

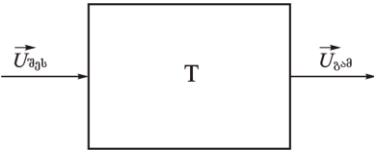
## თავი I

### დეტერმინირებული სიგნალების ზემოქმედება წრფივ სტაციონარულ სისტემაზე

სისტემები, რომლებიც გამოიყენება სიგნალების დამუშავების, გარდაქმნის და გადაცემისათვის, ფრიად განსხვავებული არიან შიგა აგების პრინციპებით და გამომავალი მახასიათებლებით. იმისათვის, რომ შესაძლებელი იყოს მათი შედარება და კლასიფიკაცია, ჩამოვაყალიბოთ საწყისი ცნებები.

#### თემა I.1. ფიზიკური სისტემები და მათი მათემატიკური მოდელები

რადიოტექნიკური მოწყობილობა თავისი დანიშნულებისა და სირთულის დონის მიუხედავად წარმოადგენს *სისტემას*, ანუ ფიზიკური ობიექტების ერთობლიობას, რომელთა შორის არსებობს განსაზღვრული ურთიერთზემოქმედებები. სისტემის სტრუქტურაში შესაძლებელია გამოვყოთ შესასვლელი, რომელზეც მიეწოდება საწყისი სიგნალი და გამოსასვლელი, საიდანაც მოიხსნება გარდაქმნილი სიგნალი. თუ გვინტერესებს მხოლოდ კავშირი შესასვლელ და გამოსასვლელ სიგნალებს შორის და არ აღწერენ სისტემის შიგა პროცესებს, მაშინ ამბობენ, რომ სისტემა წარმოადგენს "შავ ყუთს". ნახ. I.1-ზე "შავი ყუთის" სახით მოყვანილია სისტემის მაგალითი, სადაც T არის სისტემური ოპერატორი



ნახ. I.1

#### 1.1. სისტემური ოპერატორები

უმარტივეს შემთხვევაში როგორც შესასვლელი  $U_{შეს}$ , ასევე გამოსასვლელი სიგნალი  $U_{გამ}$ , რომელსაც ასევე სისტემის *გამოძახილს* ან *გამომავალი რეაქციას* უწოდებენ, აღიწერებიან, როგორც ცალკეული დროის ფუნქცია. უფრო ზოგადად შესასვლელი სიგნალი წარმოიდგინება როგორც  $m$  განზომილებიანი ვექტორი  $\vec{U}_{შეს}(t) = \{u_{შეს.1}(t), u_{შეს.2}(t), \dots, u_{შეს.m}(t)\}$ , ხოლო გამოსასვლელი სიგნალი -  $n$  განზომილებიანი ვექტორის სახით

$$\vec{U}_{გამ}(t) = \{u_{გამ.1}(t), u_{გამ.2}(t), \dots, u_{გამ.n}(t)\}$$

**12.  $\vec{U}_{\text{ჰეს}}(t)$  და  $\vec{U}_{\text{გამ}}(t)$  სიგნალების შებმის კანონი**

ამ სიგნალებს შორის **შებმის კანონი** ავალებს სისტემურ ოპერატორს  $T$ , რომლის ზემოქმედებით  $\vec{U}_{\text{ჰეს}}$  მიიღება  $\vec{U}_{\text{გამ}}$  :

$$\vec{U}_{\text{გამ}}(t) = T \cdot \vec{U}_{\text{ჰეს}}(t) \tag{1.1}$$

**მაგალითი 1.1.** წარმოვიდგინოთ, რომ რაიმე სისტემა გარდაქმნის ერთგანზომილებიან შესასვლელ სიგნალს შემდეგი კანონით

$$u_{\text{გამ}}(t) = 15 \cdot \frac{du_{\text{ჰეს}}(t)}{dt} .$$

იპოვეთ სისტემური ოპერატორი.

**ამოხსნა:** ამ შემთხვევაში სისტემური ოპერატორი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით  $T \equiv 15 \cdot \frac{d}{dt}$ .

მიღებული გამოსახულებიდან უშუალოდ გამომდინარეობს სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელიც შედგება მაშტაბური რგოლის (იდეალური გამაძლიერებელი) და დიფერენციატორისაგან.

იმისთვის, რომ სრულად განვსაზღვროთ ამოცანა, საჭიროა ასევე მივუთითოთ ფუნქციონალური სივრცის **არე**  $D_{\text{ჰეს}}$ , რომელსაც ეწოდება **შესასვლელი ზემოქმედებების დასაშვები მნიშვნელობა**. **არის** მოცემა აღწერს შესავალი სიგნალების ხასიათს, რომლებიც შესაძლებელია იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული, დეტერმინირებული ან შემთხვევითი. ანალოგიურად ასევე უნდა იყოს მითითებული **გამოსასვლელი სიგნალების დასაშვები მნიშვნელობა**  $D_{\text{გამ}}$ .

ამ ნაწილში განიხილება მხოლოდ სისტემები, რომლებზეც ზემოქმედებენ ანალოგური სიგნალები. დისკრეტული და ციფრული სიგნალების გარდაქმნა ისწავლება მე-8 თავში.

