

UDC 005.3

SCOPUS CODE 2207

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-2-232-239>**პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტა****ქეთევან კოტრიკაძე**

მართვის სისტემებისა და ავტომატიზაციის აკადემიური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77

E-mail: k.kotrikadze@gtu.ge

რეცენზენტები:**ნ. მჭედლიშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, ასოც. პროფესორი

E-mail: nino.mchedlishvili@gtu.ge

ს. ხოშტარია, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, ასოც. პროფესორი

E-mail: s.xoshtaria@gtu.ge

ანოტაცია. ავტომატიზებული ტექნოლოგიური პროცესების მართვისთვის ხშირად იყენებენ ლოკალურ მართვის სისტემებს, რომელთა დანიშნულებაა ტექნოლოგიური კომპლექსების გარკვეული მონაკვეთების ცალკეული მართვის კონტურების დუბლირება, რაც ზრდის სისტემის საიმედოობას. ლოკალური მართვის სისტემების საიმედოობას უზრუნველყოფს ის გარემოება, რომ მასში გამოიყენება უნიფიცირებული მოწყობილობები, მოდულები, ბლოკები და სხვა.

ლოკალური მართვის სისტემების კლასიფიცირება შესაძლებელია სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. ერთ-ერთი ნიშანია ლოკალური მართვის სისტემის კლასიფიცირება სამართავი პარამეტრის დროში ცვლილების მიხედვით. ამ შემთხვევაში, ისინი

იყოფა შემდეგი სახის სისტემებად ავტომატური სტაბილიზაციის, პროგრამული მართვის და მიმყოფ სისტემებად.

მაკორექტირებელი მოწყობილობების შერჩევა მიმყოფი ავტომატური რეგულირების სისტემების დაგეგმარებისას მნიშვნელოვანია, რადგან ასეთი რგოლის ჩართვა სისტემაში უზრუნველყოფს მართვის სისტემის სასურველ დინამიკურ პროცესს და მდგრადობის პირობებს.

სტატიაში განხილულია მიმყოფი სისტემებისთვის მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების სინთეზის ამოცანა, კერძოდ, პარალელური კორექციის შემთხვევაში. დადგენილი და გამოთვლილია სისტემის მდგრადობისთვის აუცილებელი პირობები, ლოგარითმულ ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებლების საშუალებით.

საკვანძო სიტყვები: გადაცემის ფუნქცია; ლოგარითმულ ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებელი; მაკორექტირებელი რგოლი; მიმყოლი ავტომატური რეგულირების სისტემა; პარალელური კორექცია; პარამეტრების სინთეზის ამოცანა; სისტემის მდგრადობა.

შესავალი

ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზებული მართვის სისტემები ტექნიკური სისტემებია, სადაც შესაძლებელია სარეგულირებელი პარამეტრების ავტომატური რეგულირება, ტექნიკური მოწყობილობებით საჭირო ინფორმაციის შეგროვება, დამუშავება და მისი შედეგების გამოტანა, რათა იგი შეაფასოს ოპერატორმა და მიიღოს ტექნოლოგიური პროცესისთვის საჭირო გადაწყვეტილება.

ასეთ სისტემაში ოპერატორი ასრულებს მართვის ზოგიერთ ფუნქციას და საჭიროების შემთხვევაში მას შეუძლია ჩაერიოს პროცესში. სამართავი ობიექტი და ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზებული მართვის სისტემები, ერთობლიობაში ქმნის ტექნოლოგიურ პროცესს. სისტემის ამგვარი სახით არსებობა მოიაზრებს სამართავ ობიექტს, რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს სხვადასხვა სახის მანქანა-დანადგარების ერთობლიობას.

ასეთი სისტემები შესაძლებელია შედგებოდეს რამდენიმე ტექნოლოგიური კონტურისგან. მათ სამართავად ხშირად იყენებენ ე. წ. ცხელ რეზერვს – ლოკალურ მართვის სისტემებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ცალკეული მართვის კონტურების დუბლირებას იმ შემთხვევისთვის, თუ ისინი მწყობრიდან გამოვიდა. ლოკალური მართვის სისტემები

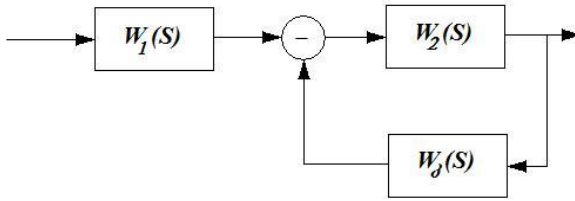
შედგება უნიფიცირებული რგოლებისგან, რაც ზრდის მათ საიმედოობას.

