

PENGATURAN DAYA REAKTIF DENGAN PENERAPAN THYRISTOR SWITCHED CAPACITOR

Michael Fritz Immanuel. S^{1*}, Desman Jonto Sinaga^{2*}, Dian Putra Saragi³, Muhammad Ashari⁴, Selly Annisa Binti Zulkarnain⁵, Saras Pratama⁶

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

⁵Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

⁶Penidikan Teknologi Informatika dan Komputer, Universitas Negeri Medan; Jalan Willem Iskandar Psr.V - Kotak Pos No.1589 - Medan 20221

Keywords:

Capacitor, Three Phase Induction Motors, Thyristor

Abstrak. Pengaturan daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang thyristor dan kapasitor untuk mengatur daya reaktif yang ada pada sistem kelistrikan. Kegunaan dari daya reaktif untuk membangkitkan fluks magnet yang diperlukan untuk motor, trafo dan generator. Selain itu, untuk mengurangi adanya rugi-rugi yang akan terjadi pada sistem kelistrikan sehingga dapat menurunkan efisiensi dari sistem kelistrikan. Pada kondisi itu, pemakaian thyristor beralih jadi kapasitor (thyristor switched capacitor) merupakan salah satu cara untuk mengatur adanya daya reaktif yang muncul pada sistem kelistrikan.

Correspondent Email:

michaelstmt@gmail.com



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstract. Reactive power regulation can be done by installing thyristors and capacitors to regulate the reactive power in the electrical system. Using reactive power is to generate a magnetic flux needed for motors, transformers and generators. In addition, to reduce the losses that will occur in the electrical system so that it can reduce the efficiency of a electric system. In condition, using thyristors switched to capacitors (thyristor switched capacitors) is one way to regulate the reactive power that appears in the electrical system

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya pengaturan daya reaktif digunakan untuk menggerakkan peralatan magnetik (transformator dan motor) untuk menghasilkan fluks magnet. Daya reaktif ada saat tegangan dan arus tidak sefasa/unity sehingga disebut lagging apabila bersifat

induktif dan leading apabila bersifat kapasitif [1]. Daya reaktif disebut juga sebagai daya imajiner yang menunjukkan adanya pergeseran gelombang/grafik arus dan tegangan listrik AC akibat beban yang bersifat reaktif. Listrik yang diubah adalah listrik tiga fasa.

Motor induksi fasa digunakan

menggerakkan suatu peralatan di pabrik kemudian disuatu bidang konstruksi [2], Daya reaktif merupakan daya khayalan, pengontrolan daya reaktif di suatu sistem kelistrikan sangat penting untuk diperhatikan. Akibat dari berubahnya tegangan yang mengalir di suatu jaringan listrik tersebut dapat mengacaukan proses distribusi suatu energi listrik dari pembangkit menuju distribusi dibagian pengguna listrik konsumen dan memunculkan rugi-rugi dibagian jaringan distribusi listrik.

Rugi-rugi di jaringan distribusi listrik misalnya kerugian panas dan emisi. Emisi di elektromagnetik yang ada sepanjang sistem.

Emisi elektromagnet di distribusi mengganggu proses sistem distribusi daya nyata listrik. Disini perlu peran control daya reaktif sistem kelistrikan untuk mengatur daya reaktif agar dapat dipakai sesuai keperluan. Beban yang mengakibatkan daya reaktif meningkat yaitu pada siang hari dengan beban yang bersifat induktif [3], cara mengkompensasinya dengan membuat tegangan listrik meningkat dibagian keluaran generator pembangkit dengan melakukan cara menaikkan arus eksitasi generator sehingga tegangan keluaran generator naik. Kompensasi juga dilakukan jika beban pada suatu kelistrikan memiliki sifat kapasitif yang dapat menyebabkan tegangan pada sistem kelistrikan melebihi nilai normalnya [4]. Generator akan menurunkan tegangan keluarannya dengan jalan mengurangi arus eksitasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

Motor induksi adalah motor yang bekerja berdasarkan induksi dari suatu elektromagnet pada suatu sistem kelistrikan. Motor induksi biasanya dipakai sebagai penggerak untuk pompa pada suatu pabrik atau industri.

