

## LAMPIRAN



# Journal of Informatics and Telecommunication Engineering

Sekretariat : Universitas Medan Area, Gedung Fakultas Teknik, Program Studi Informatika  
Alamat : Jalan Kolang Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1  
E-mail : [jite@uma.ac.id](mailto:jite@uma.ac.id)

Nomor : 160/UMA/JITE/XII/2020 Medan, 08 Desember 2020  
Lamp : 1 lembar  
Hal : Surat Penerimaan Naskah Publikasi Jurnal

Kepada Yth :  
Bapak/Ibu Nelson Roberto Duarte

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Kami mengucapkan terima kasih banyak atas partisipasi Bapak/Ibu yang telah mengirim artikel di *Journal of Informatic and Telecommunication Engineering (JITE)* Volume 4 Nomor 2, tahun 2021. Dengan ini kami sampaikan bahwa, artikel yang bertanda dibawah ini :

Judul : **Pulse Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on Switched Reluctance Motors**  
Penulis : **Nelson Roberto Duarte, Slamet Riyadi, Leonardus Heru Pratomo, Florentinus Budi Setiawan**

Berdasarkan hasil *review*, artikel yang Bapak/Ibu kirimkan dinyatakan **DITERIMA dengan Revisi** untuk diterbitkan pada Jurnal *JITE* Volume 4 No 2, Januari 2021 ISSN:2549-6247 (Print) ISSN: 2549-6255. Hasil Perbaikan artikel diharapkan untuk dikirim kembali paling lama tanggal 15 Desember 2020 agar dapat segera diterbitkan.

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya yang baik dari Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih

Wassalamu'alaikum, Wr.Wb.

Hormat kami,  
  
  
**M. H. M. Kom**  
Pimpinan Redaksi





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](mailto: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 in accuracy. 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* eksitasi. 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.

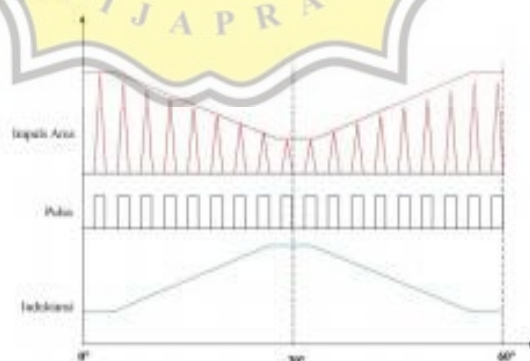
## II. METODE PENELITIAN

### 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 (Pratanggiri, 2017). Impuls arus yang dihasilkan dinyatakan dengan persamaan:

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

di mana  $i$ ,  $U$ ,  $L$ , dan  $\Delta t$  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:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{2\pi}{Pr} - \beta s + \beta r \right] \quad (2)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \beta s \quad (3)$$

$$\theta_3 = \theta_2 + (\beta \beta - \beta s) \quad (4)$$

$$\theta_4 = \theta_3 + \beta s \quad (5)$$

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

di mana  $\beta s$  sudut lengkungan stator,  $\beta r$  sudut lengkungan rotor, dan  $Pr$  jumlah kutub rotor.

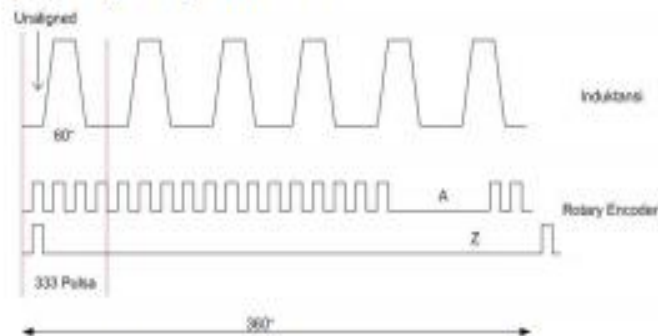


Gambar 2. Hubungan induktansi dan posisi rotor

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).

