

Elşən Rövşən oğlu HACIYEV
Milli Aviasiya Akademiyasının magistrantı
E-mail: elsenhaciyevv1@gmail.com

PERSPEKTİV TURBO REAKTİV MÜHƏRRİKİN YANACAQ SİSTEMİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

Xülasə

Bugünkü reaktiv mühərriklər daha yüngül, daha az yanacaq sərf edən, daha səssiz və daha az xərcli olmaq üçün hazırlanır. Ümumilikdə reaktiv mühərrik növlərini turbo dirək, turbo reaktiv, ramreaktiv kimi təsnif etmək olar. Turbo reaktiv mühərriklər daxili yanma mühərrikləri ilə müqayisədə daha az vibrasiya altında işləmək və daha çox təkan yaratmaq kimi üstünlüklərə malikdir. Bu gün mülki və hərbi təyyarələrin əksəriyyətində xüsusi yanacaq sərfiyyatını azaltmaq üçün turbo reaktiv və ya turbo fan mühərrikləri istifadə olunur. Ramreaktiv və pulsereaktiv adlanan mühərriklər yüksək performans tələb edən raketlərdə və eksperimental məqsədlər üçün istifadə olunur. Mühərrikdə kompressor və turbin komponentləri yoxdur və havanın giriş ventilyasiyasına dəyməsi nəticəsində yaranan təzyiqdən istifadə edərək yanma kamerasına təzyiq edir. Ramreaktiv giriş diyaframı aşağı sürətlərdə açıq qalır və yüksək sürətlə tıxanır. Egzoz borusundan çıxan hava turbinlərə emiş effekti verir, yanma kamerasındakı təzyiqi azaldır və mühərrikin giriş portundan hava udmasına imkan verir. Turbo Reaktiv mühərriki atmosferdən aldığı havanı sıxaraq onu yanacaq ilə partlatmaqla qızdırır və egzoz borusundan qızdırılan qazları çiləyərək təkan yaradan istilik mühərrikidir.

Açar sözlər: turbo reaktiv mühərrik, ramreaktiv, yanma kamerası, turbin şaftı, simulyasiya

DOI: 10.54414/TUWO6213

Giriş

Yanacaq Təchizat Sistemi: BLDC motorundan, müsbət yerdəyişmə nasosundan, yanacaq xətlərindən və yanacaq xətti klapanlarından ibarətdir. Sistemi simulyasiya etmək üçün riyazi model müəyyən edilməli və kompüter mühitinə inteqrasiya edilməlidir. Real modeli funksiya və parametrlərlə simul-yasiya etməklə bu modeli simulyasiya etmək mümkündür. Bu araşdırmada Simulink və SimPowerSystems ilə simulyasiyalar bir-birinin dəqiqliyini və uyğunluğunu yoxlamaq üçün faydalıdır. Müsbət yerdəyişmə nasosunun hərəkəti BLDC motoru tərəfindən təmin ediləcək. İstifadə olunan BLDC motor Faulhaber 2444024B xüsusiyyətləri aşağıda verilmişdir [1].

$R = 2.1$ // stator faza empedansı (Ohm)

$L = 180e-6$ // stator endüktansı (H)

$K_t = 9.97976e-3$ // Tork sabiti (Nm/A)

$K_e = 1.026$ // Elektrik sabiti (V/kRPM)

$J = 6.5$ // Rotor ətaləti (gcm^2)

