

RANCANG BANGUN BATTERY CHARGER CC-CV DENGAN FORWARD CONVERTER

Zahro Zachari^{1*}, Era Purwanto², Syechu Dwitya Nugraha³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

^{1,2,3}Jl. Raya ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya

email: ¹zahrozachari@gmail.com, ²era@pens.ac.id, ³syechu@pens.ac.id

Abstract – The development in the field of land transportation is currently experiencing a drastic increase. One of the developments that is being prioritized at this time is the electric car. In an electric car, the energy source needed is a battery. The battery is a very important component. The battery is able to store energy as a source of power for a device and this energy can be replenished when it runs out, so maintenance is needed to keep the battery in good condition. Battery performance in good condition is the main power source in an electric car. The better the battery performance, the better the performance of the electric car. The method of recharging the battery is the main thing in building an electrical vehicle system, so it is necessary to have a charging system that can charge the battery that is safe for the battery to maintain battery performance.

Abstrak – Perkembangan pada bidang transportasi darat saat ini mengalami peningkatan yang drastis. Salah satu perkembangan yang diutamakan saat ini adalah mobil listrik. Pada mobil listrik sumber energi yang dibutuhkan yaitu baterai. Baterai merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Baterai mampu menyimpan energi sebagai sumber daya suatu alat dan energi tersebut dapat diisi kembali apabila telah habis, sehingga diperlukan perawatan untuk menjaga kondisi baterai agar tetap baik. Kinerja baterai dengan kondisi yang baik merupakan sumber daya utama pada mobil listrik. Semakin baik kinerja baterai, maka kinerja mobil listrik akan semakin baik juga. Metode pengisian ulang daya pada baterai menjadi hal utama dalam membangun sebuah sistem electrical vehicle, sehingga perlu adanya sebuah sistem pengisian yang dapat mengisi baterai yang aman bagi baterai untuk mempertahankan masa kinerja baterai.

Kata Kunci – Mobil listrik, Pengisi daya, Baterai.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan pada bidang transportasi bertenaga mesin saat ini mengalami peningkatan yang drastis. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan tersebut, dibutuhkan ketersediaan bahan bakar fosil yang tinggi. Namun perlu diketahui bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui lagi serta dapat mencemari lingkungan sekitarnya. Sehingga diperlukan adanya alternatif kendaraan yang dapat digunakan tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Adanya kendaraan listrik merupakan solusi untuk menggantikan kendaraan berbahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan.

Salah satu contoh kendaraan listrik saat ini adalah mobil listrik. Namun terdapat beberapa kekurangan yang ada pada mobil listrik, Salah satunya adalah pengisian dan penghematan konsumsi daya yang dipakai[1]-[3]. Pada mobil listrik terdapat sumber energi yang diperlukan untuk menggunakan daya tersebut, sumber energi tersebut adalah baterai. Baterai

merupakan sumber energi yang diperlukan untuk menggerakkan motor maupun instrumen pada mobil[4]-[6]. Namun baterai yang akan digunakan perlu diperhatikan untuk menyesuaikan pekerjaan yang dibutuhkan pada mobil tersebut.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

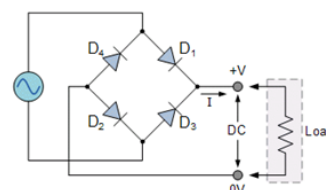
Penulis juga melakukan penelitian paper dan jurnal yang terkait dengan pengisian baterai dengan sistem *constant current* dan *constant voltage* dan beberapa juga menggunakan sistem fuzzy dalam penggunaan metode yang terkait, penulis juga menggunakan beberapa referensi yang melihat dan menganalisis dampak atau pengaruh metode charging pada baterai dan performanya.

Sebagai upaya untuk meminimalisir kerusakan baterai yang digunakan. Maka dibutuhkan sebuah charger dengan kemampuan efisiensi yang baik. Sampai saat ini terdapat macam-macam jenis charger yang dapat digunakan, namun masih dari sekian banyak tersebut memiliki beberapa kelemahan[5]-[7], oleh karena itu, untuk mengatasi banyaknya kelemahan yang ada pada pengisian baterai, maka dibuatlah sebuah Battery Charger yang mampu untuk mengisi ulang daya pada baterai mobil listrik, Serta pada konverter ini akan dilengkapi microcontroller yang akan menggunakan fuzzy logic dengan tujuan untuk mengontrol keluaran agar sesuai dengan target yang diinginkan[8]-[10]. Sehingga diharapkan pembuatan Battery Charger ini dapat menghasilkan efisiensi yang baik bagi baterai yang digunakan.

