

# SISTEM DE REGLARE A TURAȚIILOR MOTORULUI TRIFAZAT FĂRĂ PERII CU MAGNEȚI PERMANENȚI

Radu DONOS

Conducători științifici: lec. univ. Dumitru MORARU, lec. sup. Alexandru PUTERE

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** Lucrarea prezintă un sistem de reglare a turațiilor motorului de curent continuu fără perii (BLDC). Motorul este conectat la un invertor trifazic, în scopul conducerii mai fiabile a turațiilor. La baza sistemului de conducere este un regulator tipizat PI. Sunt prezentate calcule a parametrilor de acord a regulatorului pentru un motor BLDC după metoda gradului maximal de stabilitate și simulările efectuate în pachetul de programe MATLAB cu caracteristicile respective.

**Cuvinte cheie:** BLDC, regulator PI, proces de conducere a motoarelor, invertor trifazic.

## 1. Noțiuni generale

Motorul BLDC este un motor sincron, fără perii, cu 3 bobine așezate la  $120^\circ$  una față de alta, acesta fiind alimentat în curent continuu. Pentru comandarea cu acest tip de motor este necesar de a comuta semnalele electrice la cele 3 bobine ale motorului.

Invertorul trifazat de tensiune este un circuit electronic care are în componența sa chei electronice de putere (relizate de obicei pe tranzistoare MOSFET sau IGBT), circuite de protecție. Invertorul transformă semnalele de la intrare impulsulare de putere mică (PWM) în semnale sinusoidale (formarea lor se realizează în 6 trepte) acestea fiind deja de o putere mai mare. Invertorul este folosit în calitate de echipament intermediar pentru adaptarea semnalelor de la regulator către motor, totodată găsește momentele de comutație electronică a fazelor tensiunii motorului pentru ca să respecte sincronismul dintre fluxul statoric și fluxul rotoric (flux magnetic).

Motoarele BLDC sunt deja utilizate în construcția hard-disk-urilor și multe alte aplicații industriale, piața lor de desfacere crește astfel semnificativ în automatizări. Motoarele BLDC penetrează piața aplicațiilor electrocasnice, industria auto, datorită eficienței mărite, a funcționării silențioase și a construcției compacte, a fiabilității ridicate și a mentenanței scăzute.

Pentru conducerea optimală cu turațiile motorului este folosit un regulator PI. Regulatorul PI constă din 2 componente: componenta proporțională (amplificator) și componenta integrativă. Acest regulator prezintă o serie de avantaje printre care: simplitatea implementării, rapiditate etc.

## 2. Schema-bloc a sistemului de conducere a motorului BLDC

În figura de mai jos este prezentată schema-bloc a sistemului de reglare a turațiilor motorului BLDC cu regulator PI.

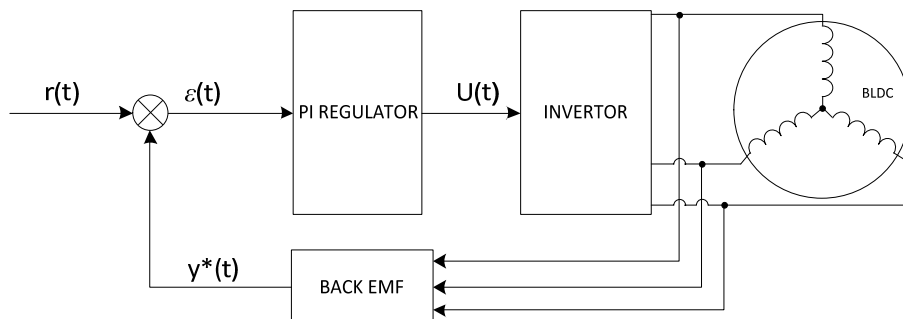


Fig. 1 Schema-bloc de conducere a motorului de tip BLDC

## 3. Calculul funcției de transfer a motorului

Pentru calculul parametrilor de acord a fost utilizată funcția de transfer pentru motoarele de curent continuu, însă deoarece BLDC-ul are 3 bobine așezate simetric una față de alta, atunci formulele pentru calculele constantelor (mecanică și electrică) sunt prezentate în expresiile (1) și (2).

$$\tau_m = \sum \frac{RJ}{K_e K_t} = \frac{J \sum R}{K_e K_t} = \frac{J3R}{K_e K_t} \quad (1)$$

unde  $K_t$  este constanta de torsiune,  $K_e$ - constanta tensiunii electromotoare (t.e.m.) inverse,  $J$ -inerția motorului,  $R$ -rezistența bobinelor.

