

Pengatur Tegangan AC Tiga Fasa dengan Kontrol Rangkaian Analog

Effendi¹, Zakwansyah²

^{1,2}Teknologi Elektronik Politeknik Aceh

Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya – Ulee Kareng, Banda Aceh 23119

¹effendi@politeknikaceh.ac.id, ²zakwansyah@politeknikaceh.ac.id

ABSTRACT

One of the topics studied in the Power Electronics course is the three-phase AC to AC converter, where the output frequency remains the same as the source voltage frequency, but the output voltage magnitude can be adjusted according to the requirements, this circuit is often referred to as a three-phase AC voltage regulator. The SCR trigger circuit functions to control the three-phase AC voltage, using six SCRs in total. The components used include an LM324, which functions as a comparator, MOC3063, diodes, and several other analog electronic components. The three-phase AC voltage source in this study uses a low-voltage supply, which is also used as a reference point for the comparator circuit, therefore, a three-phase step-down transformer circuit is required. The measurement of the output waveforms V_{an} , V_{bn} , and V_{cn} is conducted using a digital oscilloscope with SCR triggering delay times of 1.6 ms (28.8°), 2.5 ms (45°), 3.5 ms (59.4°), 5 ms (90°), 6.6 ms (118.8°), and 7.5 ms (135°). The measured waveform characteristics align with the results obtained using computer simulations. However, the differences between the measurement results and mathematical calculations are relatively small. This is due to the manual method used to determine the triggering time by adjusting the potentiometer, which introduces the possibility of errors during measurements performed by different individuals.

Keywords: Three phase AC voltage regulator, SCR triggering time delay, LM324, MOC3063.

ABSTRAK

Salah satu materi yang dipelajari dalam mata kuliah elektronika daya adalah konverter AC to AC tiga fasa dimana frekuensi yang dihasilkan tetap sama dengan frekuensi tegangan sumber namun besar nilai tegangan output dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, rangkaian ini sering disebut dengan rangkaian pengatur tegangan AC tiga fasa, rangkaian trigger SCR berfungsi untuk mengatur tegangan AC tiga fasa dimana jumlah SCR yang digunakan sebanyak enam buah, adapun komponen yang digunakan berupa LM324 yang difungsikan sebagai komparator, MOC3063, diode, serta beberapa komponen elektronika analog lainnya, sumber tegangan AC tiga fasa pada penelitian ini menggunakan tegangan rendah yang juga digunakan sebagai titik referensi bagi rangkaian komparator sehingga diperlukan rangkaian transformator tiga fasa step down. Pengukuran gelombang output V_{an} , V_{bn} , V_{cn} menggunakan osciloscop digital dengan waktu tunda pentriggeran SCR 1,6 ms (28,8°), 2,5 ms (45°), 3,5 ms (59,4°), 5 ms (90°), 6,6 ms (118,8°) dan 7,5 ms (135°). Bentuk gelombang pengukuran memiliki karakteristik sebagaimana hasil yang didapat dengan menggunakan simulasi computer, adapun perbedaan diantara hasil pengukuran dan perhitungan secara matematis memiliki nilai yang tidak terlalu jauh, dikarenakan pengamatan untuk menentukan waktu pentriggeran masih dilakukan secara manual dengan cara memutar potensiometer sehingga masih memungkinkan timbul kesalahan dalam pengukuran yang dilakukan oleh orang yang berbeda.

Kata kunci: Pengatur tegangan AC tiga fasa, waktu tunda pentriggeran SCR, LM324, MOC3063