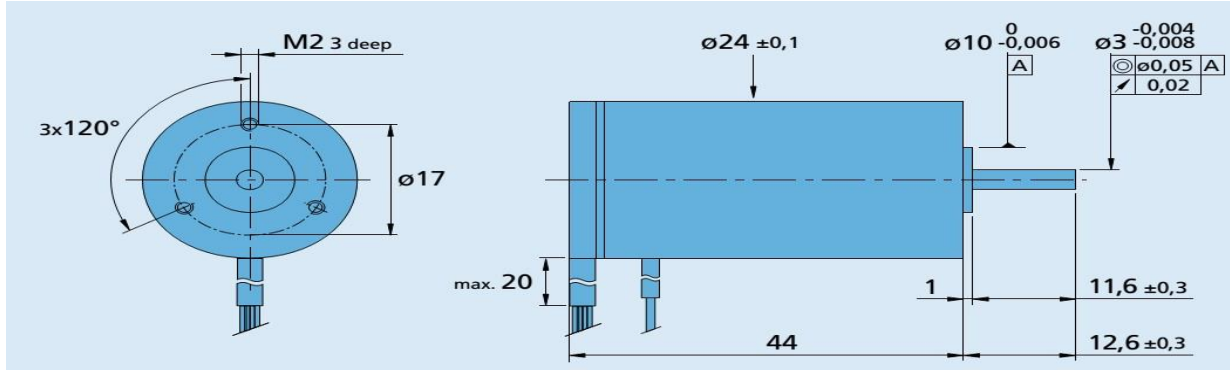
$P_h = 3$ // faza sayı

$T_m = (J * 3 * R) / (K_e * K_t)$ // mexaniki vaxt sabiti

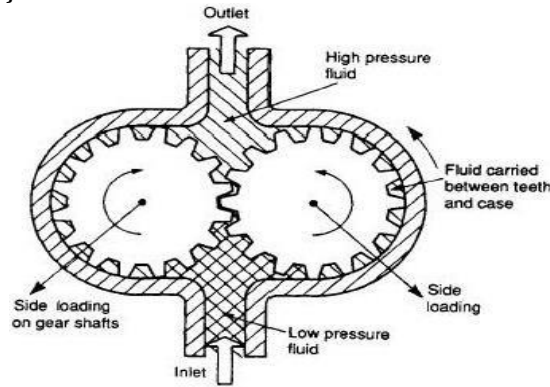
$T_e = L / (P_h * R)$ // elektrik vaxtı sabiti

$VDC = 24$ // təchizat gərginliyi (V)

Nəzarət sistemi, yanacaq nasosunun salon effekti sensorlarından aldığı sürət məlumatından hesablanan turbo-reaktiv mühərrikin ani yanacaq sərfiyyatının dəqiqədə 700 ml-dən çox olmamasını və orta yanacaq sərfiyyatının aşıl-mamasını təmin etmək məqsədi daşıyır. Normanı aşdıqda, idarəetmə sistemi turbinin sürətini dəqiqədə 700 ml yanacaq sərfiyyatında sabit saxlayacaq. Turbo reagent mühərrikinin işləmə ardıcılığının başlanğıcından etibarən idarəetmə sistemi reagent mühərrikinin mümkün qədər tez boş sürətə gətirəcək və onu verilmiş istinad sürətlərinə uyğun RPM-də idarə edəcək. Turbin şaftının sürətinə nəzarət təmin edilərkən, verilən istinad sürətləri üçün reaktiv mühərrikin təhlükəsiz işləmə zonasında qalması təmin ediləcəkdir [2].



Şəkil 1: Faulhaber 2444024B Texniki sxem



Şəkil 2: Müsbət yerdəyişmə nasosu

Yanacaq Təchizat Sistemini simulyasiya etmək üçün Simulink-də riyazi model müəyyən edilməli və inteqrasiya edilməlidir. Simulink mərhələsi real simulyasiya səviyyəsində deyil, lakin yüksək simulyasiya edilmiş sistem modeli hesab edilə bilər.

Əsas mətn

4444024B Simulink modelini çıxarmaq üçün riyazi model işlənib hazırlanmışdır. Bu riyazi modelin nəticə çıxarma mərhələləri aşağıdakı kimidir.

mexaniki vaxt sabiti:

$$\tau_m = \sum \frac{RJ}{K_e K_t} = J \frac{\sum R}{K_e K_t}$$

3 faza olduğundan:

$$\tau_m = \frac{3RJ}{K_e K_t}$$

Faza təsirlərinə görə

$$\tau_m = \frac{3R\phi J}{K_t \left(\frac{K_{eL-L}}{\sqrt{3}} \right)} = \frac{3R\phi J}{K_e K_t}$$

$$K_e = \frac{K_{eL-L}}{\sqrt{3}} (V_{sec}/rad)$$

elektrik vaxtı sabiti;

$$\tau_e = \sum \frac{L}{R} = \frac{L}{3R}$$

Hazırlanmış riyazi modeldən və 2444024 BLDC motorunun parametrlərindən istifadə etməklə Simulink simulyasiyası hazırlanmışdır. Sistemin sabit köklərini və addım istinadına cavabını görmək üçün Simulink-ə daxil ola bilərsiniz; Root-Locus, Nyquist, Step Response və Bode Plot qrafikləri çəkilib.

