

Motor sinkron magnet permanen (*permanent magnet synchronous motor*-PMSM) memainkan peran krusial dalam dunia modern, seperti pada kendaraan listrik dan otomasi industri. Saat ini, kemampuan mengendalikan PMSM secara akurat dengan tanggapan dinamis yang cepat menjadi kebutuhan. *Field-oriented control* (FOC) merupakan strategi kendali berbasis vektor yang mampu mengendalikan torsi dan fluks PMSM secara independen untuk menghasilkan sistem dengan tanggapan dinamis yang cepat dan akurasi yang baik.

Penelitian ini berfokus pada implementasi FOC menggunakan mikrokontroler STM32 NUCLEO-F446RET6 untuk mengendalikan sebuah *surface-mounted* PMSM (SPMSM). Sistem kendali tertanam menggunakan sepasang pengendali *proportional-integral* (PI) untuk menerapkan pengendalian arus kalang tertutup pada sumbu *direct-quadrature* (d-q). Sebuah tapis lolos rendah (*low-pass filter*-LPF) resistor-kapasitor (*resistor-capacitor*-RC) orde pertama digunakan untuk menekan derau frekuensi tinggi selama pencuplikan arus. *Space vector pulse width modulation* (SVPWM) simetris digunakan untuk mengendalikan penyakelaran sebuah *voltage source inverter* (VSI) tiga fasa yang menggerakkan SPMSM yang dihubungkan dengan beban inersia dan redaman.

Performa sistem kendali dievaluasi melalui simulasi *hardware-in-the-loop* (HIL) waktu nyata menggunakan Plexim RT Box 2. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem berhasil meregulasi arus keluaran dengan tanggapan dinamis yang cepat. Penapisan derau frekuensi tinggi menjamin akurasi pencuplikan arus umpan balik, dan penyakelaran menggunakan SVPWM simetris menghasilkan vektor tegangan dengan magnitudo dan sudut yang akurat. Arus keluaran pada sumbu d-q menunjukkan tanggapan cepat terhadap beban dinamis dengan *rise time* lebih cepat dari 30 ms tanpa *overshoot* dan akurasi lebih dari 95% saat sistem mencapai keadaan tunak.

Kata kunci : Field-Oriented Control, Motor Sinkron Magnet Permanen, Tapis Lolos Rendah, STM32, Hardware-In-The-Loop, Space Vector Pulse Width Modulation.

ABSTRACT

Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSMs) play a crucial role in the modern world, such as in electric vehicles and industrial automation. Currently, the ability to control PMSMs accurately with a fast dynamic response is required. Field-oriented control (FOC) is a vector-based control strategy capable of independently controlling the torque and flux of PMSMs to create a system with a fast dynamic response and good accuracy

This study focuses on implementing FOC using an STM32 NUCLEO-F446RET6 microcontroller to control a surface-mounted PMSM (SPMSM). The embedded control system utilizes a pair of proportional-integral (PI) controllers to perform closed-loop current regulation on the direct-quadrature (d - q) axis. A first-order resistor-capacitor (RC) low-pass filter (LPF) is used to suppress high-frequency noise during current sampling. Symmetrical space vector pulse width modulation (SVPWM) is applied to control a three-phase voltage source inverter (VSI) driving the SPMSM connected to an inertia and damping load.

The performance of the control system is evaluated through real-time hardware-in-the-loop (HIL) simulations using a Plexim RT Box 2. The results show that the system successfully controls the output current with a fast dynamic response. High-frequency filtering ensures accurate feedback current sampling, and switching via symmetrical SVPWM produces voltage vectors with accurate magnitudes and angles. The d - q axis current exhibits rapid response to a dynamic load with a rise time faster than 30 ms without overshoot and achieves steady-state accuracy above 95%.

Keywords : Field-Oriented Control, Permanent Magnet Synchronous Motor, Low-Pass Filter, STM32, Hardware-In-The-Loop, Space Vector Pulse Width Modulation