

ՀՏԴ 621.865(075.8)Կինեմատիկա*Մամիկոն ՀԱԿՈՒՅԱՆ**Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան**Տեղեկատվական և հաղորդակցական տեխնոլոգիաների ու էլեկտրոնիկայի
ինստիտուտի կառավարման համակարգեր ամբիոնի դոցենտ, տ. գ. թ.**E.mail hakopyan.mamikon@mail.ru**Արսեն ՆԱԴԱՐՅԱՆ**Խ.Աբովյանի անվան հայկական պետական մանկավարժական համալսարանի**Մաթեմատիկայի, ֆիզիկայի և ինֆորմատիկայի ֆակուլտետ**Ինֆորմատիկայի և դրա դասավանդման մեթոդիկայի ամբիոնի ասիստենտ,
տ.գ.թ.**E.mail nadaryanarsen06@aspu.am*

ՌՈՒՐՈՏ-ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐԻ ԿԻՆԵՄԱՏԻԿ ԵՎ ԴԻՆԱՄԻԿ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

Հոդվածում դիտարկվել են ռոբոտ-մանիպուլյատորի շարժման հավասարումները, կինեմատիկայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման մեթոդները: Ժամանակակից MATLAB/Simulink ծրագրի օգնությամբ մոդելավորման արդյունքում ստացվել են ռոբոտ-մանիպուլյատորի վերջույթների մեխանիկական հանգույցների դինամիկական ոչ գծային բնութագծերը, որոնց օգնությամբ էլ հետազոտվել են կինեմատիկայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրները: Հանգույցների շարժումը մոդելավորելու համար կազմվել է ռոբոտ-մանիպուլյատորի կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման:

Բանալի բառեր՝ ռոբոտ-մանիպուլյատոր, մոդելավորում, մեխանիկական հանգույցներ, դինամիկ բնութագծեր, կարգավորիչ, կինեմատիկայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրներ, կայունություն:

М.Акопян, А.Надарян

**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ**

В статье рассматривались уравнения движения робота-манипулятора, методы решения прямых и обратных задач кинематики. С помощью современной программы MATLAB / Simulink в результате моделирования получены нелинейные динамические характеристики механических узлов конечностей робота-манипулятора, с помощью которых исследовались прямые и обратные проблемы кинематики. Для моделирования движения узлов была составлена структурная схема системы управления робота-манипулятора.

Ключевые слова: *робот-манипулятор, моделирование, механические узлы, динамические характеристики, регулятор, прямые и обратные задачи кинематики, стабильность.*

M.Hakobyan , A.Nadaryan

KINEMATIC AND DYNAMIC CONTROL METHODS OF ROBOT-MANIPULATOR

In the article the equations of motion of the robot- manipulator, methods for solving direct and inverse problems of kinematics were considered. With the help of the modern MATLAB / Simulink program, nonlinear dynamic characteristics of the mechanical nodes of the robot-manipulator limbs were obtained as a result of modeling, with the help of which direct and inverse kinematics problems were investigated. To simulate the movement of the nodes, a structural scheme of the control system of robot-manipulator was drawn up.

Key words: *robot- manipulator, modeling, mechanical components, dynamic characteristics, regulator, direct and inverse kinematics problems, stability.*

Ռոբոտաշինությունը գիտության և տեխնոլոգիաների միջավայրում արագ զարգացող ճյուղերից մեկն է: Արդյունաբերության և ավտոմատացման զարգացման հետ մեկտեղ տեխնոլոգիական գործընթացում պահանջվում է աշխատանքի բարձր ճշտություն, համեմատաբար քիչ ծախսեր և բարձր արտադրողականություն: Այն նվազեցնում է հոսքագծի լրացուցիչ արտադրական ծախսերը, պահանջում է քիչ հզորություն և միաժամանակ բարձրացնում արտադրողականությունն ու աշխատանքի ճշտությունը՝ արտադրանքի որակը [1]:

Ռոբոտ-մանիպուլյատորը բազմակի ծրագրավորվող սարք է, որը նախատեսված է օբյեկտի մի տեղից մյուսը տեղափոխման համար: Ռոբոտ մանիպուլյատորի ճկունությունը կարելի է մեծացնել ազատության աստիճանների ավելացման շնորհիվ, որը համարժեք է մանիպուլյատորի հանգույցների թվին [2]:

Ռոբոտ-մանիպուլյատորները կազմված են հանգույցներից և օղակներից (բազուկ, լծակ): Հանգույցը կարող է լինել շրջվող, որը ապահովվում է օղակների միջև պտտական շարժումը, կամ այն կարող է ունենալ բազմանիստի ձև, որը կապահովի օղակների ուղղագիծ շարժումը:

Օղակների կրկնապատկման հետ մեկտեղ ավելանում են նաև մանիպուլյատորի ղեկավարման բարդությունները: Ռոբոտների ղեկավարման համակարգերը հատուկ բազմապրոցետոր (չորս հիմնական գործառնություն իրականացնող) համակարգչային համակարգեր են, որոնք ապահովվում են ռոբոտի ինտեգրացիան ավտոմատացման համակարգին [3]: Գոյություն ունեն ռոբոտ մանիպուլյատորների կառավարման համակարգեր, որոնց օպերացիոն համակարգերը հնարավոր չէ փոփոխել, սակայն կարելի է ծրագրավորել առանձին հանգույցների շարժումները [4,5]:

Ռոբոտ մանիպուլյատորների կառավարման համակարգերի նախագծման համար անհրաժեշտ է կազմել օղակների (բազուկ, լծակ) մաթեմատիկական նկարագրերը՝ օգտագործելով կինեմատիկայի և դինամիկայի հայտնի կառավարման մեթոդների տեսությունը [6]:

Ռոբոտ մանիպուլյատորների հետազոտման և նախագծման համար կառավարման տեսության ժամանակակից մեթոդների կիրառությունը և նոր օգտակար մեթոդների մշակումը արդիական է և բարդ խնդիր:

Ռոբոտ-մանիպուլյատորների շարժողական ֆունկցիաների ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ այն կարելի է ներկայացնել հաջորդաբար միացված օղակներից բաղկացած, բաց կինեմատիկական շղթաներով մանիպուլյատորների տեսքով: Մանիպուլյատորների շարժման կառուցման գործընթացի կարևորագույն խնդիրներից է նրանց գործող մեխանիզմների կինեմատիկ վերլուծությունը, որի հիմնական խնդիրն է նկարագրել մանիպուլյատորի շարժումը՝ հաշվի չառնելով նրա վրա ազդող ուժերն ու պտտման մոմենտները [6]:

Ռոբոտ-մանիպուլյատորն իրենից ներկայացնում է բազմաթիվ օղակներից միացված բաց կինեմատիկական շղթաներով հարթ տարածական բազմաշարժուն մեխանիզմ: Օղակները միմյանց միացված են հանգույցների միջոցով: Միացումները սովորաբար լինում են պտտական (հոդակապով) և գծային պրիզմաձև:

Յուրաքանչյուր հանգույց նկարագրվում է միայն մեկ ազատության աստիճանով. պտտական հանգույցի դեպքում դա պտտման անկյունն է (Q_i), իսկ պրիզմատիկ հանգույցի դեպքում՝ տեղափոխությունը (d_i): n հատ հանգույցներից բաղկացած մանիպուլյատորը կազմված է $n+1$ հատ օղակներից, քանի որ յուրաքանչյուր հանգույց միացված է երկու օղակների միջոցով, i -րդ հանգույցը գրգռելիս շարժվում է i -րդ օղակը:

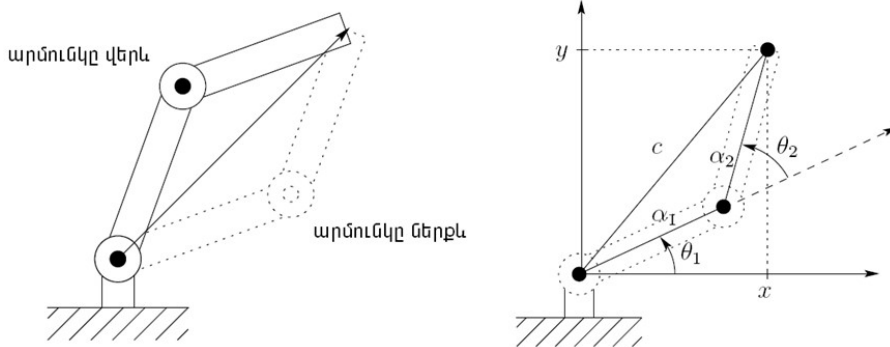
Կինեմատիկայի ուղիղ խնդրի նպատակն է մեխանիզմի օղակների հայտնի հաստատուն երկրաչափական պարամետրերի, ընդհանրացված

կոորդինատների, արագությունների և արագացումների փոփոխման օրենքների դեպքում որոշել մանիպուլյատորի վերջին օղակի դիրքի և շարժման ուղղության կողմնորոշումը:

Մարմինն պատկանող որևիցե կետի կոորդինատներով և այդ մարմնի հետ կոշտ միացված շարժական համակարգի առանցքների ուղղորդ կոսինուսներով որոշվում է մեխանիզմի կամայական i -րդ օղակի դիրքը տարածության մեջ, որոնք նկարագրվում են մատրիցների միջոցով, որոնց մեջ պարունակում են ամփոփ տեղեկություններ օղակների բոլոր կինեմատիկական բնութագրերի վերաբերյալ, որը զգալի հեշտացնում է մեխանիզմների դինամիկ հետազոտումը:

Կինեմատիկայի հակադարձ խնդրի նպատակն է վերջին օղակի նախապես հայտնի շարժման օրենքի դեպքում որոշել մեխանիզմի ընդհանրացված կոորդինատների շարժման օրենքները:

