

PENINGKATAN TEGANGAN PADA DC-DC KONVERTER DENGAN *DICKSON MULTIPLIER CELL* UNTUK APLIKASI PHOTO VOLTAIC

Anung¹, Purwadi Budi Santoso², Taufik Rachman³, Yakob Liklikwatil⁴, Dwiyanto⁵

^{1,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung

^{2,3}Jurusan Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung

^{1,2,3,4,5}Jln. Soekarno-Hatta no 597, Kota Bandung, 40284, Indonesia

Jl. Soekarno-Hatta No. 597, Bandung, kode pos, Telp. (022)7301738

E-mail : ¹anungstmt@gmail.com , ²purwadiugm87@gmail.com , ³rachmantaufik59@gmail.com ,

⁴y.lilikwatil@gmail.com , ⁵yan2dwi@yahoo.com

Abstrak

Tegangan dc keluaran dari photovoltaic masih rendah. Konverter dc-dc Boost umumnya digunakan untuk meningkatkan tegangan keluaran konverter. Namun stress tegangan dan arus pada saklar semikonduktor menjadi tinggi. Pada makalah ini diusulkan, untuk meningkatkan tegangan keluaran dari konverter dengan penerapan Dickson Multiplier Cell. Penurunan persamaan matematis untuk tegangan dan arus dilakukan pada kondisi konduksi kontinyu. Untuk memvalidasi usulan maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak PSIM. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan keluaran konverter 328 Vdc, 379 Vdc dan 518 Vdc untuk masing-masing siklus kerja 68%, 70%, dan 75%. Tegangan masukan sebesar 20 Vdc.

Kata Kunci: konverter dc-dc, photovoltaic, Dickson Multiplier cell

Abstract

DC output voltage of the photovoltaic cell is still low. Boost dc-dc converter usually used to raise the output dc voltage of the converter. But voltage and current stress on semiconductor switch becomes high. In this paper proposed to increase the output voltage of the converter with the application of Dickson multiplier cell. Decreased mathematical equations for voltage and current is done in continuous conduction conditions. To validate the proposed converter was conducted simulation with PSIM software. From the simulation result show that the dc output voltage of the converter is 328 V_{dc}, 379 V_{dc} and 518 V_{dc} for each duty cycle 68%, 70%, and 75%. And input voltage of this converter is 20 V_{dc}.

Keywords: dc-dc converter, photovoltaic, Dickson Multiplier cell

1. PENDAHULUAN

Tegangan keluaran dari photovoltaic cell berkisar antara 20 Vdc sampai 25 Vdc. Untuk meningkatkan tegangan ke tingkat 400 Vdc diperlukan rangkaian konverter dengan penguatan tegangan yang tinggi.

Pada penelitian ini dibahas mengenai aplikasi dari Dickson Multiplier Cell pada konverter Boost dc-dc kuadratik. Penurunan persamaan tegangan dan arus

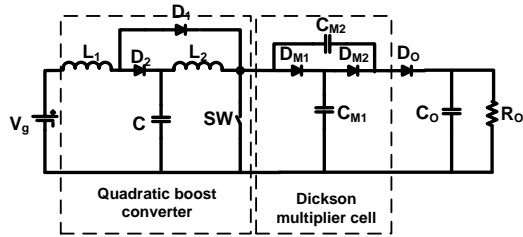
secara matematis dilakukan pada kondisi konduksi kontinyu. Saklar aktif dan fasip dari komponen semikonduktor diasumsikan ideal.

2. METODE

Penurunan persamaan dan simulasi dilakukan dalam penelitian ini. Pengoperasian konverter daya DC ke DC dengan Dickson Multiplier Cell sebagai sel penguat tinggi (*high gain cell*) ini dilakukan

pada moda konduksi kontinyu (CCM). Perangkat switching diasumsikan sebagai saklar yang ideal. Dan tegangan kapasitor bebas dari riak. Hubungan tegangan setiap tahap dilakukan pada kondisi tunak.

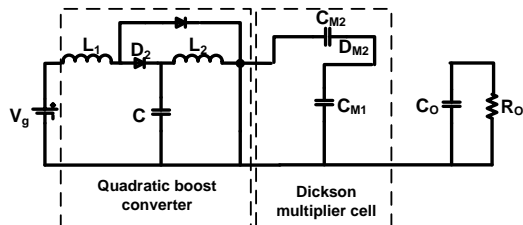
Rangkaian lengkap yang akan dianalisa dan disimulasikan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Topologi konverter DC dengan sel penguat tinggi.

