

RANCANG BANGUN MPPT (*MAXIMUM POWER POINT TRACKER*) SOLAR PV TIPE *CONSTANT VOLTAGE (CV)* DENGAN MENGGUNAKAN CUK *CONVERTER*

Rika Dwi Pradita¹⁾, Irwan Heryanto^{*1)}, Syarifatul Izza²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang

²⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Unisma Malang, Jalan Mayjen Haryono No.193 Malang

**eryk@polinema.ac.id*

Abstrak

Sistem Photovoltaic (PV) merupakan alat konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik yang memiliki potensi besar di Indonesia tapi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk meningkatkan efisien sistem PV dapat dioptimalisasi pada MPPT dan konverter DC-DC. Pada penelitian ini membahas tentang rancang bangun converter DC-DC penaik atau penurun tegangan tipe Cuk dengan tegangan keluaran 14 V dengan frekuensi *switching* 32 kHz. Perancangan awal konverter Cuk dilakukan dengan desain menggunakan aplikasi Eagle. Perancangan dan pembuatan alat konverter ini bertujuan untuk menstabilkan tegangan keluaran dc sesuai dengan yang diinginkan oleh *set-point*, dengan tegangan masukan dc yang bervariasi dan menggunakan parameter P proporsional dan I integral untuk mengontrol tegangan keluaran. Konverter DC-DC tipe Cuk menaikkan dan menurunkan tegangan dengan *switching* MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) yang berfungsi sebagai saklar untuk mengatur tegangan keluaran dan diteruskan bagian induktor dan kapasitor yang kemudian disalurkan ke beban. Nilai tegangan keluaran dapat diatur dari lebar pulsa dan *duty cycle* dari pemrograman *microcontroller* Arduino. Hasil dari perancangan dan pembuatan alat konverter DC-DC tipe Cuk dapat bekerja pada tegangan input 12-18 volt dengan *set-point* tegangan output Cuk konverter 14 volt.

Kata Kunci: Converter DC-DC tipe Cuk, PI, transistor MOSFET, duty cycle, mikrokontroler.

Abstract

The Photovoltaic (PV) system is an energy conversion device from sunlight to electricity that has great potential in Indonesia but still has low efficiency. To increase the efficiency of PV systems MPPT and DC-DC converters can be optimized. This thesis discusses the design of the rise-up DC-DC converter or Cuk-type voltage reducer with an output voltage of 14 V with a 32 kHz switching frequency. The initial design of the Cuk converter was done using the eagle application. The design and manufacture of this converter tool aimed to stabilize the dc output voltage as desired by the setpoint, with a varied dc input voltage, and use the parameters P proportional and I integral to control the output voltage. Cuk type DC-DC converter raises and lowers MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) switched voltage, which functions as a switch to regulate the output voltage and was passed on to the inductor and capacitor parts which were then channeled to the load. The output voltage value can be adjusted from the pulse width and duty cycle of the Arduino microcontroller programming. The results of the design and manufacture of a DC-DC converter type Cuk can work at an input voltage of 12-18 volts with a 14-volt output voltage setpoint converter.

Keywords: DC-DC cuk converter, PI, MOSFET transistor, duty cycle, microcontroller.

1. PENDAHULUAN

Bertumbuhnya permintaan energi dan naiknya harga bahan bakar fosil memicu untuk terus dilakukan penelitian tentang peningkatan efisiensi energi terbarukan, terutama sistem Photovoltaic (PV) [1] – [7]. Di mana PV adalah alat konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik yang memiliki potensi besar di Indonesia tapi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk meningkatkan efisien sistem PV dapat dioptimalkan pada MPPT dan converter DC-DC nya. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah peralatan yang di gunakan untuk meningkatkan rasio daya PV [8].

Sistem PV juga bisa di optimalkan dengan pemilihan konverter DC-DC yang tepat selain digunakan untuk menunjang kerja MPPT [9], [12 – 14]. Converter DC-DC merupakan rangkaian elektronik yang mengkonversikan input tegangan DC menjadi keluaran tegangan DC dengan nilai yang telah dioptimalisasikan Sehingga, perlu adanya peralatan yang mampu meningkatkan tegangan output dari sumber yang terbarukan [13].