**სისტემის მათემატიკური მოდელი** ეწოდება სისტემური ოპერატორის  $T$  და სიგნალების ორი დასაშვები  $D_{\text{ჰეს}}$  და  $D_{\text{გამ}}$  არეების ერთობლიობას.

სისტემების კლასიფიკაცია ტარდება არსებული მათემატიკური მოდელების მნიშვნელოვანი თვისებების გათვალისწინების საფუძველზე.

### 13. სტაციონარული და არასტაციონარული სისტემები

მიღებულია გამოთქმა, რომ სისტემა არის **სტაციონარული**, თუ მისი რეაქცია არ არის დამოკიდებული დროს იმ მომენტზე, როდესაც მას მიეწოდება შესასვლელი სიგნალი. თუ  $T$ - სტაციონარული სისტემის ოპერატორია, მაშინ ტოლობიდან

$$\bar{U}_{გაგ}(t) = T \cdot \bar{U}_{გგ}(t) \tag{1.2}$$

გამომდინარეობს, რომ ნებისმიერი  $t_0$ -ური მნიშვნელობისათვის

$$\bar{U}_{გგ}(t \pm t_0) = T \cdot \bar{U}_{გგ}(t \pm t_0). \tag{1.3}$$

**სტაციონარულ სისტემებს** უწოდებენ ასევე დროში მუდმივი პარამეტრების მქონე სისტემებს.

თუ სისტემის თვისებები არ არის ინვარიანტული დროის ათვლის დაწყების არჩევის მიმართ, მაშინ ასეთ სისტემას უწოდებენ **არასტაციონარულს (სისტემა დროში ცვალებადი პარამეტრებით ან პარამეტრული სისტემა)**.

ორივე აღნიშნული კლასი ფართოდ გამოიყენება რადიოტექნიკაში და შეისწავლება ამ კურსში.

### 14. წრფივი და არაწრფივი სისტემები

სისტემების კლასიფიკაციის უმნიშვნელოვანესი პრინციპი ეფუძნება იმას, რომ განსხვავებული სისტემები განსხვავებულად იქცევიან იმ დროს, როცა შესასვლელზე მიეწოდება რამდენიმე სიგნალის ჯამი. თუ სისტემის ოპერატორი ისეთია, რომ ჭეშმარიტია ტოლობა

$$\begin{aligned} T \cdot (\bar{U}_{გგ.1} + \bar{U}_{გგ.2}) &= T \cdot \bar{U}_{გგ.1} + T \cdot \bar{U}_{გგ.2}, \\ T \cdot (\alpha \bar{U}_{გგ.}) &= \alpha \cdot T \cdot \bar{U}_{გგ.}, \end{aligned} \tag{1.4}$$

სადაც  $\alpha$  - ნებისმიერი რიცხვია, მაშინ მოცემულ სისტემას ეწოდება **წრფივი**. (1.4) პირობა გამოხატავს **სუპერპოზიციის ფუნდამენტალურ პრინციპს**.

თუ ეს პირობები არ სრულდება, მაშინ ასეთი სისტემა არის **არაწრფივი**.

*მაგალითი 12. არსებული სისტემა ასრულებს შესასვლელი სიგნალის დამუშავებას შემდეგი კანონით:*

$$u_{გგ}(t) = \left[ \frac{d}{dt} + \alpha \right] u_{გგ}(t)$$

უშუალო შემოწმებით ვრწმუნდებით, რომ (1.4) პირობები სრულდება. მაშასადამე, მოყვანილი **სისტემა წრფივია**.

*მაგალითი 13. რაიმე სისტემა მუშაობს როგორც იდეალური კვადრატორი  $u_{გგ}(t) = u_{გგ}^2(t)$  ალგორითმის შესაბამისად.*

შესასვლელზე ორი სიგნალის  $u_{\text{სგ.1}} + u_{\text{სგ.2}}$  ჯამის მიწოდებისას გამოსასვლელზე მივიღებთ  $u_{\text{გამ}} = u_{\text{სგ.1}}^2 + 2u_{\text{სგ.1}}u_{\text{სგ.2}} + u_{\text{სგ.2}}^2$ .

გადავჯვარდინებუი შესაკრეფი  $2u_{\text{სგ.1}}u_{\text{სგ.2}}$  არსებობა მიუთითებს იმაზე, რომ მოცემული **სისტემა არის არაწრფივი**.

უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, ვგვლა ფიზიკური სისტემა, რომელსაც შეხება აქვს რადიოტექნიკასთან, ამა თუ იმ ხარისხით არის არაწრფივი. მაგრამ არსებობს მრავალი სისტემა, რომელიც ზუსტად აღიწერება წრფივი მოდელებით. პრაქტიკულად ყოველთვის შესაძლებელია უგუვებელყოთ რეზისტორების, კონდენსატორების და ზოგიერთი ინდუქციური ელემენტების არაწრფივობა.

