

PAPER NAME

**Paper_Jurnal_Terakreditasi (13) - Pulse I
njection Method to Increase Precision of
Rotary Encoder on**

WORD COUNT

2742 Words

CHARACTER COUNT

16280 Characters

PAGE COUNT

8 Pages

FILE SIZE

734.3KB

SUBMISSION DATE

Jun 10, 2022 11:41 AM GMT+7

REPORT DATE

Jun 10, 2022 11:42 AM GMT+7

● **7% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 7% Internet database
- 1% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 2% Submitted Works database

● **Excluded from Similarity Report**

- Bibliographic material
- Quoted material
- Cited material
- Small Matches (Less than 10 words)
- Manually excluded sources
- Manually excluded text blocks



JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v4i2.4425

Received: 06 November 2020

Accepted: 13 January 2021

Published: 18 January 2021

Pulse Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on Switched Reluctance Motors

Nelson Roberto Tavares Duarte*, Slamet Riyadi, Leonardus Heru Pratama, & Florentinus Budi Setiawan

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata

*Corresponding Email: nelsonrobertotavaresduarte@gmail.com

Abstrak

Penggunaan switched reluctance motor (SRM) dalam aplikasi industri banyak diterapkan, hal ini dikarenakan SRM memiliki kelebihan antara lain tidak menggunakan magnet permanen serta konstruksi sederhana berupa inti besi pada rotor dan belitan stator. SRM membutuhkan informasi posisi rotor dalam pengoperasiannya. Informasi posisi rotor yang sering digunakan adalah sensor hall effect yang sudah terpasang di dalam body motor walaupun adanya kelemahan terhadap akurasi. Untuk mendapatkan akurasi yang baik maka rotary encoder digunakan sebagai informasi posisi rotor. Rotary encoder memiliki tingkat kepresisian yang tinggi tapi dalam pemasangannya dibutuhkan sinkronisasi terhadap posisi rotor. Injeksi pulsa dilakukan untuk mencari kesesuaian antara posisi rotor dengan rotary encoder. Pada makalah ini diusulkan kendali SRM dengan informasi posisi rotor berasal dari pulsa rotary encoder. Hasil dari injeksi pulsa digunakan untuk menentukan profil induktansi pada posisi tertentu. Berdasarkan profil induktansi didapatkan sinkronisasi antara posisi rotor dengan pulsa rotary encoder. Untuk mendukung tercapainya metode analisis yang diusulkan dilakukan pengujian pada laboratorium.

Kata Kunci: switched reluctance motor, rotary encoder, induktansi, posisi rotor, injeksi pulsa.

Abstract

The use of switched reluctance motors (SRM) in industrial applications is widely applied, because SRM has advantages including not using permanent magnets and simple construction in the form of an iron core in the rotor and stator winding. SRM requires rotor position information for operation. Information on the rotor position that is often used is the hall effect sensor that is already installed in the motor body even though there is a weakness inaccuracy. To get the correct accuracy, the rotary encoder is used as the rotor position information. Rotary encoder has a high level of precision, but it requires synchronization of the rotor position in its installation. Pulse injection is used to find a match between the position of the rotor and the rotary encoder. This paper proposes SRM control with rotor position information from rotary encoder pulses. The results from the pulse injection are used to determine the inductance profile in the right position. Based on the inductance profile, synchronization between the rotor position and the rotary encoder pulse is obtained. To verify the analysis, experiments were carried out in the laboratory.

Keywords: switched reluctance motor, rotary encoder, inductance, rotor position, pulse, injection.

How to Cite: Duarte, N.R.T., Riyadi, S., Pratama, L.H., & Setiawan, F.B. (2021). Pulse Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on Switched Reluctance Motors. *JITE (Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering)*. 4(2): 317-324

I. PENDAHULUAN

Perkembangan penggerak elektrik dalam dunia industri mengalami kemajuan yang sangat cepat. Hal ini dibuktikan adanya pembaruan pada *Power electronics* dan juga kendali digital. Penggerak elektrik seperti motor *direct current* (DC) dan *alternating current* (AC induksi) mulai tergantikan oleh motor modern seperti motor *brushless direct current* (BLDC) dan SRM (Khedkar & Swami, 2018). SRM banyak diminati karena motor ini memiliki konstruksi motor yang sederhana dan tidak menggunakan magnet permanen serta konstruksi berupa inti besi pada rotor dan belitan stator (Siadatan dkk., 2018),(Dominguez-Navarro dkk., 2018).