Ada banyak jenis teknologi MPPT, diantaranya adalah *perturb and observe*, *incremental conductance*, *current sweep*, dan *Constant Voltage*. Dari beberapa jenis teknologi MPPT, jenis *Constant Voltage* memiliki beberapa keuntungan yaitu

simple, dan sederhana juga memiliki desain yang mudah untuk di terapkan [12].

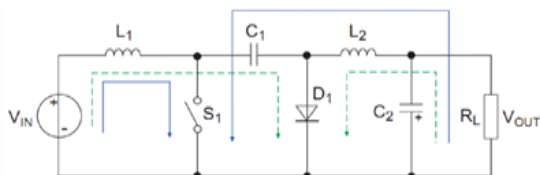
Constant Voltage merupakan metode MPPT dengan fungsi untuk menentukan dan mengatur tegangan keluaran dari sistem sel surya supaya stabil dan dalam kondisi yang maksimal, sehingga sel surya akan menghasilkan energi yang maksimal [14], [15].

Untuk menjaga tegangan keluaran konstan maka digunakan cuk converter. Cuk Converter merupakan jenis rangkaian penaik dan penurun tegangan keluaran sehingga dapat mengontrol tegangan DC keluaran dan meningkatkan efisiensi pada keluaran sel surya. Sehingga untuk mengontrol keluaran tegangan pada PLTS maka akan di gunakan alat DC-DC Cuk Converter. Dengan menggunakan alat DC-DC Cuk Converter diharapkan tegangan output PLTS dapat lebih stabil dan dapat meningkatkan nilai efisiensi.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Cuk Converter

Konverter Cuk merupakan salah satu jenis rangkaian penaik atau penurun tegangan yang memiliki karakteristik seperti rangkaian buck-boost. Hasil keluaran tegangan output mempunyai polaritas yang berkebalikan dengan tegangan input. Konverter Cuk terdiri dari sumber tegangan arus searah atau direct current (DC), induktor pada sisi input (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), pensaklaran atau switch, dioda, induktor pada sisi output (L_2), kapasitor filter (C_2) dan beban (resistif). Bentuk rangkaian konverter Cuk dapat dilihat pada Gambar 1.



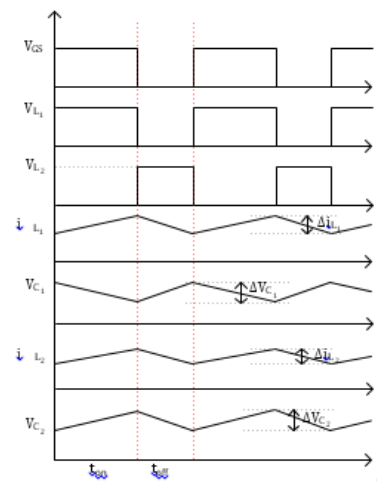
Gambar 1. Rangkaian Konverter Cuk

Induktor sisi input berfungsi sebagai filter dari sumber tegangan DC untuk mengurangi riak gelombang input. Berbeda dengan konverter pada umumnya dimana aliran energi terjadi pada induktor, pada konverter Cuk aliran energi terjadi pada kapasitor pentransfer tegangan. Hal ini karena pada kondisi *steady state* tegangan rata-rata yang melalui kedua induktor sama dengan nol.

Kelebihan dari konverter ini adalah arus kontinyu pada sisi input dan output. Sedangkan kelemahan pada konverter Cuk adalah besarnya nilai reaktif pada komponen dan besarnya arus pada *switch*, dioda serta kapasitor pentransfer tegangan. Cuk Converter merupakan rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan dari tegangan

masukannya. Rangkaian cuk converter terdiri dari 2 kapasitor (C_1 dan C_2) dan 2 buah induktor (L_1 dan L_2).

Prinsip kerja dari rangkaian konverter Cuk adalah sebagai berikut: Analisa pada konverter cuk berdasarkan beberapa asumsi berikut ini: (1). Kedua induktor pada konverter cuk mempunyai nilai induktansi yang besar untuk menghasilkan arus yang konstan. (2). Kedua kapasitor pada konverter cuk mempunyai nilai kapasitansi yang cukup besar untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan. (3). Rangkaian dioperasikan pada kondisi *steady state*, dimana gelombang tegangan dan arus merupakan gelombang periodik. (4). Untuk duty cycle (D), switch tertutup pada waktu ton. Dimana ton merupakan perkalian antara duty cycle dengan periode (T). Periode merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh. Secara matematis dapat dituliskan $\text{ton} = D.T$. Selanjutnya, switch terbuka pada waktu toff. Dimana toff merupakan perkalian antara $(1-D).T$. (5). Dioda dan switch pada rangkaian konverter cuk merupakan komponen yang ideal.