III. METODE PENELITIAN

A. Full-wave Rectifier

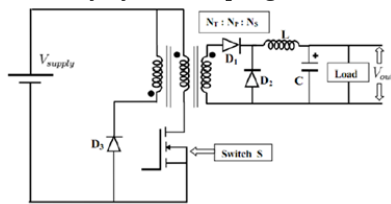
Sebuah bridge yang menggunakan empat buah dioda. Jenis penyearah ini menggunakan empat dioda penyearah individu yang terhubung dalam konfigurasi "jembatan" loop tertutup untuk menghasilkan output dari AC ke DC yang diinginkan. Keuntungan utama dari rangkaian jembatan ini adalah tidak memerlukan transformator pusat khusus, sehingga mengurangi ukuran dan biaya. Belitan sekunder tunggal terhubung ke satu sisi jaringan jembatan dioda dan beban ke sisi lainnya.



Gambar. 1 Rangkaian Full-wave Rectifier.

B. Forward converter

Forward Converter adalah sebuah isolated dc-dc konverter yang mampu menaikkan atau menurunkan tegangan dengan efisiensi yang lebih tinggi daripada flyback converter. Berbeda dengan flyback, forward converter mentransfer energi melalui primer ke sekunder ketika elemen switching “on”. Tegangan output ditentukan dari tegangan input dimana rasio tranformator dan duty cycle mempengaruhi nilai output.



Gambar. 2 Rangkaian Forward Converter.

Besarnya tegangan keluaran konverter bisa didapatkan dari persamaan berikut ini:

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

Keterangan:

V_{out} : Tegangan output N_s : Lilitan Sekunder
 D : duty cycle N_p : Lilitan Primer

Forward konverter yang dibuat dengan transformator dan mengacu pada isolasi galvanik, serta dapat menaikkan tegangan atau menurunkan, yang menjadikannya pilihan yang cocok untuk aplikasi spesifik yang membutuhkan keduanya. Ketika energi ditransfer selama waktu konduksi dari fase switching energi tidak disimpan. Tidak seperti buck / boost converter, konverter mengandung transformator bukan induktor yang dapat mengurangi celah udara karena induktansi magnetisasi tinggi dari transformator.

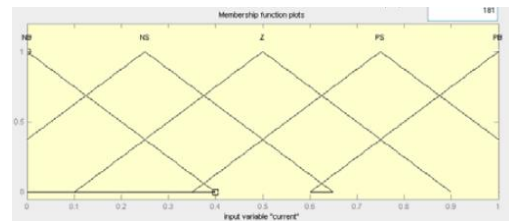
Operasi kerja forward konverter dijelaskan sebagai berikut: Ketika drive kontrol diatur ke switch (S), arus blok sekunder akan mengalir melalui D1, L, dan ke baterai atau output. Mode operasi ini disebabkan oleh efek transformator. Sementara itu, arus magnetisasi mulai menumpuk di primer transformator. Ketika S mati, maka arus magnetisasi akan hilang dalam belitan primer. Arus magnetisasi terus mengalir melalui belitan demagnetisasi dan D3, pada saat yang sama, D2 memungkinkan disipasi arus keluaran dari L ke beban sedangkan arus magnetisasi melalui D3 turun ke nol.

C. Fuzzy Logic

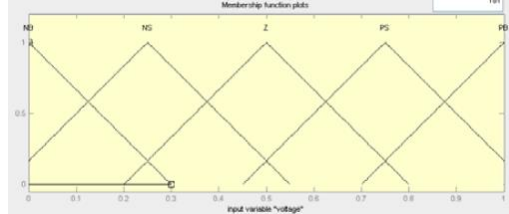
Logika fuzzy adalah suatu metode untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu. Logika Fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Kelebihan dari teori logika fuzzy adalah kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa (linguistic reasoning). Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan dan sangat fleksibel.

Dalam perencanaan logika fuzzy memiliki tahapan-tahapan. Tahapan yang pertama harus membuat rule base terlebih dahulu untuk membuat ketentuan-ketentuan dari membership function yang telah dibuat sehingga dapat ditentukan output yang diinginkan.