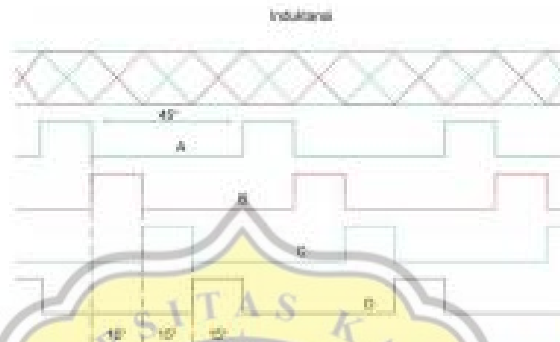
### C. Penentuan Sudut Fasa dengan Rotary Encoder

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

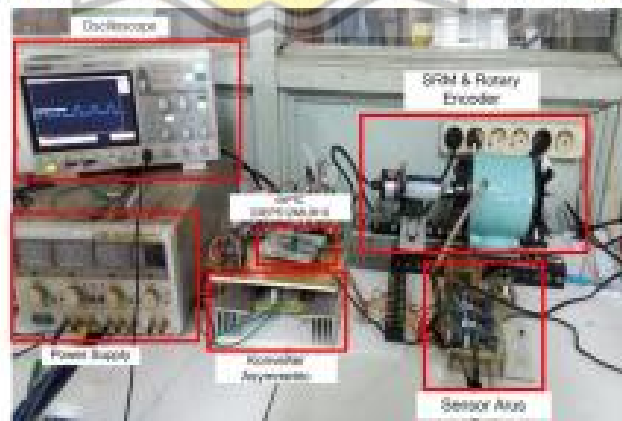
Untuk mengkonversi nilai sudut menjadi pulsa yang akan digunakan dalam penentuan sudut fasa dapat menggunakan persamaan yang ditunjukkan (7).

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

Rumus 7, menunjukkan di mana N nilai pulsa, T pulsa total pulsa dalam satu putaran,  $\theta_{sru}$  sudut penyalaan fasa.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendukung metode analisa di atas dilakukan pengujian pada prototype yang terdiri dari SRM empat fasa, mikrokontroler dsPIC 33EP512MDB10, konverter asymmetric dan rotary encoder. Perancangan prototype ditampilkan pada Gambar 5, dan parameter motor ditampilkan pada Tabel 1.

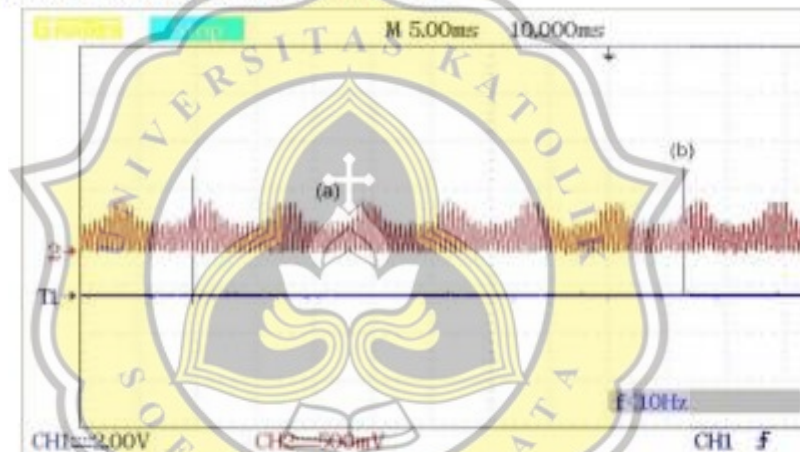


Gambar 5. Prototype SRM

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

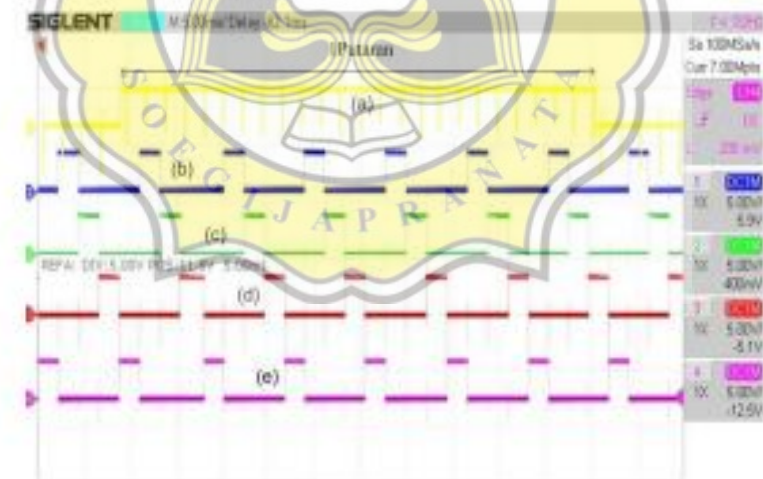
Dari gelombang diatas dapat diketahui posisi rotor dan profil induktansi. Dari profil tersebut dilakukan penentuan sudut penyalakan setiap fasa SRM. Nilai sudut fasa dikonversi menjadi nilai pulsa pada rotary encoder sebagai pola pensaklaran menggunakan (7). Tabel-2. menyajikan hasil konversi sudut fasa menjadi nilai pulsa rotary encoder pada setiap fasa. Nilai pulsa diolah oleh mikrokontroler dsPIC 33EP512MUB10 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 menunjukkan 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	40 - 65	278 - 362
	110 - 125	611 - 694
	170 - 185	945 - 1028
	230 - 245	1278 - 1361
	290 - 305	1611 - 1695
	350 - 5	1945 - 28