Gambar 2. Analisis gelombang Konverter Cuk.

Gambar 2 adalah bentuk gelombang tegangan dan arus di beberapa bagian rangkaian. V_{GS} merupakan tegangan pensaklaran pada sisi *gate-source*, V_{L1} merupakan tegangan pada induktor sisi input atau L_1 , V_{L2} merupakan tegangan pada induktor sisi output atau L_2 , i_{L1} merupakan arus pada sisi input atau arus pada sisi induktor L_1 , V_{C1} merupakan tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan, i_{L2} merupakan arus pada sisi output atau pada induktor L_2 dan V_{C2} merupakan tegangan pada kapasitor filter di sisi tegangan output.

Pada saat *switch on*, *switch* dalam keadaan tertutup di mana V_{GS} akan aktif, sehingga arus akan mengalir melalui *switch* dan dioda dalam kondisi *reverse bias*. Pada kondisi ini, arus pada sisi input akan mengalami pengisian energi dari tegangan sumber dan kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami keadaan discharge oleh arus dari

induktor sisi output (L_2). Sehingga arus pada induktor sisi output akan mengalami pengisian energi. Pada saat *switch off*, *switch* dalam keadaan terbuka dan dioda dalam keadaan forward bias dimana V_{GS} akan off. Sehingga, arus dari induktor sisi input (L_1) dan induktor sisi output (L_2) akan mengalir melalui dioda dalam kondisi pengosongan energi. Pada keadaan ini kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami kondisi *charge* oleh arus dari induktor sisi input (L_1).

A. Pemilihan Induktor

Nilai induktor pada rangkaian Gambar 1 dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta / L F_s} \quad (1)$$

di mana L = Induktor (mH), Δ/L = arus rata-rata induktor (A), F_s = Frekuensi *switching* (kHz).

B. Pemilihan Kapasitor

Sedangkan nilai kapasitor ditentukan dengan Persamaan (2 – 2):

$$C = \frac{V_o D}{R F_s \Delta V_{c1}} \quad (2)$$

V_o = tegangan keluaran, R = hambatan dalam kapasitor, ΔV_c = tegangan rata-rata kapasitor.

2.2. Constant Voltage MPPT

Constant Voltage (CV) merupakan salah satu metode MPPT yang sederhana dan mudah untuk di terapkan, dimana tegangan output dari sel surya di atur ke nilai konstan dan di cocokkan dengan tegangan referensi, tegangan referensi, sama dengan tegangan maximum power point dari sel surya tersebut [14].

Metode *Constant Voltage* kurang optimal jika digunakan, di karenakan titik maximum power point dari sel surya sering berubah-ubah letaknya. Hal ini karena suhu dan radiasi matahari berubah-ubah, sehingga titik maximum power point juga berubah letaknya mengikuti dari perubahan nilai suhu dan radiasi sinar matahari. Sedangkan setpoint dari tegangan referensi tidak bias berubah mengikuti titik dari tegangan maximum power point.

Tegangan maximum power point dapat di ketahui dengan menggunakan persamaan [14],[15]:

$$V_{mpp} = K \times V_{oc} \quad (3)$$

Dengan V_{mpp} = tegangan saat daya maksimum, V_{oc} = tegangan *open circuit* PV dan K = konstanta. Dengan k yaitu konstanta *fixed ratio* secara umum nilai k tersebut adalah antara (0,71-0,78) [15]. Sedangkan V_{oc} merupakan tegangan open circuit, sehingga tegangan maximum dapat di cari dengan

menggunakan rumus diatas, yaitu dengan mengkalikan konstanta dengan tegangan *open circuit*. Tegangan *maximum power point* di gunakan sebagai referensi untuk menjaga tegangan keluaran dari Konverter Cuk tetap konstan. Metode ini berfungsi untuk menentukan dan mengatur tegangan keluaran dari sistem sel surya supaya stabil / konstan dan dalam kondisi yang maksimal, sehingga sel surya akan menghasilkan energi yang maksimal.

