

Rancang Bangun Z-Source Inverter 1 Fasa Menggunakan Metode Maximum Boost Control Untuk Suplai Motor Induksi 1 Fasa

Indra Ferdiansyah¹, Sutedjo², Era Purwanto³, Gigih Prabowo⁴, R. Akbar Nur Apriyanto^{5*},
Putu Agus Mahadi Putra⁶

^{1,2,3,4,5,6} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

* akbarnurapriyanto@gmail.com

Abstract

Research on power electronics is growing, one of them is zsource inverter as an alternative concept of power conversion to increase voltage without the addition of a voltage-increasing topology before being connected to an inverter. Addition of voltage enhancing topology causes loss of switching is quite large which can reduce the value of efficiency. Besides that the voltage enhancer topology can only operate as boost converter. Therefore, a topology design is needed can operate as a boost converter and reduce voltage losses. Z-source inverter is a development of Voltage Source Inverter with addition of impedance source and range ignition control uses Maximum Boost Control. Maximum Boost Control is a sinusoidal PWM (SPWM) which is modified by adding Shoot Through Zero State conditions and minimize the index modulation (M) and maximize Boost value (B) with a voltage increase factor (B) of 3.3 times for supply 1 phase induction motor. The proposed system can be increase DC input 96 Volt up to AC voltage 223.9 Volt with the single stage topology, and also the proposed system can be avieve better efficiency up to 90%.

Keywords : induction motor, maximum boost control, boost control, voltage source inverter, z-source inverter

Abstrak

Penelitian mengenai elektronika daya semakin berkembang, salah satunya yaitu Z-source inverter sebagai alternatif konsep konversi daya guna meningkatkan tegangan tanpa adanya penambahan topologi peningkat tegangan (single stage) sebelum dihubungkan ke inverter. Penambahan topologi peningkat tegangan menimbulkan rugi-rugi switching yang cukup besar yang dapat menurunkan nilai efisiensi. Oleh karena itu, diperlukan desain topologi yang dapat beroperasi sebagai boost converter serta mengurangi rugi-rugi tegangan. Z-source Inverter merupakan perkembangan dari Voltage Source Inverter dengan penambahan rangkain sumber impedansi dan kontrol penyalaaan menggunakan Maximum Boost Control. Maximum Boost Control merupakan sinusoidal PWM (SPWM) yang dimodifikasi dengan menambahkan kondisi Shoot Through Zero State serta meminimalkan nilai index modulation (M) dan memaksimalkan nilai Boost (B) dengan faktor peningkat tegangan (B) sebesar 3.27 kali untuk suplai motor induksi 1 fasa. Dimana dari tegangan masukan inverter DC 96 Volt langsung dapat dinaikan menjadi tegangan AC 223.9 Volt hanya dengan satu kali topologi dengan efisiensi mencapai 90%.

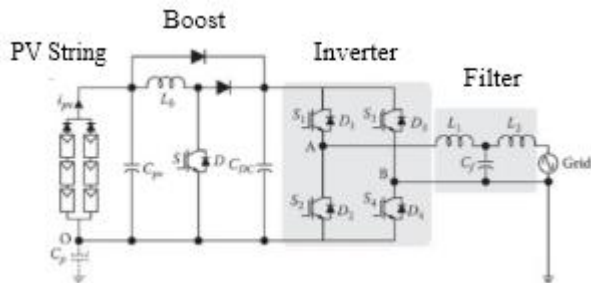
Kata kunci : motor induksi, maximum boost control, boost control, voltage source inverter, z-source inverter.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik setiap tahunnya mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Penelitian serta pengembangan mengenai konversi energi

listrik menjadi topik utama baik bagi peneliti maupun industri. Salah satunya yaitu pembahasan mengenai baterai sebagai penyimpan energi listrik. Harga baterai atau ACCU yang cukup mahal dengan konsumsi

tegangan yang rendah membutuhkan konverter peningkat tegangan sebelum dihubungkan ke inverter dan digunakan sebagai suplai motor induksi 1 fasa dengan tegangan input sebesar 220 Volt [1-2]. Berbagai topologi telah diusulkan untuk konversi tegangan serta efisiensi yang tinggi seperti halnya Voltage Source Inverter atau Current Source Inverter. Namun dua topologi di atas memiliki kelemahan yaitu dual stage yang menimbulkan rugi-rugi switching sehingga mempengaruhi nilai efisiensi dari inverter. Selain itu pada topologi Voltage Source Inverter tidak dapat beroperasi pada metode Buck-Boost namun hanya dapat beroperasi pada mode Boost saja, sehingga masih diperlukan sebuah converter untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Detail topologi Voltage Source Inverter yang umum digunakan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Topologi Voltage Source Inverter