Pada pemakaian motor induksi dapat membuat adanya suatu faktor daya yang bersifat induktif sehingga mengakibatkan adanya daya reaktif yang muncul pada suatu sistem kelistrikan [5]. Adapun cara kerja dari motor induksi memerlukan induksi elektromagnet. Prinsip kerja dari motor induksi

dengan berdasarkan pada induksi elektromagnet dimana tegangan sumber diberikan pada kumparan stator, sehingga di inti besi dibagian stator menjadi suatu magnet dan menginduksikan suatu magnet tersebut dibagian rotor. Di kumparan rotor akan terinduksi tegangan karena kumparan rotor merupakan loop yang tertutup sehingga mengalir suatu arus di suatu bagian kumparan rotor tersebut yang berinteraksi dengan medan magnet di sekitar stator, sehingga timbul gaya putar di rotor yang mendorong suatu rotor untuk berputar dengan kecepatan sinkron [6]. Pada motor ini disituasi normal atau tidak memiliki tegangan maka coil break akan menahan rotor motor untuk tidak berputar sedangkan dalam keadaan bertegangan coil break akan melepas rotor motor untuk berputar [7].

Pengaturan daya reaktif di motor induksi sehingga bekerja sebagaimana mestinya di sistem kelistrikan. Pengaturan dibutuhkan agar dapat mengatur kerja dari motor induksi sehingga motor induksi dapat bekerja sesuai dengan yang diperlukan, selain itu supaya faktor daya tidak menjadi tinggi akibat adanya motor induksi [8]. Faktor daya pada suatu sistem kelistrikan dapat meningkat bila motor induksi memiliki kapasitas cukup besar sehingga menyebabkan faktor daya bersifat lagging dan membuat daya reaktif besar.

Akibat dari daya reaktif bertambah maka memerlukan adanya rating KVA yang tinggi dari suatu peralatan bila adanya daya reaktif kemudian memperbesar ukuran dari konduktor setelah itu efisiensi dari suatu peralatan listrik akan menurun [9].

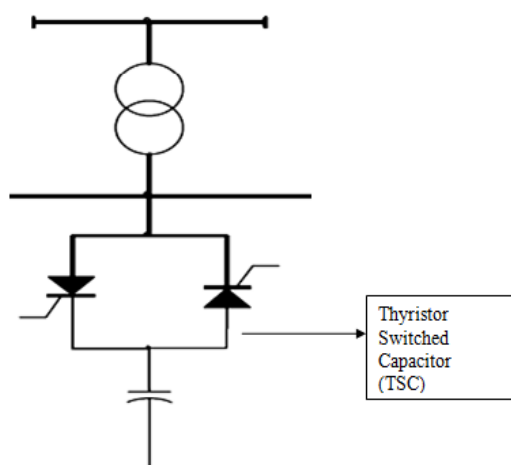
2.2. Thyristor Switched Capacitor

Thyristor switched capacitor adalah thyristor yang dipakai untuk mengatur daya reaktif dan juga bekerja bersama dengan kapasitor. Thyristor switched capacitor ada digunakan pada bus tegangan tinggi untuk menyediakan VAR (Satuan daya reaktif) yang bersifat leading selama beban berat (heavy load) di sistem kelistrikan [10]. Arus dapat mengalir melalui kapasitor dengan mengontrol sudut nyala (firing angle) thyristor yang dihubungkan secara seri dengan kapasitor. Kapasitor idealnya menarik arus yang bersifat leading terhadap