Dalam pengoperasiannya, SRM membutuhkan informasi posisi rotor sebagai proses penentuan sudut fasa(Wijaya & Riyadi, 2019), (Gong dkk, 2019), (Gong dkk., 2017). Sensor *hall effect* digunakan dalam penentuan informasi posisi rotor. Pemasangan sensor *hall effect* di dalam *body* motor memiliki kelemahan dalam akurasi dan keterbatasan dalam *interval* *lokalisasi*. Kelemahan yang muncul pada sensor *hall effect* diganti dengan *rotary encoder* dalam penentuan informasi posisi rotor. *Rotary encoder* digunakan karena memiliki tingkat kepresisian yang tinggi(Riyadi, 2018). Dalam pemasangannya, alat ini membutuhkan sinkronisasi terhadap posisi rotor. Proses menentukan sinkronisasi posisi rotor terhadap pulsa rotary encoder menggunakan metode injeksi pulsa. Metode ini dilakukan dengan memberikan pulsa frekuensi tinggi terhadap belitan stator(Cai dkk., 2017), (Zhang & Liu, 2020), (Zhang dkk., 2017). Hasil keluaran impuls arus pada belitan stator dikomparasi dengan profil induktansi(Kuai dkk., 2017). Dengan metode injeksi pulsa informasi posisi rotor dapat diketahui dan sudut fasa dinyalakan pada sudut yang tepat.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memaksimalkan performa SRM dengan metode injeksi pulsa dalam meningkatkan kepresisian penggunaan *rotary encoder* sebagai informasi posisi rotor. Untuk mendukung hasil kajian analisa dilakukan pengujian pada laboratorium.

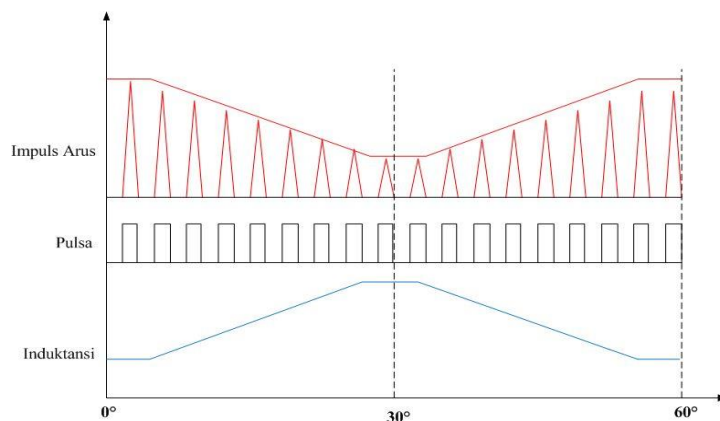
II. METODE PENELITIAN

A. Proses Injeksi Pulsa

Untuk mengetahui posisi rotor menggunakan rotary encoder membutuhkan informasi nilai induktansi pada SRM. Induktansi dapat diketahui dengan proses injeksi pulsa pada belitan stator untuk setiap posisi. Pulsa yang diberikan memiliki frekuensi tinggi dengan amplitudo rendah (Cai dkk., 2017). Keluaran impuls arus menghasilkan sinyal yang berbanding terbalik dengan nilai induktansi SRM(Pratapgiri, 2017). Impuls arus yang dihasilkan dinyatakan dengan persamaan:

$$i = \frac{U}{L} \Delta t \quad (1)$$

di mana i , U , L , dan Δt merupakan impuls arus, tegangan pulsa, induktansi dan waktu memberikan pulsa(Ofori dkk., 2015). Di bawah ini adalah proses injeksi pulsa pada salah satu fasa SRM yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses injeksi pulsa dan impuls arus yang dihasilkan