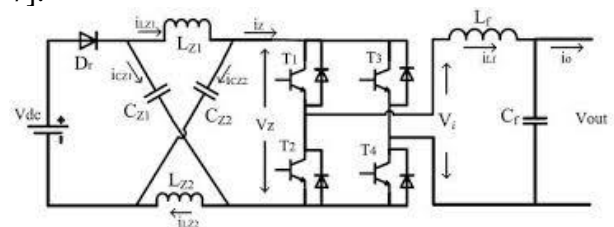
Untuk mengatasi permasalahan di atas, penulis mengusulkan menggunakan topologi Z-Source Inverter dengan metode Maximum Boost Control [2-4]. Z-Source Inverter merupakan salah satu topologi peningkat tegangan melalui satu topologi. Diharapkan dengan menggunakan topologi Z-Source Inverter dapat meningkatkan efisiensi inverter yang digunakan untuk suplai motor induksi satu fasa.

2. Metoda Penelitian

2.1. Topologi Z Source Inverter

Z-Source inverter atau rangkaian sumber impedansi merupakan bentuk perkembangan dari Voltage Source Inverter yang ditambahkan dengan rangkaian sumber impedansi L dan C pada sisi DC. Z-Source inverter dapat mengubah arus searah menjadi

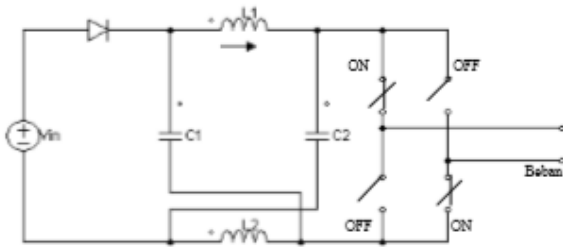
arus bolak-balik. Inverter ini berfungsi sebagai inverter buck-boost tanpa menggunakan konverter DC-DC karena topologi rangkaian yang unik (single stage) [3-4]. Selain sebagai peningkat atau penurun tegangan, jaringan impedansi tersebut berperan sebagai filter orde dua sehingga mampu mereduksi ripple tegangan, arus inrush serta harmonisa lebih baik sehingga dapat menaikkan nilai efisiensi dari inverter. Efisiensi yang tinggi akan menyebabkan life time inverter lebih lama. Pada Gambar 2 ditampilkan topologi dari single Z-Source Inverter. Dimana, jaringan impedansi tersebut dihubungkan dengan sumber DC yang dapat berupa baterai, fuel cell maupun photovoltaic [3]. Z-source converter dapat diaplikasikan sebagai konverter DC ke AC, AC ke DC, AC ke AC dan DC ke DC. Pada umumnya, Z-Source converter digunakan sebagai converter DC ke AC yang membutuhkan faktor peningkatan maupun penurunan tegangan pada sisi output [4]. Z-source inverter mampu meningkatkan tegangan output dengan menggunakan metode pensaklaran dengan menambahkan shoot-through zero states pada kontrol PWM. [1],[5-7].