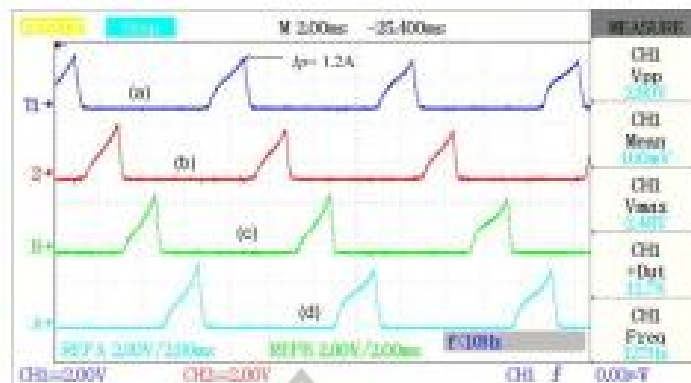


Gambar 7. (a) Sinyal pulsa INT2, (b) Pensaklaran Fasa A, (c) Pensaklaran Fasa B, (d) Pensaklaran Fasa C, (e) Pensaklaran Fasa D.

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

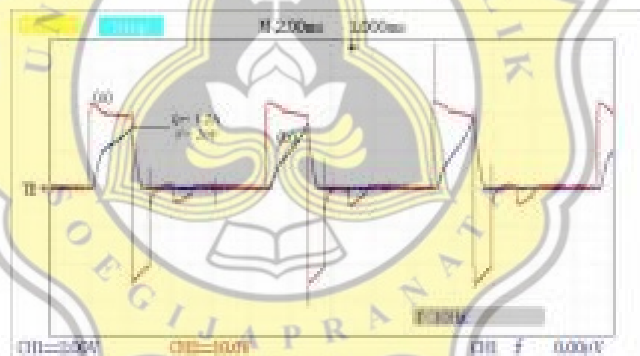


#### Pulse Injection Method to Increase Precision of Rotary Encoder on Switched Reluctance Motors (Duarte)



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**

- Cal, 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., Sazer, 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, PUICON 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/10.15398/iaees.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>
- Sladatan, 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*. *Iseec*, 1425-1428. <https://doi.org/10.1109/Iseec49072.2020.9141636>
- 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>

## E50S Series

### Diameter ø50mm Shaft type Incremental Rotary Encoder

Line-up

#### ■ Features

- 12-24VDC power supply of line driver output(Line-up)
- Suitable for measuring angle, position, revolution, speed, acceleration and distance
- Power supply : 5VDC, 12-24VDC ±5%

#### ■ Applications

- Various tooling machinery, packing machine and general industrial machinery etc.

⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



#### ■ Ordering information (Former name : ENB)

E50S	8	8000	3	N	24	
Series	Shaft diameter	Pulse/1 Revolution	Output phase	Output	Power supply	Cable
Diameter ø50mm, shaft type	ø8mm	Refer to resolution	2: A, B 3: A, B, Z 4: A, S, B, Z 6: A, X, S, B, Z, Z <sub>2</sub>	T: Toler pole output N: NPN open collector output V: Voltage output L: Line driver output	5 :5VDC ±5% 24:12-24VDC ±5%	No mark: Cable type C: Connector cable type <sup>(*)</sup> C1: Axial connector type C2: Radial connector type