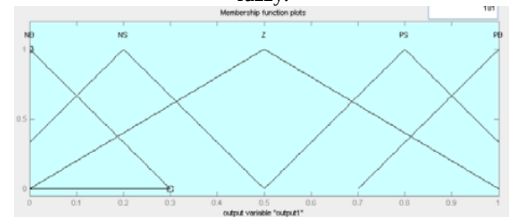
Dalam langkah pertama memproses logika fuzzy yang mengandung transformasi domain dinamakan fuzzifikasi. Crisp input ditransformasikan kedalam masukan fuzzy.



Gambar. 3 Contoh desain membership function input “Arus” kontrol fuzzy.



Gambar. 4 Contoh desain membership function input “Tegangan” kontrol fuzzy.



Gambar. 5 Contoh desain membership function input “Output” kontrol fuzzy.

Pada Gambar 3, 4 dan 5 merupakan contoh desain membership function input arus dan tegangan menggunakan 5 membership function. Pemilihan membership function tersebut berdasarkan pada tingkat ketelitian.

Dalam membuat membership function output, cara memasukkan nilai sama dengan langkah memasukkan membership function input. Pada hal ini penulis menggunakan 7 membership function yang berupa singleton yakni hanya memiliki nilai satu masukan. Membership function output duty cycle yang mewakili nilai Negatif Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB).

Penulis menggunakan singleton pada input fuzzy dikarenakan mudah diaplikasikan dalam mikrokontroller dan memiliki algoritma yang sederhana. Dalam defuzzifikasi, seluruh keluaran fuzzy yang signifikan akan dikombinasikan kedalam variabel keluaran yang spesifik dan hasil yang komprehensif. Salah satu dari teknik defuzzifikasi yang digunakan oleh penulis adalah Centre of Area atau Center of Gravity (COG) atau bisa dibilang centroid.

$$Outcrisp(y) = \frac{\sum_i (Keluaran\ fuzzy\ i) \times (Posisi\ singleton\ sumbu\ X_i)}{\sum_i (Keluaran\ fuzzy\ i)} \quad (2)$$

Aturan-aturan fuzzy (rule base) biasanya menggunakan pernyataan jika-maka yang menggambarkan sebagai aksi yang diambil dalam merespon bermacam-macam masukan fuzzy. Aturan-aturan mengikuti perilaku umum system dan ditulis dalam pola table linguistic fungsi keanggotaan. Untuk dua input yaitu Arus dan Tegangan serta output duty cycle. Aturan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Dari 7 membership function Arus dan Tegangan maka dapat dihasilkan aturan-aturan sebanyak 49 aturan yang dapat menentukan nilai hasil output respon nilai singleton yang akan diambil.

E/ ΔE	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z
NM	NL	NL	NL	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NL	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Gambar. 6 Rule Base Fuzzy.

D. Baterai (Accumulator)

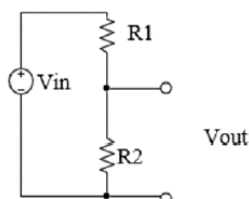
Accumulator adalah alat yang digunakan menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Contoh akumulator adalah baterai dan kapasitor. Di dalam standar internasional setiap satu cell akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt. sehingga aki 12 volt memiliki 6 cell, sedangkan aki 24 volt memiliki 12 cell. Aki merupakan sel yang banyak kita jumpai karena banyak digunakan pada sepeda motor maupun mobil. Aki termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. secara sederhana aki merupakan sel yang terdiri dari elektrode Pb sebagai anode dan PbO₂ sebagai katode dengan elektrolit H₂SO₄. Pada aki juga terdapat kapasitas aki saat digunakan perjamnya yang disebut satuan Ah (Ampere-Hour). Dalam pengisian aki terdapat standart level dimana aki dapat dikatakan penuh. Tegangan baterai saat terisi penuh memiliki nilai di atas 15%-25% dari rating tegangan baterai.



Gambar. 7 Accumulator (Aki Basah).

E. Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah voltage divider (pembagi tegangan). Sensor tegangan ini digunakan untuk mendeteksi tegangan output converter. Sensor ini didesain sampai tegangan 220 V. Hal tersebut mengacu pada tegangan output converter tertinggi.



Gambar. 8 Rangkaian Pembagi Tegangan.

