

**ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ, ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԵՎ
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ**

ՀՏԴ 62-52

Ա.Թ. ՈՒԼԻԿՅԱՆ, Ա.Լ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ, Տ.Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ն.Ս. ՉԱԼՈՅԱՆ

**ՀԻՊԵՐԱՎԼԻԿ ՇԱՐԺԱԲԵՐՆԵՐՈՎ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄՆ ՈՒ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ**

Դիտարկվել է հիդրավլիկ շարժաբերներով բազմաչափ կառավարման համակարգ, որի դինամիկայի մոդելը կառուցվել է Simulink (Simscape) միջավայրում: Ֆիզիկական մոդելավորման միջոցով հետազոտվել են համակարգի կինեմատիկան և դինամիկան: Նախագծվել է համեմատական ինտեգրող-դիֆերենցող (ՀԻԴ) կարգավորիչ: Նախագծված համակարգը հետազոտվել է տարբեր մուտքային ազդանշանների դեպքում:

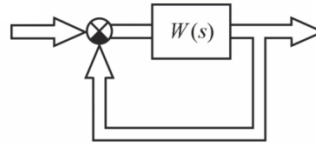
Առանցքային բառեր. բազմաչափ կառավարման համակարգ, հիդրավլիկ շարժաբեր, համեմատական ինտեգրող-դիֆերենցող (ՀԻԴ) կարգավորիչ, կինեմատիկայի հակադարձ խնդիր, Ստյուարտի հարթակ:

Ներածություն. Վերջին երկու-երեք տասնամյակներում հեքսապոդները՝ Ստյուարտի հարթակը, լայն կիրառություն են գտել այնպիսի տեխնիկական բնագավառներում, ինչպիսիք են թրթռամեկուսացման համակարգերը, մեծ աստղադիտակների երկրորդային հայելու դիրքորոշման համակարգերը, թռչող սարքերի վարժասարքերը, բարձր ճշտությամբ վիրահատական սարքերը, հղկող և մշակող հաստոցները, լաբորատոր հետազոտությունների սարքավորումները և այլն:

Ընդհանուր դրույթներ և խնդրի լուծումը. Կառուցվածքային տեսակետից հեքսապոդը ներկայացնում է օգտակար ծանրաբեռնվածությամբ շարժական հարթակ, որը տեղադրված է վեց հենակների՝ հիդրավլիկ շարժիչների վրա, որոնցից յուրաքանչյուրը կարող է իր երկարությունը փոխել X , Y , Z առանցքներով՝ անկախ մեկը մյուսից, շարժիչների և տվիչների միջոցով: Միացված լինելով հարթակներին կինեմատիկական շղթաների հողակապերով՝ մեխանիզմը դառնում է դինամիկ վերլուծության տեսակետից զգալիորեն բարդ խնդիր [1, 2]: Ընդհանուր առմամբ, հեքսապոդն ապահովում է ազատության վեց աստիճան:

Աշխատանքում որպես բազմաչափ հիդրավլիկ համակարգ դիտարկվել է Ստյուարտի հարթակը, որի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 1-ում:

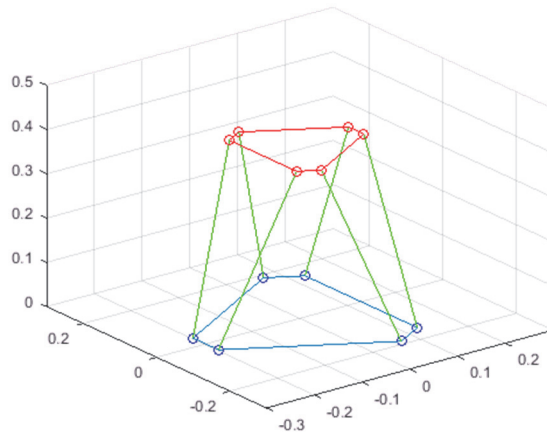
Աշխատանքի նպատակն է Ստյուարտի հարթակի կառավարման համակարգի հարթակն ապահովել ցանկալի դիրքով և ուղղությամբ՝ ղեկավարվելով կարգավորիչով, որը հնարավորություն կտա յուրաքանչյուր հիդրավլիկ շարժաբերի դեպքում գեներացնել անհրաժեշտ ուժը:



Նկ. 1. Բազմաշախի ավտոմատ կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման

Դիրքի և հետագծի կառավարումը կարելի է իրականացնել հակադարձ կինեմատիկայի խնդրի միջոցով՝ ճանապարհի նախագծման ալգորիթմի կիրառմամբ, ուտքերի երկարությունները ղեկավարելով [2]: Ուսումնասիրվող օբյեկտի համար կինեմատիկայի հակադարձ խնդիրը կարելի է ձևակերպել հետևյալ կերպ. գտնել վեց հիդրավլիկ շարժիչներից յուրաքանչյուրի մխոցի երկարությունը (ուժը) հարթակի տվյալ դիրքի և տարածական կողմնորոշման դեպքում:

Այդ նպատակով նախ հաշվարկվել են հարթակի և հիմքի հետ շարժիչների (ուտքերի) միացման կոորդինատները: Ըստ հետևյալ կոորդինատների՝ $Z=0.4$ մ-ի դեպքում Ստյուարտի հարթակը եռաշախի տարածությունում կունենա նկ. 2-ում բերված տեսքը:



Նկ. 2. Հանգույցների կոորդինատները եռաշախի տարածությունում ($Z=0.4$)

Հարթակի կոորդինատների սկզբնակետը որոշվում է հիմքի նկատմամբ 3 առանցքների երկայնքով համընթաց շարժումներով՝ պայմանավորված տեղաշարժերով: Հիմքի նկատմամբ հարթակի կողմնորոշումը որոշվում է 3 պտտական շարժումներով՝ պայմանավորված անկյունային տեղաշարժերով:

Հարթակի հիմքի նկատմամբ ամբողջական պտտման մատրիցն ունի հետևյալ տեսքը՝

$${}^P R_B = R_z(\psi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\theta & \sin\psi\sin\theta\cos\varphi + \cos\psi\sin\theta\cos\varphi \\ \sin\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\theta & -\cos\psi\sin\theta\cos\varphi + \sin\psi\sin\theta\cos\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\theta & \cos\theta\cos\varphi \end{pmatrix}$$

Իսկ յուրաքանչյուր ոտքի երկարությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

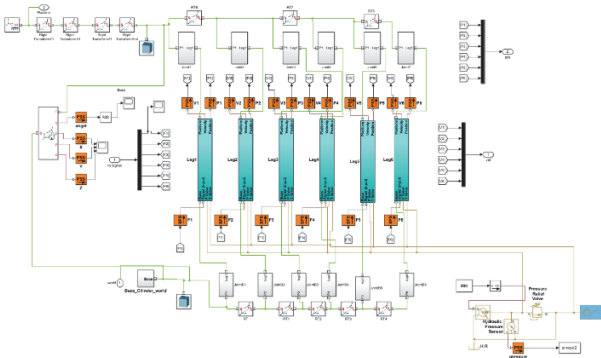
$$L_i = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}$$

Գտնելով բոլոր 6 ոտքերի երկարությունները՝ կարելի է ստանալ Ստյուարտի հարթակի կառավարման համակարգի մոդելը:

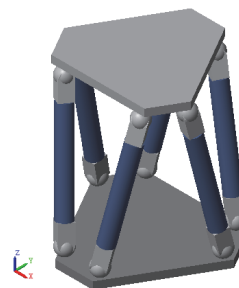
Օբյեկտի՝ Ստյուարտի հարթակի մոդելը կառուցվել է SIMULINK միջավայրի Multibody փաթեթի միջոցով [3, 4]: Ստյուարտի հարթակի յուրաքանչյուր ոտքի ենթահամակարգը ներկայացված է երկու մարմինների տեսքով՝ միացված պրիզմայական հանգույցով [5]: Ենթահամակարգը ներկայացնում է միառանցք հիդրավլիկ շարժաբեր: Շարժաբերներում ճնշման աղբյուրը, պաշտպանիչ փականը, աշխատանքային հեղուկը և բաքը բոլոր ոտքերի համար ընդհանուր են: Նկ. 3-ում բերված են հիդրավլիկ շարժաբերներից բաղկացած վեց ենթահամակարգերը:

Բոլոր 6 ոտքերը հարթակներին միացված են գնդաձև հանգույցներով:

Մոդելավորման արդյունքում ստացվում է Ստյուարտի հարթակի եռաչափ մոդելը MATLAB միջավայրում (նկ. 4):