2.1 Interval waktu pada saklar aktif dalam kondisi ON

Rangkaian ekuivalen pada saat saklar aktif pada kondisi ON, seperti terlihat pada gambar.2.



Gambar.2 Rangkaian Ekuivalen pada kondisi ON

Berdasarkan gambar.2, hubungan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter dapat diperoleh. Pada kondisi ini tegangan pada induktor dapat ditulis seperti pada persamaan di bawah.

$$V_{L1} = V_g \quad (1)$$

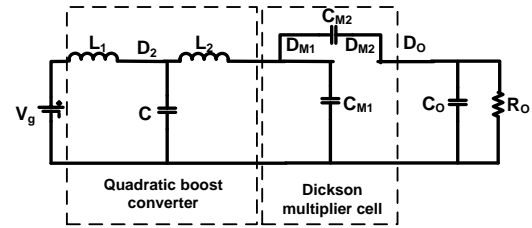
$$V_{L2} = V_C \quad (2)$$

$$V_{CM1} = V_{CM2} \quad (3)$$

2.2 Interval waktu pada saat saklar aktif dalam kondisi

OFF

Rangkaian ekivalen pada saat saklar aktif dalam posisi OFF seperti pada Gambar 3.



Gambar.3 Rangkaian ekivalen dalam kondisi OFF

Berdasarkan gambar.3, tegangan pada induktor L_1 , L_2 , dan V_o dapat ditulis seperti di bawah ini.

$$V_{L1} = V_g - V_C \quad (4)$$

$$V_{L2} = V_C - V_{CM1} \quad (5)$$

$$V_o = V_{CM1} + V_{CM2} \quad (6)$$

2.3 Hubungan Tegangan Keluaran dan Masukan

Hubungan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter daya dc-dc dengan sel penguat tinggi ini dapat diperoleh dengan merata-ratakan tegangan pada induktor dalam satu siklus samadengan nol. Berdasarkan persamaan (1) dan (4) maka tegangan rata-rata pada induktor L_1 dalam satu siklus dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\int_0^{DT_S} V_g dt + \int_0^{(1-D)T_S} (V_g - V_C) dt = 0 \quad (7)$$

$$\text{dimana: } D = \frac{T_{ON}}{T_S}, (1 - D) = \frac{T_{OFF}}{T_S}$$

Persamaan (7) dapat disederhanakan seperti pada persamaan di bawah ini.

$$V_C = \frac{V_g}{(1-D)} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (2) dan (5), tegangan rata-rata pada induktor L_2 dalam satu siklus dapat ditulis sebagai berikut.

$$\int_0^{DT_S} V_C dt + \int_0^{(1-D)T_S} (V_C - V_{CM1}) dt = 0 \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat ditulis dalam bentuk lebih sederhana, seperti pada persamaan di bawah ini.

$$V_{CM1} = \frac{V_C}{(1-D)} \quad (10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (10), maka diperoleh persamaan berikut.

$$V_{CM1} = V_{CM2} = V_{CM} = \frac{V_g}{(1-D)^2} \quad (11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke persamaan (11) maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$V_O = \frac{2V_g}{(1-D)^2} \quad (12)$$

Persamaan (12) Setelah disederhanakan maka penguatan tegangan searahnya adalah

$$\frac{V_O}{V_g} = \frac{2}{(1-D)^2} \quad (13)$$

Untuk konverter daya dc-dc ideal, semua daya ditransfer dari masukan ke keluaran.

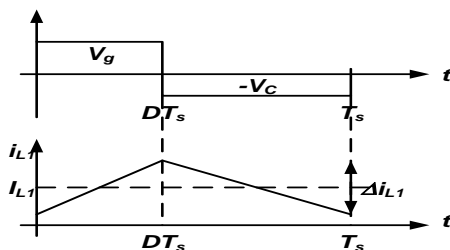
$$P = V_g \cdot I_g = V_O \cdot I_O \quad (14)$$

Persamaan (13) dan persamaan (14) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{V_O}{V_g} = \frac{I_g}{I_O} = \frac{2}{(1-D)^2} \quad (15)$$

2.4 Penurunan persamaan untuk menentukan nilai L_1 , L_2 , C , C_{M1} , C_{M2} , dan C_O .

Tidak hanya memperhatikan nilai rata-rata arus induktor di L_1 , L_2 dan L_O , sama pentingnya juga untuk memilih induktansi yang cukup besar untuk memastikan riak arus induktor cukup kecil.