არაწრფივი რადიოტექნიკური მოწყობილობები შეიცავენ ისეთ ელემენტებს, როგორებიც არის ნახევარგამტარი დიოდები და ტრანზისტორები, რომელთა ვოლტ-ამპერულ მახასიათებლებს აქვს რთული სახე.

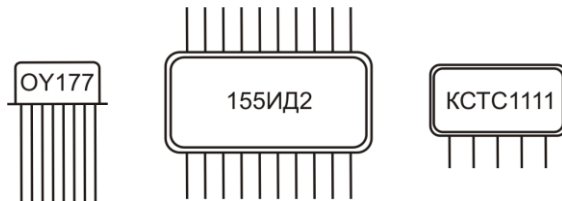
არაწრფივი სისტემების თეორია, როგორც წესი, საკმარისად რთულია. შედეგების მიღება ანალიზურად უმეტეს შემთხვევებში არ არის შესაძლებელი. მაგრამ სწორედ არაწრფივი ელემენტების გამოყენებით მიიღება რადიოტექნიკური სიგნალების მნიშვნელოვანი გარდაქმნები. არაწრფივი რადიოტექნიკური ხელსაწყოების ანალიზის და გამოთვლის მეთოდები მოყვანილია თავი IV-ში.

**\* წრფივი სისტემები შესანიშნავია იმით**, რომ თეორიულად მაინც შესაძლებელია ამ სისტემით ამოვხსნათ ნებისმიერი შესავალი სიგნალის გარდაქმნის ამოცანა.

### 1.5. თავმოყრილი და განაწილებული სისტემები

რადიოტექნიკური სისტემების კლასიფიკაციის სხვა კრიტერიუმში ეფუძნება სისტემის ფიზიკური ზომების და ტაღლის მუშა სიგრძის შეჯერებას. თუ სისტემის მახასიათებელი ზომა (მაგალითად, წრედის შემაერთებელი მავთულების უდიდესი სიგრძე) აღმონდება ტაღლის სიგრძეზე გაცილებით ნაკლები, მაშინ მიიღება **თავმოყრილი სისტემა**.

**თავმოყრილი სისტემის** მაგალითები ინტეგრალური მიკროსქემების სახით მოყვანილია ნახ. 1.2-ზე

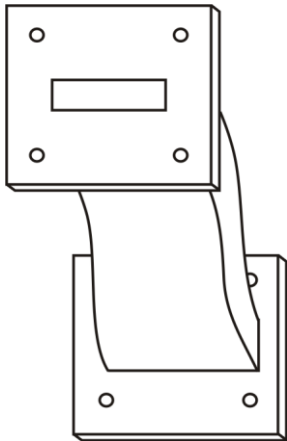


ნახ. 1.2

თავმოყრილ ელექტრულ წრედში ყოველთვის შესაძლებელია გამოიყოს ფიზიკური არეები, სადაც ლოკალიზირებულია ელექტრული ველის (კონდენსატორები) და მაგნიტური ველის (ინდუქციური ელემენტები) ენერგიები. თავმოყრილი წრედის თვისებები უმნიშვნელოდ არის დამოკიდებული შემაერთებული მავთულების კონფიგურაციაზე, ამიტომ მათი აღწერისათვის მიღებულია მათი აბსტრაქტული მოდელების გამოყენება ანუ ეგრეთწოდებული **პრინციპიალური სქემები**.

რადიოტექნიკის თავმოყრილ სისტემებში ფართოდ იყენებენ რამდენიმე ასეულ მეგაჰერცამდე მუშა სიხშირეებს. რადიოტექნიკის თავმოყრილი სისტემების ანალიზი და გამოთვლები ტარდება ცნობილი კირხჰოფის კანონების გამოყენებით.

რამდენიმე ათას მეგაჰერც სიხშირეებზე, ეგრეთწოდებულ **ზემაღალსიხშირულ** დიაპაზონში (CBF), დიდი რაოდენობის ხელსაწყოების ზომები შესადარისია გადამცემი რხევების ტალღის სიგრძისა. ამ შემთხვევაში აუცილებელია აღირიცხოს სიგნალის გავრცელების დრო. ასეთ მაღალსიხშირულ დიაპაზონში ელექტრული წრედები უკვე აღარ გამოიყენება და მათ ნაცვლად გამოიყენება განაწილებულპარამეტრიანი სისტემები (განაწილებულებიანი ან ტალღური სისტემები). ისე, რომ შემაერთებული გამტარი მავთულების ნაცვლად გამოიყენება ფოლადის მილების მონაკვეთები – **ტალღასატარები** (იხ. ნახ. 1.3), რხევითი LC-კონტურების ნაცვლად – მათი განაწილებული ანალოგები, რომლებსაც უწოდებენ **მოცულობით რეზონატორებს**.



განაწილებული სისტემების თეორია, ანალიზის მეთოდები და პროექტირება საკმარისად რთულია და შეადგენს ცალკეული რადიოტექნიკური საგნების შესწავლის საგანს.

ჩვენი შესწავლის საგანს წარადგენს თავმოყრილ პარამეტრიანი წრფივი ნახ. 1.3

სტაციონარული სისტემები.