

Rekomendasi Desain Relay Arus Lebih Standar IEC Berbiaya Rendah Menggunakan Arsitektur Mikrokontroler ATmega328P

Bima Romadhon ¹⁾, M Abdul Hamid ²⁾, Citra Dewi Megawati ³⁾

^{1),2)}Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang
Kampus II ITN Malang, Jl. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65153

³⁾Desain Grafis, Universitas Brawijaya Malang
Jl. Komplek Universitas Brawijaya Kampus II, Kalisongo, Malang, Jawa Timur 65145

Email : bimarpd@lecturer.itn.ac.id

Abstrak. Dalam operasi sistem tenaga listrik, gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Sistem proteksi berperan penting dalam mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan lebih besar. Relay Arus Lebih (Over Current Relay/OCR) adalah suatu perangkat yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Dalam standar IEC Curve metode yang digunakan terdiri dari *Extremely Inverse*, *Very Inverse*, *Normally Inverse*, dan *Moderately Inverse*. Pada paper ini telah dirancang suatu purwarupa OCR menggunakan mikrokontroler ATmega328P sebagai pemroses algoritma. Purwarupa OCR dilengkapi dengan pengaturan *ISetting* (PS) menggunakan potensiometer yang terhubung pada papan Arduino Uno dengan memperhatikan besarnya beban yang ditangani. *Pick up* sensor menggunakan sensor arus *Current Transformers* (CT) yang akan mendeteksi perubahan besaran arus AC yang mengalir pada beban. Pada penelitian ini tidak membandingkan metode mana yang terbaik dalam operasi sistem proteksi OCR, tetapi lebih ke arah pembuktian, bahwa OCR sederhana yang dibangun menggunakan arsitektur ATmega328P cukup handal, murah, dan sederhana dalam instrumentasi.

Katakunci: Arus Lebih, ATmega328P, Current Transformer, Proteksi, Tenaga Listrik .

1. Pendahuluan

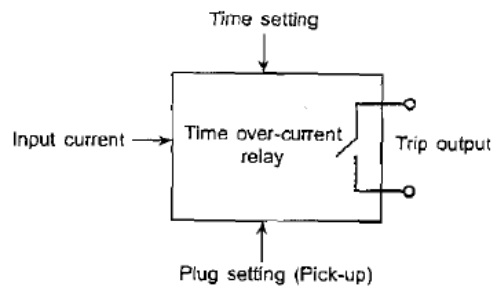
Dalam operasi sistem tenaga listrik, gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen[1]. Sistem proteksi berperan penting dalam mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan lebih besar[2]. Relay Arus Lebih (Over Current Relay/OCR) adalah suatu perangkat yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Dalam standar IEC Curve metode yang digunakan terdiri dari *Extremely Inverse*, *Very Inverse*, *Normally Inverse*, dan *Moderately Inverse*. Pada standar IEC Curve memiliki konstanta K dan E sebagai konstanta penetapan kecepatan nilai waktu trip. Pada umumnya proteksi yang ditangani oleh OCR berupa sistem distribusi tegangan rendah. Dalam proteksi OCR beban yang dapat ditangani dapat berupa resistif, kapasitif, induktif, maupun beban gabungan atau impedansi[3]. Pada paper ini telah dirancang suatu purwarupa OCR menggunakan mikrokontroler ATmega328P[4] sebagai pemroses algoritma, yang terdiri dari *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), *Very Inverse*, *Extremely Inverse*, *Long Time Inverse* yang akan dipilih secara manual menggunakan saklar selector mode.

2. Pembahasan dan Hasil Pengujian

Purwarupa OCR dilengkapi dengan pengaturan *ISetting* (PS) menggunakan potensiometer yang terhubung pada papan Arduino Uno dengan memperhatikan besarnya beban yang ditangani. *Pick up* sensor menggunakan sensor arus *Current Transformers* (CT) yang akan mendeteksi perubahan besaran arus AC yang mengalir pada beban dimana keluaran sensor berubah berbanding lurus terhadap arus beban (I_{relay}), sinyal yang dihasilkan oleh sensor arus berupa sinyal arus AC, yang perlu dilakukan instrumentasi pengkondisi sinyal agar sinyal keluaran dapat dibaca oleh ADC internal ATmega328P[4][5][6].