ავტომატური რეგულირების მიმყოლი სისტემების დაგეგმარებისას მნიშვნელოვანია ენერგეტიკული ანგარიშის ჩატარება. აღნიშნული ანგარიშის შედეგად, დგინდება სისტემის მდგრადობა და დინამიკური რიცხვითი მაჩვენებლები, როგორცაა თვისებრიობის მაჩვენებლები. როგორც წესი, აღნიშნული მაჩვენებლები მოცემულია სისტემის ტექნიკურ დავალებაში.

ლოკალურ მართვის სისტემებში, ენერგეტიკული ანგარიშის შემდგომ, განისაზღვრება ლოკალური მართვის სისტემის სქემა, სტრუქტურა და მასში შემავალი ელემენტები, ბლოკები და მოწყობილობები. ამ ანგარიშის შედეგად მიღებული სქემა ლოკალური მართვის სისტემის უცვლელი ნაწილია და მასში ელემენტის ჩანაცვლება ან სქემის სტრუქტურის ცვლილება შეუძლებელია ან არაა სასურველი. ასეთ შემთხვევაში სასურველი დინამიკური პროცესების მისაღწევად ლოკალური მართვის სისტემებში მიმართავენ მაკორექტირებელი მოწყობილობის შერჩევის ტექნოლოგიას და მისი პარამეტრების დადგენის, სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტას, რაც უზრუნველყოფს ლოკალური მართვის სისტემის სასურველ დინამიკურ პროცესს [2,4].

ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის ჩართვის სქემა (სურ. 1). იგი ჩართულია უკუკავშირში. მოცემულ შემთხვევაში, სისტემის უცვლელი ნაწილის გადაცემის ფუნქციაა: $W_1(s)$ და $W_2(s)$, ხოლო $W_3(s)$ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქციაა.



სურ. 1. პარალელური კორექციის სტრუქტურული სქემა

კორექციის შედეგად მოცემულ შემთხვევაში გან-
თული სისტემის (სურ. 1) სასურველი გადაცემის
ფუნქციაა:

$$W_{\text{სს}}(S) = \frac{W_1(S)W_2(S)}{1+W_2(S)W_3(S)}. \quad (1)$$

თუ გამოვიყენებდით მიმდევრობით კორექციას,
მაშინ

$$W_{\text{სს}}(S) = W_1(S) \cdot W_2(S) \cdot W_3(S). \quad (2)$$

გავუტოლოთ (1) და (2) ტოლობების მარჯვენა
მხარეები ერთმანეთს, მივიღებთ:

$$\frac{W_1(S)W_2(S)}{1+W_2(S)W_3(S)} = W_1(S) \cdot W_2(S) \cdot W_3(S).$$

მოცემული ფორმულიდან

$$W_3(S) = \frac{1}{1+W_2(S)W_3(S)}, \quad (3)$$

სადაც $W_3(S)$ მიმდევრობითი მაკორექტირებელი
მოწყობილობების გადაცემის ფუნქცია.

პარალელური კორექციის გადაცემის ფუნქციას
კი განვსაზღვრავთ (3) ტოლობიდან :

$$W_3(S) = \frac{1}{W_2(S)} \left(\frac{1}{W_3(S)} - 1 \right). \quad (4)$$

მიღებული (4) ფორმულით შეიძლება $W_3(S)$ -ის
პოვნა, თუ შერჩეულია პარალელური კორექციის
ჩართვის ადგილი ანუ ცნობილია $W_2(S)$ და ნაპოვნი
გვაქვს $W_3(S)$.

პარალელური კორექციის პარამეტრების პოვნა
მოხერხებულია ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სი-
ხშირული მახასიათებლის გამოყენებით. ამისათ-
ვის, ვისარგებლოთ (3) პარალელური კორექციის გა-

დაცემის ფუნქციით. განვიხილოთ მოცემული გა-
დაცემის ფუნქციისთვის სხვადასხვა დაშვება.