B. Hubungan Induktansi dengan Posisi Rotor

SRM yang digunakan memiliki konstruksi delapan stator dan enam rotor. Setiap putaran motor, belitan stator menghasilkan karakteristik induktansi terkait dengan posisi rotor(Riyadi, 2018). Karakteristik induktansi pada SRM dijadikan acuan dalam penentuan posisi rotor. Hubungan induktansi dengan posisi rotor ditunjukkan pada Gambar 2. Perhitungan setiap sudut rotor dapat dihitung dengan persamaan:

$$\theta_1 = \frac{1}{4} \left[\frac{2\pi}{Pr} - \beta_s + \beta_r \right] \quad (2)$$

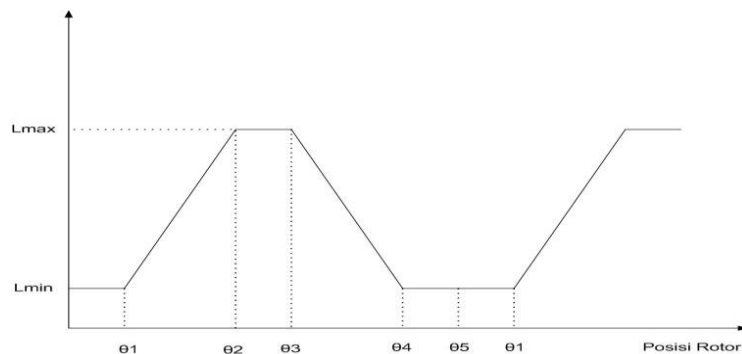
$$\theta_2 = \theta_1 + \beta_s \quad (3)$$

$$\theta_3 = \theta_2 + (\beta_r - \beta_s) \quad (4)$$

$$\theta_4 = \theta_3 + \beta_s \quad (5)$$

$$\theta_5 = \theta_4 + \theta_1 = \frac{2\pi}{Pr} \quad (6)$$

di mana β_s sudut lengkungan stator, β_r sudut lengkungan rotor, dan Pr jumlah kutub rotor.

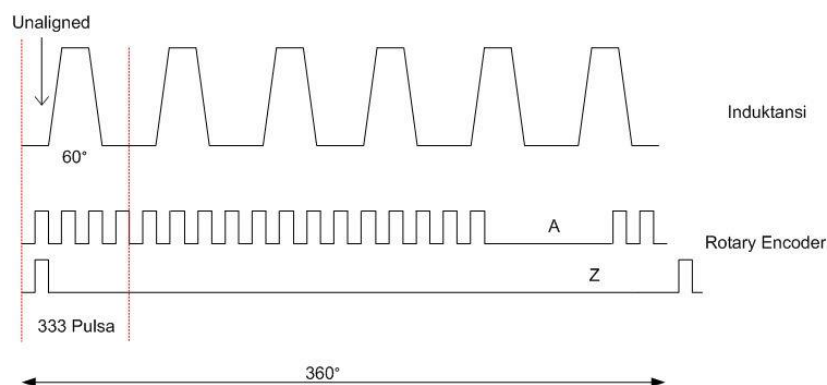


Gambar 2. Hubungan induktansi dan posisi rotor

Kurva induktansi dan posisi rotor yang ditunjukkan pada Gambar 2. mempunyai interval yang berbeda. Pada interval $0 \leq \theta \leq \theta_1$ dan $\theta_4 \leq \theta \leq \theta_5$ kutub stator dan rotor berada pada posisi tidak sejajar, induktansi yang dihasilkan minimum dan pada interval ini motor tidak menghasilkan torka. Interval $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ kutub rotor mulai mendekati posisi kutub stator (overlap), induktansi menuju nilai maksimum dan menghasilkan torka positif. Interval $\theta_2 \leq \theta \leq \theta_3$ kutub stator dan rotor dalam posisi sejajar, induktansi yang dihasilkan maksimum dan konstan. Interval $\theta_3 \leq \theta \leq \theta_4$ kutub rotor mulai menjauhi posisi kutub stator, induktansi mengalami penurunan menuju nilai minimum dan menghasilkan torka negatif (Jindal & Ragavan, 2018), (Riyadi, 2019).