SimPowerSystems, Matlab altında öz komponentləri ilə modelləşdirməyə imkan

verən proqramdır. SimPowerSystems ilə ümumi BLDC motor konturları hazırlanmış, 24440

B motorun parametrləri sistemə tətbiq edilmiş və motorun istədiyiniz hissələrinə yerləşdirilən sensorlar vasitəsilə RPM və fırlanma momenti kimi məlumatlar əldə edilmişdir.

Bununla belə, mühərrikin elektromexaniki modeli nəzərdə tutulsa da, nasosun mühərrikə qarşı göstərdiyi pozucu qüvvələr və parametrlər də mövcuddur. Nasos var; mexaniki ətaləti, yük ətalətini, maye sürtünməsinə, milin statik sürtünməsinə təmsil edən parametrlər pozucu kimi modelə əlavə edilmişdir [3].

Şəkil 3: Simulink Blok Diaqram

$$R = R_\phi = 2,1\Omega$$

$$J = 0,00000065 \text{ kgm}^2$$

$$K_t = 0,00997976 \text{ Nm/A}$$

$$K_e = 1,026 \text{ V/kRPM} = 0,0098 \text{ Vsec/rad}$$

$$\tau_e = \frac{L}{3R} = \frac{0,000179}{3 \times 2,1} = 2,8571e - 05$$

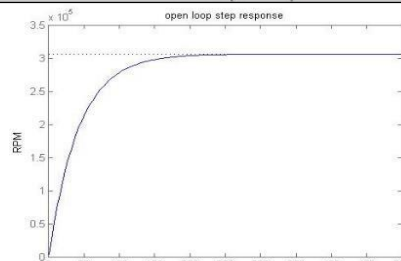
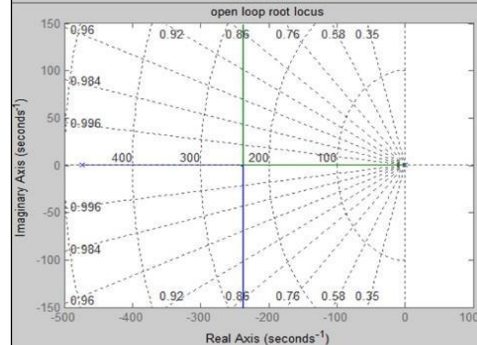
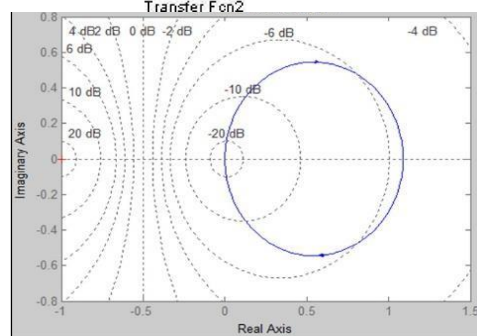
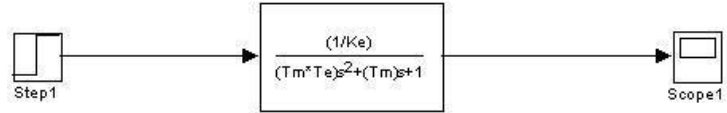
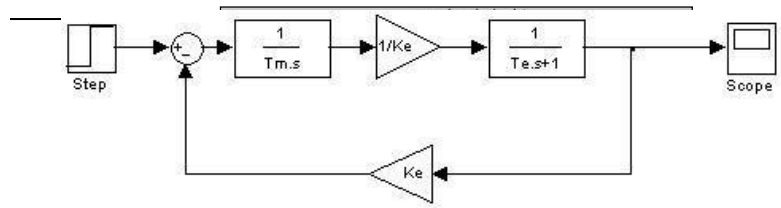
$$\tau_m = \frac{3 \times 2,1 \times 0,00000065}{0,0098 \times 0,000097976} = 41,8809$$

```

% kt = mNm/A
% Ke = V/kRPM
% V/kRPM * 0.009549285 =
vsecs/rad
% J = Kgm^2
% Ph = faz sayısı
% Tm = Mekanik zaman sabiti
% Te = elektriksel zamansabiti
% Transfer Function
G = tf([1/Ke],[Tm*Te Tm 1]);

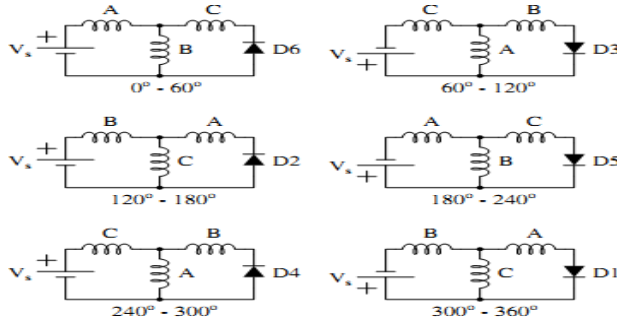
% Plots of the Step input
figure;
step(G*3000, 500);
title('open loop step
response'); xlabel('Time
(secs)');
ylabel('RPM');
% Plots the Root-Locus
figure;
rlocus(G); title('open loop
rootlocus');
grid on;
% Plots the Nyquist diagram
figure;
nyquist(G);
title('open loop nyquist
diagram');
grid on;
% Plots the Bode Plot
figure;
bode(G);
title('open loop bode plot')grid