თუ ამ ფუნქციაში

$$|W_2(j\omega)W_3(j\omega)| \gg 1 \quad (5)$$

ანუ $L_2(\omega) + L_3(\omega) \gg 0$, მაშინ (3)-დან გვექნება:

$$W_3(S) = \frac{1}{W_2(S)W_3(S)},$$

საიდანაც $L_3(\omega) = -(L_2(\omega) + L_3(\omega)) < 0$, მაშინ
მივიღებთ:

$$L_3(\omega) = L_3(\omega) + L_2(\omega) \quad (6)$$

ამრიგად, თუ სრულდება (5) პირობა, $L_3(\omega)$ -ს
განსაზღვრავს (6) ფორმულა.

თუ

$$|W_2(j\omega) \cdot W_3(j\omega)| \ll 1, \quad (7)$$

მაშინ (3) ტოლობიდან $W_3(j\omega) = 1$ ანუ $L_3(\omega) = 0$;
(7) უტოლობიდან გამომდინარეობს $L_2(\omega) +$
 $L_3(\omega) \ll 0$, საიდანაც

$$-L_3(\omega) < L_2(\omega) \quad (8)$$

თუ

$$|W_2(j\omega) \cdot W_3(j\omega)| = 1 \quad (9)$$

ანუ $L_2(\omega) + L_3(\omega) = 0$, მაშინ

$$L_3(\omega) = -L_2(\omega). \quad (10)$$

ამ შემთხვევაში (3)-დან მივიღებთ:

$$W_3(S) = \frac{1}{2} \text{ ანუ } L_3(\omega) = -20 \lg 2 = -6 \text{ დბ}$$

ეს ნიშნავს, რომ იმ სიხშირის მახლობლობაში,
სადაც $L_2(\omega) = -6$ დბ, უნდა შესრულდეს (10) ტო-
ლობა [2].

განხილული სამი შესაძლო ვარიანტის ანალი-
ზის შედეგად, შეიძლება მივიღეთ დასკვნამდე: თუ
 $L_2(\omega) < 0$, მაშინ $L_3(\omega)$ შეიძლება განისაზღვროს (6)
ტოლობით, ხოლო სიხშირეთა დანარჩენ ინტერ-
ვალში, დაცული უნდა იყოს (8) პირობა; სიხშირეთა
ამ ინტერვალში $L_3(\omega) = 0$.

$L_3(\omega)$ ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის (ლასმ) საშუალებით ვპოულობთ $W_3(S)$ გადაცემის ფუნქციას, ვადგენთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის სქემას და ვპოულობთ მის პარამეტრებს ანუ უნდა გადავწყვიტოთ მაკორექტირებელი მოწყობილობების სინთეზის ამოცანა.

განვიხილოთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის სინთეზის ამოცანა კონკრეტული მაგალითით. დავუშვათ, რომ მოცემული გვაქვს მიმყოლი სისტემის უცვლელი ნაწილის გადაცემის ფუნქცია:

$$W_{\text{ფ}}(S) = \frac{31,6}{S(0,2S+1)(0,02S+1)} \quad (11)$$

და სასურველი განრთული მიმყოლი სისტემის ლასმ-ი $abfge$ ტეხილის სახით (სურ. 2.);

უნდა ვიპოვოთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის სქემა და მისი პარამეტრები [1], [3].

ლასმ-ის აგება ხდება მე-2 სურ-ზე. კერძოდ, პირველ ეტაპზე, იმავე ნახაზზე უნდა ავაგოთ მიმყოლი სისტემის უცვლელი ნაწილის $L_{\text{ფ}}(\omega)$ ლასმ-ი $abchde$. მაკორექტირებელი მოწყობილობის გამართების მიზნით, $L_{\text{სს}}(\omega)$ ლასმ-ის სახეს ვცვლით შემდეგნაირად: fg ასიმპტოტა გრძელდება h წერტილამდე, რის შედეგად, მივიღებთ ახალ სასურველ ლასმ-ს, $abfgehd$ ტეხილი (სურ. 2). მოცემული ლასმ-ის მიხედვით, გადაცემის ფუნქცია იქნება:

$$W_{\text{სს}}(S) = \frac{31,6(0,67S+1)}{S(4,35S+1)(0,03S+1)(0,02S+1)} \quad (12)$$

სასურველი ლასმ-ის ამგვარი ცვლილება სისტემის დინამიკაზე უარყოფითად არ მოქმედებს. ასეთ

ხერხს, მაკორექტირებელი მოწყობილობის გამართების მიზნით, ხშირად მიმართავენ.