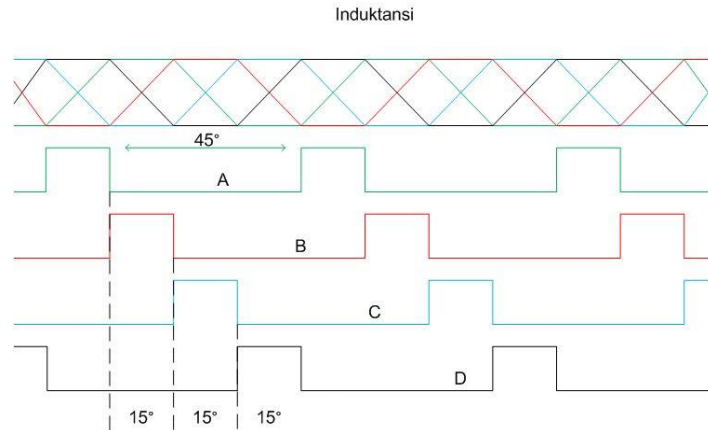
C. Penentuan Sudut Fasa dengan Rotary Encoder

Penentuan posisi rotor SRM dengan rotary encoder digunakan sebagai sudut eksitasi mengacu pada induktansi SRM. Proses penyalan sudut fasa yang tepat berada ketika rotor mendekati stator dan induktansi mulai meningkat (Riyadi, 2018), (Saha & Choudhury, 2016), (Kuai et al., 2017). Untuk mendapatkan posisi rotor yang tepat dilakukan pemetaan nilai induktansi pada salah satu fasa mengacu pulsa rotary encoder yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemetaan induktansi terhadap pulsa rotary encoder

Dalam Gambar 3. penentuan sudut fasa menggunakan dua sinyal keluaran pada rotary encoder. Pulsa A menghasilkan 2000 pulsa dan Pulsa Z menghasilkan 1 pulsa setiap satu putaran. SRM yang digunakan memiliki enam rotor, sehingga dalam satu putaran menghasilkan enam kali nilai induktansi maksimum. Setiap nilai induktansi maksimum terpisah pada 60 derajat mekanik atau 333 pulsa rotary encoder (2000/jumlah kutub rotor). Pada setiap sudut fasa saling bergeser 15 derajat antar fasa lainnya (360/jumlah kutub rotor*fasa). Pada Gambar 8. ditampilkan induktansi dan penentuan sudut setiap fasanya.



Gambar 4. Gelombang induktansi dan penentuan sudut setiap fasa

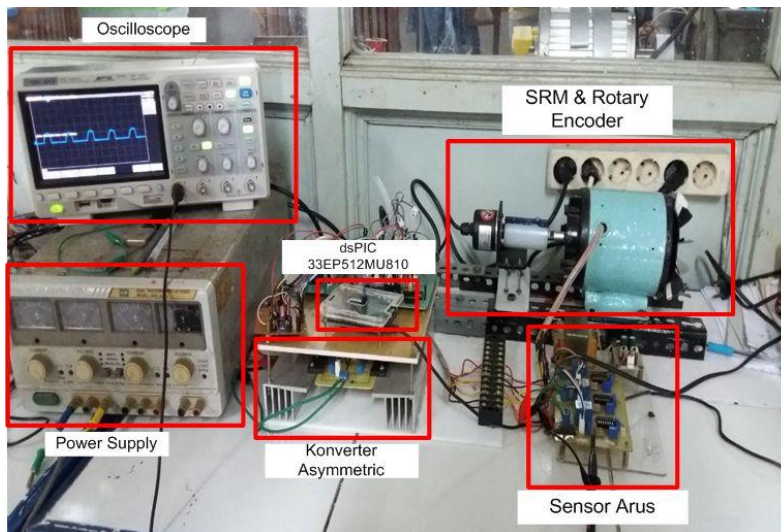
Untuk mengkonversi nilai sudut menjadi pulsa yang akan digunakan dalam penentuan sudut fasa dapat menggunakan persamaan yang ditunjukkan (7).

$$N = \frac{T_{pulsa} \times \theta_{on}}{360} \quad (7)$$

Rumus 7. menunjukkan di mana N nilai pulsa , Tpulsa total pulsa dalam satu putaran, θ_{on} sudut penyalaan fasa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendukung metode analisa di atas dilakukan pengujian pada prototype yang terdiri dari SRM empat fasa, mikrokontroller dsPIC 33EP512MU810, konverter asymmetric dan rotary encoder. Perancangan prototype ditampilkan pada Gambar 5. dan parameter motor ditampilkan pada Tabel 1.

