

ID: 10

Pengendalian Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metoda PID Auto Tuning Berbasis Programmable Logic Kontroller

Speed Stability Control of a 3-Phase Induction Motor Using PID Auto-Tuning Method Based on Programmable Logic Controller

Nanang Rohadi

Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran
Jl. Hegarmanah, Jatinangor, Sumedang, Jawa-Barat 45363
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – Kecepatan motor induksi induksi 3 fasa dalam industry adalah aspek penting yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional dan kualitas produksi. Persoalan yang sering muncul terkait perubahan kecepatan motor induksi adalah terjadinya perbuahan beban ekstrim sehingga pengendalin kecepatan dengan parameter pendali konstan tidak bisa dilakukan. Dalam hal ini kendali kecepatan secara adaptif pada motor diperlukan untuk meningkatkan kinerja terhadap perubahan beban. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem pengendali kecepatan motor secara adaptif dengan metoda Proporsional-Integral-Derivative (PID) with Auto Tuning (PIDAT) yaitu fungsi pengendalian yang digunakan pada PLC. PIDAT bekerja dengan prinsip dasar pengendalian PID namun dilengkapi dengan kemampuan auto-tuning untuk menyesuaikan parameter kontrol yang sesuai berdasarkan perubahan karakteristik beban . PLC-Omron dengan fungsi PIDAT digunakan untuk implementasi terhadap metoda yang dikembakan untuk mendapatkan aksi pengendalian dengan presisi tinggi dan stabilitas. Teknik ini dapat meningkatkan kinerja dari sistem kendali kecepatan terhadap perubahan beban secara akurat dengan kesalahan kondisi kecepatan konstan sebesar 1,667% dengan respon waktu settling sebesar 8,97 detik.

Kata kunci: PID Auto Tuning, Pengendalian Kecepatan, Motor Induksi, PLC, Ziegler-Nichols.

Abstract – The speed of a three-phase induction motor in an industrial setting is a critical aspect that can influence operational efficiency and production quality. A common issue related to changes in motor speed is the occurrence of extreme load variations, which makes it impossible to control the speed using constant kontrol parameters. In this context, adaptive speed kontrol for the motor is necessary to improve performance in response to load changes. This research aims to implement an adaptive motor speed kontrol system using the Proportional-Integral-Derivative (PID) with Auto Tuning (PIDAT) method, a kontrol function utilized in PLCs. PIDAT operates on the basic principles of PID kontrol but is equipped with auto-tuning capabilities to adjust kontrol parameters according to changes in load characteristics. Omron PLCs with the PIDAT function are used to implement the developed method to achieve high precision and stability in kontrol actions. This technique can enhance the performance of speed kontrol systems in response to load variations accurately, with a constant speed condition error of 1.667% and a settling time response of 8.97 seconds.

Keywords: PID Auto Tuning, Speed Controlling, Induction Motor, PLC, Ziegler-Nichols.

1. Pendahuluan

Motor induksi diperlukan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial karena beberapa kelebihan dan manfaatnya. Sejumlah alasan mengapa motor induksi banyak digunakan dan dianggap penting adalah karena memiliki durabilitas yang baik terhadap kondisi operasional yang keras dengan keandalan yang tinggi. Sejumlah karakteristik lain yang dimiliki sehingga motor induksi banyak digunakan dalam kegiatan industri atau kegiatan teknik lainnya adalah karena

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 56-62

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

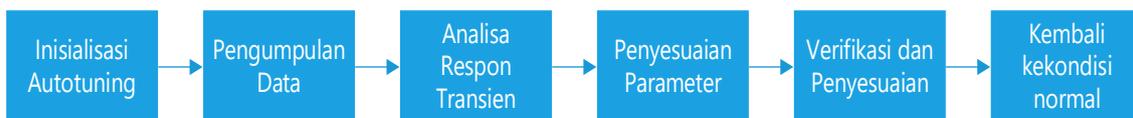


memiliki efisiensi energi tinggi, bentuknya sederhana, perawatan rendah dan kemudahan pengendalian dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan beban yang baik [1]. Fleksibilitas dalam pengendalian terhadap berbagai aplikasi dengan berbagai metoda seperti pengendalian frekuensi variable (VFD) atau pengendalian dengan perubahan tegangan [2]. Secara keseluruhan, motor induksi adalah pilihan populer dalam berbagai aplikasi industri dan komersial karena keandalan, biaya dan kinerja yang stabil [3].

Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan PID metoda yang efektif bisa digunakan untuk pengendalian kecepatan motor [3]. Pengendalian berbasis PID adalah algoritma pengendalian yang umum digunakan dalam banyak sistem kontrol untuk mencapai kinerja yang stabil dan responsive. Pada pengendalian kecepatan motor induksi, pengendali PID digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengatur sinyal input berdasarkan kesalahan antaran kecepatan setpoint dan kecepatan aktual motor [3]. Komponen penting pada pengendalian berbasis PID yaitu mengandung sejumlah komponen yaitu Proporsional (P), Integral (I), dan Derivative (D). Masing-masing parameter ini akan menentukan respon berdasarkan kesalahan, mengeliminasi kesalahan berdasarkan akumulasi dan mengatasi perubahan kecepatan kesalahan yaitu memperbaiki kecepatan sistem sehingga *overshoot* dapat dikurangi. Kinerja dari pengendali dengan metoda PID berdasarkan nilai parameter dari ketiga komponen tersebut dilakukan secara konvensional, nilai parameter disesuaikan untuk mendapatkan aksi pengendalian yang sesuai.

Teknik PID konvensional dengan parameter konstan seperti dijelaskan diatas akan memerlukan penyesuaian nilai parameter secara manual terhadap perubahan beban untuk menghasilkan aksi pengendalian yang baik. Teknik PID konvensional dalam hal ini akan memakan waktu dan memerlukan pemahaman mendalam tentang sistem yang akan dikendalikan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka PID Autotuning bisa digunakan [3]. Teknik ini akan mempermudah proses penyesuaian dengan menggunakan algoritma otomatis untuk menghitung parameter PID. Teknik ini cocok untuk sistem yang memerlukan penyesuaian yang cepat dan adaptasi terhadap perubahan kondisi beban yang relative ekstrim.

PID Autotuning adalah metode otomatis yang diimplementasi pada penelitian ini untuk pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa. Metoda ini digunakan untuk menentukan parameter PID yang optimal secara otomatis tanpa memerlukan penyesuaian manual yang rumit. Metoda ini menggunakan metoda khusus untuk menilai respon sistem dan menghitung parameter yang memberikan kinerja yang baik. Proses untuk melakukan autotuning yang dilakukan oleh PLC-Omron melalui fungsi PIDAT (Autotuning PID) adalah untuk menemukan nilai optimal bagi parameter PID dalam sistem kontrol tanpa kehilangan proses kontrol terhadap motor [4,5]. Sejumlah tahapan dalam cara kerja PIDAT seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses kerja autotuning PID (PIDAT)

Proses kerja *Autotuning* seperti pada Gambar 1. dapat dijelaskan lebih detail sebagai berikut [6]:

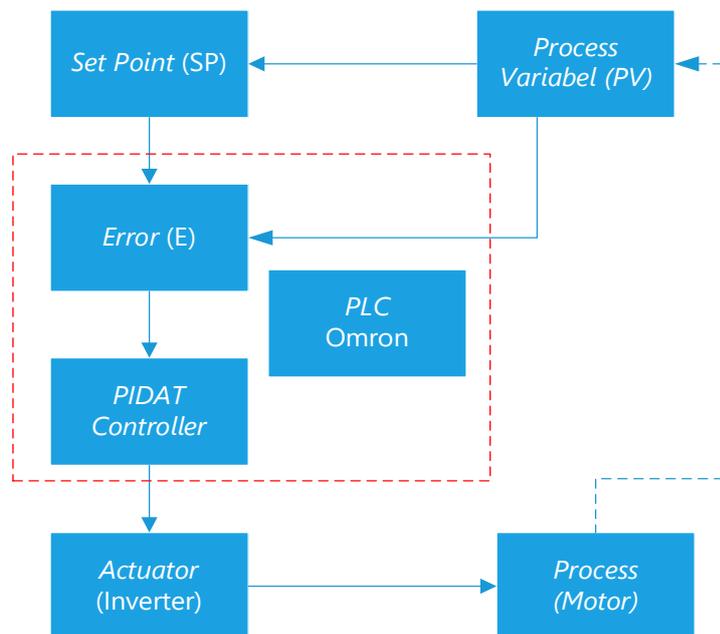
- Inisialisasi autotuning: dimulai dengan mengaktifkan mode autotuning pada PLC, yaitu melalui bit kontrol atau parameter dalam software pemrograman (CX-Programmer); Selanjutnya setpoint ditetapkan yaitu berupa nilai target yang ingin dicapai oleh proses.
- Pada proses pengumpulan data PLC mengintrouksi gangguan kedalam sistem yaitu berupa perubahan mendadak pada nilai kendali; selanjutnya pengukuran respon sistem dilakukan dengan memonitor variable proses sebagai respon terhadap perubahan yang diberikan pada variable manipulasi.

- Analisa respon dilakukan melalui pengamatan dinamika sistem dan kalkulasi parameter PID. Algoritma digunakan untuk menghitung nilai optimal untuk parameter PID berdasarkan respon yang diamati dengan tujuan untuk mendapatkan kinerja yang baik dari respon sistem (yaitu: respon cepat, *overshoot* kecil dan kestabilan).
- Penyesuaian parameter dilakukan untuk mendapatkan operasi parameter dan pengujian internal. Pengaturan parameter PID dilakukan berdasarkan hasil analisa untuk mendapatkan kinerja pengendali yang baik; setelah parameter ditetapkan, PLC melakukan pengujian internal untuk memastikan bahwa parameter yang baru efektif dalam mengontrol proses.
- Verifikasi dan penyesuaian dilakukan dengan pekerjaan pemantauan kinerja dan *fine-tuning* jika diperlukan.
- Kembali kondisi normal yaitu sistem kembali ke mode operasi normal dan dilakukan pemantauan lanjutan. Pada tahapan ini sistem kembali ke operasi secara normal menggunakan parameter PID yang telah dioptimalkan.

2. Perhitungan Parameter PID melalui PIDAT

2.1. Aturan Penulisan

Perhitungan matematik untuk menentukan parameter PID menggunakan PIDAT didasarkan pada respons sistem terhadap perubahan inpu yang diterapkan selama proses autotuning [5,6]. Dalam penelitian ini metode autotuning yang digunakan adalah metode Ziegler-Nichols yaitu metoda metoda untuk tuning dengan sistem lingkat tertutup [5], lihat Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Pengendalian dengan Autotuning PID (PIDAT)

Blok diagram sistem kontrol lingkat tertutup seperti pada Gambar 2.1 menggunakan PID dengan autotuning (PIDAT) dengan sejumlah komponen dasar. Elemen-elemen utama pada sistem kendali berbasis PIDAT dapat dijelaskan sbb.:

1. Setpoint (SP): nilai referensi atau target yang diinginkan untuk variable yang dikendalikan.

2. Pengukuran Error (E): adalah menghitung perbedaan antara SP dan keluaran dari proses variable (PV).
3. Kontroler PID dengan Autotuning (PIDAT): menerima sinyal error dan mengatur luaran aksi kendali dengan mempertimbangkan nilai P,I,D yang dihasilkan melalui process autotuning dengan menggunakan metoda perhitungan Ziegler-Nichols.
4. Aktuator (inverter): komponen yang menerima sinyal berupa aksi kendali dari pengendali PID dan mempengaruhi proses yang dikendalikan (motor).
5. Proses: sistem fisik atau proses yang dikendalian (kecepatna motor).
6. Sinyal umpan balik: yang dihasilkan oleh sensor dan kirim kembali untuk dibandingkan dengan PV.