Gambar 2. Topologi Single Phase Z-Source Inverter

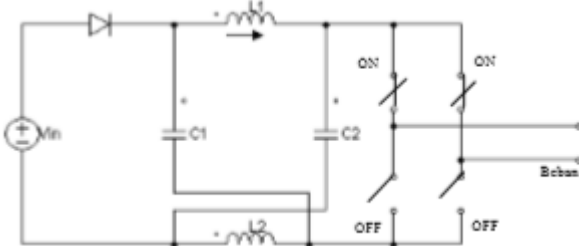
Dari topologi diatas dilakukan suatu analisis rangkaian untuk mengetahui kinerja dari converter tersebut. Z-Source Inverter memiliki 3 kondisi operasi yaitu kondisi aktif, kondisi null dan kondisi Shoot Through Zero State [4]. Pada kondisi I, inverter beroperasi dalam salah satu mode aktif dan rangkaian ekuivalen dapat dilihat pada gambar 3. Selama dalam kondisi aktif, sumber DC mengalir dari dioda ke rangkaian impedansi yang terdiri dari induktor dan kapasitor. Pada kondisi ini dioda diberikan tegangan positif (forward) sehingga dapat diibaratkan sebagai rangkaian tertutup.

Sedangkan kapasitor akan mengalami charge hingga kondisi steady state dan energi akan mengalir ke beban melalui induktor. Induktor mengalami discharge pada kondisi ini [8-10].



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Z-Source Inverter saat kondisi Aktif

Pada kondisi II, Inverter beroperasi pada keadaan null yaitu komponen pensaklaran mengalami pada bagian atas atau bawah. Selama kondisi II, rangkaian dapat diasumsikan sebagai open circuit seperti pada gambar 4. Tegangan pada sumber DC akan menuju induktor dan kapasitor.



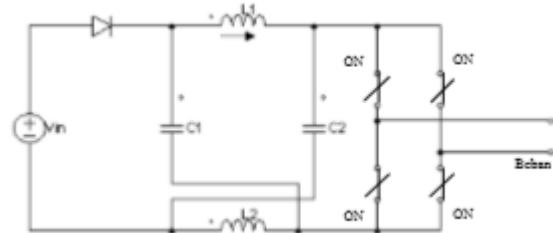
Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Z-Source Inverter saat kondisi Null

Pada kondisi III, Inverter beroperasi dalam keadaan shoot through zero states dimana komponen pensaklaran atas dan bawah mengalami short circuit atau keduanya on seperti pada gambar 5. Sehingga tegangan input lebih kecil daibandingkan dengan tegangan pada kapasitor sesuai dengan persamaan dibawah ini.

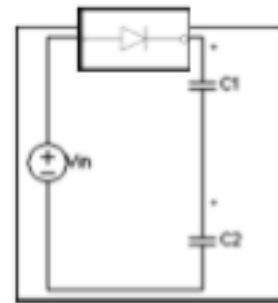
$$V_{in} < V_{c1} + V_{c2} \tag{1}$$

Hal tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada topologi z-source bersifat negatif sehingga dioda bekerja pada kondisi reverse bias. Pada kondisi tersebut, arus tidak dapat melewati dioda karena besarnya hambatan

dalam pada dioda. Sehingga Pada kondisi III, rangkaian dapat diasumsikan sebagai short circuit seperti pada gambar 5. Selama kondisi III, tidak terdapat tegangan keluaran pada inverter sama seperti dengan kondisi II. Tegangan DC kapasitor akan meningkat sesuai dengan besarnya rasio shoot through duty ratio.



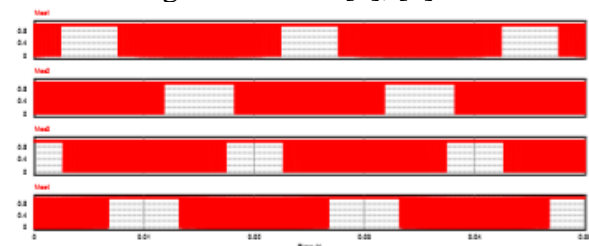
Gambar 5. Rangkaian Ekuivalen Z-Source Inverter saat kondisi Shoot Through Zero State



Gambar 6. Rangkaian Ekuivalen Topologi Z-Source saat kondisi Shoot Through Zero State

2.2. Maximum Boost Control

Maximum Boost Control merupakan Maximum Boost Control merupakan sinusoida PWM (SPWM) yang dimodifikasi dengan cara menambahkan shoot through zero state dalam satu periode switching. Dalam metode Maximum Boost Control, gelombang carrier dibandingkan dengan gelombang sinus untuk menghasilkan keadaan Shoot Through Zero State dan Non-Shoot Through Zero State [4], [6].