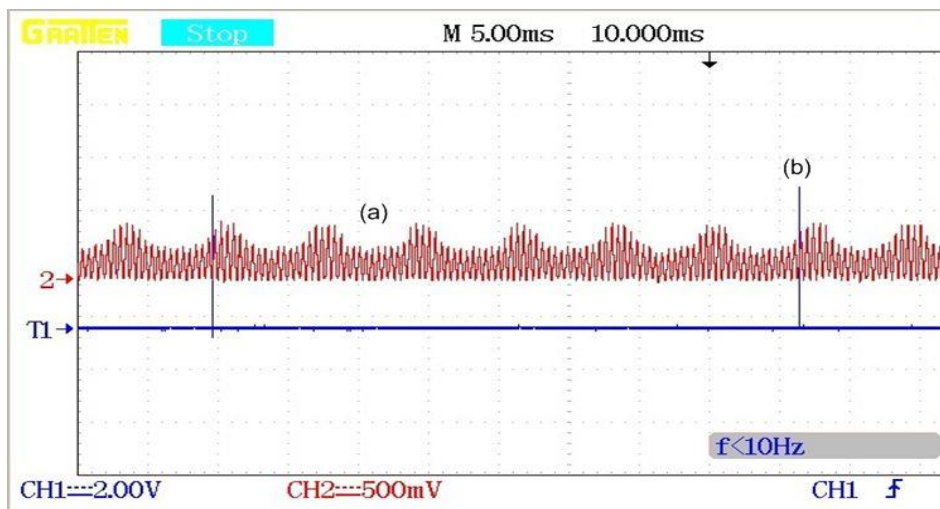


Gambar 5. Prototype SRM

Tabel 1. Parameter motor

Parameter	Nilai
Rotor	6
Stator	8
Induktansi	2.8 mH
Resistansi	Ohm

Melalui sinkronisasi posisi rotor terhadap stator dengan pulsa pada rotary encoder, maka pengujian laboratorium dilakukan. Pulsa yang diberikan memiliki frekuensi 10kHz dan tegangan 5Volt. Hasil keluaran impuls arus pada belitan stator digunakan sebagai penentuan profil induktansi dan posisi rotor. Untuk mengetahui posisi rotor dalam setiap rotasi, ditunjukkan oleh pin Z pada rotary encoder. Hasil impuls arus dan pulsa pin Z ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil gelombang (a) impuls arus fasa A, (b) pulsa pin Z rotary encoder

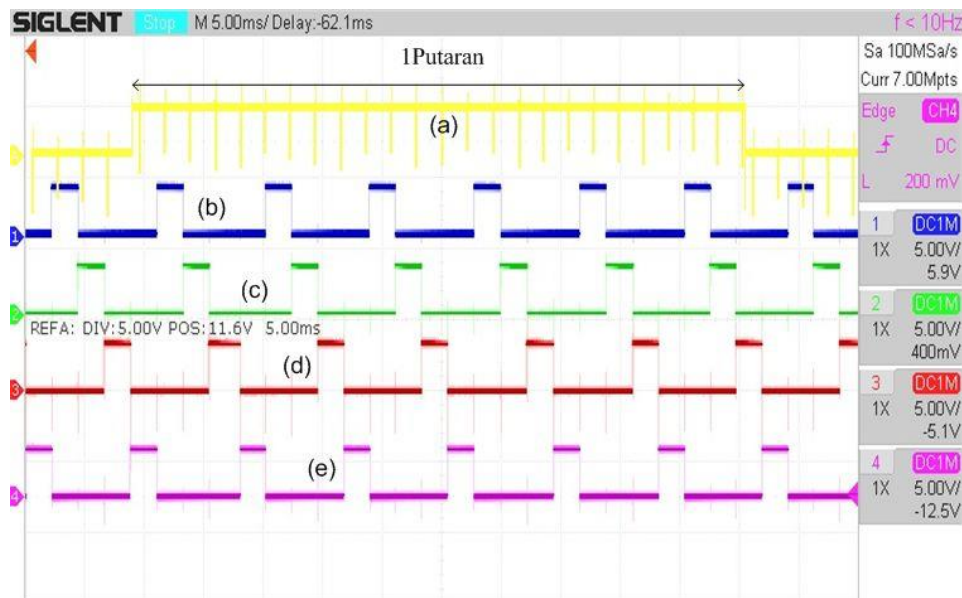
Dari gelombang diatas dapat diketahui posisi rotor dan profil induktansi. Dari profil tersebut dilakukan penentuan sudut penyalaan setiap fasa SRM. Nilai sudut fasa dikonversi menjadi nilai pulsa pada *rotary encoder* sebagai pola pensaklaran menggunakan (7). Tabel-2. menyajikan hasil konversi sudut fasa menjadi nilai pulsa *rotary encoder* pada setiap fasa. Nilai pulsa diolah oleh mikrokontroler dsPIC 33EP512MU810 dengan menggunakan fasilitas *timmer interrupt* (INT1-pin A, INT2-pin Z) untuk mengendalikan konverter *asymmetric* dalam memberikan eksitasi. INT1 dan INT2 difungsikan sebagai interupsi penghitung pulsa dan pengulang pulsa apabila pin A telah melewati satu putaran.