I. PENDAHULUAN

Salah satu materi yang dipelajari dalam mata kuliah elektronika daya pada kampus Politeknik Aceh adalah konverter AC to AC tiga fasa dimana frekuensi yang dihasilkan tetap sama dengan frekuensi tegangan sumber namun besar nilai tegangan output dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, rangkaian ini sering disebut dengan rangkaian pengatur tegangan AC tiga fasa, pada umumnya komponen yang digunakan untuk mengatur tegangan AC berupa 2 buah SCR yang disusun saling terbalik satu dengan yang lainnya, hal ini dimaksudkan agar satu SCR digunakan untuk memotong pada sisi positif dan satu SCR lagi digunakan untuk memotong gelombang sinusoidal pada sisi negatif pada sumber satu fasa [1]–[4], metode ini juga dapat digunakan untuk mengatur sumber tegangan AC tiga fasa, dimana masing-masing fasa dikendalikan oleh dua buah SCR, untuk menggerakkan masing-masing SCR maka dibutuhkan suatu rangkaian kontrol elektronik, yang bertujuan untuk mentrigger (menggerakkan) gate dari masing-masing SCR yang digunakan tersebut, beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya seperti [5] dimana telah merancang rangkaian pentrigger SCR dengan menggunakan AVR microcontroller sebagai pengendali utama sistem kontrol yang dibangun, sementara pada penelitian yang dilakukan oleh [6] menggunakan microcontroller dengan tipe STM32 sebagai control utama rangkaian pentrigger SCR, pada penelitian yang dilakukan [7],[8] membangun suatu sistem regulator tegangan dimana penekanannya pada analisis dengan menggunakan program MATLAB.

Pada penelitian [9] rangkaian trigger diaplikasikan pada sumber tegangan AC satu fasa dengan menggunakan satu buah SCR dan empat buah dioda, pada penelitian [10] rangkaian trigger yang didesain untuk sumber tegangan satu fasa dan menggunakan dua buah SCR yang saling terbalik. Pada penelitian ini rangkaian trigger SCR yang dirancang berfungsi untuk

mengatur tegangan AC tiga fasa dimana jumlah SCR yang digunakan sebanyak enam buah, adapun komponen yang digunakan berupa Op-Amp yang difungsikan sebagai komparator serta beberapa komponen elektronika analog lainnya, sumber tegangan AC tiga fasa pada penelitian ini menggunakan tegangan rendah yang juga digunakan sebagai titik referensi bagi rangkaian komparator sehingga diperlukan rangkaian transformator tiga fasa step down yang disusun secara bintang [11], sementara beban yang digunakan pada penelitian ini bersifat resistif dan dihubungkan secara bintang dengan titik netral beban terhubung langsung dengan titik netral sumber tiga fasa, pengukuran gelombang dilakukan dengan menggunakan osciloscop digital, adapun besar nilai sudut trigger dapat diatur berdasarkan perubahan waktu tunda pentriggeran, perubahan waktu tunda pentriggeran SCR dapat dikendalikan dengan menggunakan komponen elektronika berupa potensiometer.

II. METODE PENULISAN

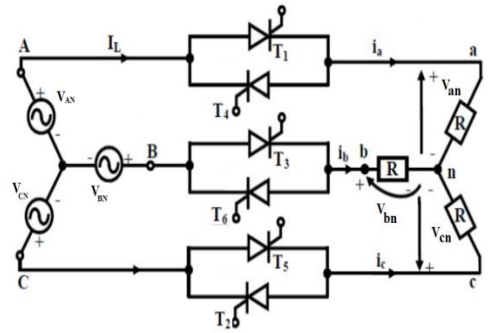
Metodologi yang digunakan pada pengatur tegangan AC tiga fasa dengan kontrol rangkaian analog ini terlebih dahulu dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan komputer untuk melihat dan menganalisis karakteristik gelombang serta nilai tegangan rms pada beban yang bersifat resistif, hal ini diperlukan sebagai pedoman untuk mendesain rangkaian kontrol secara elektronik serta melihat bentuk gelombang output yang dihasilkan dari sistem sebagai acuan untuk pengukuran gelombang output dari rangkaian hardwarenya.

Sistem yang dibangun pada penelitian ini masih dalam bentuk prototype dimana komponen elektronika yang digunakan antara lain operational amplifier, SCR, MOC, diode, transformator dan beberapa komponen pendukung elektronika dasar lainnya, adapun sumber tegangan tiga fasa yang digunakan terlebih dahulu diturun

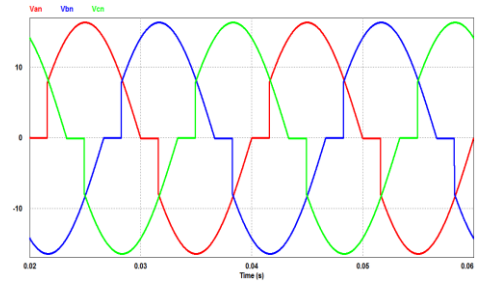
dengan menggunakan transformator yang disusun dengan konfigurasi hubungan Y:Y hal ini diperlukan agar komponen elektronika mampu mendeteksi titik awal mula pergerakan dari masing-masing gelombang untuk setiap fasanya, disisi lain untuk memudahkan pengamatan dengan menggunakan osciloscop mengingat rangkaian ini masih menggunakan metode analog untuk mengatur sudut (waktu tunda) pentriggeran SCR.