tegangan yang diberikan. Daya reaktif pada sistem dapat berkurang karena adanya kapasitor sehingga faktor daya meningkat [11]. Thyristor switched capacitor menyediakan output, terkontrol dengan menyaklarkan thyristor dengan menggunakan metode on/off pada thyristor. Adapun keuntungan dari thyristor switched capacitor adalah pada saat pemakaian tidak memerlukan adanya filter harmonik saat sedang memakai thyristor switched capacitor [12]. Beberapa pertimbangan pada pengoperasian thyristor switched capacitor yaitu saat thyristor tidak konduksi sehingga arus saluran seluruhnya mengalir melewati kapasitor dan kondisi normal de-bloking dimana dalam kondisi ini, arus mengalir cukup besar ke kapasitor sehingga adanya aliran arus.

Pada thyristor switched capacitor (TSC) sehingga menyala thyristor switched capacitor. Pengoperasian TSC, dioperasikan dengan periode sudut penyalan α [13]. TSC pada saat kondisi normal de-bloking dapat dibuat sudut penyalannya 45 derajat.

Di situasi tersebut, dimana TSC dinyalakan on dan sudut penyalan harus diambil dengan benar untuk menghindari adanya suatu hal seperti terbentuknya arus osilasi yang sangat besar. Ketika arus mengalir maka arus akan stabil menggunakan thyristor yang dimana thyristor dapat dikendalikan dengan sudut tembak dan thyristor terhubung secara seri [14]. Adapun bentuk dari TSC pada gambar berikut, yaitu :



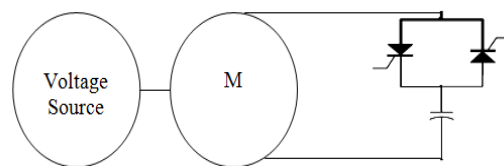
Gambar 1. Contoh dari Thyristor Switched Capacitor

3. PENGOPERASIAN THYRISTOR SWITCHED CAPACITOR

Pengoperasian thyristor switched capacitor disesuaikan dengan mengontrol jumlah kapasitor paralel dan memakai thyristor. Kapasitor selalu bekerja untuk satu siklus yang tidak terpisahkan. Pengoperasian thyristor switched capacitor hanya dioperasikan secara sepenuhnya bekerja atau secara sepenuhnya tidak bekerja.

Upaya untuk mengoperasikan thyristor switched capacitor akan menghasilkan arus yang sangat besar yang menyebabkan panas berlebih pada kapasitor bank dan katup thyristor dan distorsi harmonis dalam sistem arus bolak-balik [15].

TSC terdiri dari kapasitor yang terhubung seri dengan thyristor (bidirectional) dua arah. Adapun gambar dari pengoperasian thyristor switched capacitor dan motor, yaitu :



Gambar 2. Rangkaian pengoperasian thyristor switched capacitor dan motor

Motor induksi adalah motor yang bekerja berdasarkan induksi dari suatu elektromagnet pada suatu sistem kelistrikan [16]. Motor induksi biasanya dipakai sebagai penggerak untuk pompa pada suatu pabrik atau industri. Pada pengoperasian TSC, memerlukan suatu perhitungan untuk memberi nilai kapasitor yang sesuai dalam penentuan nilai kapasitor yang dipakai agar dapat mengatur daya reaktif pada suatu sistem kelistrikan. Nilai kapasitor itu penting diperhitungkan agar dapat mengatur daya reaktif dengan akurat agar tidak terjadi penurunan efisiensi dari kapasitas sistem kelistrikan. Adapun rumus yang dipakai pada pengoperasian ini untuk menghitung nilai dari suatu kapasitor menggunakan persamaan [17] :

$$C = \frac{Q}{V^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

C = Nilai Kapasitor (F)
 Q = Daya Reaktif (VAR)
 V = Tegangan (V)
 $\pi = 3,14$
 F = Frekuensi (Hz)

Dan untuk menghitung adanya daya reaktif dengan menggunakan persamaan :

$$Q = V \times I \times \sin \Phi \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

V = Tegangan (V)
 I = Arus (A)
 $\sin \Phi$ = Faktor reaktif

4. HASIL PENGOPERASIAN

Setelah didapat data dari nameplate motor induksi maka dapat dibuat tabel dari motor induksi. Berikut ini adalah data motor induksi pada motor dari nameplate motor di tabel 1.