Pulsa yang dihasilkan *rotary encoder* merupakan pulsa *free running* (pin A) sehingga dibutuhkan pulsa referensi untuk menunjukan posisi awal (pin Z). Rotor akan mulai bergerak jika pulsa referensi diperoleh, maka pada tahapan awal SRM akan dioperasikan seperti motor *stepper* hingga mencapai pulsa referensi atau pulsa pin Z terpenuhi. Apabila pulsa pin Z telah terpenuhi, pulsa pin A akan mulai menghitung sesuai dengan nilai pulsa yang dibutuhkan dalam memberikan sudut eksitasi pada konverter.

Pada Gambar 7. disajikan pola pensaklaran setiap fasa dan sinyal pulsa INT2 sebagai tanda SRM telah melewati satu putaran. Pemberian sudut fasa berada pada profil induktansi mulai meningkat pada posisi ini SRM menghasilkan torka positif dan sudut fasa dimatikan sebelum induktansi maksimal sehingga arus yang tersimpan pada belitan stator (back-EMF) tidak memasuki wilayah torka negatif yang ditunjukkan pada Gambar 8. Arus yang tersimpan pada belitan stator akan membuat SRM menghasilkan tegangan negatif yang ditunjukkan pada Gambar 9. Pemberian sudut fasa yang tepat menghasilkan arus dan torka yang optimal sehingga dapat memaksimalkan kinerja dari SRM.

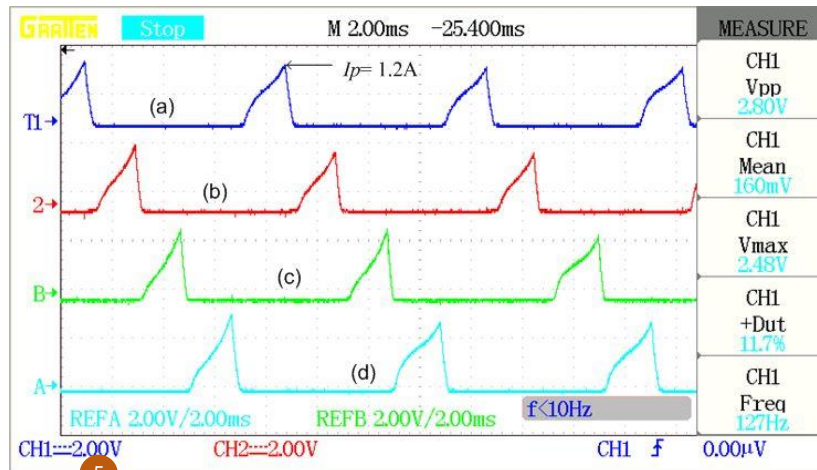
Tabel 2. Penentuan sudut Fasa terhadap pulsa rotary encoder