```



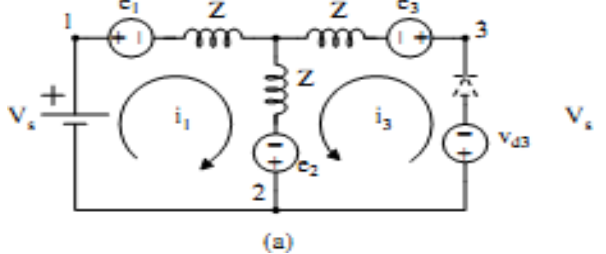
Şəkil 4 : Simulink Sistem Qrafikası

Şəkil 5: Hər 60 dərəcədən bir dövrə konfigurasiyaları



Model sürücüsü 6 pilləli çevirici sayəsində hər 60 dərəcə intervalda fərqli bir dövrəyə sahib kimi davranır. Hər 60 dərəcə interval üçün dəyişən dövrə quruluşu bitişik diaqramda göstərilmişdir.

Diod cərəyanı sıfırdan fərqli olduqda $vd3$ dəyəri sıfır olur, lakin diod cərəyanı sıfıra çatdıqda, $vd3$ cərəyanı növbəti vaxt intervalı başlayana qədər sıfırda qalmağa məcbur etmək üçün kifayət qədər gərginlik yaradır. $vd3$ dəyəri cərəyanı gərginlik mənbəyinin funksiyası kimi $i3$ yazıb sıfıra təyin etməklə hesablanıla bilər.



Şəkil 6: Dövrə topologiyaları

Topologiya üçün fazadan fazaya gərginlik (a);

$$i_3 \neq 0 \rightarrow \begin{cases} v_{12} = V_s \\ v_{23} = 0 \\ v_{31} = -V_s \end{cases}$$

$$i_3 = 0 \rightarrow \begin{cases} v_{12} = V_s \\ v_{23} = \frac{1}{2}(-V_s + e_1 + e_2 - 2e_3) \\ v_{31} = \frac{1}{2}(-V_s - e_1 - e_2 + 2e_3) \end{cases}$$

Topologiya (a) çeviricinin çıxış cərəyanı;

$$i_3 \neq 0 \rightarrow \begin{cases} u_{12} = v_{12} - (e_1 - e_2) = V_s - e_1 + e_2 \\ u_{23} = v_{23} - (e_2 - e_3) = -e_2 + e_3 \\ u_{31} = v_{31} - (e_3 - e_1) = -V_s - e_3 + e_1 \end{cases}$$

$$i_3 = 0 \rightarrow \begin{cases} u_{12} = v_{12} - (e_1 - e_2) = V_s - e_1 + e_2 \\ u_{23} = v_{23} - (e_2 - e_3) = \frac{1}{2}(-V_s + e_1 - e_3) \\ u_{31} = v_{31} - (e_3 - e_1) = \frac{1}{2}(-V_s + e_3 - e_2) \end{cases}$$

