETA konverter, SEPIC konverter dan *Full-bridge* konverter.

Efisiensi dari dc-dc konverter idealnya 100% sehingga daya keluaran dan daya masukan sama, atau dengan kata lain tidak terjadi daya yang hilang pada konverter. Kenyataannya secara praktis, efisiensi dari konverter lebih kecil dari 100%.

Untuk menghasilkan konverter dc ke dc dengan kerapatan daya yang tinggi, maka frekuensi pensaklaran dinaikan. Naiknya frekuensi pensaklaran maka keperluan akan komponen reaktif menjadi kecil, akan tetapi akibatnya daya yang diserap oleh saklar semikonduktor menjadi tinggi, terutama sewaktu *turn-on* dan *turn-off*. Dimana proses sewaktu *turn-on* adalah pertama-tama arus naik setelah itu diikuti tegangan turun, begitupun juga sewaktu *turn-off* arus turun kemudian tegangan naik, sehingga terjadi persilangan antara arus dan tegangan sewaktu transisi. Besar kecilnya persilangan antara arus dan tegangan menunjukkan besar kecilnya daya listrik yang diserap oleh komponen saklar semikonduktor. Pada waktu beban naik persilangan tersebut semakin tinggi sehingga saklar semikonduktor mengalami pemanasan berlebih, untuk menstabilkan temperaturnya jangan sampai terjadi kerusakan pada saklar semikonduktor maka diperlukan pendingin, akibatnya bobot dari konverter menjadi naik atau dengan kata lain Watt/kg menurun disamping itu pun juga akan menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi secara keseluruhan.

Dengan rendahnya efisiensi dari konverter maka daya listrik yang dapat dimanfaatkan oleh beban akan berkurang. Untuk waktu yang lama, energi listrik yang hilang pada saklar semikonduktor tidak dapat diabaikan, apalagi dalam cakupan wilayah yang luas, misalnya untuk seluruh

Indonesia. Salah satu alternatif pemecahan masalah yang mungkin dilakukan adalah dengan merencanakan lintasan arus dan tegangan pada saklar semikonduktor sewaktu transisi *turn-on* maupun sewaktu *turn-off*.

Pada makalah ini disajikan penerapan *zero voltage transition* (ZVT) pada saklar utama (S_u) untuk konverter dc-dc Zeta.

*) **penulis korespondensi:** Anung
Email: anungstmt@gmail.com

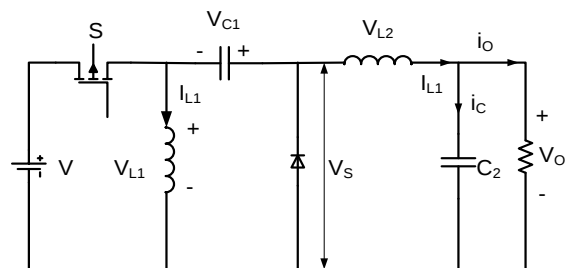
II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Penelitian terkait atau penelitian terdahulu adalah salah satu acuan bagi peneliti dalam melakukan penelitian. Beberapa penelitian terkait yang digunakan sebagai bahan referensi dalam penelitian ini diantaranya adalah: -pada referensi [1] telah dilakukan penelitian mengenai simulasi konverter Zeta pada operasi konduksi kontinyu; -pada referensi [2] telah dilakukan analisis, perancangan dan implementasi pensaklaran-tegangan nol pada konverter penurun tegangan; -pada referensi [3] telah dilakukan perancangan *Zeta Converter* pada pelacakan titik daya maksimum *photovoltaic* menggunakan algoritma modifikasi *hill climbing*; -pada referensi [4] telah dilakukan penelitian mengenai Perancangan Zeta Converter Yang Dilengkapi Power Factor Correction Pada Aplikasi Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC.; dan -pada referensi [7] telah dilakukan penelitian mengenai implementasi pensaklaran tegangan nol untuk konverter *Sepic/Zeta*

III. PERANCANGAN SISTEM

3.1. Konverter dc-dc Zeta Pada Konduksi Kontinyu

Topologi rangkaian konverter dc-dc Zeta telah dibahas pada referensi [1] sampai referensi [9] dan gambar rangkaian diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian daya konverter as-as Zeta

Pada gambar 2, ditunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus untuk kondisi konduksi kontinyu.