Fasa	Sudut°	Pulsa
Fasa A	5 - 20	28 - 112
	65 - 80	362 - 445
	125 - 140	694 - 778
	185 - 200	1028 - 1111
	245 - 260	1361 - 1445
	305 - 320	1695 - 1778
Fasa B	20 - 35	112 - 195
	80 - 95	445 - 528
	140 - 155	778 - 861
	200 - 215	1111 - 1195
	260 - 275	1445 - 1528
	320 - 335	1778 - 1861
Fasa C	35 - 50	195 - 278
	95 - 110	528 - 611
	155 - 170	861 - 945
	215 - 230	1195 - 1278
	275 - 290	1528 - 1611
	335 - 350	1861 - 1945
Fasa D	50 - 65	278 - 362
	110 - 125	611 - 694
	170 - 185	945 - 1028
	230 - 245	1278 - 1361
	290 - 305	1611 - 1695
	350 - 5	1945 - 28



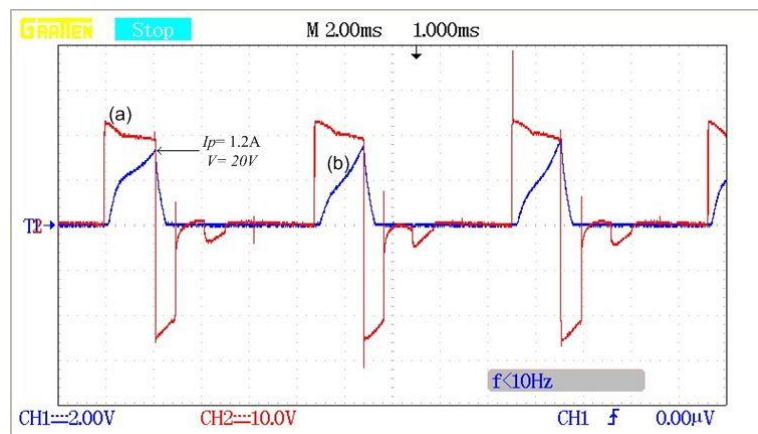
Gambar 7. (a) Sinyal pulsa INT2, (b) Pensaklaran Fasa A, (c) Pensaklaran Fasa B, (d) Pensaklaran Fasa C, (e) Pensaklaran Fasa D.

Dari pola pensaklaran yang disajikan pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa dalam satu putaran terdapat enam kali proses pola pensaklaran sekuensial setiap fasa-nya. Pensaklaran setiap fasanya saling bergeser 15° yang diawali dengan Fasa A, Fasa B, Fasa C, dan Fasa D sehingga SRM dapat beroperasi hingga optimal.



Gambar 8. (a) Arus fasa A, (b) Arus fasa B, (c) Arus fasa C, (d) Arus fasa D SRM.

Dari proses pensaklaran tersebut SRM dapat beroperasi dan menghasilkan gelombang arus puncak sebesar 1.2 Ampere pada setiap fasanya yang diukur menggunakan sensor arus yang ditunjukkan pada Gambar 8, dan menghasilkan tegangan rata-rata 20 Volt yang ditunjukkan pada Gambar 9 dengan kecepatan 1661 RPM.