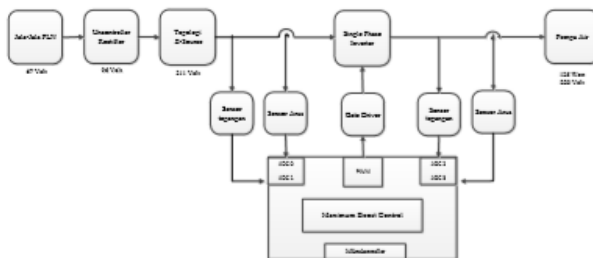


Gambar 7. Pembangkitan Sinyal PWM dari Maximum Boost Control

Pada gambar 7 adalah bentuk gelombang keluaran dari Maximum Boost Control dimana setiap kali gelombang carrier lebih besar dari gelombang sinus maka switch di kaki yang sama akan diaktifkan untuk mendapatkan kondisi Shoot Through Zero State. Apabila gelombang carrier kurang dari gelombang sinus maka akan menghasilkan gelombang Sinusoidal PWM normal. Dalam metode ini, interval Shoot Through Zero State akan cukup besar untuk menghasilkan Maximum Voltage Gain. Dalam metode ini keadaan non aktif tidak ada. Hal ini akan menyebabkan kebutuhan komponen pasif yang lebih tinggi ketika frekuensi output menjadi sangat rendah. Oleh karena itu, Maximum Boost Control cocok untuk diaplikasikan pada beban yang memiliki frekuensi output tetap atau relatif tinggi.

2.3. Desain Sistem

Pada Gambar 8 merupakan blok diagram sistem yang akan dibuat. Dimana terdapat pokok bahasan pada sistem yaitu topologi zsource inverter. Mula-mula terdapat tegangan input sebesar 96 Volt yang dihasilkan dari keluaran trafo step down sebesar 67 Volt AC kemudian disearahkan menggunakan Uncontroller rectifier menjadi 96 Volt DC. Tegangan tersebut kemudian menjadi input dari topologi z-source. Pada topologi z-source nilai tegangan akan meningkat sesuai dengan desain peningkat tegangan (Booster) sebesar 3,27 kali dari tegangan input yaitu 313,92 Volt DC. Adanya kenaikan tegangan diakibatkan oleh metode switching yaitu maximum boost control. Metode tersebut merupakan modifikasi dari SPWM dengan adanya penambahan kondisi shoot through duty ratio.



Gambar 8. Blok Diagram Sistem

Rasio konversi pada inverter bergantung pada nilai shoot through duty ratio. Faktor peningkatan tegangan (B) yang dibutuhkan untuk mendapatkan tegangan keluaran sebesar 220 Volt dengan indeks modulasi (M) 0,7 maka faktor peningkat tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{ac} = B \times V_{batt} \times M \tag{2}$$

Dengan nilai Faktor peningkat tegangan (B) yang telah didapatkan maka nilai shoot through duty ratio (Do) dapat ditentukan sebagai berikut.

$$B = 1 / (1 - 2D_o) \tag{3}$$

Waktu yang diperlukan selama proses shoot through duty ratio (To) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_o = T_o \times f_s \tag{4}$$

Arus rata-rata pada induktor (ΔI_L) dapat dihitung sebagai berikut dengan daya beban (Pout) sebesar 125Watt serta tegangan input baterai (Vbatt) sebesar 96 volt.

$$\Delta I_L = P / V_{pv} \tag{5}$$

Dengan diketahui nilai Do serta tegangan input baterai (Vbatt) sebesar 96 Volt maka nilai Tegangan induktor (VL) saat kondisi shoot through zero state dapat dihitung sebagai berikut.

$$V_L = (1 - D_o / (1 - 2D_o)) \times V_{batt} \tag{6}$$

Nilai induktor dan kapasitor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \dots \times T_o B \tag{7}$$

$$C = (\Delta I_L \times T_o) / (V_c \times \text{Ripple kapasitor}) \tag{8}$$

Rangkaian Z-Source Inverter menggunakan 8 buah komponen pensaklaran. Saklar elektronik tersebut menggunakan mosfet. Penentuan

tegangan dan arus pada dioda dapat diperoleh dengan menggunakan rumus voltage stress dan current stress pada IGBT.