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{in} \quad (3)$$

Keterangan:

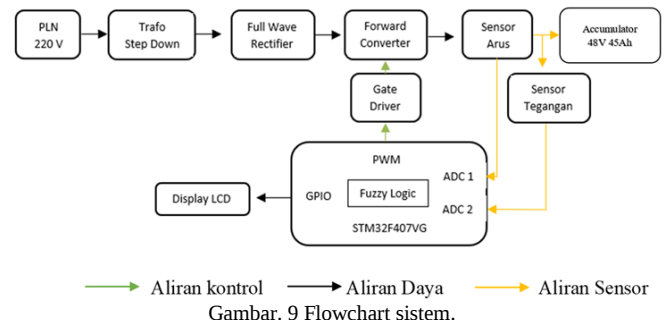
V_o : Tegangan referensi mikrokontroller
V_{in} : Tegangan output converter

F. Sensor arus ACS712-20A

ACS712 merupakan sensor arus AC atau DC linear yang memiliki ketepatan yang tinggi dengan batasan arus yang dapat dibaca hingga 20 A. Didalam ACS 712 memiliki rangkain low-offset linear Hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja dari ACS 712 adalah arus yang dibaca akan dilewatkan melalui tembaga yang didalamnya

menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh integrated Hall IC dan selanjutnya diubah ke tegangan proposional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS Hall IC yang didalamnya telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.

G. Flowchart system charging



Gambar. 9 Flowchart sistem.

Sesuai dengan blok diagram sistem perencanaan secara keseluruhan memiliki beberapa bagian. Bagian pertama terdiri dari tegangan PLN yang merupakan sumber utama dari sistem. sumber mempunyai tegangan input sebesar 220. Bagian kedua merupakan rectifier yang berfungsi untuk merubah dari tegangan AC ke DC tegangan agar bisa digunakan sebagai sumber converter dan mikrokontroller. Bagian ketiga terdiri dari DC-DC forward converter yang selanjutnya diumpun balikkan ke mikrokontroller sebagai input fuzzy logic, Sementara sensor arus berfungsi untuk sensing arus input converter dan arus charging ke baterai. Bagian keempat terdiri dari mikrokontroller. Mikrokontroller yang digunakan ialah minimum sistem STM32f4 Discovery dengan mikrokontroler ARM STM32F4. mikrokontroller sebagai kontrol yang akan mengatur besar duty cycle yang dimasukkan. Besarnya duty cycle diatur melalui PWM yang ada di mikrokontroller dengan menggunakan metode fuzzy logic mengatur constant current dan voltage.

Proses pengisian baterai ini disesuaikan dengan kapasitas baterai yang digunakan, yakni sebesar 48 V 45 Ah. Besarnya arus charging harus diset antara 10 % - 20 % dari kapasitas (Ah) baterai. Perhitungan besarnya arus charging:

$$I \text{ Charge} = 20\% \times 45Ah = 9A \quad (4)$$

Setiap baterai memiliki cell, setiap cell dapat di-charge dengan tegangan yang diset antara 2,3 V – 2,4 V per cell. Untuk baterai 48 V (24 cell of 2 V) tegangan chargingnya adalah:

$$V \text{ Charge} = 120\% \times 48Ah = 57,6A \quad (5)$$

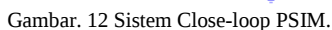
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang hasil pemodelan dan simulasi Charger pada software berbasis software MATLAB v2015b dan software PSIM dengan mengacu pada desain lalu adapun beberapa simulasi yang telah dibuat berdasarkan data yaitu sebagai berikut:



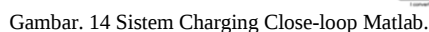
Figure 1 consists of two vertically stacked plots sharing a common x-axis representing time from 0 to 0.01. The top plot shows the evolution of the variable VPI (blue line), which starts at approximately -10 and rises to a plateau at 60. The bottom plot shows the evolution of the variable PI (red line), which starts at approximately -1 and rises to a plateau at 10. Both plots have a grid with major lines every 0.002 on the x-axis and every 20 on the y-axis for the top plot, and every 2 on the y-axis for the bottom plot.