Sistem lingkaran tertutup ini terus beroperasi yang untuk mengurangi error menuju nol, menyesuaikan luaran untuk mencapai setpoint yang diinginkan dengan kontroler PID yang di-tuning secara otomatis.

2.2. Mode Matematik Pengendali PID Dengan Metoda Ziegler-Nichols

Metoda ini dilakukan dengan mengatur pengontrolan ke mode P (hanya-Proporsional) dan secara bertahap meningkatkan gain K_p hingga sistem mulai berosilasi apda amplitude konstan. Pada proses ini dua parameter penting diukur yaitu: Gain kritis (K_u) dan Perioda Osilasi (T_u). Nilai K_p yang menyebabkan osilasi berkelanjutan dan T_u dinyatakan dengan satu waktu siklus osilasi [7,8].

Setelah K_u dan T_u diperoleh, maka parameter PID dapat dihitung menggunakan table Ziegler-Nochols sebagai berikut [7]:

Tipe Kontrol	K_p	T_i (internal Time)	T_d (Derivative Time)
P	$0.5 \times K_u$	-	-
PI	$0.45 \times K_u$	$T_u/1,2$	-
PID	$0.6 \times K_u$	$T_u/2$	$T_u/8$

Hasil yang didapat melalui Tabel 1, kemudian digunakan dalam sistem PID untuk mengatur proses kontrol, Perintah kontrol (U) dari kendali PIDAT dikalkulasi menggunakan pers. (1), sbb. [8]:

$$u(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + A(t) \tag{1}$$

Dimana:

K_p, K_i, K_d : masing sebagai konstanta proporsioan, integral dan derivative;

$A(t)$: sebagai antisipatori yaitu mengatur luaran kendali berdasarkan perubahan yang diinginkan, memungkinkan untuk mengurangi overshoot dan mendapatkan respon yang cepat.

T_i : waktu integral atau konstantan waktu integral yang mengatur seberapa cepat aksi intergral diakumulasi; menentukan seberapa cepat kesalahan sebelumnya diintegrasikan menjadi kontribusi pada sinyal kengali.

T_d : waktu derivative(atau konstanta waktu derivative yang mengatur seberapa cepat efek derivative diimplentasi dalam sinyal kendali; untuk menentukan kecepatan respons derivative terhadap perubahan kesalahan.

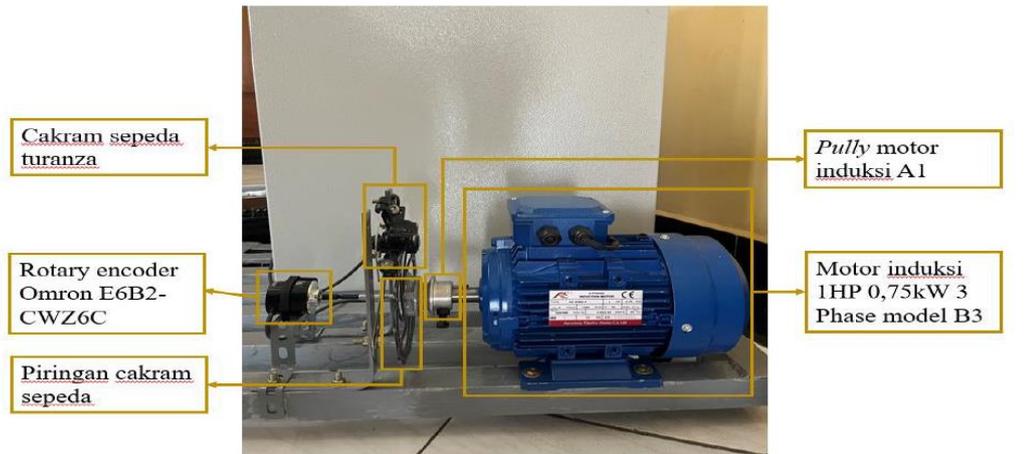
$u(t)_{PID}$: aksi kendali dari luaran kendali berbasis PID; $e(t)$ kesalahan sistem;

$$u(t) = \begin{cases} +u_0 & \text{jika } e(t) \geq 0 \\ -u_0 & \text{jika } e(t) < 0 \end{cases}$$