\* Standard : E50S-~~(Cable)~~-3-N-24

\* Cable length: 250mm

#### ■ Specifications

Item	Diameter ø50mm shaft type of incremental rotary encoder		
Resolution(PW) <sup>(*)</sup>	*1: 2, 5, 10, 12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 1024, 1200, 1500, 1800, 2000, 2048, 2500, 3000, 3600, 5000, 6000, 8000		
Electrical specification	Output phase	A, B, Z phase/Line driver: A, X, B, S, Z, Z <sub>2</sub> phase	
	Phase difference of output	Phase difference between A and B : $\frac{1}{4} + \frac{1}{8}$ (T=1 cycle of A phase)	
	Control output	Toler pole output	* Low - Load current: Max. 30mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC * High - Load current: Max. 10mA, Output voltage(Power voltage 5VDC): Min. (Power voltage-2.0)(VDC), Output voltage(Power voltage 12-24VDC): Min. (Power voltage-3.0)(VDC)
		NPN open collector output	Load current : Max. 30mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
		Voltage output	Load current : Max. 10mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
	Line driver output	Voltage output	* Low - Load current : Max. 20mA, Residual : Max. 0.5VDC * High - Load current : Max. 20mA, Output voltage(Power voltage 5VDC) : Min. 2.5VDC, Output voltage(Power voltage 12-24VDC) : Min. (Power voltage-3.0)(VDC)
		Line driver output	Max. 0.5µs
	Response time (Rise/Fall)	Toler pole output NPN open collector output Voltage output Line driver output	Max. 1µs Max. 0.5µs
	Max. Response frequency	300kHz	
	Power supply	* 5VDC ±5%(Ripple P-P: Max. 5%) / * 12-24VDC ±5%(Ripple P-P: Max. 5%)	
	Current consumption	Max. 80mA(disconnection of the load), Line driver output : Max. 50mA(disconnection of the load)	
	Insulation resistance	Min. 100MΩ(at 500VDC) (between all terminals and case)	
	Dielectric strength	750VAC 50/60Hz for 1 minute (between all terminals and case)	
Connection	Cable type, ø50mm connector cable type, Connector type(Axial, Radial)		
Mechanical specification	Starting torque	Max. 70g·cm(0.007N·m) <sup>(*)</sup> / Max. 600g·cm(0.06N·m) <sup>(*)</sup>	
	Moment of inertia	Max. 80g·cm <sup>2</sup> (8×10 <sup>-6</sup> kg·m <sup>2</sup> ) <sup>(*)</sup> / Max. 400g·cm <sup>2</sup> (4×10 <sup>-6</sup> kg·m <sup>2</sup> ) <sup>(*)</sup>	
	Shaft loading	Radial : 10kgf, Thrust : 3.5kgf	
	Max. allowable revolution <sup>(**)</sup>	5000rpm	
Vibration	1.5mm amplitude or 300m/s <sup>2</sup> at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 2 hours		
Shock	Approx. Max. 75G		
Environment	Ambient temperature	-10 to 70°C, storage : -25 to 85°C	
	Ambient humidity	35 to 85%/RH, storage : 35 to 90%/RH	
Protection	Cable type, Connector cable type: IP50(IEC standard) <sup>(**)</sup> , Connector type: IP65(IEC standard)		
Cable	ø5, 5-wire, Length : 2m, Shield cable(Line driver output : ø5, 8-wire) (AWG 24, Core diameter : 0.08mm, Number of cores : 40, Insulator out diameter : ø1)		
Accessory	ø8mm coupling, bracket		
Approval	Cable type  (Except for line driver output)		
Unit weight	Approx. 275g, Connector type : 180g		

\*1: \*\* pulse is only for A, B phase/Line driver output is for A, X, B, S phase. \*2: This value is for Cable type, Connector cable type(Protection: IP50).

\*3: This value is for Cable type, Connector cable type(Protection: IP64)/Connector type (Protection: IP65)

\*4: Make sure that max. response revolution should be lower than or equal to max. allowable revolution when selecting the resolution.

[Max. response resolution (rpm) =  $\frac{\text{Max. response frequency}}{\text{Resolution}} \times 60 \text{ sec}$ ] \*5: \*Cable type, Connector cable type is option as IP54 protection.

\*6: Environment resistance is rated at no freezing or condensation.



## dsPIC33EPXXX(GP/MC/MU)806/810/814 and PIC24EPXXX(GP/GU)810/814

### 16-Bit Microcontrollers and Digital Signal Controllers with High-Speed PWM, USB and Advanced Analog

#### Operating Conditions

- 3.0V to 3.6V, -40°C to +125°C, DC to 60 MIPS
- 3.0V to 3.6V, -40°C to +85°C, DC to 70 MIPS

#### Core: 16-Bit dsPIC33E/PIC24E CPU

- Code-Efficient (C and Assembly) architecture
- Two 40-Bit Wide Accumulators
- Single-Cycle (MAC/MPY) with Dual Data Fetch
- Single-Cycle Mixed-Sign MUL Plus Hardware Divide
- 32-Bit Multiply Support