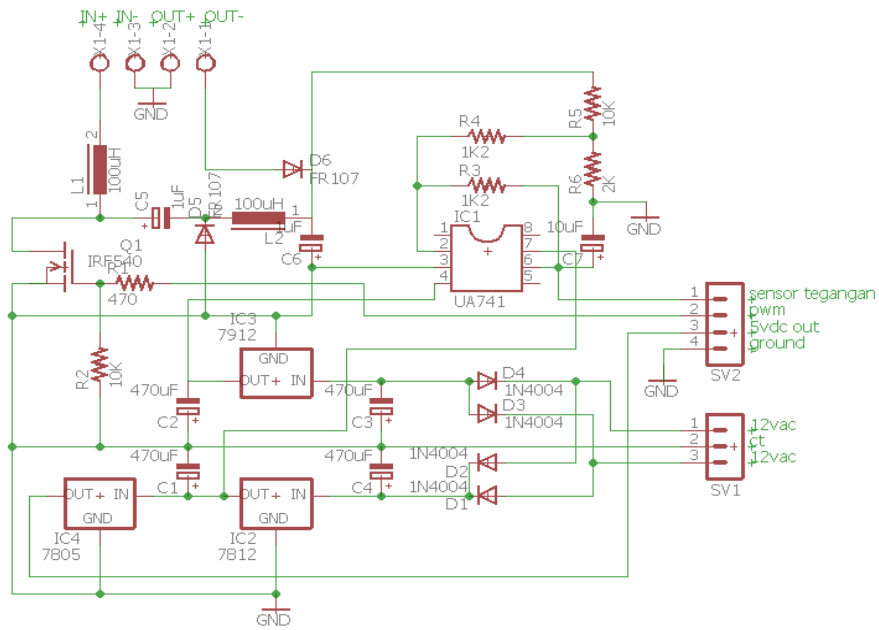
3. METODE

Tempat penelitian berada di Politeknik Negeri Malang. Waktu penelitian ini berlangsung pada awal kalender akademik semester ganjil 2019/2020 sampai akhir kalender akademik semester genap Politeknik Negeri Malang tahun 2019/2020.

Metotologi perencanaan penelitian ditunjukkan dengan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.



Gambar 4. Wiring diagram Konverter Cuk.

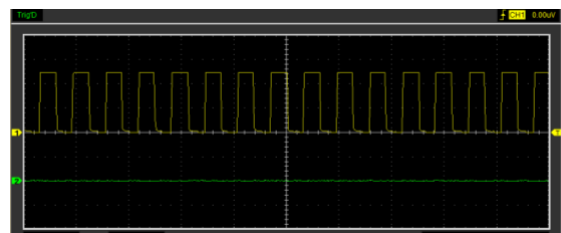
Gambar 4 adalah wiring diagram dari rangkaian Konverter Cuk. Spesifikasi dari komponen rangkaian ditunjukkan pada Tabel 3.1. Hasil implementasi hardware-nya ditunjukkan oleh Gambar 5.

TABEL 1. SPESIFIKASI KOMPONEN

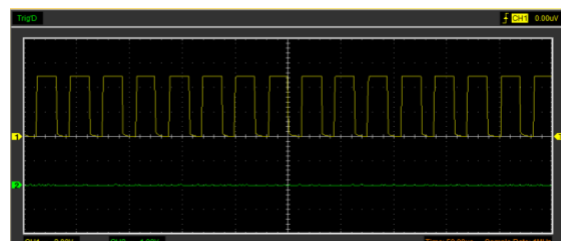
Simbol	Nama	Nilai
R1	Resistor	470Ω
R2	Resistor	10k
R3	Resistor	1K
R4	Resistor	1K
R5	Resistor	10K
R6	Resistor	2K
C1	Capacitor	470μF
C2	Capacitor	470μF
C3	Capacitor	470μF
C4	Capacitor	470μF
C5	Capacitor	1uF
C6	Capacitor	1uF
C7	Capacitor	1uF
L1	Induktor	100uH
L2	Induktor	100uH
D1	Dioda	1N4004
D2	Dioda	1N4004
D3	Dioda	1N4004
D4	Dioda	1N4004
D5	Dioda	FR107
D6	Dioda	FR107
Q1	MOSFET	IRF540N
IC1	Voltag Regulator	IC 7812
IC	OP-Amp	IC UA741



Gambar 5. Implementasi wiring diagram Konverter Cuk.