Gambar 4 Bentuk gelombang tegangan dan arus induktor L_1

Dari Gambar 4, kita dapat melihat bahwa riak arus induktor, Δi_{L1} ,

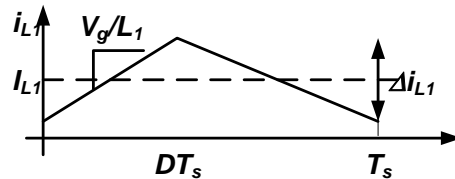
dapat dinyatakan sebagai.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_g D T_s}{L_1} \quad (16)$$

Dengan memasukkan persamaan (13) ke persamaan (16) dan frekuensi *switching* f_s , maka diperoleh persamaan berikut.

$$\Delta i_{L1} = \frac{(1-D)^2 D V_O}{2 L_1 f_s} \quad (17)$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa untuk mempertahankan riak arus induktor yang rendah, kita dapat memilih induktansi yang besar atau frekuensi *switching* yang tinggi. Riak arus induktor juga digunakan untuk memastikan konverter beroperasi dalam CCM. Agar konverter ini selalu beroperasi di CCM, arusnya harus selalu di atas nol. Batasnya adalah ketika arus induktor mencapai nol pada akhir periode *switching*, $t = T_s$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Arus induktor L_1 pada batas CCM-nya

Pada batas CCM, dari pertimbangan geometris, kita dapat membaca bahwa nilai DC dari arus induktor adalah $I_{L1} = \frac{\Delta i_{L1}}{2}$. Jadi, untuk memastikan CCM kita membutuhkan,

$$I_{L1} \geq \frac{\Delta i_{L1}}{2} \quad (18)$$

Dari persamaan (15), (17), dan (18), kemudian diperoleh persamaan seperti di bawah ini.

$$\frac{2}{(1-D)^2} I_O \geq \frac{(1-D)^2 D V_O}{4 L_1 f_s} \quad (19)$$

Dengan menyederhanakan persamaan (19) kita mendapatkan persamaan seperti di bawah ini.

$$L_1 \geq \frac{(1-D)^4 D V_O}{8 f_s I_O} \quad (20)$$

Memasukkan $R_o = \frac{V_o}{I_o}$ ke dalam persamaan (20) sehingga diperoleh persamaan di bawah ini.

$$L_1 \geq \frac{(1-D)^4 DR_o}{8f_s} \quad (21)$$

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (5), dan tegangan pada induktor L_2 sewaktu ON dan OFF, setelah diuraikan maka diperoleh tegangan sebagai berikut.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{V_c DT_s}{L_2} \quad (22)$$

Dengan memasukkan persamaan (8) ke persamaan (22), maka diperoleh persamaan berikut ini.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{V_g}{(1-D)} \frac{DT_s}{L_2} \quad (23)$$

Dengan memasukan persamaan (13) ke persamaan (23) maka diperoleh persamaan berikut ini.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{(1-D)DV_o T_s}{2L_2} \quad (24)$$

Nilai komponen DC dari persamaan (24) adalah $I_{L2} = \frac{\Delta i_{L2}}{2}$ sehingga persamaan (24) dapat ditulis sebagai berikut.

$$I_{L2} \geq \frac{(1-D)DV_o T_s}{4L_2} \quad (25)$$

Dimana:

$I_{L2} = I_c$; $I_c = (1-D)I_g$; dan $I_g = \frac{2I_o}{(1-D)^2}$ dan kemudian persamaan (25) dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$L_2 \geq \frac{(1-D)^2 R_o D}{8f_s} \quad (26)$$

Selain nilai komponen induktor dan riak arus maksimum yang diijinkan, juga penting untuk menentukan nilai komponen kapasitor C , C_{M1} , C_{M2} , dan C_o untuk riak tegangan maksimum yang diijinkan, ΔV . Nilai kapasitor, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan $C = \frac{dQ}{dV}$ dimana Q adalah muatan listrik. Dengan menulis ulang perubahan tegangan rata-rata, maka diperoleh $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$. Jumlah muatan ΔQ sebagai integral arus adalah $\Delta Q = \int i(t) dt$.