2.1. Dasar Teori

OCR memiliki input tunggal yang merupakan sensor arus untuk membaca arus beban (I_{relay}), dimana sebuah OCR akan bekerja memutus beban ketika terjadi arus lebih. Sebuah OCR memiliki dua pengaturan, yaitu pengaturan konstanta *Time Setting* dan pengaturan batas arus beban (PS). *Time Setting* menentukan kecepatan waktu pengoperasian relay, sementara pengaturan PS menentukan batas arus maksimum yang dapat melalui beban. Dalam purwarupa OCR pada penelitian ini, memiliki *input I_{relay}* (*input current*), konstanta *time setting* dan PS (*Plug Setting/Pick-up*) yang dijabarkan pada Gambar 1[7], [8].



Gambar 1. Diagram Blok Over Current Relay[7]

Persamaan konstanta PSM, didefinisikan dalam persamaan 1 berikut :

$$PSM = \frac{I_{relay}}{PS} \dots \dots \dots (1)$$

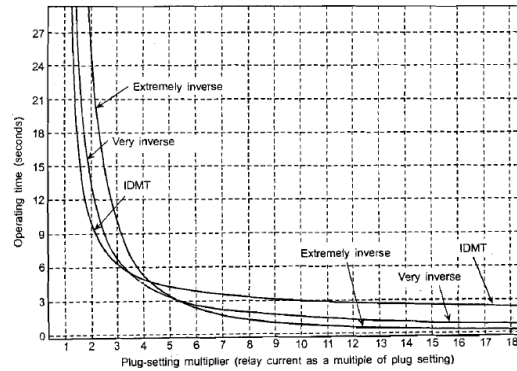
Nilai PSM menunjukkan besaran arus beban (I_{relay}) dibanding PS, PSM kurang dari 1 berarti arus beban normal sedang mengalir. Pada $PSM > 1$, relay akan melakukan pemutusan beban. Nilai PSM yang lebih tinggi menunjukkan seberapa serius gangguan tersebut. Persyaratan mendasar dari OCR untuk mendeteksi gangguan dan memutus sirkuit adalah sebagai berikut: (1) Selektivitas, kemampuan memilih sistem yang terganggu dan melepaskannya tanpa mempengaruhi bagian lain; (2) Kecepatan, pemutusan bagian yang mengalami gangguan harus secepat mungkin sesuai dengan karakteristik OCR; (3) Sensitivitas, semakin besar nilai arus gangguan maka akan semakin cepat waktu pemutusan beban; (4) Keandalan, kemampuan sistem OCR untuk beroperasi secara terus menerus dengan kinerja yang baik. Ketentuan karakteristik OCR ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan waktu relay atau waktu operasi relay yang ditunjukkan pada Persamaan (2), OCR diklasifikasikan sebagai berikut:

$$T_{op} = \frac{K (TMS)}{(PSM)^E - 1} \dots \dots \dots (2)$$

Karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), *Very Inverse*, *Extremely Inverse*, dan *Long Time Inverse* memiliki karakteristik semakin besar suatu gangguan, semakin cepat harus ditangani untuk menghindari kerusakan pada peralatan. Jenis karakteristik ini secara alami diperoleh dari relay elektromekanis, yang telah menyebabkan penggunaan dan standarisasi yang luas. Dengan munculnya relay berbasis mikroprosesor, sekarang dimungkinkan untuk menghasilkan karakteristik waktu-saat yang dapat diperkirakan secara matematis. Dalam penentuan waktu trip OCR ditunjukkan pada Persamaan 1, 2 dan Tabel 1. Dimana PSM adalah pengali pengaturan-plug dan TMS adalah pengaturan pengali-waktu relay. Dengan demikian, waktu operasi berbanding lurus dengan TMS dan berbanding terbalik dengan PSM. Karakteristik relay ditunjukkan pada Gambar 2[9][1].