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.1. Sistem Fisik

Pada penelitian ini hasil pengujian telah dilakukan melalui sistem perangkat keras yang dikembangkan seperti terlihat pada Gambar 3. Tempak belakang seperti pada Gambar 3. (A) adalah motor dengan sistem perangkat untuk pembebanan, pengereman dan komponen pengukur kecepatan. Pembebanan disimulasi dengan melakukan perubahan pembebanan konstan dengan bobot beban yang dapat diukur. *Rotary encoder* Omron E6B2-CWZ6C digunakan sebagai sensor kecepatan motor induksi 3 fasa yang dapat terjadi perubahan kecepatan relatif terhadap perubahan beban.



(A)



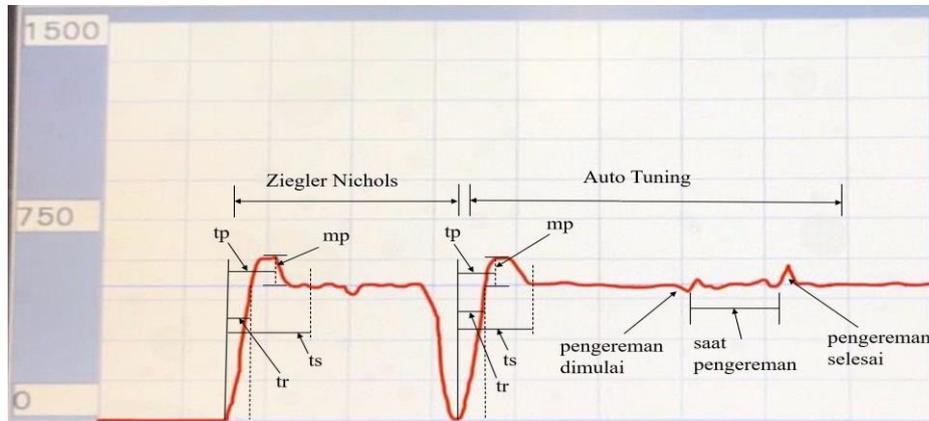
(B)

Gambar 3.. Sitem Perangkat Keras Berbasis PLC-Omron: (A) peralatan motor dan kelengkapannya; (B) instalasi perangkat pengendali

3.2. Hasil Pengujian

Hasil pengujian terhadap perubahan beban dapat dilihat pada Gambar 3.2. Percobaan dilakukan dengan mengamati respon kecepatan terhadap kerja PID konvensional dan *Autotuning* PID (PIDAT) untuk kecepatan set point (PV) 500 rpm. Perubahan beban dilakukan secara konstan selanjutnya response kecepatan sebagai aksi pengendalian kecepatan dapat diamati. Proses perubahana parameter secara otomatis terjadi untuk perubahan pembebanan ekstrim, dimana mekanisme perubahan parameter PID dengan metoda Ziegler-Nichols terjadi. Tahapan ini dapat

diamati dengan perubahan grafik respon kecepatan yaitu terjadi waktu jeda tanpa pengendalian dengan melihat terjadinya penurunan kecepatan, lihat Gambar 3.2. Selanjutnya kecepatan dapat kembali normal ketika nilai parameter baru hasil tuning telah terimplementasi. Respon dari grafik kecepatan dapat dilihat nilai-nilai dari kinerja dari PIDAT seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Respon Kecepatan PV=500rpm dengan beban konstan

Tabel 1 menunjukkan data hasil dari sejumlah pengujian yaitu dengan melakukan perubahan nilai set point kecepatan dengan pemilihan mode (AT: Autotuning; ZN: Ziegler-Nichols). Untuk setiap perubahan kecepatan dengan pembebanan konstan maka akan terjadi perbedaan nilai parameter PID dan selanjutnya akan mempengaruhi karakteristik respon transien dan steady state dari kecepatan motor.