Օգտվելով նկար 1-ից դուրս բերենք n ազատության աստիճանով ռոբոտ-մանիպուլյատորների շարժման դինամիկայի ընդհանուր հավասարումը:



Նկ.1. Մի քանի օղակներից միացված բաց կինեմատիկական շղթաներով հարթ տարածական բազմաշարժուն մեխանիզմ

Դիտարկենք հայտնի Էյլեր-Լագրանժի հավասարումները երկու պայմանների դեպքում՝

առաջինը, երբ կինեմիկ էներգիան ֆունկցիա է $\dot{q}$ վեկտորի քառակուսուց և որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ

$$K = 1/2 \sum_{i,j}^n m_{ij}(q) \dot{q}_i \dot{q}_j := 1/2 \dot{q}^T M(q) \dot{q}, (1)$$

որտեղ՝ $n \times n$ չափանի $M(q)$ իներցիայի մատրիցը համաչափ է և դրական յուրաքանչյուր $q \in R^n$ -ի համար, երկրորդը, երբ $P = P(q)$ պոտենցիալ էներգիան կախված չէ $\dot{q}$ -ից:

Նմանատիպ համակարգերի համար Էյլեր-Լագրանժի հավասարումները որոշվում են (2) տեսքով՝

$$L = K - P = 1/2 \sum_{i,j} m_{ij}(q) \dot{q}_i \dot{q}_j - P(q), (2)$$

քանի որ՝

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = \sum_j m_{kj} \dot{q}_j, \quad (3)$$

և

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = \sum_i m_{kj} \ddot{q}_j + \sum_j \frac{d}{dt} m_{kj} \dot{q}_j = \sum_j m_{kj} \ddot{q}_j + \sum_{i,j} \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} \dot{q}_i \dot{q}_j, \quad (4)$$

նաև

$$\frac{\partial L}{\partial q_k} = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \dot{q}_i \dot{q}_j - \frac{\partial P}{\partial q_k}, \quad (5)$$

ապա Էյլեր - Լագրանժի հավասարումները կարող են ներկայացվել՝

$$\sum_j m_{kj} \ddot{q}_j + \sum_{i,j} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} - \frac{1}{2} \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right\} \dot{q}_i \dot{q}_j - \frac{\partial P}{\partial q_k} = \tau_k: (6)$$

Էյլեր-Լագրանժի հավասարումը ներկայացնում է համակարգի դինամիկան՝ հիմնվելով Նյուտոնի երկրորդ օրենքի վրա:

Օգտագործելով գումարելիների տեղափոխության և համաչափության առանձնահատկությունները՝ կարող ենք գրել

$$\sum_{i,j} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} \right\} \dot{q}_i \dot{q}_j = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{ki}}{\partial q_j} \right\} \dot{q}_i \dot{q}_j: (7)$$

Այստեղից հետևում է, որ

$$\sum_{i,j} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} - \frac{1}{2} \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right\} \dot{q}_i \dot{q}_j = \sum_{i,j} \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right\} \dot{q}_i \dot{q}_j: (8)$$

Առաջին կարգի Քրիսթոֆֆելի c_{ijk} պայմանանշանն արտահայտվում է այսպես՝

$$c_{ijk} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right\}: \quad (9)$$

Հայտնի է, որ k -ի ֆիքսված արժեքի դեպքում $c_{ijk} = c_{jik}$, ինչը նվազեցնում է այդ պայմանանշանների հաշվարկման բարդությունը մոտ 1,5 անգամ: Վերջում, եթե որոշենք $\varphi_k = \frac{\partial P}{\partial q_k}$, ապա Էյլեր-Լագրանժի հավասարումները կարող են ներկայացվել հետևյալ տեսքով՝

$$\sum_i m_{kj}(q) \ddot{q}_j + \sum_{i,j} b_{ijk}(q) \dot{q}_i \dot{q}_j + c_k(q) = \tau_k, k = 1, \dots, n \quad (10)$$

Ստացված արտահայտությունը բաղկացած է երեք անդամներից: Առաջին անդամն ընդհանրացված կոորդինատի երկրորդ կարգի ածանցյալն է: Երկրորդը՝ ընդհանրացված կոորդինատի առաջին կարգի ածանցյալի քառակուսին, որն իր հերթին լինում է երկու տեսակ՝ եթե այն կախված է $\dot{q}_i^2$ -ից, կոչվում է *կենտրոնաձիգ*, իսկ եթե կախված է $\dot{q}_i \dot{q}_j$ անդամից, որտեղ $i \neq j$, կոչվում է *Կարիոլիսի անդամ*: Երրորդ անդամը կախված է միայն q -ից, առանց ածանցյալի:

Էյլեր-Լագրանժի հավասարումը մատրիցային ձևով ունի հետևյալ տեսքը՝

$$M(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q})\dot{q} + C(q) = \tau, (11)$$