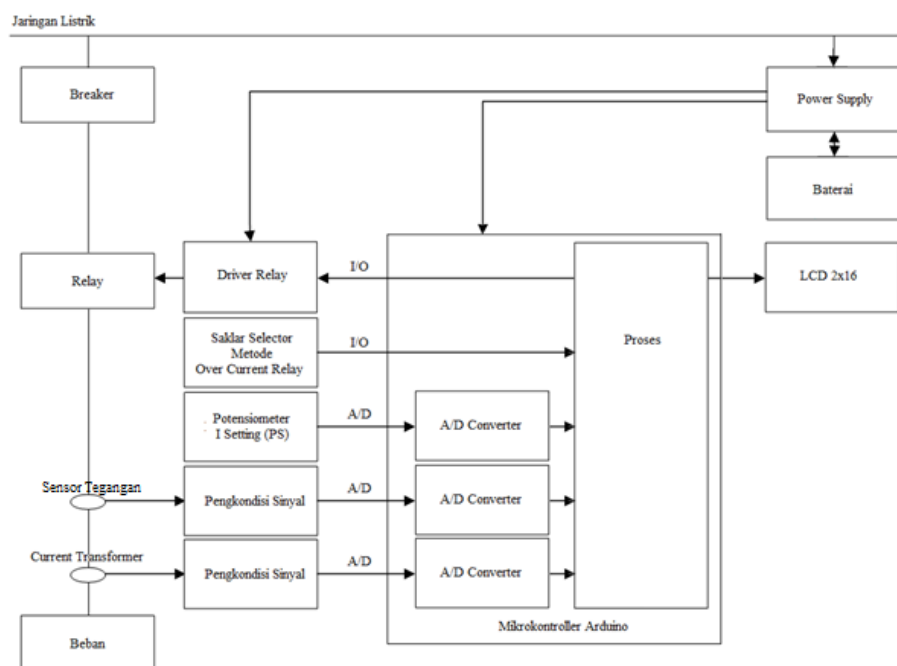
Tabel 1. Konstanta karakteristik OCR berdasarkan standar IEC[7][10], [11]

Standar IEC Curve	Konstanta	
	K	E
IEC Curve Inverse Definite Minimum Time	0.14	0.02
IEC Curve Very Inverse Time	13.5	1
IEC Curve Extremely Inverse Time	80	2
IEC Curve Standart Time Inverse	0.14	0.02
IEC Curve Long Time Inverse	120	1



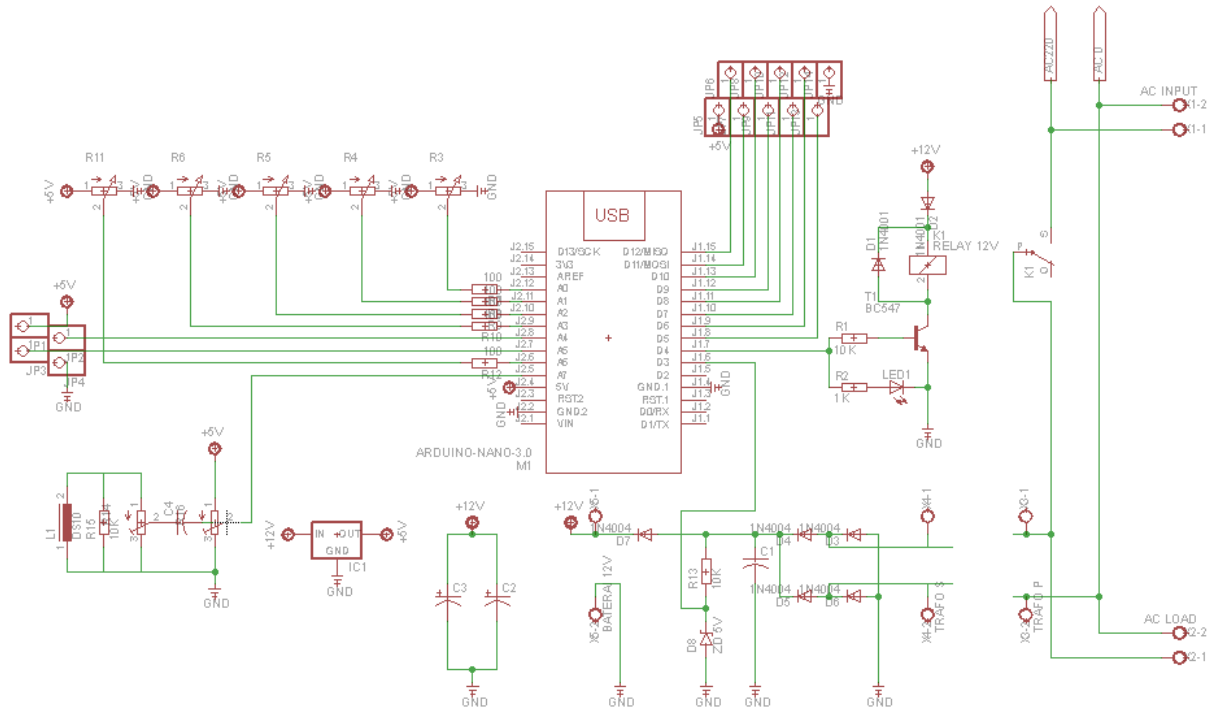
Gambar 2. Karakteristik Relay Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time*[7].