Selama saklar konduksi arus I_{L1} dan arus I_{L2} mengalir melalui saklar, dioda tidak konduksi karena dibias terbalik. Tegangan V_{L1} sama dengan V dan tegangan V_{L2} sama dengan $V + V_{C1} - V_o$, tegangan tersebut menyebabkan arus pada induktor L_1 dan induktor L_2 naik secara linier. Sewaktu saklar di-off-kan arus I_{L1} dan arus I_{L2} tetap mengalir karena terdapatnya energy yang tersimpan di induktor L_1 dan induktor L_2 dan arus ini sekarang mengalir melalui diode.

Karena diode D konduksi kontinyu maka tegangan $V_{L1} = V_{C1}$ dan tegangan $V_{L2} = -V_o$ selama interval off.

Dalam keadaan tunak tegangan rata-rata pada induktor L_2 dan pada induktor L_2 sama dengan nol untuk satu periode pensaklaran, maka:

a. Persamaan tegangan rata-rata di induktor L_1 adalah

$$\int_0^{T_s} V_{L1} dt = \int_0^{t_{on}} V_{L1} dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_{L1} dt = 0 \quad (1)$$

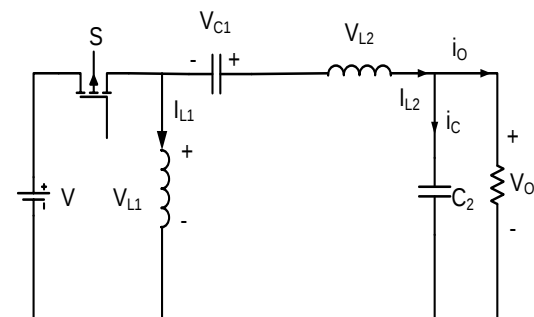
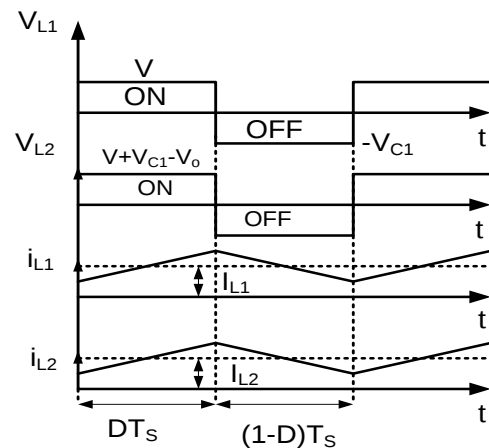
Dengan definisi: $T_s = t_{on} + t_{off}$, $D = t_{on}/T_s$, $t_{on} = DT_s$ dan $t_{off} = (1-D)T_s$

Dari persamaan (1) dan berdasarkan gambar 2. maka persamaan tegangan rata-rata di L_1 adalah:

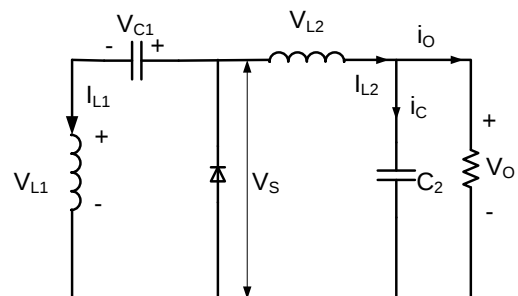
$$\int_0^{DT_s} V dt + \int_0^{(1-D)T_s} (-V_{C1}) dt = 0 \quad (2)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (2) maka diperoleh

$$\frac{V_{C1}}{V} = \frac{D}{1-D} \quad (3)$$



(a) Rangkaian ekivalen selama saklar ON



(b) Rangkaian ekivalen selama saklar OFF

Gambar 2. Bentuk gelombang arus dan tegangan dari konverter dc-dc Zeta

b. Tegangan rata-rata di induktor L_2 adalah

$$\int_0^{DT_s} (V + V_{C1} - V_o) dt + \int_0^{(1-D)T_s} (-V_o) dt = 0 \quad (4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke dalam persamaan (4), setelah diuraikan maka diperoleh:

$$\frac{V_o}{V} = \frac{D}{1-D} \quad (5)$$

Dengan mengasumsikan tidak terjadi rugi-rugi pada konverter, maka hubungan arus keluaran dan arus masukan diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{P_{in}}{I_{in}} = \frac{P_{out}}{I_o} = \frac{(1-D)}{D} \quad (6)$$