Dengan mengasumsikan riak arus dapat diabaikan, maka selama saklar ON $I_{L2} = I_c$ dan $I_c = \frac{2I_o}{(1-D)}$.

Persamaan untuk menentukan nilai komponen C adalah sebagai berikut.

$$C \geq \frac{2DI_o}{(1-D)\Delta V_c f_s} \quad (27)$$

Sekarang, untuk $C_{M1} = C_{M2}$ jika kita mengasumsikan riak arus dapat diabaikan, maka, $I_{CM} = 2I_o$, sehingga

$$C_M = \frac{2I_o D}{\Delta V_{CM} f_s} \quad (28)$$

Untuk menentukan nilai kapasitor C_o berdasarkan waktu ON, dimana arus pada $I_{C_o} = I_o$ sehingga nilai kapasitor dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut

$$C_o = \frac{I_o D}{\Delta V_o f_s} \quad (29)$$

2.5 Menghitung Nilai Komponen

Nilai komponen dari konverter dapat dihitung berdasarkan nilai-nilai sebagai berikut: $V_g = 20V_{dc}$; $V_o = 400V_{dc}$; Resistansi beban berkisar antara 100Ω hingga 500Ω ; frekuensi pensaklaran ditentukan 50 kHz ; dan riak tegangan maksimum pada ketiga kapasitor adalah 1% . Dan konverter harus beroperasi pada moda konduksi kontinyu (CCM).

Langkah pertama adalah menentukan siklus kerja D , dengan menggunakan persamaan (13).

$$D = 0,68$$

Nilai komponen L_1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (21) dan $R_o = 500\Omega$, maka nilai minimum L_1 yang diijinkan adalah.

$$L_1 \geq 8,9129 \mu H$$

Nilai komponen L_2 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaa (26) dan $R_o = 500\Omega$, maka nilai minimum L_2 yang diijinkan adalah.

$$L_2 \geq 87,04 \mu H$$

Nilai minimum komponen kapasitor C dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (27) dan nilai arus I_o tertinggi yaitu 4A.

$$C \geq 548,4 \mu F$$

Nilai minimum komponen kapasitor $C_{M1}=C_{M2}=C_M$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (28)

$$C_M \geq 55,709 \mu F$$

Nilai minimum komponen kapasitor C_o dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (29).

$$C_o \geq 13,6 \mu F$$

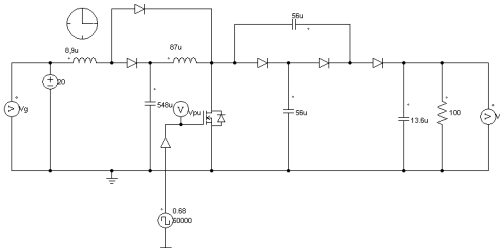
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dirangkum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Nilai-Nilai Komponen Hasil Perhitungan

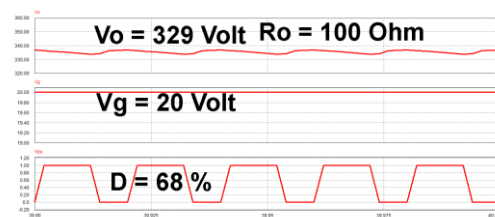
Komponen	Nilai komponen hasil perhitungan
L_1	$8,9 \mu H$
L_2	$87 \mu H$
C	$548,4 \mu F$
C_M	$55,7 \mu F$
C_o	$13,6 \mu F$

Rangkaian simulasi ditunjukkan pada gambar 6.