Topologiya (b) çeviricinin çıxış cərəyanı;

$$i_3 \neq 0 \rightarrow \begin{cases} u_{12} = v_{12} - (e_1 - e_2) = -V_s - e_1 + e_2 \\ u_{23} = v_{23} - (e_2 - e_3) = -e_2 + e_3 \\ u_{31} = v_{31} - (e_3 - e_1) = V_s - e_3 + e_1 \end{cases}$$

$$i_3 = 0 \rightarrow \begin{cases} u_{12} = v_{12} - (e_1 - e_2) = -V_s - e_1 + e_2 \\ u_{23} = v_{23} - (e_2 - e_3) = \frac{1}{2}(V_s + e_1 - e_3) \\ u_{31} = v_{31} - (e_3 - e_1) = \frac{1}{2}(V_s + e_3 - e_2) \end{cases}$$

kimi hesablamaq olar

v , i və e simvolları müvafiq olaraq fazadan fazaya gərginliyi, faza cərəyanını və geri emf-ni təmsil edir. Müqavimət R və endüktans L hər fazaya görə dəyərlərdir. T_e və T_1 elektrik fırlanma anı və yük momentidir. J rotorun ətalət anı k_f sürtünmə əmsalı, w_m rotorun bucaq sürəti. k_e və k_t arxa emf və fırlanma anı sabiti, müvafiq olaraq, arxa emf və elektrik fırlanma anı belə yazıla bilər:

$$e_a = \frac{k_e}{2} w_m F(\theta_e)$$

$$e_b = \frac{k_e}{2} w_m F\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_c = \frac{k_e}{2} w_m F\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$T_e = \frac{k_t}{2} (F(\theta_e) i_a - F\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) i_b - F\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) i_c)$$

Elektrik bucağı θ_e rotor bucağının hasilinə və qütb cütlərinin sayına bərabərdir ($\theta_e = \theta_m$). f funksiyası arxa emf-nin trapesiya dalğasını verir. Dövr kimi ifadə edilə bilər:

$$f(\theta_e) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \theta_e < \frac{2\pi}{3} \\ 1 - \frac{6}{\pi} \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) \frac{2\pi}{3} \leq \theta_e < \pi \\ -1 & \pi \leq \theta_e < \frac{5\pi}{3} \\ -1 + \frac{6}{\pi} \left(\theta_e - \frac{5\pi}{3} \right) \frac{5\pi}{3} \leq \theta_e < 2\pi \end{cases}$$

Uyğun Matlab Simulink tətbiqi üçün ilk 4 tənlik dövlət fəzası formasında yazılmalıdır. Dövlət Kosmosunun qeydinə uyğun yazılmaq üçün onlar dəyişdirilməlidir. Yalnız 2 gərginlik lazımdır, çünki hər bir faza gərginliyi digər gərginliklərin xətti birləşməsidir. Tənliyi sistemdən çıxararaq və $i_a + i_b + i_c = 0$ tənliyindən istifadə etməklə, gərginlik tənliklərini ikiyə endirmək, dəyişənlərin sayını bir azaltmaq olar [4].

$$v_{ab} = R(i_a - i_b) + L \frac{d}{dt}(i_a - i_b) + e_a - e_b$$

$$v_{bc} = R(i_b - i_c) + L \frac{d}{dt}(i_b - i_c) + e_b - e_c - \frac{R}{L}$$

Nəticə

Yanacaq təchizatı sistemi üçün iki fərqli prinsip əsasında iki model hazırlanmışdır. Bu modellər performans və xüsusiyyətlər baxımından təhlil edilir. Bir sıra elektron və mexaniki riyazi tənliklərdən istifadə etməklə hazırlanmış Simulink modeli əsas və sadə BLDC motorunu təmsil edir. Sistemin daha ətraflı xarakter təhlili üçün komponent əsaslı modelin hazırlanması qərara alındı. SimPowerSystems istifadə edərək hazırlanmış modelin performans qrafikası Simulink