ამის შემდეგ, უნდა ვიპოვოთ მიმდევრობითი კორექციის ლასმ:

$$L_{\theta}(\omega) = L_{\text{სს}}(\omega) - L_{\text{ფ}}(\omega),$$

რომელსაც აქვს $lmnp$ (სურ. 2.) ტეხილის სახე.

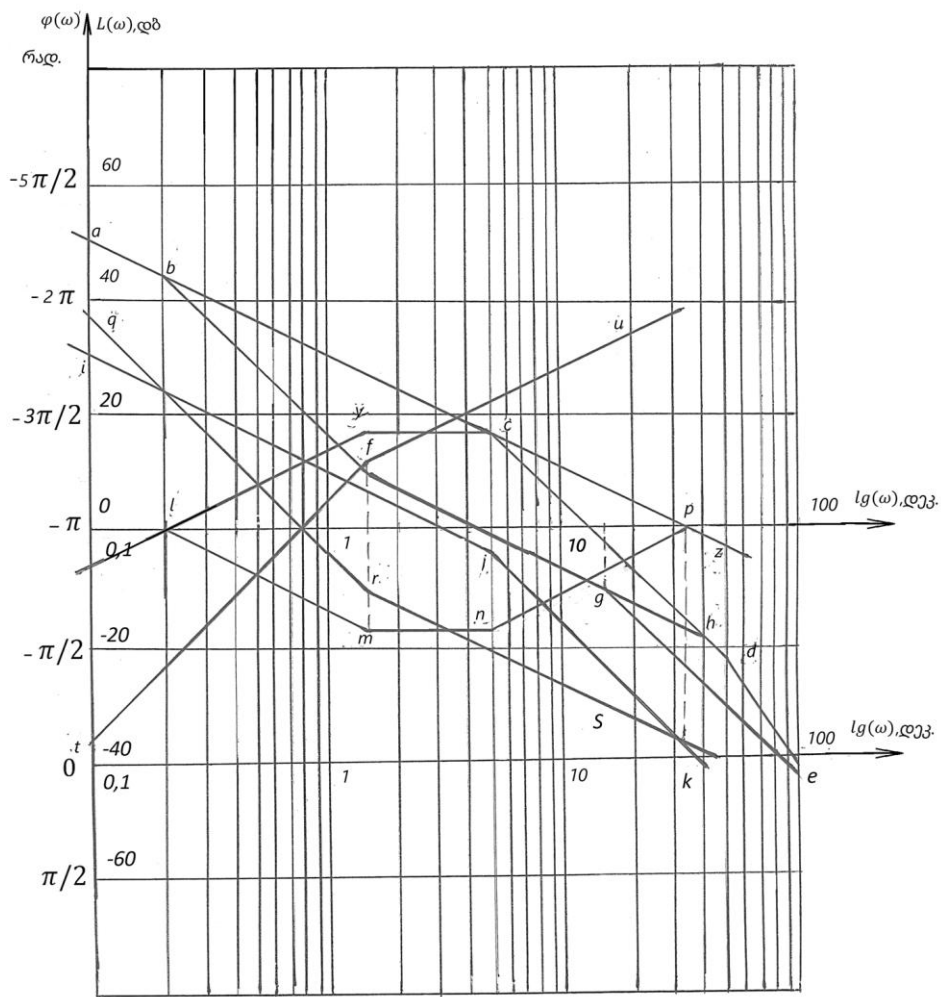
პარალელური კორექციით სასურველია მოცული იყოს დიდი დროის მუდმივის მქონე რგოლები. ვთქვათ, პარალელური კორექციით მოცულია ელემენტები, რომელთა გადაცემის ფუნქციაა:

$$W_2(S) = \frac{31,6}{S(0,2S+1)}, \quad (13)$$

რომლის შესაბამისი ლასმ-ია ijk ტეხილი (სურ. 2).