3.2 Rugi-rugi energy pada saklar semikonduktor

Rugi-rugi energy pada saklar semikonduktor terdiri dari rugi-rugi dalam keadaan statis yaitu dalam keadaan konduksi dan tidak konduksi dengan rugi-rugi pada waktu komutasi atau transisi dari keadaan konduksi ke keadaan tidak konduksi dan sebaliknya [10-11]. Rugi-rugi tersebut dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$W_{saklar} = W_{statis} + W_{transisi} \quad (7)$$

$$W_{statis} = \int_0^{t_{on}} i_{on}(t) v_{sisa} dt + \int_0^{t_{off}} i_{sisa}(t) v_{off}(t) dt \quad (8)$$

$$= t_{on} I_{on} V_{sisa} + t_{off} I_{sisa} V_{off}$$

$$= DT_s I_{on} V_{sisa} + (1-D) T_s I_{sisa} V_{off}$$

$$W_{transisi} = \int_{turn-on} i(t) v(t) dt + \int_{turn-off} i(t) v(t) dt \quad (9)$$

Rugi daya rata-rata pada saklar semikonduktor dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$P_{rugi} = \frac{W_{rugi}}{T_s} \quad (10)$$

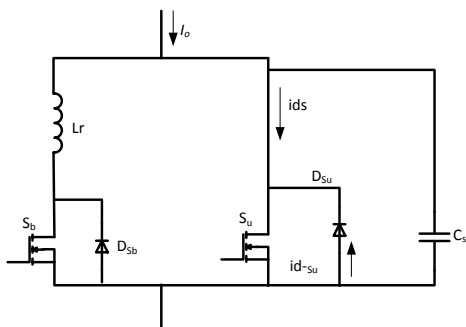
Jumlah rugi daya yang hilang selama konduksi dan tidak konduksi dengan rugi daya selama transisi adalah :

$$P_{rugi} = DI_{on} V_{sisa} + (1-D) i_{sisa} V_{off} + W_{transisi} F_s \quad (11)$$

Dari persamaan (11) terlihat bahwa rugi transisi proporsional dengan frekwensi pensaklaran sehingga pada frekwensi tinggi rugi pensaklaran didominasi oleh rugi transisi.

3.3. Saklar transisi tegangan nol

Saklar transisi tegangan nol ditunjukkan pada gambar 3 di bawah ini

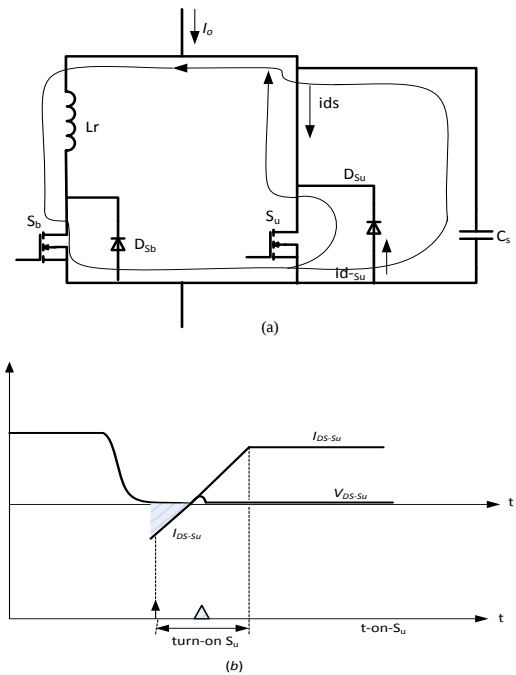


Gambar 3 Topologi rangkaian saklar transisi tegangan nol

Penjelasan kerja dari rangkaian pada gambar 3 adalah

a. Proses *turn-on*

Sebelum saklar S_u di-on-kan terlebih dahulu saklar S_b di-on-kan. Dengan di-on-kan-nya saklar S_b maka terjadi resonansi antara kapasitor C_s dan induktor L_r . tegangan pada kapasitor *snubber* V_{cs} , menurun menuju nol dan arus resonansi mengalir melalui C_s . sewaktu tegangan V_{cs} sama dengan nol arus resonansi mengalir melalui diode D dan tegangan V_{ds} dibatasi sama dengan nol, saklar S_u di-on-kan diantara internal konduksi-nya diode D pada kondisi tegangan nol, setelah itu kemudian saklar S_b di-off-kan. Rangkaian ekuivalen untuk proses *turn-on* dan pulsa diagram dari saklar transisi tegangan nol diperhatikan pada gambar 4.