Gambar 9. (a) Tegangan fasa A, (b) arus fasa A SRM

IV. SIMPULAN

Metode injeksi pulsa berpengaruh dalam meningkatkan kepresisian penggunaan rotary encoder. Impuls arus yang dihasilkan dari injeksi pulsa dapat disesuaikan dengan profil induktansi SRM, sehingga proses penyalaan sudut fasa diberikan pada sudut yang tepat. Hal ini dibuktikan dengan hasil kajian analisa dan pengujian yang telah dilaksanakan. Penelitian ini berkontribusi dalam perkembangan riset penggerak elektrik terutama SRM dalam bidang transportasi elektrik dan aplikasi industry.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Makalah ini merupakan bagian Penelitian yang didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan skema PTUPT 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Cai, J., Lu, L., Liu, Z., Jia, H., Zhao, X., & Xu, F. (2017). An inductive position sensor with switched reluctance motor structure. *2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2017*, 12–15. <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2017.8056495>
- Dominguez-Navarro, J. A., Artal-Sevil, J. S., Pascual, H. A., & Bernal-Agustin, J. L. (2018). Fuzzy-logic strategy control for switched reluctance machine. *2018 13th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EVER.2018.8362403>
- Gong, C., Habetler, T., Restrepo, J., & Soderholm, B. (2017). Direct position control for ultra-high speed switched reluctance machines based on non-contact optical sensors. *2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2017*. <https://doi.org/10.1109/IEMDC.2017.8002289>
- Gong, C., Li, S., Habetler, T., Restrepo, J., & Soderholm, B. (2019). Direct position control for ultrahigh-speed switched-reluctance machines based on low-cost nonintrusive reflective sensors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(1), 480–489. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2868037>
- Jindal, A., & Ragavan, K. (2018). Sensorless Control of Switched Reluctance Motor Based on Trapezoidal Inductance Profile. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, PEDES 2018*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PEDES.2018.8707832>
- Khedkar, A. P., & Swami, P. S. (2018). Comparative study of asymmetric bridge and split AC supply converter for switched reluctance motor. *6th International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2017, 2018-Janua*, 522–526. <https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2017.8290421>
- Kuai, S., Rallabandi, V., & Ionel, D. M. (2017). Sensorless control of three phase switched reluctance motor drives using an approximate inductance model. *2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2017*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/IEMDC.2017.8002369>
- Ofori, E., Husain, T., Sozer, Y., & Husain, I. (2015). A Pulse-Injection-Based Sensorless Position Estimation Method for a Switched Reluctance Machine Over a Wide Speed Range. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(5), 3867–3876. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2420618>
- Pratapgiri, S. (2017). Hysteresis current control of switched reluctance motor using three term inductance model. *2016 IEEE 7th Power India International Conference, PIICON 2016, 2*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/POWERI.2016.8077220>
- Riyadi, S. (2018). *Control Strategy for Switched Reluctance Motor With Rotary Encoder Based Rotor Position*. 261–270. <https://doi.org/10.15598/aeer.v16i3>
- Riyadi, S. (2019). *Konverter Statis untuk Penggerak Motor Switched Reluctance*. Universitas Katolik Soegijapranata.
- Saha, N., & Choudhury, D. S. (2016). Analysis of different types of faults exhibited in switched reluctance motor drives. *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2016.7727101>
- Siadatan, A., Fatahi, N., & Sedaghat, M. (2018). Optimum Designed Multilayer Switched Reluctance Motors for use in Electric Vehicles to Increase Efficiency. *SPEEDAM 2018 - Proceedings: International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 304–308. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2018.8445215>
- Wijaya, V., & Riyadi, S. (2019). Implementation of Input Capture Method on Switched Reluctance Motor to Obtain Precise Commutation Signals. *CENCON 2019 - 2019 IEEE Conference on Energy Conversion, 2019-Janua*, 110–114. <https://doi.org/10.1109/CENCON47160.2019.8974776>
- Zhang, L., & Liu, C. (2020). *A Sensorless Techniques for Switched Reluctance Motor Considering Mutual Inductances*. *Itoec*, 1425–1428. <https://doi.org/10.1109/itoec49072.2020.9141636>
- Zhang, L., Yu, Y., & Xin, Z. (2017). A position estimation for switched reluctance motor using full cycle envelope. *Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference, ITOEC 2017, 2017-January*, 909–913. <https://doi.org/10.1109/ITOEC.2017.8122485>

● 7% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 7% Internet database
- Crossref database
- 2% Submitted Works database
- 1% Publications database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	sciencegate.app Internet	2%
2	garuda.kemdikbud.go.id Internet	2%
3	ejurnal.itenas.ac.id Internet	1%
4	Institute of Technology, Nirma University on 2014-12-06 Submitted works	<1%
5	docplayer.info Internet	<1%
6	jipet.iaun.ac.ir Internet	<1%

● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material
- Cited material
- Manually excluded sources
- Quoted material
- Small Matches (Less than 10 words)
- Manually excluded text blocks

EXCLUDED SOURCES

ojs.uma.ac.id 89%
Internet

repository.unika.ac.id 40%
Internet

ojs.uma.ac.id 7%
Internet

EXCLUDED TEXT BLOCKS

Pulse Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on Switched Reluct...
garuda.kemdikbud.go.id

Penggunaan switched reluctance motor (SRM) dalam aplikasi industri banyak dite...
garuda.kemdikbud.go.id

2) January
Universitas International Batam on 2022-02-23

Riyadi
ejurnal.itenas.ac.id