(a)



(b)

Gambar 6. Profil duty cycle (a). 50% (b). 70%

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian *open loop*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan input 15 V dan beban 50 Ohm serta *duty cycle* yang bervariasi. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Tabel 2.

TABEL 2. HASIL PENGUJIAN *OPEN LOOP*

No	V _{in}	I _{in}	V _{out}	I _{out}	D%	P _{in}	P _{out}	η%
1	15	0.68	15.95	0.32	50	10.2	5.10	50.04
2	15	0.63	15.18	0.31	47	9.5	4.71	49.80
3	15	0.58	14.39	0.29	45	8.7	4.17	47.97
4	15	0.48	13.05	0.26	40	7.2	3.39	47.13
5	15	0.38	11.2	0.24	35	5.7	2.69	47.16

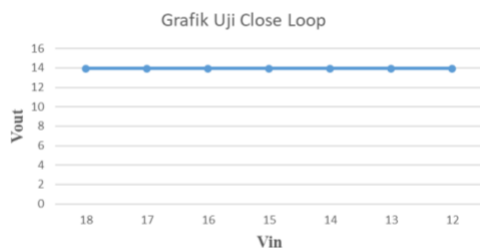
Berdasarkan table diatas pada tegangan konstan 15V dan R=50 Ω dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi nilai *duty cycle*, maka tegangan keluaran dan arus keluaran semakin besar. Pada saat R beban besar maka nilai arus yang dihasilkan kecil dan tegangan yang dihasilkan konstan. Jika nilai *duty cycle* lebih dari 47% maka cuk converter bekerja sebagai boost konverter yaitu menaikkan tegangan dan sebaliknya jika nilai *duty cycle* kurang dari 47% maka cuk converter bekerja sebagai buck converter atau menurunkan tegangan. Nilai efisiensi terbesar pada pengujian beban 50Ω terletak pada nilai *duty cycle* 50% dengan nilai efisiensi 50.04%. Sedangkan nilai efisiensi terendah yaitu 47.08% terletak pada *duty cycle* 40% jadi, dapat di katakana bahwa nilai efisiensi alat cuk converter berbanding lurus dengan nilai *duty cycle*. Semakin besar nilai *duty cycle* maka efisiensi alat juga semakin besar.

4.2. Pengujian *close loop*

Pengujian *close loop* dilakukan dengan menggunakan parameter tegangan input bervariasi, dan menjaga tegangan output tetap konstan sebesar 13.8 V. Frekuensi switching sebesar 32 kHz, nilai gain kontroler PI untuk $K_p = 0.4$ dan $K_i = 5$. Hasil pengujiannya ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Gambar 7.

TABEL 3. HASIL PENGUJIAN

No	V _{in}	I _{in}	V _{out}	I _{out}	D%	P _{in}	P _{out}	η(%)
1	18	0.51	13.96	0.29	35	9.18	4.05	44.10
2	17	0.53	13.91	0.29	38	9.01	4.03	44.77
3	16	0.56	13.91	0.29	39	8.96	4.03	45.02
4	15	0.59	13.91	0.29	43	8.85	4.03	45.58
5	14	0.61	13.91	0.29	46	8.54	4.03	47.24
6	13	0.63	13.91	0.29	50	8.19	4.03	49.25
7	12	0.66	13.93	0.29	54	7.92	4.04	51.01