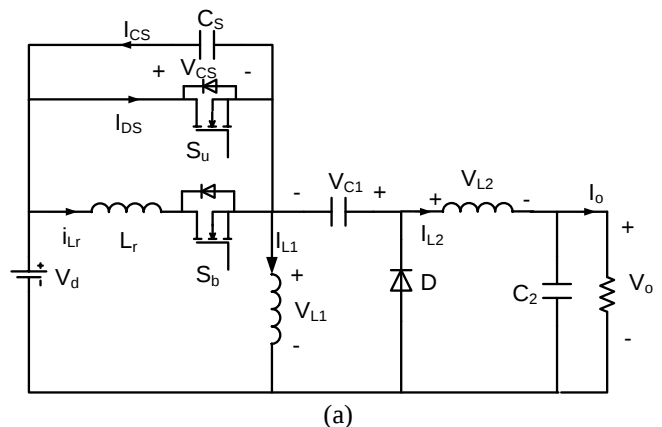


Gambar 4. Proses *turn-on* dari saklar transisi tegangan nol:

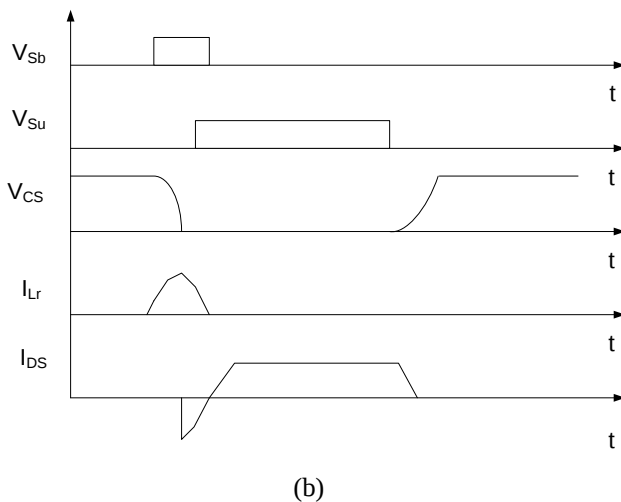
(a) rangkaian ekuivalen

(b)Pulsa diagram tegangan dan arus pada saklar S_u saat *turn-on*

Topologi rangkaian dan pulsa diagram untuk konverter dc-dc Zeta yang diusulkan, ditunjukkan pada gambar 5.



(a)

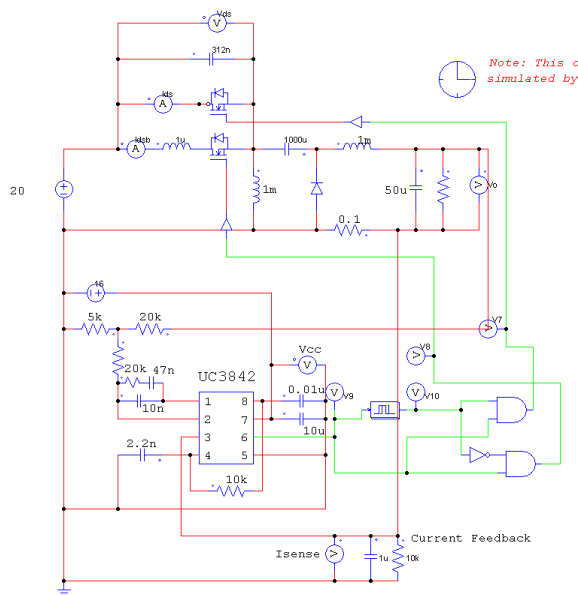


Gambar 5 Konverter dc-dc Zeta

- (a) Saklar transisi tegangan nol (ZVT)
(b) Pulsa diagram untuk saklar (ZVT)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memvalidasi rangkaian yang diusulkan maka dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Gambar rangkaian pengujian ditunjukkan pada gambar 6.