Tabel 1. Hasil Pengujian dengan Autotuning PID dengan benban konstan

No	Kecepatan Setpoint (RPM)	Keterangan Metode	Beban (kg)	Parameter PID			Karakteristik Respon			
				Kp	Ti	Td	Maximum Overshoot (RPM)	Rise time (s)	Setting time (s)	Error steady state (%)
1	500	AT	2	29	4	1	15	0,52	2,1	0,4
2	500	ZN	2	120	2	1	5,5	1,46	4,17	2
3	700	AT	2	17	4	1	5	0,94	1,32	0,286
4	700	ZN	2	120	2	1	6,8	1,28	5,95	1,43
5	500	AT	4	29	4	1	9	0,86	2,24	1,2
6	500	ZN	4	120	2	1	5,5	1,02	4,08	1,3
7	700	AT	4	17	4	1	18	0,58	3,65	1,13
8	700	ZN	4	120	2	1	8,3	2	6,28	1,13

4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, disajikan metodologi untuk pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan PIDAT. Teknik kendali kecepatan ini dikembangkan melalui perangkat sistem fisik berbasis PLC- Omron. Algoritma menggunakan metoda Ziegler-Nichols digunakan untuk mengidentifikasi parameter sistem dan menghitung parameter PID yang optimal secara otomatis. Metodologi yang dikembangkan dapat diimplementasi untuk pengendalian otomatis yaitu proses tuning dapat disederhanakan dan tidak mengganggu sistem dan menghasilkan response sistem yang optimal. Response sistem terhadap sejumlah pengujian beban dan kecepatan dapat diamati

bahwa *rise-time* kurang dari 1 detik dan *settling-time* berkisar 2 detik dengan kesalahan kondisi stabil (*error steady state*) kurang dari 2 %

Referensi

- [1] M. Cacciato, A. Consoli, G. Scarcella, G. Scelba and A. Testa, "Efficiency optimization techniques via constant optimal slip control of induction motor drives," International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006., Taormina, Italy, 2006, pp. 33-38, doi: 10.1109/SPEEDAM.2006.1649740.
- [2] S. Laha, J. Dhali and P. K. Gayen, "Comparative Performance between V/F and Rotor Flux-Oriented Kontrols of Induction Motor Drive," 2023 IEEE Devices for Integrated Circuit (DevIC), Kalyani, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/DevIC57758.2023.10134999.
- [3] D. Rahmatullah, P. Iradiratu Diah, B. Y. Dewantara and F. Achmad, "Design and Build of 3 Phase Induction Motor Speed Regulation on Programmable Logic Controller (PLC) Using PID Kontrol Method," 2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS), Surabaya, Indonesia, 2021, pp. 275-280, doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9701992.
- [4] K. S. Kula, "On-line autotuning of PID controller for desired closed-loop response," 2015 20th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Miedzyzdroje, Poland, 2015, pp. 707-711, doi: 10.1109/MMAR.2015.7283961.
- [5] S. Levy, S. Korotkin, K. Hadad, A. Ellenbogen, M. Arad and Y. Kadmon, "PID autotuning using relay feedback," 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eilat, Israel, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEL.2012.6377118
- [6] V. F. Kuzishchin, E. I. Merzlikina and H. Van Va, "Study of Maximal Rapid Response Algorithm Combined with PID-Algorithm and Autotuning Module," 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIEAM.2018.8728821. keywords:
- [7] S. Levy, S. Korotkin, K. Hadad, A. Ellenbogen, M. Arad and Y. Kadmon, "PID autotuning using relay feedback," 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eilat, Israel, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEL.2012.6377118.
- [8] H. Sun, M. J. Mnati, M. Nabil Ibrahim and A. V. den Bossche, "A Tuning Method for the Derivative Filter in PID Controller with Delay Time," 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Budapest, Hungary, 2018, pp. 574-578, doi: 10.1109/ICMAE.2018.8467640.