Lalu bagian selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk forward Converter secara closeloop dengan menggunakan membership function dan rule base yang telah dibuat sebelumnya, Pada simulasi pengujian ini, dilakukan uji coba dengan menggunakan software PSIM agar dapat diketahui apakah perencanaan fuzzy pada converter sudah berjalan dengan baik atau tidak. Gambar rangkaian dari pengujian forward Converter secara closeloop ditunjukkan pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar. 13 Gelombang Close-loop PSIM.

Lalu pada pengujian selanjutnya akan dilakukan pengujian charging yang akan dihubungkan dengan baterai secara closeloop menggunakan kontroller fuzzy logic pada software MATLAB. Dari hasil pengujian secara simulasi ini, akan dilakukan pengujian data dengan menggunakan software agar dapat diketahui apakah perencanaan fuzzy secara integrasi sudah berjalan dengan baik atau tidak. Gambar rangkaian dari pengujian secara integrasi dapat ditunjukkan pada Gambar 14. sebagai berikut:

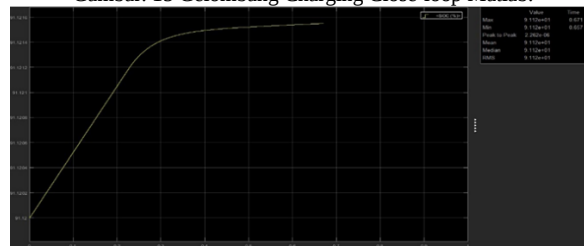


The screenshot displays the Tektronix DPO software interface. The main window shows two signal waveforms on a grid. The top plot shows a signal that ramps up and then levels off. The bottom plot shows a signal that drops sharply and then levels off. The right sidebar displays the 'F1 Peak Statistics' panel, which lists various peak parameters for the selected signal.

Value	Time
0.700e+01	0.002
0.700e+01	0.001
0.700e+01	0.000

Value	Time
0.700e+01	0.002
0.700e+01	0.001
0.700e+01	0.000

Gambar. 15 Gelombang Charging Close-loop Matlab.



19

Kemudian dilakukan pendataan dan pengujian untuk tegangan dan arus yang sudah dikontrol oleh fuzzy logic dimana charging constant voltage dan constant current akan diterapkan pada charging baterai. Tabel 1. akan memperlihatkan hasil arus dan tegangan yang dikontrol oleh pada simulasi, dapat dilihat sebagai berikut:

TABEL I
DATA PENGUJIAN CHARGING

SOC (%)	V (Input)	V (Output)	I (Output)
50	130	41.75	11.71
55	130	44.75	11.12
60	130	47.27	10.62
65	130	49.38	10.29
70	130	51.28	9.57
75	130	52.93	9.26
80	130	54.41	9.07
85	130	55.67	9.02
90	130	56.82	9.01
92	130	57.47	6.98
94	130	57.59	2.98
94.2	130	57.60	1.08
94.5	130	57.60	0.09

Data dari table 1. yang merupakan simulasi system yang berbeban baterai dan terdapat kondisi pada awal charging yaitu memiliki nilai arus 9A dimana pada awal terdapat penurunan arus dari 11A ke 9A dan mulai konstan. Kondisi pada saat arus sudah mencapai 9A maka disebut kondisi constant current lalu Ketika SOC pada baterai mendekati penuh yaitu pada hal ini 91-92% disini arus akan turun drastis dan pada saat ini akan switch ke constant voltage dimana kondisi charging akan sesuai set point yang telah diatur yaitu 57.6V dimana di awal tegangan akan naik secara perlahan menuju set point yang telah ditentukan saat switch ke constant voltage, namun perlu dicatat simulasi ini menggunakan nilai komponen ideal yang artinya secara pengujian nyata akan sangat berbeda.