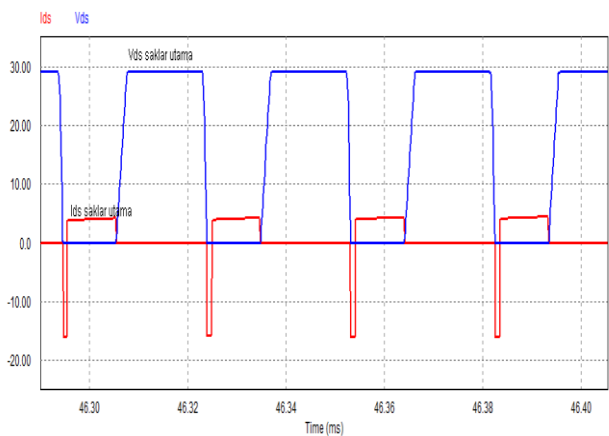


DIL-8, SOIC-8 (TOP VIEW)
J or N Package; D8 Package

- | | |
|-----------|-----------|
| 1: COMP | 8: VREF |
| 2: VFB | 7: VCC |
| 3: ISENSE | 6: OUTPUT |
| 4: RT/CT | 5: GROUND |

Gambar 6. Rangkaian konverter dc-dc Zeta yang dilengkapi dengan Zero Voltage Transition (ZVT)

Bentuk gelombang arus dan tegang pada saklar utama ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. Bentuk gelombang tegangan dan arus pada saklar utama

Dari gambar 7 terlihat bahwa saklar utama melakukan pensaklaran transisi tegangan nol sewaktu *turn-on*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa saklar utama dari konverter dc-dc Zeta melakukan transisi tegangan nol sewaktu *turn-on*. Arus negatif pada saklar utama menunjukkan bahwa arus tersebut mengalir melalui dioda di dalam MOSFET dan selanjutnya mosfet tersebut di-on-kan dalam keadaan tegangan nol. Sedangkan saklar tersebut meakukan *turn-off* dimana kenaikan tegangannya dibatasi oleh kenaikan tegangan pada kapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sujo Oommen, Adithya Ballaji, Burri Ankaiah, and Ananda M H, "Zeta Converter Simulation For Continuous Current Mode Operation," IJARET, Volume 10, Issue 1, pp. 243-248, 2019
- [2] Irfan Jamil, Zhao Jinquan and Rehan Jamil, "Analysis, Design And Implementation Of Zero-Current-Switching Resonant Converter Dc-Dc Buck Converter", International Journal of Electrical and Electronics Engineering (IJEEE), Vol. 2, Issue 2, pp. 1-12, 2013
- [3] Irwan Mahmudi, Jumiyatun, Baso Mukhlis, Lukman, "Perancangan Zeta Converter Pada Pelacakan Titik Daya Maksimum Photovoltaic Menggunakan Algoritma Modifikasi Hill Climbing," Jurnal Ilmiah Foristek Jurusan Teknik Elektro UNTAD Vol 11, No. 1, Maret 2021
- [4] Adhika Prajna Nandiwardhana, Heri Suryoatmojo, Dan Mochamad Ashari, "Perancangan Zeta Converter Yang Dilengkapi Power Factor Correction Pada Aplikasi Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC," Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, 2016
- [5] Ashvini Admane and Dr.Harikumar Naidu, "Analysis And Design Of Zeta Converter," International Journal For Innovative Research In Multidisciplinary Field Volume - 4, Issue - 4, 2018
- [6] J. Gnanavadeivel et al, "Design and implementation of zeta converter for LED driver applications," J. Phys.: Conf. Ser. 2325 012037, 2022
- [7] Venmathi Mahendran and Ramaprabha Ramabadran, "Implementation Of Zero Voltage Switched Sepic/Zeta Bidirectional Converter For Low Power Applications Using Fpga," Turk J Elec Eng & Comp Sci 25: 319 – 336, 2017
- [8] Mrs. J Jency Josepha, Dr. F.T.Josh, Ronaldo Lamare, Blessen Varghese Mathew, "Analysis of Power Electronic Converters for

- Electric Vehicle Applications*,” Journal of Physics: Conference Series **1362** (2019) 012104
- [9] Mohamed Salem¹, Awang Jusoh², Nik Rumzi Nik Idris³, Tole Sutikno⁴, Yonis. M. Yonis Buswig⁵, “*Phase-shifted Series Resonant Converter with Zero Voltage Switching Turn-on and Variable Frequency Control*,” International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 8, No. 3, September 2017, pp. 1184~1192
- [10] Syafruddin, R., et al. "Brush DC Geared Servomotor Control with Microcontroller." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1933. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [11] Syafruddin, R., et al. "Conventional Switching to Drive A Brush DC Geared Servomotor." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1933. No. 1. IOP Publishing, 2021.