2.2. Desain



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Over Current Relay

Sistem kerja relay pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3, dimana terdapat pengaturan yang terdiri dari pengaturan arus (PS), TMS dan metode yang akan digunakan. Parameter masukan I_{relay} didapatkan dari nilai pembacaan sensor arus, dimana sinyal dari sensor akan digeser fasanya dan disesuaikan level tegangan yang dihasilkan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal sebelum dibaca oleh ADC internal ATmega28P[4]. Pengaturan arus, yaitu batas arus maksimum proteksi (PS) yang dapat diatur menggunakan sebuah potensiometer dan terdapat pengaturan metode yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan menggunakan saklar mode pada purwarupa OCR. Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor CT dengan rasio pembacaan 1:1000. Spesifikasi sensor ini memiliki akurasi pembacaan hingga 10A dengan sinyal keluaran hingga 10mA, sehingga diperlukan R_{burden} untuk mengkonversi nilai arus menjadi nilai level tegangan berdasarkan hukum Northon Thevenin. Tegangan keluaran dari sensor masih berupa sinyal AC, sehingga diperlukan sebuah rangkaian pengkondisi sinyal sebelum sinyal dari sensor dibaca oleh ADC. Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan sebagai rangkaian penggeser fasa dan rangkaian konversi arus ke tegangan.



Gambar 4. Skematik Rangkaian OCR

Sensor arus CT (Gambar 5) memiliki rasio transformasi 1:1000, sehingga jika dikehendaki sinyal masukan ADC memiliki V_{pp} sebesar 5 volt, maka harus ditentukan nilai $I_{OutputSensor}$ terlebih dahulu. Dimana $I_{OutputSensor}$ merupakan sinyal arus yang dihasilkan oleh sensor ketika sensor mendeteksi I_{relay} yang ditentukan berdasarkan rasio transformasi sensor, sehingga nilai $I_{OutputSensor}$ dapat dihitung sebagai berikut menggunakan Persamaan 3.

$$I_{OutputSensor} = \frac{I_{Beban}}{rasio} \dots \dots \dots (3)$$

$$I_{OutputSensor} = \frac{10 A}{1000}$$

$$I_{OutputSensor} = 10 mA$$

Kemudian nilai R_{burden} dapat ditentukan jika dikehendaki V_{pp} ADC (V_{CT}) sebesar 5 volt pada kondisi Irelay maksimum sebesar 10A, yang ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$R_{Burden} = \frac{V_{CT}}{I_{OutputSensor}} \dots \dots \dots (4)$$