(6) ფორმულის თანახმად, $L_3(\omega)$ -ს საპოვნელად ვიპოვოთ $L_{\theta}(\omega) + L_2(\omega)$, qrs ტეხილი (სურ. 2). I წერტილის მარცხნივ qrs ტეხილის დახრა უნდა იყოს -20 დბ/დეკ, მაგრამ მე-2 სურ-ზე დახრაა -40 დბ/დეკ, რითაც სრულდება (8) პირობა. იგივე სურათი გვაქვს p წერტილის მარჯვნივ: აქ qrs ტეხილის დახრა უნდა იყოს -40 დბ/დეკ და (8) პირობის შესრულების მიზნით, დახრაა -20 დბ/დეკ. ამრიგად, qrs ტეხილი წარმოადგენს მაკორექტირებელი მოწყობილობის ლასმ-ს $-L_3(\omega)$ -ს. $L_3(\omega)$ კი იქნება qrs -ის სარკული ანარეკლი $lg \omega$ ($L = 0$) ღერძის მიმართ tfu ტეხილი (სურ. 2). $L_3(\omega)$ -ს სახის მიხედვით, ვადგენთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქციას:

$$W_3(S) = \frac{1,32S^2}{0,67S+1} \quad (14)$$

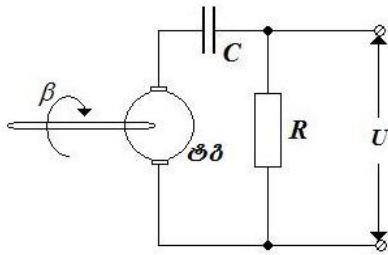


სურ. 2. მიმყოლი სისტემის ლასმ-ი

მე-2 სურ-ზე გამოსახულია შემდეგი ლოგარი-
თმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლე-
ბი: abchde – სისტემის უცვლელი ნაწილის ლასმ;
abfge – სასურველი სისტემის ლასმ; abfhde –
სასურველი სისტემის კორექტირებული ლასმ; ijk –
პრალელური კორექციით მოცული ელემენტების
ლასმ; lmnp – მიმდევრობითი კორექციის ლასმ; qrs –
პრალელური კორექციის შეზღუდვით ლასმ; tfu –
პრალელური კორექციის ლასმ; xyz – შიგა
შეკრული კონტურის ლასმ.

მაკორექტირებელი მოწყობილობები შესაძლებე-
ლია აგებული იყოს რეზისტორების, ტევადური და
ინდუქციური (R, L, C რგოლები) ელექტრული ელე-
მენტების საშუალებით.

მიღებული გადაცემის ფუნქციის (14) მიხედვით,
მაკორექტირებელი რგოლი შესაძლებელია აიგოს
ტაქოგენერატორისა და მადიფერენცირებელი RC
წრედის საშუალებით.



სურ. 3. მაკორექტირებელი RC წრედი
ტაქოგენერატორით

ზოგადად, ტაქოგენერატორის გადაცემის ფუნქციის ლაპლასის ფორმით აქვს, შემდეგი სახე - $k_t S$, ხოლო მადიფერენცირებელი (RC) რგოლის (კორექციის) გადაცემის ფუნქციაა $\frac{TS}{TS+1}$, მოცემული შემთხვევისთვის $T = 0,67$ წმ, ხოლო $k_t T = 1,32$; აქედან, $k_t = 1,97$.

მაკორექტირებელი მოწყობილობის სქემა ნაჩვენებია მე-3 სურ-ზე, სადაც β არის სარეგულირებელი პარამეტრი, ღერძის მობრუნების კუთხე, ხოლო U – პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის გამომავალი ძაბვა.

გავარკვიოთ მდგრადია, თუ არა შიგა შეკრული კონტური. განრთული კონტურის გადაცემის ფუნქცია:

$$W(S) = \frac{4,17S}{(0,2S+1)(0,67S+1)},$$

ხოლო ლასმ ნაჩვენებია მე-2 სურ-ზე – xyz ტეხილი. შიგა შეკრული კონტურის მახასიათებელი განტოლება:

$$(0,2S + 1)(0,67S + 1) + 4,17S = 0,$$

მოცემული მეორე რიგის მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი დადებითია, რაც იმას ნიშნავს, რომ შიგა შეკრული კონტური მდგრადია.

პარალელური კორექციის აღნიშნული სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტა მიახლოებითია, ამიტომ

საინტერესოა, როგორია მიახლოების სიზუსტე. ამის დასადგენად, უნდა ვიპოვოთ $W_{bkl}(S)$.

$$W_{bkl}(S) = \frac{\frac{31,6}{S(0,2S+1)(0,02S+1)}}{1 + \frac{4,17S}{(0,2S+1)(0,67S+1)}}$$

გამარტივების შემდეგ, მივიღებთ დამოკიდებულებას სასურველი გადაცემის ფუნქციისთვის:

$$W_{bkl}(S) = \frac{31,6(0,67S+1)}{S(5S+1)(0,027S+1)(0,02S+1)},$$

ამ უკანასკნელს თუ შევადარებთ ჩვენ მიერ მანამდე დადგენილ (12) გადაცემის ფუნქციას, იგი მასთან საკმაოდ ახლოსაა. აღნიშნულის თანახმად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების მეთოდის საშუალებით, ჩატარებული მაკორექტირებელი მოწყობილობის სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტა, საკმაოდ ზუსტია.