$$VDS = V_{PN} = (1/1-2D) \times V_{in} \quad (9)$$

3. Hasil Penelitian

3.1. Spesifikasi Motor dan Inverter

Motor induksi atau sering disebut dengan motor asinkron merupakan suatu mesin berputar yang mampu mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Pada tabel 1 merupakan spesifikasi motor induksi yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi Motor Induksi 1 Fasa

No.	Parameter	Nominal
1	Tegangan	220 V
2	Daya	125 W
3	RPM	2850
4	Frekwensi	50Hz
5	Model	DB 125

Menentukan parameter awal inverter berpengaruh terhadap nilai kapasitas komponen seperti kapasitor, induktor dan nilai shoot through duty cycle yang digunakan sebagai control inverter. Tabel 2 dibawah ini merupakan parameter awal untuk mendesain inverter. Tegangan input dan daya inverter ditentukan berdasarkan sumber DC yang tersedia.

Tabel 2. Spesifikasi Z Source Inverter

No.	Parameter	Nominal
1	Daya Maksimum	125 W
2	Tegangan Input	96 VDC
3	Tegangan Keluaran	20 VAC
4	Frekuensi	50 Hz
5	Indeks Modulasi	0.7
6	Frekuensi Switching	10 Khz
7	Ripple tegangan kapasitor	0.5 %
8	Ripple arus induktor	20%

Pengujian Z-Source inverter (ZSI) bertujuan untuk mengetahui fungsi single stage dari rangkaian dalam hal ini untuk menguji proses peningkatan boosternya sumber yang digunakan adalah Variac 1 fasa. Z-source inverter sendiri merupakan perkembangan dari

Voltage source inverter dimana dapat meningkatkan tegangan input sesuai dengan penguatan (booster) yang di inginkan. Metode pensaklaran (*switching*) inverter menggunakan SPWM, dimana hal tersebut dilakukan untuk menghasilkan gelombang keluaran inverter yang menyerupai sinus sehingga diharapkan sama seperti tegangan jala-jala yang dihasilkan PLN. Jika dibandingkan dengan metode penskalaran lainnya seperti halnya PWM dimana dengan metode ini gelombang keluaran inverter masih berbentuk kotak namun memiliki 2 kondisi yaitu positif dan negatif. Selain dapat memperbaiki hasil keluaran dari inverter, SPWM juga dapat mengurangi THD yang jika dibiarkan maka akan mengurangi *lifetime* dari peralatan yang digunakan. Detail hasil pengujian ZSI dengan menggunakan metode switching SPWM ditampilkan pada tabel 3.

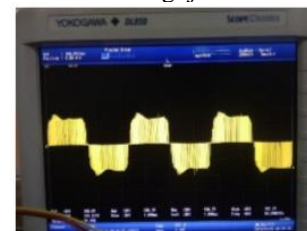
Tabel 3. Pengujian ZSI-SPWM dengan sumber VARIAC 1 Fasa

Vac (V)	Iac (A)	Vdc (V)	Vpn (V)	Vout (V)	Iout (A)	Eff (%)
67.65	0.20	96.4	99.4	68.3	0.26	87.49
93.74	0.22	132.9	139.1	95.5	0.30	87.29
116.6	0.25	165.1	172.5	119.5	0.35	89.58
165.2	0.31	234.7	244.5	170.5	0.43	93.25
213.2	0.45	306.3	313	219.7	0.63	96.58

Pada pengujian selanjutnya z-source inverter dengan metode maximum boost control dapat dilihat pada gambar 9, serta bentuk gelombang keluaran ZSI ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 9. Kondisi Pengujian Z-source Inverter



Gambar 10. Gelombang Output Z Source Inverter

Tabel 4. Hasil Pengujian Z-Source Inverter 1 Fasa Secara dengan Maximum Boost Control

Metode	Vdc (V)	Vpn (V)	Ipn (A)	Voutp (V)	Voutt (V)	Iout (A)	Beban
MBC adaptasi	96	309.3	0.6	228.6	219.15	0.54	No Load
Simple Boost Control	96	310.3	3.12	190.7	187.6	1.34	Lampu 100 W
Maximum Boost	96	312	1.32	276.8	221.87	0.15	No Load
Boost Control	96	310.7	7.9	215.90	212.7	1.05	Lampu 100 W
Control	96	309.7	8.7	223.9	220.78	2.3	Motor Induksi