#### Clock Management

- 2% Internal Oscillator
- Programmable PLLs and Oscillator Clock Sources
- Fail-Safe Clock Monitor (FSCM)
- Independent Watchdog Timer
- Fast Wake-up and Start-up

#### Power Management

- Low-Power Management modes (Sleep, Idle, Doze)
- Integrated Power-on Reset and Brown-out Reset
- 1.0 mA/MHz Dynamic Current (typical)
- 60  $\mu$ A I/O Current (typical)

#### High-Speed PWM

- Up to Seven PWM Pairs with Independent Timing
- Dead Time for Rising and Falling Edges
- 8.32 ns PWM Resolution
- PWM Support for:
  - DC/DC, AC/DC, Inverters, PFC, Lighting
  - BLDC, PMSM, ACIM, SRM
- Programmable Fault Inputs
- Flexible Trigger Configurations for ADC Conversions

#### Advanced Analog Features

- Two Independent ADC modules:
  - One ADC configurable as 10-bit, 1.1 Msps with four S&H or 12-bit, 500 ksps with one S&H
  - One 10-bit ADC, 1.1 Msps with four S&H
  - Eight S&H using both ADC 10-bit modules
  - 24 analog channels (64-pin devices) up to 32 analog channels (100/121/144-pin devices)
- Flexible and Independent ADC Trigger Sources
- Comparators:
  - Up to three Analog Comparator modules
  - Programmable references with 32 voltage points

#### Timers/Output Compare/Input Capture

- 27 General Purpose Timers:
  - Nine 16-bit and up to four 32-bit Timers/Counters
  - 16 OC modules configurable as Timers/Counters
  - Two 32-bit Quadrature Encoder Interface (QEI) modules configurable as Timers/Counters
- 16 IC modules
- Peripheral Pin Select (PPS) to allow Function Remap
- Real-Time Clock and Calendar (RTCC) module

#### Communication Interfaces

- USB 2.0 OTG-Compliant Full-Speed Interface
- Four UART modules (15 Mbps)
  - Supports LIN/J2602 protocols and IrDA®
- Four 4-Wire SPI modules (15 Mbps)
- Two ECAN™ modules (1 Mbaud) CAN 2.0B Support
- Two I<sup>2</sup>C modules (up to 1 Mbaud) with SMBus Support
- Data Converter Interface (DCI) module with Support for I<sup>2</sup>S and Audio Codecs
- PPS to allow Function Remap
- Parallel Master Port (PMP)
- Programmable Cyclic Redundancy Check (CRC)

#### Direct Memory Access (DMA)

- 15-Channel DMA with User-Selectable Priority Arbitration
- UART, USB, SPI, ADC, ECAN™, IC, OC, Timers, DCI/I<sup>2</sup>S, PMP

#### Input/Output

- Sink/Source 10 mA on All Pins
- 5V Tolerant Pins
- Selectable Open-Drain, Pull-ups and Pull-Downs
- Up to 5 mA Overvoltage Clamp Current
- External Interrupts on All I/O pins

#### Qualification and Class B Support

- AEC-Q100 REVG (Grade 1 -40°C to +125°C) Planned
- AEC-Q100 REVG (Grade 0 -40°C to +150°C) Planned
- Class B Safety Library, IEC 60730

#### Debugger Development Support

- In-Circuit and In-Application Programming
- Five Program and Three Complex Data Breakpoints
- IEEE 1149.2 Compatible (JTAG) Boundary Scan
- Trace and Run-Time Watch



**2.17%** PLAGIARISM  
APPROXIMATELY

## Report #12303461

BAB I PENDAHULUAN Latar Belakang 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 brushlees direct current (BLDC) dan SRM [1],[2]. SRM banyak diminati karena motor ini memiliki kontruksi motor yang sederhana dan tidak menggunakan magnet permanen serta kontruksi berupa inti besi pada rotor dan belitan stator [3],[4]. Dalam pengoperasinya, SRM membutuhkan informasi posisi rotor sebagai proses penentuan sudut fasa[5]. 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 eksitasi. Kelemahan yang muncul pada sensor hall effect diperbaiki dengan rotary encoder dalam penentuan informasi posisi rotor. Rotary encoder digunakan karena memiliki tingkat kepresisian dan akurat yang tinggi. Dalam pemasangannya, alat ini membutuhkan sinkronisasi antara pulsa rotary encoder terhadap posisi rotor. Proses menentukan sinkronisasi posisi rotor terhadap pulsa rotary encoder menggunakan metode injeksi pulsa. Metode ini dilakukan dengan memberikan pulsa frekuensi tinggi