დასკვნა

მაკორექტირებელი მოწყობილობების შერჩევა მიმყოლი ლოკალური მართვის სისტემებისთვის მნიშვნელოვანია სისტემაში სასურველი დინამიკური პროცესებისა და სისტემის მდგრადობის მისაღწევად. პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტა მოიცავს რამდენიმე მნიშვნელოვან ეტაპს. პირველ ეტაპზე უნდა განისაზღვროს პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქცია. ანალიზისთვის გამოვიყენეთ ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის მეთოდი. პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქციის ანალიზის საფუძველზე მივიღეთ დაშვებები, რომელიც უნდა დააკმაყოფილოს მაკორექტირებელი მოწყობილობის ლასმ-მა. ამისათვის, განვიხილეთ შესაბამისი მაგა-

ლითი: განვსაზღვრეთ მიმყოლი სისტემის უცვლელი ნაწილის $L_{\omega}(\omega)$, ლასმ, ავაგეთ მაკორექტირებელი მოწყობილობის სასურველი $L_{\omega}(\omega)$. ლასმ ლასმ-ის საშუალებით ვიპოვეთ გადაცემის $W_{\omega}(S)$ ფუნქცია, ავაგეთ მაკორექტირებელი მოწყობილობის $L_p(\omega)$ ლასმ და დავადგინეთ მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქცია. მიღებული გადაცემის ფუნქციის მიხედვით, შევარჩიეთ შესა-

ბამისი მაკორექტირებელი რგოლი ტაქოგენერატორით და მადიფერენცირებელი RC წრედით. დავადგინეთ მიღებული შედეგების სიზუსტე. ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების საშუალებით, მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების სინთეზის ამოცანის ამოხსნა საკმაოდ ზუსტ შედეგებს იძლევა.

ლიტერატურა

1. Nise, N. S. (2015). *Control systems engineering*. California State Polytechnic Pomona: Seventh edition.
2. Richard, C. & Dorf, R. H. (2021). *Modern Control Systems*. USA: Pearson Education Inc.
3. Tripathi, S. M. (2008). *Modern Control Systems: An Intradaction (Engineering Series)*. USA: Jones & Bartlett Learning.
4. Mchedlishvili, N. (2016). *Automatic management theory of linear systems*. Tbilisi: Technical University.

UDC 005.3

SCOPUS CODE 2207

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-2-232-239>

Solving The Problem of Synthesizing a Parallel Corrective Device

Ketevan Kotrikadze

Department of Control Systems and Automatio, Georgian Technical University,
Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.

E-mail: k.kotrikadze@gtu.ge

Reviewers:

N. Mchedlishvili, Associate Professor Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: nino.mchedlishvili@gtu.ge

S. Khoshtaria, Associate Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: s.xoshtaria@gtu.ge

Abstract. Local control systems are often used to control automated technological processes, the purpose of which is to duplicate certain sections of technological complexes, separate control contours, which increases the reliability of the system. The reliability of local control systems is ensured by the fact that they use unified devices, modules, blocks, etc.

Local control systems can be classified according to various characteristics. One of the characteristics is the classification of local control systems according to the change in the controlled parameter over time. In this case, they are divided into the following types of systems: automatic stabilization, automatic program control and automatic follower systems.

The selection of corrective devices is important when designing follower automatic regulation systems, since the inclusion of such a link in the system ensures the desired dynamic process and stability conditions of the control system.

The article discusses the task of synthesizing the parameters of the corrective device for follower systems. In particular, in the case of parallel correction; The conditions necessary for the stability of the system have been determined and calculated using logarithmic amplitude-frequency characteristics.

Keywords: correction device; follower automatic control system; logarithmic amplitude-frequency characteristic; parallel correction; parameter synthesis task; system stability; Transfer function.

განხილვის თარიღი 30.01.2025

შემოსვლის თარიღი 03.02.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.06.2025