Pada tabel 4 terdapat data hasil pengujian z-source inverter menggunakan Maximum Boost Control dengan dua tipe. Yang pertama yaitu adaptasi dari sinyal simple boost control dimana pada tahapan ini 2 sinyal SPWM di OR kan dengan PWM dengan memberikan nilai not pada salah satu keluaran dari SPWM. Pada metode ini juga, terdapat penambahan kondisi yaitu shoot through zero state, sehingga z-source inverter hanya memiliki 2 kondisi yaitu kondisi aktif dan kondisi shoot through zero state. Perbedaan keduanya yaitu lamanya waktu saat kondisi shoot through zero state. Telah diketahui pada tabel terdapat beberapa macam beban, dimana pada kondisi diatas nilai tegangan output pada topologi z-source (V_{pn}) hampir sesuai dengan desain yaitu sebesar 3,27 kali tegangan input.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap kinerja dari Z-Source inverter dengan metode maximum boost control untuk motor induksi 1 fasa dapat disimpulkan bahwa Z-source inverter dapat meningkatkan tegangan dari 96 Volt DC ke 220 Volt AC dengan faktor peningkat tegangan sebesar 3,27 kali dari inputnya. Arus keluaran Z-Source inverter pada saat diaplikasikan ke motor induksi 1 fasa memiliki kenaikan hampir sama dengan faktor peningkat tegangannya.

5. Saran

Z-Source inverter sebaiknya menggunakan induktor berbentuk toroid untuk mendapatkan hasil yang optimal pada proses booster. Penambahan filter L dan C sangat berpengaruh untuk memperbaiki bentuk gelombang output inverter.

6. Daftar Pustaka

- [1] Gajanayake, C.J., Vilathgamuwa, D.M., et al, "Z-Source Inverter Based Flexible Distributed Generation System Solution for Grid Power Quality Improvement," *IEEE Trans on Energy Conv.*, Vol. 24, No.3, pp. 695-703, September 2009.
- [2] Peng, F.Z. Shen, M., Holland K., "Application of Z-Source Inverter for Traction Drive of Fuel Cell-Battery Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Trans Power Electron.*, Vol. 22, No.3, pp. 1054-1061, May 2007.
- [3] Hanif, M., Basu, M., Gaughan, K., "Understanding the Operation of a Z-Source Inverter for Photovoltaic Application with a Design Example," *IET Power Electron*, Vol. 04, Iss.3, pp. 278-287, 2011.
- [4] Peng, F.Z., Shen, M., Qian, Z., "Maximum boost control of the Z-source inverter," *IEEE Trans. Power Electron*, Vol. 20, No.4, pp. 833-838, 2005.
- [5] Loh, P.C., Vilathgamuwa, D.M., Lai, Y.S., Chua, G.T., et al., "Pulse-width modulation of Z-source inverters," in

- Industry Applications Conf., 39th IAS Annual Meeting, 2004*, pp. 148–155.
- [6] Shen, M., Wang, J., Joseph, A., Peng, F.Z., Tolbert, L.M., Adams, D.J., “Maximum constant boost control of the Z source inverter,” in *Proc. IEEE IAS '04, 2004*, pp. 147–152.
- [7] Haiping, X., Peng, F.Z., Lihua, C., et al., “Analysis and Design of Bi-Directional Z-Source Inverter for Electrical Vehicles,” in *23rd Annual Applied Power Electronics Conf. and Exposition, 2008. APEC 2008. 2008*, pp. 1252-1257
- [8] Pham C.T, Shen A, Dzung P.Q, Anh N.B, and Phu N.X., “Comparison of Control Methods for Z-Source Inverter,” in *Scientific Research., Energy and Power Engineering , 2012.*, pp. 187-195
- [9] M.H. Rashid, *Power electronics: circuit devices and applications*. Prentice Hall, 1993.
- [10] Mohan, N., Undeland, T.M., and Robbins, W.P, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1995.