Tabel 1. Data dari nameplate motor induksi yang dipakai

TABEL 1				
Data dari nameplate motor induksi yang dipakai				
Motor	Unit	M1	M2	M3
Daya	W	125	128	132
Tegangan	V	220	230	240
Frekuensi	Hz	50	50	50
Torsi beban penuh	Nm	1030	410	490
Kecepatan	rpm	1447	1490	1504
Torsi awal ke torsi beban penuh	-	2.5	2.0	2.7
Torsi maksimum ke torsi beban penuh	-	2.9	3.2	3.0
Faktor daya	-	0.84	0.86	0.84
Jumlah kutub	-	4	2	4

Penjelasan :

W = watt, V = volt, Hz = hertz, A = ampere,
 Nm = newton meter, rpm = putaran per menit

Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan perhitungan di bawah ini :

1. Motor Induksi 1

$$\Phi = \arccos 0.84$$

$$\Phi = 32,86^\circ$$

$$I = \frac{P}{V \times \cos \Phi}$$

$$I = \frac{125}{220 \times 0.84}$$

$$I = 0,676 \text{ A}$$

$$Q = V \times I \times \sin \Phi$$

$$Q = 220 \times 0,676 \times \sin 32,86^\circ$$

$$Q = 80,693 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q}{V^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C = \frac{80,693}{220^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}$$

$$C = 5,3 \mu\text{F} = 5 \mu\text{F}$$

$$Q_s = C \times V^2 \times 2 \times \pi \times f$$

$$Q_s = 0.000005 \times 220^2 \times 2 \times \pi \times 50$$

$$Q_s = 75,988 \text{ VAR}$$

$$Q_s = V \times I \times \sin \Phi$$

$$75,988 = 220 \times 0,676 \times \sin \Phi$$

$$\sin \Phi = 0,51$$

$$\Phi = \arcsin 0,51$$

$$\Phi = 30,66^\circ$$

$$\text{Faktor daya} = \cos \Phi = \cos 30,66^\circ = 0,86$$

2. Motor Induksi 2

$$\Phi = \arccos 0.86$$

$$\Phi = 30,68^\circ$$

$$I = \frac{P}{V \times \cos \Phi}$$

$$I = \frac{128}{230 \times 0.86}$$

$$I = 0,647 \text{ A}$$

$$Q = V \times I \times \sin \Phi$$

$$Q = 230 \times 0,647 \times \sin 30,68^\circ$$

$$Q = 75,929 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q}{V^2 \cdot 2\pi \cdot f}$$

$$C = \frac{75,929}{230^2 \cdot 2\pi \cdot 50}$$

$$C = 4,57 \mu\text{F} = 4 \mu\text{F}$$

$$Q_s = C \times V^2 \times 2 \times \pi \times f$$

$$Q_s = 0.000004 \times 230^2 \times 2 \times \pi \times 50$$

$$Q_s = 66,4424 \text{ VAR}$$

$$Q_s = V \times I \times \sin \Phi$$

$$66,4424 = 230 \times 0,647 \times \sin \Phi$$

$$\sin \Phi = 0,446$$

$$\Phi = \arcsin^{-1} 0,446$$

$$\Phi = 26,51^\circ$$

$$\text{Faktor daya} = \cos \Phi = \cos 26,51^\circ = 0,89$$

3. Motor Induksi 3

$$\Phi = \arcsin^{-1} 0.84$$

$$\Phi = 32,86^\circ$$

$$I = \frac{P}{V \times \cos \Phi}$$

$$I = \frac{132}{240 \times 0.84}$$

$$I = 0,654 \text{ A}$$

$$Q = V \times I \times \sin \Phi$$

$$Q = 240 \times 0,654 \times \sin 32,86^\circ$$

$$Q = 85,164 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q}{V^2 \cdot 2\pi \cdot f}$$