Gambar 7. Profil tegangan saat uji loop tertutup

Berdasarkan table diatas dapat dijelaskan bahwa ketika $V_{in} < V_o$ maka cuk converter bekerja sebagai *boost converter* dan sebaliknya ketika $V_{in} > V_{out}$ maka cuk converter bekerja sebagai *buck converter*. Dapat dilihat pada table diatas pada saat tegangan masukan 12-14 V cuk converter bekerja sebagai boost converter. Pada saat tegangan masukan 14-18 V cuk converter bekerja sebagai buck converter. Nilai efisiensi terkecil pada pengujian diatas yaitu 44.10% terletak pada tegangan masukan 18 V. Sedangkan nilai efisiensi terbesar yaitu 51.01% yang terdapat pada tegangan masukan 12 V. Tegangan output yang dihasilkan 13.9 V yaitu pada tegangan input 12-18 pada nilai $K_p = 0.2$ $K_i = 5$.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari semua analisis yang sudah dilakukan, penulis membuat kesimpulan seperti berikut: Pada saat pengujian open loop dengan beban rheostat 25 Ω, efisiensi tertinggi yaitu 52.81% saat *duty cycle* 55% dan tegangan input 15 V, tegangan output yang dihasilkan berada pada 15.05 V. pada pengujian close loop didapatkan nilai K_p 0.2 dan K_i 5 yang memiliki efisiensi tinggi yaitu 52.97% dan pada setting tegangan output 13.9V. Tegangan keluaran berbanding terbalik dengan tegangan masukan. Jika nilai tegangan masukan lebih dari 14 maka *cuk converter* berkerja secara *buck converter* sedangkan apabila tegangan masukan di bawah 14 maka *cuk converter* bekerja secara *boost converter*. Kinerja cuk converter telah sesuai dan mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan dengan mengatur besar lebar pulsa (*duty cycle*) dari rangkaian control PWM dan dengan menggunakan $K_p = 0.2$ $K_i = 5$.

REFERENSI

- [1] Ferdous, S. M., Mohammad, M.A., Nasrullah, F., Saleque, A., Mutalib, A.B (2012). Design and Simulation of an Open Voltage Algorithm Based Maximum Power Point Tracker for Battery Charging PV System. Hal 909
- [2] Indiyanto, Rahmad, F. (2014). Perancangan Aalat Distilasi Air Laut Tenaga Hybrid Untuk Pemenuhan Air Twar Bagi Warga Pesisir Pantai. Hal 2-3.
- [3] Kurniawan, M. I. (2019). Implementasi Maximum Power Point (MPPT) Jenis Constant Voltage(CV) pada Buck Converter untuk PLTS Skala Kecil. Politeknik Negeri Malang
- [4] Ogata, K. (1997). Modern Control Engineering. Third edition. Prentice Hall: New Jersey. Hal : 215-218.
- [5] Susanto, Bagus, K. (2017). Desain dan Implementasi Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel untuk Reduksi Ripple Arus Masukan. Institut Teknologi Sepuluh November
- [6] Wahyu, Fathurrahman Andi. 2018. Sistem Konverter Cuk Dengan Pngendali Kalang Terbuka (open LOOP). Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [7] Zhang, D. 2013. AN-1484 Designing A SEPIC Converter. Texas Instruments Application Report.
- [8] S. Rakshit and J. Maity, "Fuzzy Logic Controlled Cuk Converter," 2018 International Conference on

- Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018, pp. 0771-0775, doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524168.
- [9] B. P. Mokal and K. Vadirajacharya, "Extensive modeling of DC-DC cuk converter operating in continuous conduction mode," 2017 International Conference on Circuit ,Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074188.
- [10] B. K. Panigrahi and P. R. Thakura, "Implementation of Cuk converter with MPPT," 2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), 2017, pp. 105-110, doi: 10.1109/AEEICB.2017.7972392.
- [11] J. Akash, V. Gomathi, S. A. Kumar and V. Chamundeeswari, "Comparative Analysis of Negative Luo Converter and Cuk Converter for Harmonic Reduction," 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018, pp. 0532-0536, doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524390.
- [12] M. S. Bashir, S. Jamil, Z. Yamin and H. Ullah, "Small Signal Modelling and Observer based Stability Analysis of Cuk Converter via Lyapunov's Direct Method," 2021 International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEPT51706.2021.9435568.
- [13] A. K. Mishra, A. K. Patra, R. Agrawal, S. Behera, K. Praharaj and N. Nahak, "Comparative Analysis between SEPIC and Cuk Converter for Power Factor Correction," 2019 International Conference on Information Technology (ICIT), 2019, pp. 42-46, doi: 10.1109/ICIT48102.2019.00014.
- [14] A. R. Nansur, A. Syah Laili Hermawan and F. D. Murdianto, "Constant Voltage Control Using Fuzzy Logic Controller (FLC) to Overcome The Unstable Output Voltage of MPPT in DC Microgrid System," 2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), 2018, pp. 19-24, doi: 10.1109/ELECSYM.2018.8615556.
- [15] H. Wang, L. Vinayagam, H. Jiang, Z. Q. Cai and H. Li, "New MPPT solar generation implemented with constant-voltage constant-current DC/DC converter," 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114047.