$$\tau_e = \frac{L}{3R} \quad (2)$$

Din expresiile (1) și (2) rezultă funcția de transfer a motorului:

$$H(s) = \frac{1/k_e}{\tau_m \tau_e s^2 + \tau_m s + 1} \quad (3)$$

Tabelul 1. Datele caracteristice ale motorului Mystery BLDC D2825-5000

	Caracteristica	Unitatea de masura	Valoarea
1	Tensiunea nominală	V	11.1
2	Viteza de rotație fără sarcină	rot/min	55300
3	Curentul consumat (fără sarcină)	A	2.8
4	Eficiența maximă	%	96
5	Curentul nominal	A	25A
6	Rezistența (fază-fază)	Ohm	0.04
7	Inductanța (fază-fază)	mH	0.56
8	Constanta de torsiune	mNm/A	12.5
9	Constanta de viteză	rot/min/V	5000
10	Constanta de timp mecanică	ms	11.2
11	Inerția rotorului	gcm <sup>2</sup>	25.2

Conform coeficienților din tabelul 1 au fost calculate constantele temporale (expresiile (4), (5), (6))

$$\tau_e = \frac{L}{3R} = \frac{56 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 0,04} = 4,6 \cdot 10^{-3} s, \quad (4)$$

$$\tau_m = \frac{J3R}{K_e K_t} = 0,0112 s, \quad (5)$$

$$k_e = \frac{J3R}{\tau_m K_t} = \frac{25,2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 0,04}{0,0112 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}} = 0,0216. \quad (6)$$

Conform datelor obținute în formulele (4), (5) și (6) funcția de transfer a motorului va fi:

$$H(s) = \frac{\frac{1}{k_e}}{\tau_m \tau_e s^2 + \tau_m s + 1} = \frac{\frac{1}{0,0216}}{0,0112 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3} s^2 + 0,0112 s + 1} = \frac{46,29}{5,15 \cdot 10^{-5} s^2 + 0,0112 s + 1}. \quad (7)$$

#### 4. Simularea modelului matematic al motorului

Pentru verificarea dinamicii motorului efectuăm simularea expresiei (7) în pachetul de programe Maltab. Schema simulată și procesul transitoriu al ieșirii motorului sunt prezentate în figurele 2 și 3.

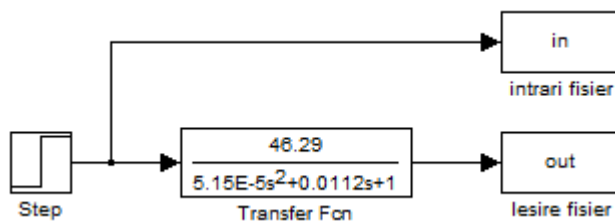


Fig. 2. Schema de simulare a motorului.

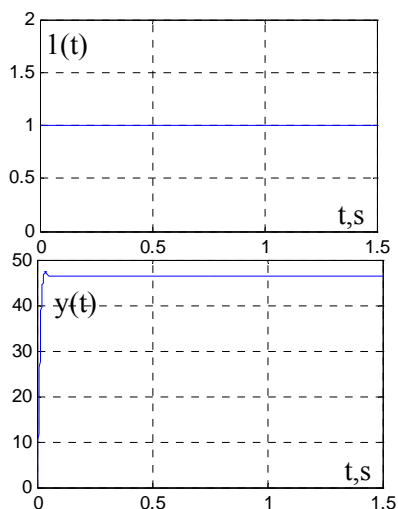


Fig. 3. Răspunsul sistemului la semnal de tip „treaptă unitate”.

### 5. Acordarea parametrilor regulatorului PI

Pentru a menține turațiile motorului la variația sarcinii vom acorda regulatorul PI. Calculul parametrilor de acord a fost efectuat prin metoda gradului maximal de stabilitate (GMS). Expresia pentru gradul optimal de stabilitate  $J$  este prezentată în formula (8) [1].

$$J = \sqrt{\frac{a_n}{a_0(n+1)}} = \sqrt{\frac{1}{5,15 \cdot 10^{-5} (2+1)}} \approx 80,45 \quad (8)$$

unde  $a_n$  și  $a_0$  sunt coeficienții numitorului funcției de transfer a obiectului, iar  $n$ -gradul obiectului.

Este cunoscut faptul că timpul de reglare este invers proporțional cu gradul maximal de stabilitate  $J$ , de aceea pentru a micșora timpul de reglare este necesar ca să mărim cu 1.2 coeficientul  $J$ .

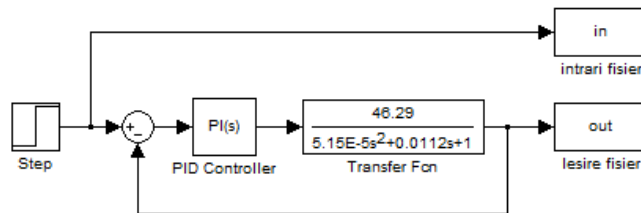
$$J^* = J \cdot 1.2 = 96.54 \quad (9)$$

$$K_{Popt} = \frac{1}{K} [(n+1)a_0 J^n - a_n] = \frac{1}{46,29} [3 \cdot 5,15 \cdot 10^{-5} \cdot 96,54^2 - 1] = 0.0095 \quad (10)$$

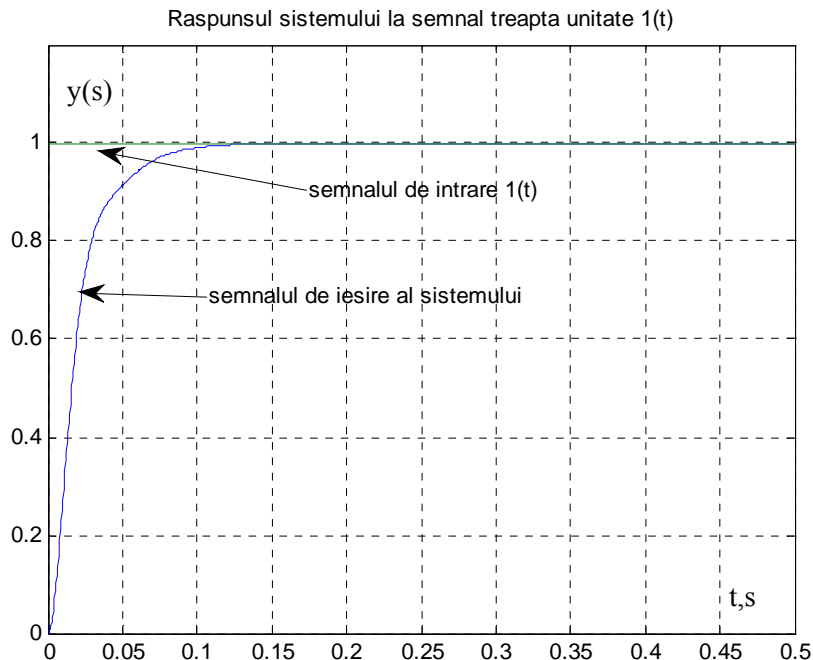
$$K_{Iopt} = \frac{1}{K} [a_0 J^{n+1}] = \frac{1}{46,29} [5,15 \cdot 10^{-5} \cdot 96,54^3] = 1.001 \quad (11)$$

### 6. Simularea sistemului cu regulator PI în buclă închisă

În figura 4 este prezentată schema sistemului de reglare a turațiilor motorului BLDC simulată în Matlab, iar în figura 5 este prezentată caracteristica tranzitorie obținută.



**Fig.4** Schema simulată a sistemului cu regulator PI în buclă închisă.



**Fig.5:** Procesul tranzitoriu al sistemului automat.

## Concluzii

În rezultatul studiului sistemului de reglare a turațiilor motorului BLDC putem formula următoarele concluzii:

4. S-a calculat modelul motorului BLDC.
5. Au fost acordați parametrii regulatorului tipizat PI pentru reglarea turațiilor motorului BLDC.
6. Rezultatul simulării sistemului automat pe calculator demonstrează că sistemul automat are performanțe ridicate.

## Bibliografie

1. FIODOROV I. *Tehnici de sinteză a SRA cu procese indiciale aperiodice*. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, UTM, Chisinau, 10-12 decembrie, 2009, v.1, pp. 223-226
2. *AVR194: Brushless DC Motor Control using Atmega*
3. *Standard PID Tuning Methods* [Resursa electronica]: Regim de acces: [http://www.chem.mtu.edu/~tbco/cm416/tuning\\_methods.pdf](http://www.chem.mtu.edu/~tbco/cm416/tuning_methods.pdf), accesat la data 21.10.12.
4. BĂLAN R. *Microcontrolere - Structura și aplicații*. Cluj-Napoca, Ed. Todesco, 2002. 545 p.
5. ALEXANDRU B. *Sisteme de acționare electrică*. Craiova, Editura Universitară, 1994. 231 p.