$$R_{Burden} = \frac{5}{1.10^{-2}}$$

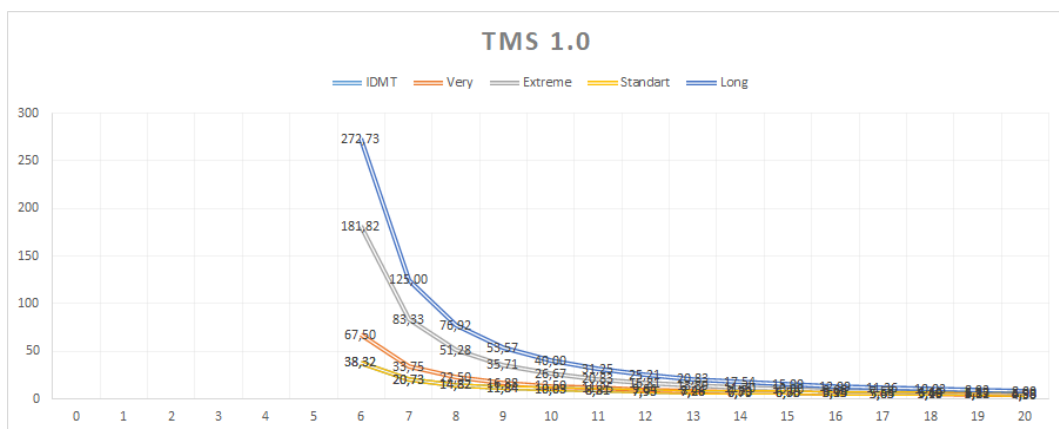
$$R_{Burden} = 500 \Omega$$

2.3. Hasil

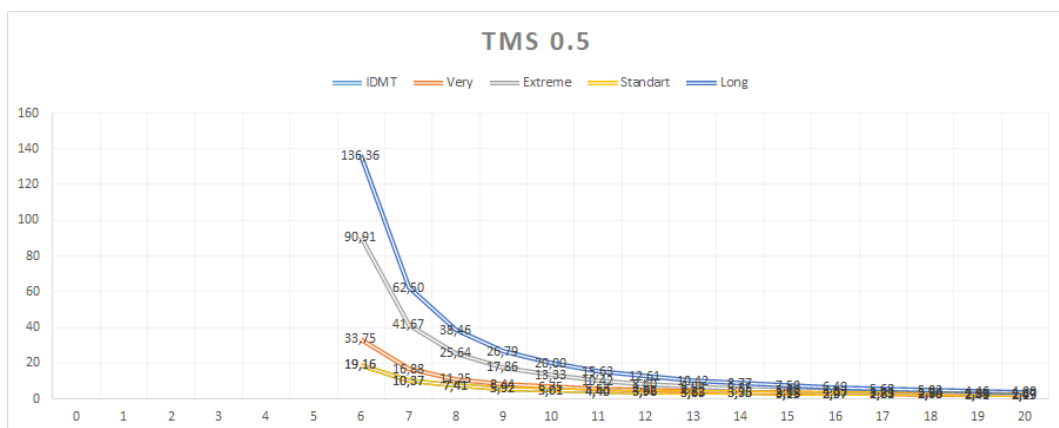
Purwarupa OCR secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 5, pada pengujian akan dilakukan uji nilai TMS sebesar 1.0 dan 0.5 pada rancangan OCR berjenis *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), *Very Inverse*, *Extremely Inverse*, *Long Time Inverse* yang ditunjukkan pada Tabel 2, 3 serta Gambar 6, 7, dimana merupakan nilai pengujian yang dilakukan pada setiap jenis metode OCR dengan nilai variasi I_{Relay} dan nilai PS yang telah ditentukan sebesar 5A.



Gambar 5. Purwarupa OCR Keseluruhan



Gambar 6. Respon Waktu Trip (Top) OCR pada TMS = 1.0



Gambar 7. Respon Waktu Trip (Top) OCR pada TMS = 0.5

Tabel 2. Respon Waktu *Trip* (T_{op}) OCR dengan konstanta nilai TMS = 1.0

I_{Relay}	Metode				
	IDMT	Very	Extreme	Standart	Long
	Waktu Trip (T_{op})				
5					
6	6,83	67,50	181,82	6,83	272,73
7	3,69	33,75	83,33	3,69	125,00
8	2,63	22,50	51,28	2,63	76,92
9	2,10	16,88	35,71	2,10	53,57
10	1,78	13,50	26,67	1,78	40,00
11	1,56	11,25	20,83	1,56	31,25
12	1,40	9,64	16,81	1,40	25,21
13	1,28	8,44	13,89	1,28	20,83
14	1,19	7,50	11,70	1,19	17,54
15	1,11	6,75	10,00	1,11	15,00
16	1,05	6,14	8,66	1,05	12,99
17	1,00	5,63	7,58	1,00	11,36
18	0,95	5,19	6,69	0,95	10,03
19	0,91	4,82	5,95	0,91	8,93
20	0,88	4,50	5,33	0,88	8,00

Tabel 3. Respon Waktu *Trip* (T_{op}) OCR dengan konstanta nilai TMS = 0.5

I_{Relay}	Metode				
	IDMT	Very	Extreme	Standart	Long
	Waktu Trip (T_{op})				
5					
6	3,42	33,75	90,91	3,42	136,36
7	1,85	16,88	41,67	1,85	62,50
8	1,32	11,25	25,64	1,32	38,46
9	1,05	8,44	17,86	1,05	26,79
10	0,89	6,75	13,33	0,89	20,00
11	0,78	5,63	10,42	0,78	15,63
12	0,70	4,82	8,40	0,70	12,61
13	0,64	4,22	6,94	0,64	10,42
14	0,59	3,75	5,85	0,59	8,77
15	0,56	3,38	5,00	0,56	7,50
16	0,52	3,07	4,33	0,52	6,49
17	0,50	2,81	3,79	0,50	5,68
18	0,48	2,60	3,34	0,48	5,02
19	0,46	2,41	2,98	0,46	4,46
20	0,44	2,25	2,67	0,44	4,00