V. KESIMPULAN

Simulasi charging menggunakan forward converter dapat disimpulkan untuk mampu berjalan dengan stabil meskipun terdapat sedikit error ketika tegangan mencapai 63 volt dimana seharusnya mencapai 57.6 volt, ini dikarenakan pengujian pada PSIM tidak menggunakan beban baterai yang sesuai. Untuk hasil dari simulasi menggunakan MATLAB pada mode tegangan konstan sudah memenuhi dimana tegangan naik menuju 57.6 V akan tetapi pada mode arus konstan terdapat error dimana arus mencapai 11.71 ampere yang perlahan turun ke 9 ampere, ini kemungkinan disebabkan oleh konfigurasi nilai variabel pada fuzzy masih kurang tepat. Untuk pengujian pada MATLAB paramater SOC pada baterai dibuat mulai 50% karena secara pengujian secara real baterai atau accumulator tidak dapat berada pada kondisi 0%, meskipun secara simulasi masih bisa dilakukan, ini juga mempercepat proses simulasi dimana SOC baterai semakin dekat dengan kondisi penuh. Lalu adapula yang perlu dipertimbangkan yaitu bila mana secara real pengujian dilakukan banyak hal yang mempengaruhi efisiensi pada charging tersebut yaitu termasuk pertama converter yang digunakan hanya mampu maksimal duty cycle sebesar 50% lalu kedua yaitu pada bagian input dan output converter dimana pada simulasi tidak diperlukan adanya kapasitor dan inductor tambahan karena komponen simulasi

sangat ideal padahal secara nyata bermacam sinyal ripple masih menembus filter pertama, kemudian pada switching jika menggunakan mosfet juga harus memiliki kualitas tertentu untuk mempertahankan panas dan tegangan keluar masuk dan yang terakhir baterai atau beban bisa bervariasi kondisi dan yang tegangan sudah tidak sesuai spek yang tertulis dan error ketika metode charging tidak cocok untuk baterai tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur dan tanpa menghilangkan rasa hormat yang mendalam, saya selaku penyusun dan penulis mengucapkan banyak terima kasih yang kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan paper ini, penulis mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aswardi, Elfizon, and F. Warman, "Sistem Pengisian Baterai pada Mobil Listrik," in Seminar Nasional Teknik Elektro 2018, Malang, Indonesia, Oct. 2018, pp. 1–5, ISBN: 978-602-8692-34-2.
- [2] V. A. Marcis, A. V. J. S. Praneeth, L. Patnaik, and S. S. Williamson, "Analysis of CT-CV Charging Technique for Lithium-ion and NCM 18650 Cells," in 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020), Cochin, India, Jan. 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/PESGRE45664.2020.9070505.
- [3] M. Prokin, J. Stojkovic, M. Cabarkapa, and D. Prokin, "Optimal Control of Chargers for Electric Vehicles," in 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, Jun. 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/MECO.2019.8760161.
- [4] A. Hassoune, M. Khafallah, A. Mesbahi, and T. Bouragba, "An Improved Approach of Control for a Battery Charger Based Forward Converter and SEPIC," in 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Rabat, Morocco, Dec. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/IRSEC.2018.8703032.
- [5] Shu-Hung Liao, Jen-Hao Teng, and Chao-Kai Wen, "Developing a smart charger for EVs' charging impact mitigation," in 2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC), Taipei, Taiwan, Nov. 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/IFEEEC.2015.7361393.
- [6] Wei Guo, H. Bai, G. Szatmari-Voicu, A. Taylor, J. Patterson, and J. Kane, "A 10kW 97%-efficiency LLC resonant DC/DC converter with wide range of output voltage for the battery chargers in Plug-in Hybrid Electric Vehicles," in 2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Dearborn, MI, USA, Jun. 2012, pp. 1–4, doi: 10.1109/ITEC.2012.6243457.
- [7] B. Singh and G. D. Chaturvedi, "Analysis, Design and Development of Single Switch Forward Buck AC-DC Converter for Low Power Battery Charging Application," in 2006 International Conference on Power Electronic, Drives and Energy Systems, Dec. 2006, pp. 1–6, doi: 10.1109/PEDES.2006.344285.
- [8] G. E. M. D. C. Bandara, R. M. Ivanov, and S. Gishin, "Fuzzy control of a universal battery charger," in 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS (Cat. No.99TH8397), New York, NY, USA, 1999, pp. 844–848, doi: 10.1109/NAFIPS.1999.781813.
- [9] M.-W. Cheng, S.-M. Wang, Y.-S. Lee, and S.-H. Hsiao, "Fuzzy controlled fast charging system for lithium-ion batteries," in 2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS), Taipei, Nov. 2009, pp. 1498–1503, doi: 10.1109/PEDS.2009.5385724.
- [10] T.-T. Ku, B.-R. Ke, Y.-L. Ke, and C.-K. Wen, "Application of fuzzy control for smart charging of electric vehicles," in 2017 IEEE/IAS 53rd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), Niagara Falls, ON, Canada, May 2017, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICPS.2017.7945097.