$$C = \frac{85,164}{240^2 \cdot 2\pi \cdot 50}$$

$$C = 4,7 \mu\text{F} = 4 \mu\text{F}$$

$$Q_s = C \times V^2 \times 2 \times \pi \times f$$

$$Q_s = 0.000004 \times 240^2 \times 2 \times \pi \times 50$$

$$Q_s = 72,3456 \text{ VAR}$$

$$Q_s = V \times I \times \sin \Phi$$

$$72,3456 = 240 \times 0,654 \times \sin \Phi$$

$$\sin \Phi = 0,46$$

$$\Phi = \arcsin^{-1} 0,46$$

$$\Phi = 27,44^\circ$$

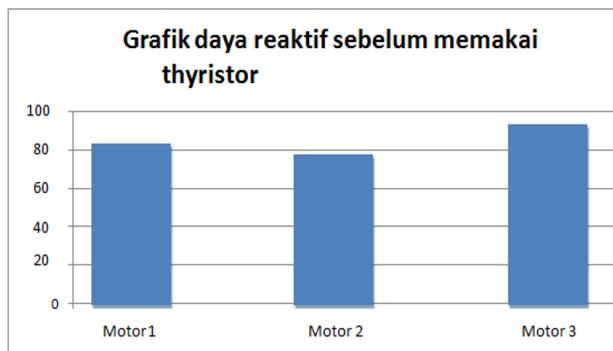
$$\text{Faktor daya} = \cos \Phi = \cos 27,44^\circ = 0,88$$

Kemudian data yang diperoleh dari perhitungan untuk mendapatkan daya reaktif pada motor induksi dan kapasitor dapat dibuat kemudian dibentuk ditabel berikut :

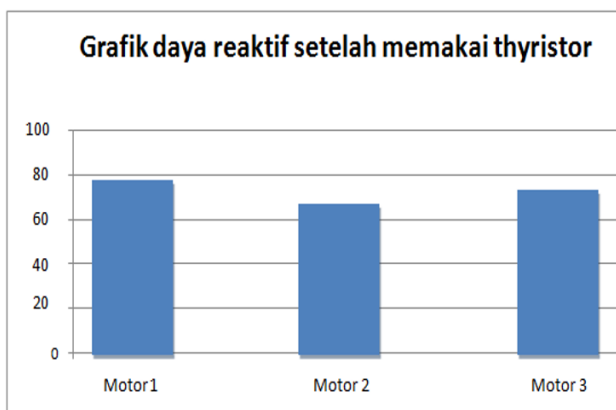
Tabel 2. Hasil Pengoperasian Motor Induksi dan Kapasitor

TABEL 2 MOTOR INDUKSI DAN KAPASITOR M1 ; M2 ; M3				
No.	Unit	M1	M2	M3
S (Daya Semu)	VA	148,72	148,81	156,96
Q (Daya Reaktif sebelum)	VAr	80,693	75,929	85,164
Kapasitor	μF	5	4	4
Q (Daya Reaktif sesudah)	VAr	75,988	66,4424	72,3456
Faktor Daya (sebelum)	-	0,84	0,86	0,84
Faktor Daya (sesudah)	-	0,86	0,89	0,88

Untuk menunjukkan perbedaan antara sebelum penggunaan thyristor switched capacitor dan setelah penggunaan thyristor switched capacitor, didapat menggunakan grafik berikut :



Gambar 3. Grafik daya reaktif sebelum memakai thyristor switched capacitor



Gambar 4. Grafik daya reaktif setelah memakai thyristor switched capacitor

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilaksanakan dapat diambil kesimpulan beberapa hal sebagai berikut:

- Pengaturan daya reaktif dalam sistem kelistrikan dapat dilakukan dengan menggunakan thyristor dan kapasitor.
- Pengoperasian dari suatu thyristor bergantung pada sudut penyalan dari thyristor yang disebut dengan firing angle atau sudut penyalan.
- Diperlukan juga kapasitor yang memiliki nilai yang sesuai agar dapat mengatur daya reaktif pada suatu sistem kelistrikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengapresiasi kemudian mengucapkan

terima kasih pada pihak-pihak yang memberi semangat, dukungan di penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aleksandr N. Skamyin, & Margarita S. Kovalchuk, "Energy Efficiency Improving of Reactive Power Compensation Devices". IEEE Conference of Russian Young Reserachers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2021
- [2] Muhammad Rayhan Pramana Rizqi, " Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Dari Aspek Besaran Daya Dan Efisiensi Motor Dalam Menggerakkan Mesin (Studi Kasus Mesin Jaw Crusher Di PT. Alam Tunggal Semesta)". Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan Lampung. 2024
- [3] Bartosz Brusilowicz, & Janusz Szafran, "Comparison of Reactive Power Compensation Methods". Electric Power Networks (EPNet) Poland September 19-21, 2022
- [4] Zhang Yong-jun, Li Qin-hao, & Chen Xu, "Reactive Power Optimization Oriented Control Using Optimal Reactive Power Supply for Induction Motor". IEEE Region 10 Symposium. 2021
- [5] Erxia Li, Wanxing Sheng, Xiaojun Wang & Bin Wang, "Combined compensation strategies based on instantaneous reactive power theory for reactive power compensation and load balancing". International Conference on Electrical and Control Engineering. 2022
- [6] Kenan Yang, Yiyu Gong, Pu Zhang & Zhaoyan Liu, "A Reactive Power Compensation Method Based on Tracing the Active Power Motor ". 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructing and Power Technologies (DRPT) Changsha China November 26-29. 2022
- [7] Xiong Chao, Li Chunlai, Yang Libin, Li Xin, Hui Qian & Teng Yun, "Study of reactive power compensation based on neural network". 35th Chinese Control Conference (CCC) Chengdu China July 27-29. 2021
- [8] Xuesong Zhou, Youjie Ma, Zhiqiang Gao & Shaowei Zhang, "Reactive Power Compensation in Motor". IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) Takamatsu Japan August 6-9. 2021

- [9] T.J.E. Miller, "Reactive Power Control In Electric System". Ney York : A Willey-Interscience Publication. 2019
- [10] Rashid, "Power Electronics and Applications", Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1990
- [11] Shu Yamamoto, Hideaki Hirahara, "Effect of Parameter Tuning on Driving aaaaaPerformance of a Universal-Sensorless-Vector-Controlled Closed-Slot aaaaaCage Induction Motor," 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2019
- [12] Polyakov V.N., Plotnikov I.V., Postnikov N.V., "Control System of Energy aaaaaaStorage Device as Part of Frequency-regulated AC Electric Drive", 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED), 2021
- [13] Nikita A. Sevostyanov, Roman L. Gorbunov, Maksim A. Zharkov, "Digital aaaaaaControl System with an Adaptive Feedback Loop for AC Motor PWM Drive", 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED), 2022
- [14] S Deda, J A de Kock, "Induction motor efficiency test methods: A comparison of standards," International Conference on the Industrial and Commercial aaaaaUse of Energy (ICUE), 2022
- [15] Gang Cui, Lifei Liu, Shan Li, Pingxi Yang, Lin Chen, Jiwei Dong, aaaaa"Optimization design of high efficiency variable frequency induction motor aaaaabased on finite element analysis", 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2021
- [16] Daniel Liang, Victor Zhou, "Recent market and technical trends in Copper Rotors for High-Efficiency Induction Motors," International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 – ECCE Asia), 2023
- [17] Ryotaro Ikeda, Sadali Yusya, Keiichiro Kondo, "Study on Design Method for Increasing Power Density of Induction Motors for Electric Railway Vehicle Traction," IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2021