Նկ. 3. Ստյուարտի հարթակի դինամիկայի մոդելը

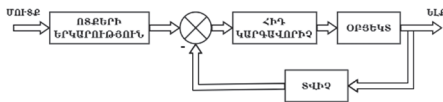


Նկ. 4. Ստյուարտի հարթակի եռաչափ մոդելը

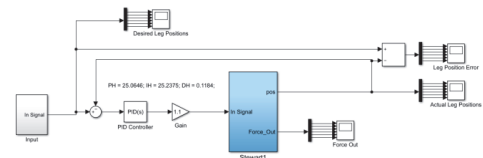
Բոլոր շարժաբերներում ղեկավարման մուտքին տրվում է մուտքային ազդանշանը, իսկ շարժաբերների ելքում ստացվում են յուրաքանչյուր ոտքի դիրքը և շարժման արագությունը՝ համակարգի հետագա կառավարման համար:

Հաղորդելով մուտքին ազդանշան՝ կարելի է համոզվել, որ համակարգը առանց ՀԻԴ կարգավորչի անկայուն է, և անհրաժեշտ է նախագծել կարգավորիչ: Ցանկալի դիրք և որակական ցուցանիշներ ապահովելու համար անհրաժեշտ է՝ $\sigma = 10\%$, գերկարգավորում, $t_r = 1$ վրկ աճման ժամանակ, $t_s = 5$ վրկ կայունացման ժամանակ [6, 7]:

Ստյուարտի հարթակի կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման ունի նկ. 5-ում բերված տեսքը, որի հիման վրա նախագծվել է բազմաչափ հիդրավլիկ շարժաբերի կառավարման համակարգի մոդելը Simulink միջավայրում (նկ. 6):



Նկ. 5. Ստյուարտի հարթակի կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման



Նկ. 6. Ստյուարտի հարթակի կառավարման համակարգի մոդելը Simulink միջավայրում

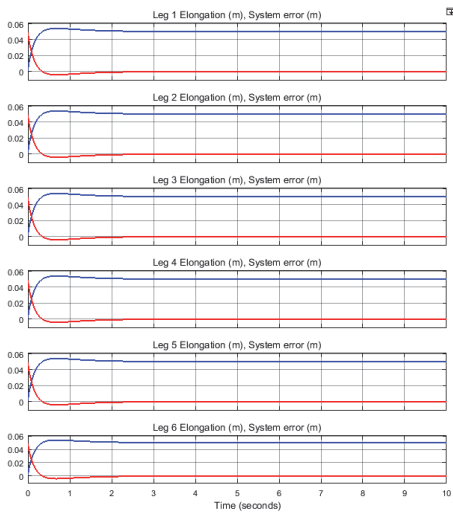
ՀԻԴ կարգավորչի օպտիմալ պարամետրերի ընտրության համար անհրաժեշտ է կատարել համակարգի գծայնացում: Դրա համար անհրաժեշտ է կիրառել Linear Analysis Tool-ը, իսկ Design Optimization պատուհանից ընտրելով մուտքային ազդանշանի փոփոխման սահմանները՝ կարելի է ստանալ ՀԻԴ կարգավորչի գործակիցները՝

$$P=27.5711; I=27.7613; D=0.1302:$$

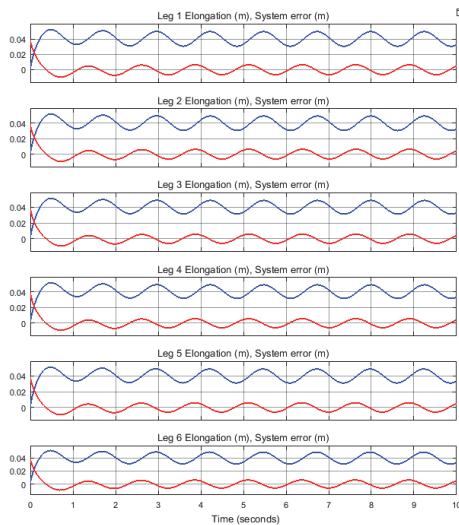
Համակարգում ներառենք ՀԻԴ կարգավորիչը՝ փակ համակարգը հետազոտելու համար:

Դիտարկենք համակարգի արձագանքը 0.01 մ թռիչքաձև ազդանշանի դեպքում, Z-առանցքի երկայնքով (նկ. 7), իսկ առանցքների շուրջը պտտման անկյուններն ընդունենք 0°:

Բնութագրերից դուրս են բերվել անցողիկ գործընթացի պարամետրերը՝ 8.5% գերկարգավորում և 3.012 վրկ կարգավորման ժամանակ, ինչպես նաև հաշվարկվել են մուտքային ազդանշանների շեղումները ելքայինից: Բնութագրից երևում է, որ հաստատված սխալը 0 է (նկ. 8):



Նկ. 7. Համակարգի արձագանքը և սխալը թռիչքածն ազդանշանի դեպքում



Նկ. 8. Համակարգի արձագանքը և սխալը հարմոնիկ ազդանշանի դեպքում

Համակարգը հետազոտվել է տարբեր մուտքային ազդանշանների դեպքում: Համակարգի մուտքին առաջադրվել է 0.01 մ ամպլիտուդով և 5 ռադ/վրկ հաճախությամբ հարմոնիկ ազդանշան, իսկ առանցքների շուրջը պտտման անկյունները նույնպես 0° են.

$$X = -0.01\sin(5t), Y = 0.01\cos(5t), Z = 0.01\sin(5t) + 0.04,$$

$$\varphi = 0, \theta = 0, \psi = 0:$$

Եզրակացություն. Իրականացվել է հիդրավլիկ շարժաբերներով բազմաչափ կառավարման համակարգի՝ Ստյուարտի հարթակի մոդելավորում և պատկերում MATLAB-ի Simulink միջավայրում՝ օգտագործելով Simscape փաթեթը [3, 4]: Ուսումնասիրվել են համակարգի կինեմատիկան և դինամիկան: Նախագծվել է հիդրավլիկ շարժաբերներով բազմաչափ կառավարման համակարգ: Կատարվել է համակարգի սիմուլյացիա մուտքային տարբեր ազդանշանների դեպքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Filip, Szufnarowski.** Stewart platform with fixed rotary actuators: a low cost design study.- 2013. - 11 p.
2. **Afzulpurkar N.V.** Kinematics, design, programming and control of a robotic platform for satellite tracking and other applications.- Christchurch, New Zealand, 1990.- 213 p.
3. Simulink® Control Design™ Getting Started Guide, The MathWorks, Inc. 2004-2017.- 48 p.
4. Simscape™ Fluids™ User's Guide, The MathWorks, Inc. 2006-2017.- 96p.

5. Ուլիկյան Ա.Թ., Մխիթարյան Ա.Լ., Արզարյան Ս.Ա., Հակոբյան Ա.Ա. Հիդրավլիկ համակարգի մոդելավորումն ու նախագծումը SIMULINK միջավայրում // ՀՃԱ ԼՐԱԲԵՐ-18. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2018. - Հատոր 15, N 1. - Էջ 131-136:
6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - СПб.: Профессия, 2003. - 752 с.
7. Nise, Norman S. Control Systems Engineering Seventh edition / California state Polytechnic University.- Ponama, Wiley, Print ISBN-10: 1118170512 Print ISBN-13: 978-1118170519. -2015.- 944 p.

Ա.Տ. ՍՈՒՅԱՆ, Ա.Լ. ՄԽԻՏԱՐՅԱՆ, Կ.Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ն.Տ. ՉԱԼՈՅԱՆ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ

Разработана многомерная система управления с гидравлическими приводами, модель динамики которой была построена в среде Simulink (Simscape). Посредством физического моделирования изучены кинематика и динамика системы. Спроектирован пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор. Разработанная система была протестирована для разных входящих сигналов.

Ключевые слова: многомерная система управления, гидравлический привод, ПИД регулятор, задача обратной кинематики, платформа Стюарта.

A.T. ULIKYAN, A.L. MKHITARYAN, T.G. STEPANYAN, N.S. CHALOYAN

MODELING AND DESIGNING A MIMO CONTROL SYSTEM WITH HYDRAULIC DRIVES

A MIMO control system with hydraulic motors is developed, the dynamics model of which was built in the Simulink (Simscape) environment. By means of physical modeling, the kinematics and dynamics of the system are studied. A PID controller is designed. The developed system was tested for different incoming signals.

Keywords: MIMO control system, hydraulic motor, PID controller, inverse kinematics problem, Stewart platform.