որտեղ $B(q, \dot{q})$ մատրիցի k, j տարրերը որոշվում են այսպես՝

$$b_{ijk} = \sum_{i=1}^n b_{ijk}(q)\dot{q}_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial m_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{ij}}{\partial q_k} \right\} \dot{q}_i, (12)$$

Այս հետազոտությունները շատ կարևոր են և կիրառվում են ցանկացած մեխանիկական համակարգերում, որտեղ կինետիկ էներգիան որոշվում է (1) արտահայտությամբ, իսկ պոտենցիալ էներգիան կախված չէ $\dot{q}$ -ից:

Այսպիսով, ռոբոտ-մանիպուլյատորների շարժման հավասարումներն ընդհանուր տեսքով նկարագրվում են հետևյալ վեկտորային արտահայտությամբ՝

$$M(q) \frac{d^2 q}{dt^2} + B\left(q, \frac{dq}{dt}\right) \frac{dq}{dt} + C(q) = \tau, (13)$$

որտեղ՝ q -ն $q_i (i = 1, 2, \dots, n)$ բաղադրիչներից բաղկացած ընդհանրացված կոորդինատների (պտտման անկյուններ) n չափանի վեկտորն է (պարզության համար $q(t)$ վեկտորի կախվածությունը t ժամանակից անտեսվել է), $M(q)$ -ն՝ իներցիայի մոմենտների սիմետրիկ մատրիցը, $B(q, dq/dt)$ -ն՝ Կարիոլիսի և կենտրոնաձիգ արագացումների վեկտորը, $C(q)$ -ն՝ գրավիտացիոն ուժի վեկտորը, τ -ն՝ կիրառված արտաքին մոմենտների վեկտորը:

Ինչպես երևում է (13) հավասարումից, ռոբոտ-մանիպուլյատորների մեխանիկական մասի շարժման դինամիկայի հավասարումները ոչ գծային են և փոխկապակցված: Նմանատիպ մեխանիզմների (ինչպես նաև բոլոր մանիպուլյացիոն ռոբոտների) դինամիկայի ճշգրիտ վերլուծման և հետազոտման համար ուսումնասիրվում է մոտեցում, որը հիմնվում է ռոբոտատեխնիկայում հայտնի հակադարձ դինամիկայի մեթոդի վրա: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս պարզեցնել ռոբոտ-մանիպուլյատորների կառավարման համակարգի գործնական իրականացումը՝ պահպանելով որակական բնութագրերը ընդունելի սահմաններում:

Եթե համակարգում չի կիրառվում հակադարձ դինամիկայի մեթոդը, ապա ամեն մի կապուղու արժեքի փոփոխությունն իր ազդեցությունն է թողնում մյուս կապուղիների արժեքների վրա, այսինքն, հակադարձ դինամիկայի հասկություններից օգտվելով՝ կարող ենք միայն փոխել մեկ կապուղու արժեքը, և մնացած կապուղիների արժեքները կմնան անփոփոխ:

Ռոբոտ-մանիպուլյատորի ուսումնասիրումը, մշակումը և վերլուծությունն այսօր անհնար է պատկերացնել առանց համապատասխան ծրագրային ապահովման: Հատկապես մեծ նշանակություն ունի ռոբոտ-

մանիպուլյատորների մեխանիկական շարժումների մշակման խնդիրը իրականացնել ժամանակակից ծրագրային փաթեթի՝ MATLAB/Simulink-ի կիրառմամբ, որը նախատեսված է նաև դինամիկ ոչ գծային բնույթ ունեցող համակարգերի հետազոտման համար:

MATLAB ծրագրային փաթեթի միջոցով գրված ալգորիթմով տարբեր ո քանակությամբ կետերի համար, մանիպուլյատորի պտտական անկյունների տարբեր շեղումների դեպքում ստացվում են համակարգի ելքային ազդանշանները, որպեսզի վերլուծվի, թե ինչպես է դա ազդում համակարգի դինամիկայի վրա: Արդյուքում ընտրվում է օպտիմալ կետերի այն ո քանակը, որը բավարար է: Այսինքն՝ պետք է այնպես կառուցել համակարգը, որպեսզի այն մի կողմից բավականին մոտ լինի իդեալականին, իսկ մյուս կողմից հնարավորինս քիչ ծավալ զբաղացնի հիշողության մեջ: Շարժման ընթացքում յուրաքանչյուր օղակի կամ հանգույցի վարքի հետազոտման համար նախատեսված է նաև այսպես կոչված *գրաֆիկների պատկերման պատուհանը*:

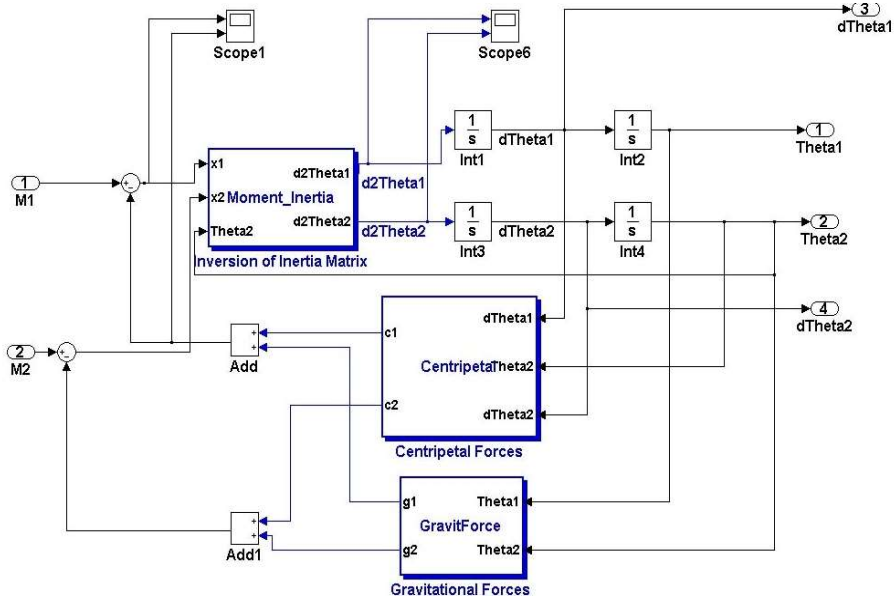
Ռոբոտ – մանիպուլյատորի կառավարման համակարգի ոչ գծային Simulink-մոդելը բերված է նկար 2-ում: Մոդելի աշխատանքը սկսելու համար MATLAB ծրագրային փաթեթի աշխատանքային տեղամասում կանչում ենք Simulink մոդելը, որի վրա կատարում ենք համապատասխան գործակիցների և պարամետրերի խմբի մուտքագրում, ըստ ձևակերպված խնդրի դրվածքի, որից հետո սեղմելով Start simulation կոճակը՝ աշխատացնում ենք համակարգը՝ ստանալով ցանկալի պարամետրերի փոփոխության դինամիկան Scope պատուհանների վրա և թվային բազմությունը՝ Workspace միջավայրում: Նկար 2-ում բերված երկու ազատության աստիճանով ռոբոտ-մանիպուլյատորի կառավարման համակարգի ոչ գծային մոդել ներառում է հետևյալ ենթահամակարգերը՝ իներցիայի մոմենտի հակադարձ մատրիցի, կենտրոնաձիգ ուժի և գրավիտացիոն ուժի վեկտորի հաշվարկման ենթահամակարգերը:

Իներցիայի մոմենտի հակադարձ մատրիցի արժեքը հաշվարկվում է Inversion of Inertia Matrix ենթահամակարգի միջոցով:

Կենտրոնաձիգ ուժերը հաշվարկվում են Centripetal Forces ենթահամակարգի միջոցով:

Գրավիտացիոն ուժի վեկտորի արժեքները հաշվարկվում են Gravitational Forces ենթահամակարգի միջոցով:

Թվարկված ենթահամակարգերը մշակվել են MATLAB ծրագրի միջոցով, m ֆայլերի տեսքով, որոնք այնուհետև խմբավորվել են Simulink մոդելում ֆունկցիոնալ բլոկների օգնությամբ:



Նկ.2. Երկու ազատության աստիճանով ռոբոտ-մանիպուլյատորի կառավարման համակարգի մոդելը՝ հակադարձ դինամիկայի և պլանավորած ուժեղացման գործակիցների կառավարման մեթոդների կիրառմամբ

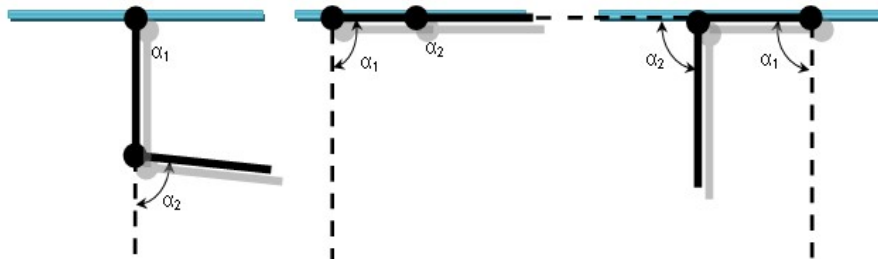
Ստորև ներկայացված է ծրագիրը իդեալական համակարգի դեպքում, որտեղ տրված են երկաստիճան ռոբոտ-մանիպուլյատորի համապատասխան հոդերի զանգվածներն ու երկարությունները՝

$$m_1=2.193, m_2=1.205, l_1=1.3, l_2=0.8 :$$

$[T, Y] = \text{Robot Scheduling Control System ('ode45', tf([0.8 \ 1], [0.1 \ 1]), 10, 10, 0, 0.4 * \pi, \text{zeros}(6, 1), 10)}$ հրամանի միջոցով ներմուծվել են ուժեղացման գործակիցները, որոնք հավասար են 10-ի, մուտքային արժեքները և ճշգրտող օղակի փոխանցման ֆունկցիան՝