A. Analisis dengan menggunakan simulasi komputer

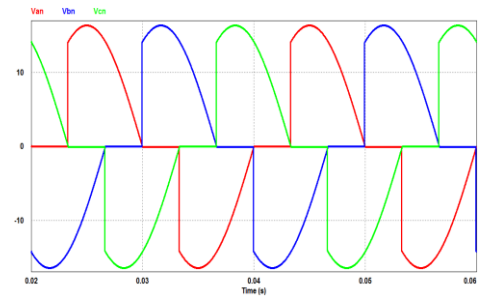
Rangkaian daya pada system ini disusun dengan menggunakan enam buah SCR seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dimana beban yang digunakan bersifat resistif dan dihubungkan secara hubungan bintang atau Y sementara netral sumber dihubungkan dengan netral beban, adapun pengukuran pada simulasi ini dilakukan pada tegangan V_{an} , V_{bn} , dan V_{cn} , dimana bentuk gelombang dari masing-masing tegangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 5.



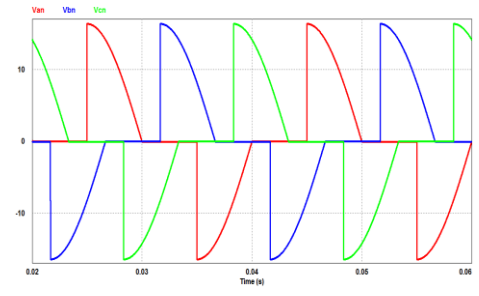
Gambar 1. Rangkaian Daya dengan beban resistif



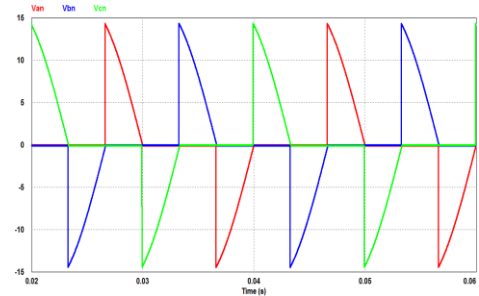
Gambar 2. Pemotongan 1,6 ms atau 30°



Gambar 3. Pemotongan 3,3 ms atau 60°



Gambar 4. Pemotongan 5 ms atau 90°



Gambar 5. Pemotongan 6,5 ms atau 120°

Analisis tegangan output pada penelitian ini difokuskan pada tegangan line ke netral pada fasa V_{an} , V_{bn} , dan V_{cn} , secara matematis besar tegangan output masing-masing terhadap netral dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1).

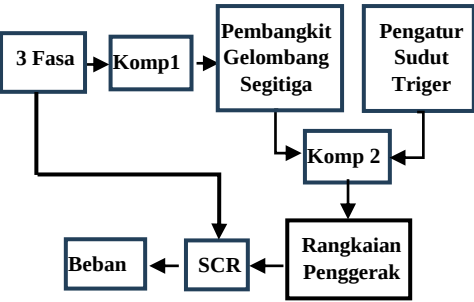
$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \tag{1}$$

dimana :

- $V_{o(rms)}$ = Tegangan rms output (Volt)
- V_m = Besar tegangan puncak (Volt)
- α_o = Sudut pemotongan SCR

B. Perancangan rangkaian elektronika

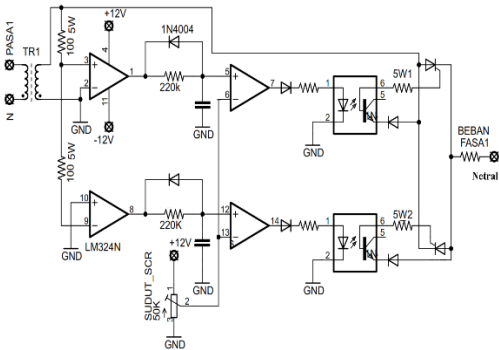
Secara umum blok diagram system yang diusulkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6, sumber AC tiga fasa yang digunakan memiliki tegangan rendah dan selanjutnya dihubngkan dengan komparator yang bertujuan untuk mendeteksi perubahan gelombang sinus pada saat melewati titik netral sebagai acuan untuk pengaturan sudut trigger SCR (α), selanjutnya output dari rangkaian ini kemudian dihubungkan dengan rangkaian pembangkit gelombang segitiga, rangkaian triggering control berfungsi untuk mengatur sudut pemotongan pada komponen SCR dengan cara memutar potensio secara manual untuk mendapatkan waktu tunda (sudut trigger) pengaktifan SCR, komponen MOC 3063 pada penelitian ini digunakan sebagai driver untuk memisahkan rangkaian control yang menggunakan tegangan DC dengan rangkaian SCR yang menggunakan sumber AC, adapun beban yang digunakan bersifat resistif dan disusun secara hubungan bintang (Y) dimana titik netral beban dihubungkan dengan netral sumber tegangan tiga fasa yang terhubung dengan SCR.



Gambar 6. Block diagram sistem

schematic rangkaian kontrol elektronika untuk fasa 1 pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7, rangkaian komparator 1 berfungsi untuk mendeteksi perubahan gelombang pada saat melintasi titik netral (zero crossing detector), komparator ini menggunakan operational amplifier LM324,

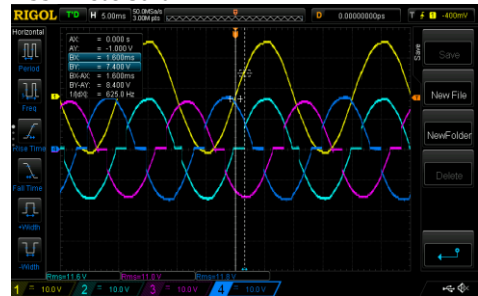
untuk memisahkan rangkaian control dan rangkaian daya digunakan komponen MOC 3063, komponen ini dapat digerakan dengan sumber tegangan DC rendah, SCR yang digunakan sebanyak dua buah dan disusun secara antiparalel, beban yang digunakan pada rangkaian ini bersifat resistif dengan nilai sebesar 100 Ohm 5 Watt, sementara untuk fasa 2 dan fasa 3 bentuk rangkaian schematic yang digunakan tetap sama dengan rangkaian schematic pada fasa 1, dimana masing-masing netral beban terhubung dengan netral sumber tiga fasa.



Gambar 7. Rangkaian kontrol fasa 1

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

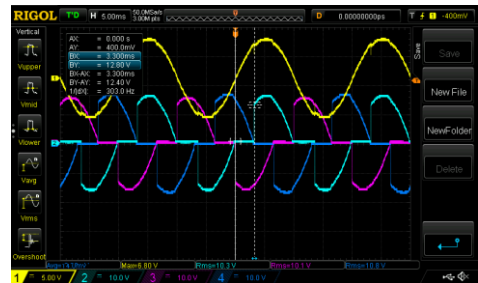
Pengukuran rangkaian pengatur tegangan AC tiga fasa dengan kontrol rangkaian analog pada penelitian ini menggunakan osciloscop digital, pada Gambar 8 pengukuran dilakukan pada waktu tunda pentriggeran SCR (BX-BAX) sebesar 1,6 ms (28,8°), dikarenakan keterbatasan peralatan pada penelitian ini menyebabkan waktu tunda yang dirancang sebesar 1,666 mS (30°) tidak dapat dicapai. Pengukuran tegangan rms pada beban resistif dilakukan pada masing-masing fasa yaitu, V_{an} , V_{bn} , V_{cn} . Pada Gambar 9 pengukuran dilakukan pada waktu tunda 2,5 ms (45°), sementara pada Gambar 10 pengukuran dilakukan pada waktu tunda sebesar 3,5 ms atau mendekati sudut 60° , untuk sudut 90°, 118,8° dan sudut 135° dapat dilihat pada Gambar 11, 12, dan 13.



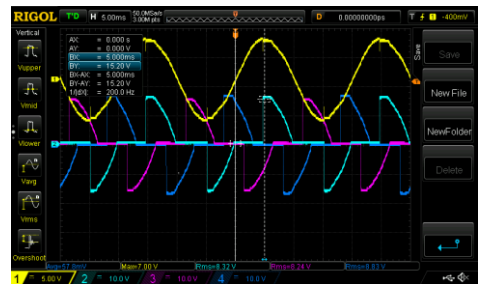
Gambar 8. Pengukuran waktu tunda 1.6 ms ($\alpha=28,8^\circ$)



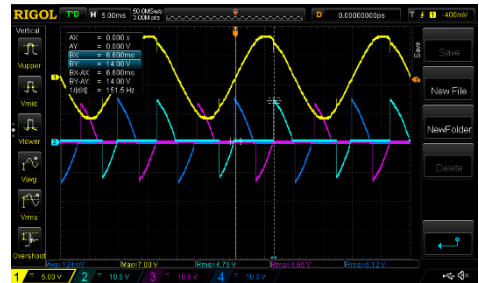
Gambar 9. Pengukuran waktu tunda 2.5 ms ($\alpha=45^\circ$)



Gambar 10. Pengukuran waktu tunda 3.5 ms ($\alpha=59,4^\circ$)



Gambar 11. Pengukuran waktu tunda 5 ms ($\alpha=90^\circ$)



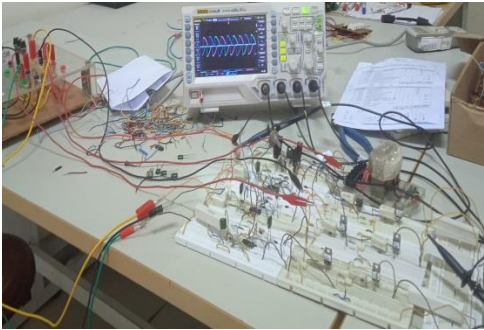
Gambar 12. Pengukuran waktu tunda 6,6 ms ($\alpha=118,8^\circ$)

Hasil pengukuran dengan menggunakan osciloscop untuk masing-masing fasa dapat dilihat pada Tabel 1, dimana pengukuran dilakukan pada enam sudut yang berbeda, adapun besar tegangan maksimum untuk masing-masing fasa yang dihasilkan dari transformator step-down yakni $V_{an} = 16,2$ Volt, $V_{bn} = 16,2$ Volt, $V_{cn} = 16,6$ Volt. Perbedaan ini disebabkan oleh transformator yang digunakan tidak identik sama antara satu dengan yang lainnya.



Gambar 13. Pengukuran waktu tunda 7,5 ms ($\alpha=135^\circ$)

pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat ukur berupa osciloscop dengan tipe RIGOL DS1054 yang memiliki empat channel input seperti ditunjukkan pada Gambar 14, adapun frekuensi sumber tiga fasa yang digunakan sebesar 50 Hz.



Gambar 14. Pengukuran sistem dengan osciloscop

Table 1. Hasil pengukuran pada beban resistif

T _{off} (ms)	α (°)	V _o Output Osc (Volt)		
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}
1,6	28,8	11,6	11	11,8
2,5	45	11,3	10,8	11,6
3,3	59,4	10,3	10,1	10,8
5	90	8,32	8,24	8,83
6,6	118,8	4,75	4,65	5,12
7,5	135	3,19	3,1	3,48

Hasil tengangan rms pada sisi output berdasarkan persamaan (1) untuk masing-masing sudut dapat dilihat pada Tabel 2

Table 2. Hasil Analisis tegangan dengan persamaan (1)

T _{off} (mS)	α (°)	V _o (Volt) Calc		
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}
1,6	28,8	11,83	11,83	12,08
2,5	45	11,49	11,49	11,74
3,3	59,4	10,75	10,75	10,98
5	90	8,1	8,1	8,3
6,6	118,8	5,35	5,35	5,25
7,5	135	4,16	4,16	4,3

Perbedaan tegangan rms antara pengujian dengan analisis secara matematis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3, untuk sudut dibawah 135° selisih antara pengujian dan analisis matematis dibawah 1 Volt, sementara untuk sudut 135° memiliki perbedaan hingga lebih dari 1 Volt. Perbedaan antara pengukuran dan perhitungan disebabkan oleh beberapa faktor

diantaranya, komponen elektronika analog yang digunakan tidak dalam kondisi yang ideal, keterbatasan alat ukur, dan ketidakakuratan dalam pengamatan waktu tunda yang dilakukan secara manual dengan memutar potensio dan mengamati secara visual pada layar Osciloscop.

Table 3. Analisis perbedaan tegangan pada beban

T _{off} (ms)	α (°)	ΔV_{an}	ΔV_{bn}	ΔV_{cn}
1,6	28,8	0,23	0,83	0,28
2,5	45	0,19	0,69	0,14
3,3	59,4	0,45	0,65	0,18
5	90	0,22	0,14	0,53
6,6	118,8	0,6	0,7	0,4
7,5	135	0,97	1,06	0,82

IV. KESIMPULAN

Secara umum penelitian dengan judul pengatur tegangan AC tiga fasa dengan kontrol rangkaian analog ini dapat bekerja dengan baik. Bentuk gelombang pengukuran memiliki kharakteristik sebagaimana hasil yang didapat dengan menggunakan simulasi komputer, adapun perbedaan diantara hasil pengukuran dan perhitungan secara matematis pada penelitian ini memiliki nilai maksimum sebesar 1,06 Volt, hal ini dikarenakan pengamatan untuk menentukan waktu pentriggeran masih dilakukan secara manual dengan cara memutar potensio serta mengamati bentuk gelombang pada osciloscop secara visual sehingga masih memungkinkan timbul kesalahan dalam pengukuran, disisi lain tegangan sumber tiga fasa dari transformator yang digunakan tidak identic untuk masing-masing fasa, untuk pengembangan lebih lanjut sebaiknya menggunakan sumber tiga fasa yang seimbang serta pengontrolan dapat menggunakan mikrokontroller sehingga nilai sudut dapat diinput melalui keypad sesuai dengan kebutuhan dan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Rashid, *Power electronics and applications*, Fourth Edi. Edinburgh Gate: Pearson, 2014. doi: 10.1109/pedstc.2014.6799390.
- [2] K. K. Singh, M D, *Power Electronics*, Second Edi., vol. 21, no. 1. New Delhi: Tata McGraw-Hill publishing companya limited New Delhi, 1998. doi: 10.1080/09557579808400206.
- [3] D. Hart W, *Power Electronics*. New York: McGraw Hill Companies, 2011.
- [4] N. Mohan, T. Underland M, and W. Robbins P, *Power electronics, Converters, Applications, and Design*, Third Edit. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [5] T. K. Chakraborty and S. H. Rakib, "A SIMPLE DIGITAL TRIGGERING CIRCUIT FOR THREE-PHASE," *Int. J. Ind. Electron. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 2347–2350, 2018.
- [6] G. Zhou, T. Ya, and S. Zhao, "A Three-phase AC-Voltage Regulator System," *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 3501–3508, 2014, doi: 10.11591/telkomnika.v12i5.3503.
- [7] Z. Zhang, "Design of alternating current voltage-regulating circuit based on thyristor: Comparison of single phase and three phase," *Meas. Control (United Kingdom)*, vol. 53, no. 5–6, pp. 884–891, 2020, doi: 10.1177/0020294020909123.
- [8] B. P. Ganthia, L. Ray, P. Senapati, and S. K. Barik, "Simulation of three phase voltage controlled soft switching start of induction motor drive," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 8104–8116, 2019, doi: 10.35940/ijrte.C6441.098319.
- [9] E. Effendi and F. Fitriady, "Design and Application SCR Trigger Circuit for Three-phase Half-wave Controlled Rectifier with Resistive Load," *Inov. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 8, no. 2, pp. 246–256, 2023, doi: 10.31572/inotera.Vol8.Iss2.2023.ID249.
- [10] M. D. Ovais, M. Aslam, M. Shariqazhar, and N. K. Pal, "SCR based Triggering Method for Single Phase Induction Motor," *J. Emerg. Technol. Innov. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 104–107, 2016, [Online]. Available: <https://www.jetir.org/papers/JETIR1605021.pdf>
- [11] S. A. S. Alkadhim, "Three Phase Transformer: Connection and Configuration," *SSRN Electron. J.*, no. July, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3647143.