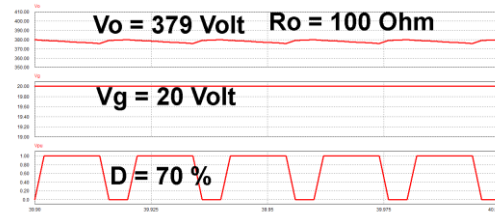


Gambar 6. Rangkaian simulasi

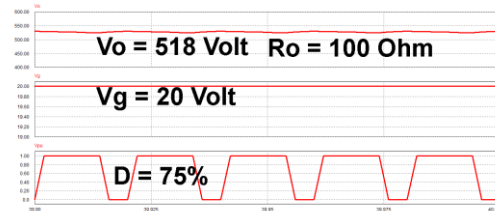
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Bentuk gelombang tegangan dan sinyal penyalut saklar semikonduktor:
(a) $D = 68\%$; (b) $D = 70\%$; (c) $D = 75\%$

Dari hasil simulasi, terlihat bahwa perubahan nilai dari siklus kerja saklar D dapat merubah nilai tegangan keluaran dari konverter. Semakin naik nilai D menyebabkan tegangan keluaran semakin naik. Nilai kenaikan tegangan hampir sesuai dengan hasil perhitungan pada persamaan (15).

Tabel 2 Perbandingan hasil simulasi dan Hasil perhitungan

D (%)	Vo (volt) perhitungan	Vo (volt) Simulasi
68	400	329
70	440	379
75	640	518

Dari tabel di atas terlihat nilai tegangan keluaran dari hasil simulasi masih di bawah hasil perhitungan, hal ini disebabkan adanya drop tegangan pada komponen-komponen rangkaian yang disimulasikan dan disamping itu perlu menaikkan nilai komponen hasil perhitungan, sehingga konverter bekerja pada moda konduksi kontinyu.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa konverter yang diusulkan dapat menaikkan tegangan dari 20 Vdc ke tegang sekitar 400Vdc dengan siklus kerja sekitar 70%. Sebagai saran untuk mendapatkan nilai keluaran yang stabil maka perlu untuk dilengkapi dengan rangkaian kendali, yang mengendalikan siklus kerja saklar semikonduktor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ridha D. N. Aditama, Naqita Ramadhani, Jihad Furqani, Arwindra Rizqiawan, Pekik Argo Dahono, "New bidirectional step-up DC-DC converter derived from buck-boost DC-DC converter", IJPEDS, Vol. 12, No. 3, pp. 1699~1707, 2021
- [2]. Tri Ardriani, Pekik Argo Dahono, Arwindra Rizqiawan, Erna Garnia, Pungky Dwi Sastya, Ahmad Husnan Arofah and Muhammad Ridwan, "A DC Microgrid System for Powering Remote Areas", <https://www.mdpi.com/journal/energies>, *Energies* 2021, 14, 493. <https://doi.org/10.3390/en14020493>
- [3]. Annop Nakpin and Sudarat Khwan-on, "A Novel High Step-Up DC-DC Converter for Photovoltaic Applications", *Procedia Computer Science* 86, pp. 409 – 412, 2016.
- [4]. Asger Bjørn Jørgensen, "Derivation, Design and Simulation of the Zeta converter," <https://www.researchgate.net/publication/355279643>, 19 October 2021.
- [5]. Pekik Argo Dahono, "Simplified cascade multiphase DC-DC boost power converters for high voltage-gain and low-ripple applications," *IJPEDS*, Vol. 12, No. 1, pp. 273~285m, Mar 2021
- [6]. Divya Navamani.Ja, Vijayakumar.Kb, Jegatheesan.Rc, "Study on High Step-up DC-DC Converter with High Gain Cell for PV Applications," *Procedia Computer Science* 115, pp. 731–739, 2017
- [7]. Anung, Givy Devira Ramady, Muchamad Sobri Sungkar, Yoddy Agung Nuhgraha, Agung Wirjawan, "Reduksi Rugi-Rugi Pensaklaran Pada Konverter Dc-Dc Zeta Dengan Teknik Zero Voltage Transition", *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, Vol.12, No.1, pp. 49-53. 2023
- [8]. Tohid Jalilzadeh, Naghi Rostami, Ebrahim Babaei, Mohammad Maalandish, "Ultra-step-up dc-dc converter with lowvoltage stress on devices", *IET Power Electron.*, Vol. 12 Iss. 3, pp. 345-357, 2019
- [9]. Anson K A, Fidha Hashmi K P, Harikrishna, Jothis Jacob, Sera Mathew, "Zeta Converter with Improved Voltage Conversion Gain", *IJERT*, Vol. 10 Issue 06, pp. 422 - 427, June-2021