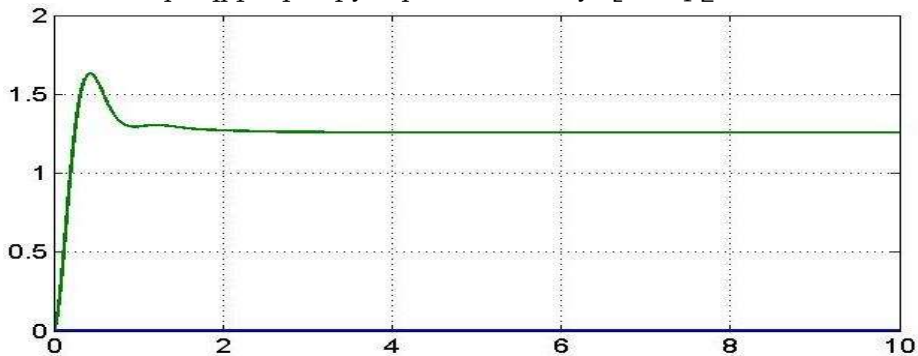
$$W = 10 \frac{0.8s + 1}{0.1s + 1}$$

Կառուցվել են կորեր՝ համակարգի դինամիկան և կայունությունը հետազոտելու համար՝ մուտքին տալով տարբեր մուտքային ազդանշաններ: Այսինքն երկաստիճան ռոբոտ-մանիպուլյատորի առաջին և երկրորդ արմունկերին տրվել են տարբեր α_1 և α_2 շեղումներ:

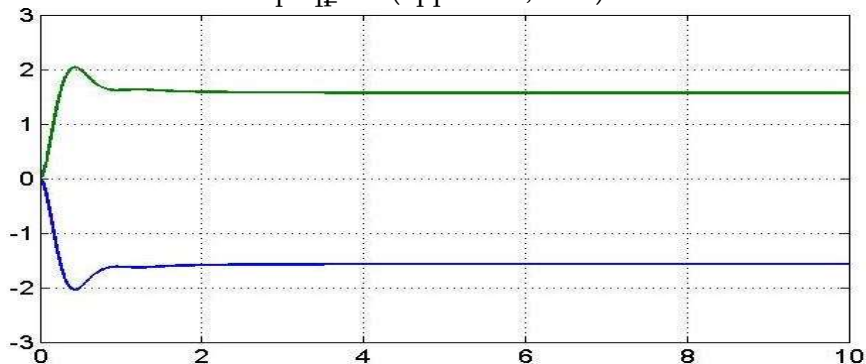


ա) $\alpha_1=0, \alpha_2=0.4\pi$ բ) $\alpha_1=0.5\pi, \alpha_2=0$ գ) $\alpha_1=-0.5\pi, \alpha_2=0.5\pi$

Համակարգի իդեալական դինամիկայի բնութագրիչ ազդանշանների գրաֆիկները համապատասխան անկյունային շեղումների դեպքում, դուրս բերված MATLAB ծրագրի օգնությամբ ունեն հետևյալ տեսքը՝



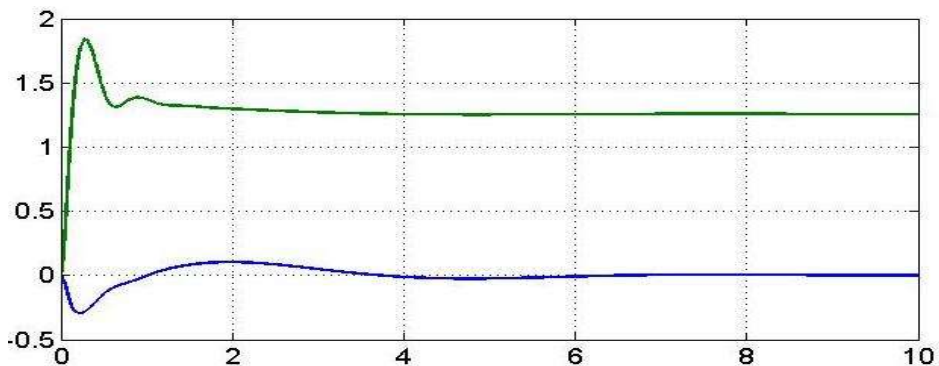
Նկ. 3. Բնութագրիչ ազդանշանների գրաֆիկները իդեալական համակարգի դեպքում (երբ՝ $\alpha_1=0, \alpha_2=0$)