modelindən daha yaxşı real sistemi təmsil edir. Birpilləli kompressor və turbinli turbo reaktiv mühərrikin təhlili üçün komponent əsaslı modelləşdirmənin aparılması qərara alınıb. SimScape mühitində komponent əsaslı bir model hazırlanmışdır, lakin reaktiv mühərriklərin dizaynı və həndəsi xüsusiyyətləri modelə kifayət qədər tətbiq oluna bilmədi. Bu mərhələdə reaktiv mühərrikin xüsusi komponentlərindən ibarət komponent əsaslı modelin hazırlanması qərara alınıb. Modelin bütün komponentləri riyazi olaraq təhlil edilmiş və dinamik tənliklərlə Simulink mühitinə daxil edilmişdir. Lakin riyazi analiz zamanı bəzi fərziyyələr və fərziyyələr irəli sürülüb.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. Seldner K., Mihalow J., Blaba R., (1972) Generalized Simulation Technique for Turbo Jet Engine System Analysis, National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C., USA
2. Maccallum, Gawthrop P., (1992) Improving Dynamic Response of a Single-Spool Gas Turbine Engine Using a Nonlinear Controller
3. Japikse, David, (1996) Centrifugal Compressor Design and Performance. Concepts ETI
4. Moran N. ve Shapiro J., (2010) "Fundamentals of Engineering Thermodynamics" Wiley
5. Sonntag R. E., (2007), Introduction to Engineering Thermodynamics, Claus Borgnakke

Эльшан Ровшан ГАДЖИЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ТУРБО

Резюме

Современные реактивные двигатели спроектированы таким образом, чтобы они были легче, потребляли меньше топлива, работали тише и стоили дешевле. В целом типы реактивных двигателей можно разделить на турбовинтовые, турбореактивные, прямоточные. Преимущество турбореактивных двигателей заключается в том, что они работают при меньшей вибрации и создают большую тягу, чем двигатели внутреннего сгорания. Большинство гражданских и военных самолетов сегодня используют турбореактивные или турбовентиляторные двигатели для снижения удельного расхода топлива. ПВРД и импульсно-

реактивные двигатели используются в высокопроизводительных ракетах и в экспериментальных целях. В двигателе нет компонентов компрессора или турбины, и он использует давление, создаваемое воздухом, попадающим во впускное отверстие, для повышения давления в камере сгорания. Входное отверстие ПВРД остается открытым на малых скоростях и закрывается на высоких. Воздух из выхлопной трубы обеспечивает всасывание турбин, снижая давление в камере сгорания и позволяя двигателю всасывать воздух из впускного отверстия. Турбореактивный двигатель — это тепловой двигатель, который сжимает воздух, который он забирает из атмосферы, и нагревает его, продувая его топливом, и создает тягу, распыляя нагретые газы из выхлопной трубы.

Ключевые слова: ТРД, ПВРД, камера сгорания, вал турбины, имитационное моделирование.

Elshan Rovshan HAJIYEV

PROSPECTIVE TURBO JET ENGINE FUEL SYSTEM MODELING

Summary

Today's jet engines are designed to be lighter, use less fuel, be quieter and cost less. In general, types of jet engines can be classified as turboprop, turbojet, ramjet. Turbojet engines have the advantages of operating under less vibration and generating more thrust than internal combustion engines. Most civil and military aircraft today use turbojet or turbofan engines to reduce specific fuel consumption. Ramjet and pulsejet engines are used in high-performance rockets and for experimental purposes. The engine has no compressor or turbine components and uses the pressure created by air hitting the intake vent to pressurize the combustion chamber. The ramjet inlet aperture remains open at low speeds and closes at high speeds. Air from the exhaust pipe provides suction to the turbines, reducing the pressure in the combustion chamber and allowing the engine to draw air from the intake port. A Turbo Jet engine is a heat engine that compresses the air it takes from the atmosphere and heats it by blasting it with fuel and creates thrust by spraying heated gases from the exhaust pipe.

Keywords: turbojet engine, ramjet, combustion chamber, turbine shaft, simulation

Daxil olub: 12.04.2023