Karakteristik dari relay arus lebih dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3, dimana dilakukan pengujian dengan nilai PS = 5A, nilai TMS = 1.0 dan TMS = 0.5, dan I_{Relay} bervariasi dari 5A hingga 20A. pengujian dilakukan dengan membandingkan kecepatan waktu trip (T_{op}) dari metode OCR berstandar IEC. Pada pengujian diketahui bahwa waktu T_{op} tercepat dimiliki oleh metode IDMT dan *Standar Inverse* dimana karakteristik kedua relay ini identik. Kemudian kecepatan waktu trip (T_{op}) terpanjang diketahui dimiliki oleh metode *Long Time Inverse*.

3. Simpulan

1. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sebuah relay arus lebih (OCR) sederhana yang dibangun dari basis papan purwarupa Arduino dengan arsitektur ATmega328P, dapat bekerja dengan baik sesuai dengan metode OCR yang digunakan, baik metode *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), *Very Inverse*, *Extremely Inverse*, *Long Time Inverse*.

2. Penggunaan arsitektur ATmega328P memiliki keunggulan dalam hal pembiayaan yang murah, handal, serta kesederhanaan dalam instrumentasinya, sehingga dapat direkomendasikan untuk keperluan pendidikan maupun riset.
3. Pada penelitian ini tidak membandingkan metode mana yang terbaik dalam operasi sistem proteksi OCR, tetapi lebih ke arah pembuktian, bahwa OCR sederhana yang dibangun menggunakan arsitektur ATmega328P cukup handal, murah, dan sederhana dalam instrumentasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan beribu terimakasih yang disampaikan kepada semua tim yang telah bekerja keras dalam publikasi artikel ilmiah ini, tetap semangat dan semoga Tuhan memberkati kita semua.

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Gryzlov and M. A. Grigor'ev, "Improving the Reliability of Relay-Protection and Automatic Systems of Electric-Power Stations and Substations," *Russian Electrical Engineering*, vol. 89, no. 4, pp. 245–248, 2018, doi: 10.3103/S1068371218040077.
- [2] S. A. Shaikh, K. Kumar, A. R. Solangi, S. Kumar, and A. A. Soomro, "Short circuit analysis over current relaying coordination of IEEE 9-bus system," *5th International Multi-Topic ICT Conference: Technologies For Future Generations, IMTIC 2018 - Proceedings*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IMTIC.2018.8467260.
- [3] L. Sugesti, A. N. Afandi, and H. Putranto, "Setting Analysis of over Current Relay and Ground Fault Relay on Transformer Protection System of High Voltage Substation System," *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar, EECCIS 2018*, pp. 27–31, 2018, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692825.
- [4] "ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet."
- [5] A. J. Ali, A. M. T. Ibraheem, and O. T. Mahmood, "Design of a smart control and protection system for three-phase generator using Arduino," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 745, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/745/1/012027.
- [6] N. El-Naily, S. M. Saad, T. Hussein, and F. A. Mohamed, "A novel constraint and non-standard characteristics for optimal over-current relays coordination to enhance microgrid protection scheme," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 13, no. 6, pp. 780–793, 2019, doi: 10.1049/iet-gtd.2018.5021.
- [7] Painthankar Y. G and Bhide S. R, *Fundermentals of Power System Protection*. 2013.
- [8] B. A. Khan, H. M. Ashraf, S. Hamid, R. M. Asif, and U. Bashir, "Implementation of micro controller based electromechanical over current relay for radial feeder protection," *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/CEET1.2019.8711841.
- [9] A. A. Hameed, A. J. Sultan, and M. F. Booneya, "Design and Implementation a New Real Time Overcurrent Relay Based on Arduino MEGA," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 881, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/881/1/012142.
- [10] M. Pujiantara, D. C. Riawan, A. Indrasaputra, T. P. Sari, and V. Raki Mahindara, "The automation of time dial setting calculation and inverse type curve selection for over current relay based on numerical computation in real industrial electrical system," *4th IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2018 - Proceedings*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICPERE.2018.8739673.
- [11] Z. Moravej and H. Mohaghegh Ardebili, "A new objective function for adaptive distance and directional over-current relays coordination," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 28, no. 9, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1002/etep.2592.