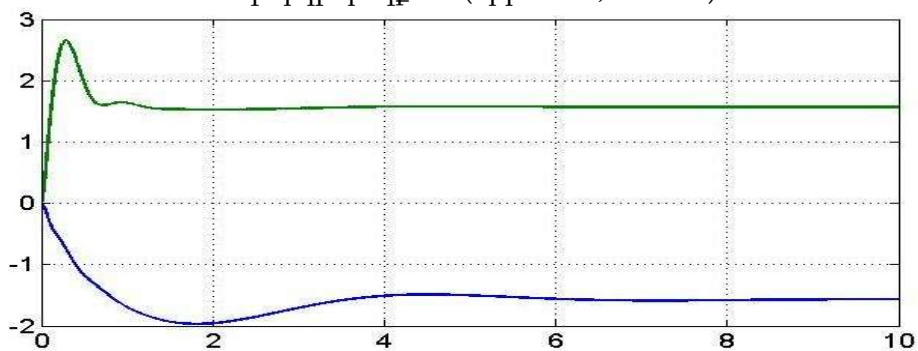
Նկ. 4. Բնութագրիչ ազդանշանների գրաֆիկները իդեալական համակարգի դեպքում (երբ՝ $\alpha_1=-0.5\pi, \alpha_2=0.5\pi$)

Ինչպես տեսնում ենք, իդեալականի դեպքում, երբ երկրորդ առանցքին պտույտ ենք տալիս, առաջինում տատանումները բացակայում են:

Իսկ ոչ իդեալական համակարգի դեպքում, երկրորդ առանցքին պտույտ հաղորդելիս, առաջինը սկսում է տատանվել և համեմատական կարգով բավականին ուշ է հասնում կայուն վիճակի (նկ.5, նկ.6):



Նկ. 5. Բնութագրիչ ազդանշանների գրաֆիկները ոչ իդեալական համակարգի դեպքում (երբ՝ $\alpha_1=0$, $\alpha_2=0.4\pi$)

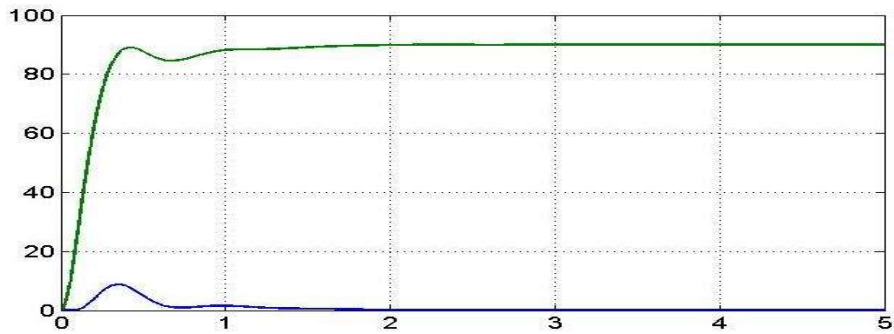


Նկ. 6. Բնութագրիչ ազդանշանների գրաֆիկները ոչ իդեալական համակարգի դեպքում (երբ՝ $\alpha_1=-0.5\pi$, $\alpha_2=0.5\pi$)

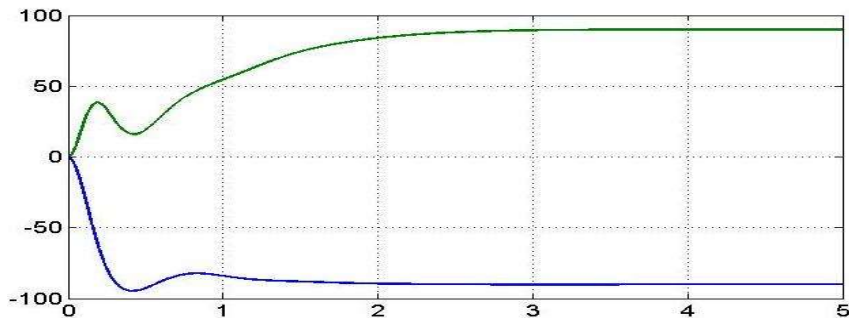
Որպեսզի վերացվեն այն տատանումները, որոնք առաջանում են երկաստիճան համակարգի առաջին բազուկում՝ երկրորդին շեղում հաղորդելիս, ռոբոտի կառավարման համակարգում կիրառվում են հակադարձ դիամիկայի և պլանավորած ուժեղացման գործակիցների մեթոդները:

Հակադարձ դիամիկայի և պլանավորած ուժեղացման գործակիցների կառավարման մեթոդների կիրառման ժամանակ երկաստիճան ռոբոտ - մանիպուլյատորի առաջին և երկրորդ արմունկերին համապատասխան α_1 և α_2 շեղումներ ենք տալիս:

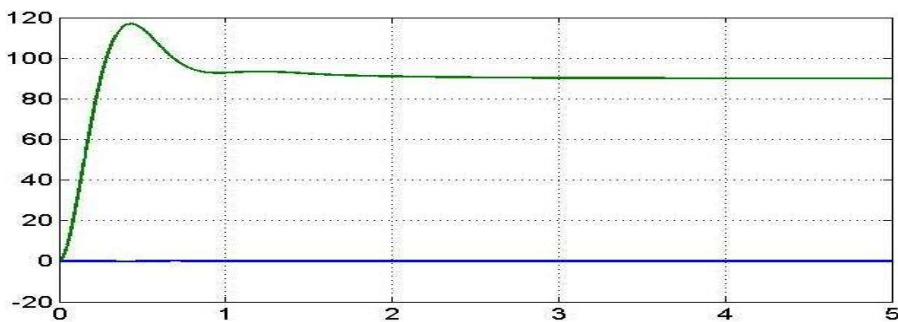
$n_1=11$ և $n_2=11$ և $n_1=25$, $n_2=25$ քանակությամբ կետերի դեպքում ստացվում են հետևյալ արդյունքները՝



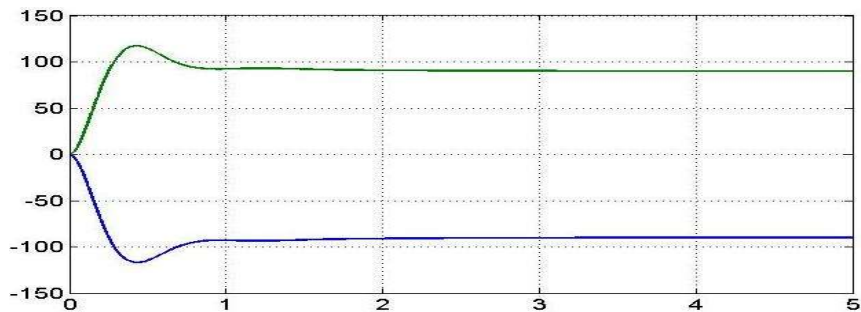
Նկ.7. Ռոբոտի կառավարման համակարգը հակադարձ դինամիկայի մեթոդի կիրառմամբ ($n_1=11$, $n_2=11$), (երբ՝ $\alpha_1=0$, $\alpha_2=0.4\pi$)



Նկ. 8. Ռոբոտի կառավարման համակարգը հակադարձ դինամիկայի մեթոդի կիրառմամբ ($n_1=11$, $n_2=11$), (երբ՝ $\alpha_1=-0.5\pi$, $\alpha_2=0.5\pi$)



Նկ.9. Ռոբոտի կառավարման համակարգը հակադարձ դինամիկայի մեթոդի կիրառմամբ ($n_1=25$, $n_2=25$), (երբ՝ $\alpha_1=0$, $\alpha_2=0.4\pi$)



Նկ.10. Ռոբոտի կառավարման համակարգը՝ հակադարձ դինամիկայի մեթոդի կիրառմամբ ($n_1=25$, $n_2=25$), (երբ՝ $\alpha_1=-0.5\pi$, $\alpha_2=0.5\pi$)

$n_1=11$, $n_2=11$ և $n_1=25$, $n_2=25$ քանակությամբ կետերի դեպքում ստացված կորերից երևում է, որ $n_1=25$ և $n_2=25$ քանակությամբ կետեր վերցնելու դեպքում, կառավարման համակարգը հակադարձ դինամիկայի մեթոդի կիրառմամբ արդեն իրեն դրսևորում է իդեալական համակարգի պես և բավարարում է մեր պահանջները, ինչը չի կարելի ասել $n_1=11$ և $n_2=11$ դեպքի համար, որտեղ համակարգը բավականին ուշ է կայունանում:

Այսպիսով, հողվածում դիտարկվել են ռոբոտ-մանիպուլյատորի շարժման հավասարումների տեսքը, կինեմատիկայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման մեթոդները, ինչպես նաև ժամանակակից MATLAB/Simulink ծրագրի օգնությամբ մոդելավորման արդյունքում ստացվել է ռոբոտ-մանիպուլյատորի վերջույթների մեխանիկական հանգույցների դինամիկական ոչ գծային բնութագծերը, որոնց օգնությամբ էլ հետազոտվել են կինեմատիկայի ուղիղ և հակադարձ խնդիրները:

Գրականություն

1. **Иванов А. А.** Основы робототехники. 2-е изд. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 223 с.
2. **Тимофеев А.В.** Управление роботами. Ленинград, Изд-во ЛГУ, 2016, 240 с.
3. **Жильцов А.И., Жуков В.С., Рылеев Д.А.** Управление манипуляторами с числом степеней свободы более шести. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/1086.html>.
4. **Ягунов О. А.,** Математические модели и алгоритмы управления промышленных транспортных роботов // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2007. — Т. 5, № 5. — С. 63—69.

5. **Воротников С. А.**, Информационные устройства робототехнических систем. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 384 с.
6. **Daniel S.**, Implementation of Robot Arm networks and experimental analysis of consensus – based collective motion, Electrical Engineering, Logan, Utah. – 2009. – 79 p.

Հոդվածը տպագրության է երաշխավորել իմփագրական
խորհրդի անդամ, ֆ.ս.գ.թ. Գ.Հ.Սահակյանը: