შესავალი

წრფივი სისტემების ძირითადი შემადგენელი ელემენტებია-გადამწოდი, მიმღები და ფიზიკური გარემო, რომელშიც ვცელ დება ელექტრომაგნიტური ტალღა. გავცელების გარემო შესაძლებელია იყოს თავისუფალი სივრცე, ასევე სპეციალური ტექნიკური ხელსაწყოები – ტალღგამტარი, ოპტობოჭკოვანი კაბელი და სხვა სახის გადამცემი ხაზები.

ცნობილი სახის სისტემებში სიგნალი ინფორმაციის გადაცემის ძირითადი საშვალებაა და ამიტომ კურსის შესავალში მოკლედ განიხილება მისი წარმოდგენის და ანალიზის მეთოდები.

ტერმინი “სიგნალი” წარმოსდგება ლათინური სიტყვისგან «signum» - ნიშანი და წარმოადგენს ფიზიკურ პროცესს, რომელიც იცვლება დროში გადასაცემი შეტყობინების კანონით.

სიგნალების თეორიული შესწავლისა და ანგარიშისათვის იქმნება გამოსაკვლევი სიგნალის **მათემატიკური მოდელი** (მმ), რაც საშუალებას იძლევა შედარდეს სიგნალები ერთმანეთს, გამოიყოს მათი ძირითადი თვისებები, მოვახდინოთ კლასიფიკაცია.

რადიოსიგნალების კლასიფიკაცია

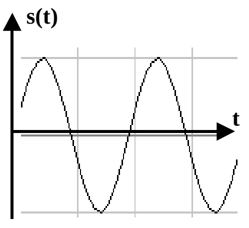
შ.1. დეტერმინირებული და შემთხვევითი სიგნალები

დეტერმინირებული სიგნალი – ესაა სიგნალი, რომლის მყისიერი მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ მომენტში შეიძლება ივარაუდოს ერთის ტოლი ალბათობით.

დეტერმინირებული სიგნალის მაგალითია: იმპულსების თანმიმდებრობანი (რომელთა ფორმა, ამპლიტუდა და დროის მიხედვით მდგომარეობა ცნობილია), უწყვეტი სიგნალები მოცემული ამპლიტუდურ-ფაზური თანაფარდობებით.

სიგნალის მმ-ის მოცემის ხერხებია: ანალიზური გამოსახულება (ფორმულა), ოსცილოგრამა, სპექტრალური წარმოდგენა. დეტერმინირებული სიგნალის მმ-ის მაგალითი:

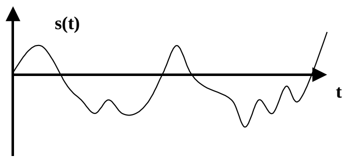
$$s(t) = S_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$



ნახ. შ.1. დეტერმინირებული (ჰარმონიული) სინუსოიდალური სიგნალი

შემთხვევითი სიგნალი – ესაა სიგნალი, რომლის მყისიერი მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ მომენტში წინასწარ არ არის ცნობილი, მაგრამ შეიძლება ნავარაუდევი იყოს რაღაც ალბათობით, რომელიც ერთზე ნაკლებია.

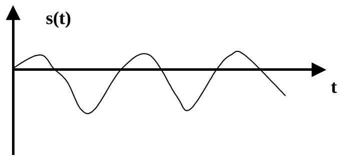
შემთხვევითი პროცესის მაგალითი შეიძლება იყოს ძაბვა, რომელიც შეესაბამება ადამიანის მეტყველებას, მუსიკას, რადიოიმპულსების მომდევრობა რადიოკოკაციური მიმღების შესასვლელზე, ხელშეშლები, ხმაური.



ნახ. შ.2. შემთხვევითი პროცესი

შ.2. რადიოტექნიკაში გამოყენებული სიგნალები

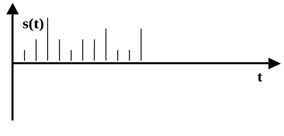
სიდიდის (დონის) მიხედვით უწყვეტი და დროის მიხედვით უწყვეტი (უწყვეტი ანუ ანალოგური) სიგნალები - ღებულობენ ნებისმიერ მნიშვნელობას $s(t)$ და არსებობენ დროის მოცემული ინტერვალის ნებისმიერ მომენტში.



ნახ. შ.3. ანალოგური სიგნალი

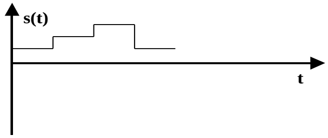
სიდიდის მიხედვით უწყვეტი და დროის მიხედვით დისკრეტული სიგნალები მოცემულია დროის დისკრეტულ მნიშვნელობებში (წერტილთა სასრულ სიმრავლეზე), ამ წერტილებში სიგნალის მნიშვნელობა $s(t)$ ღებულობს ნებისმიერ მნიშვნელობას ორდინატთა ღერძის განსაზღვრულ ინტერვალზე.

ტერმინი “დისკრეტული” ახასიათებს სიგნალის მოცემის ხერხს დროის ღერძზე.



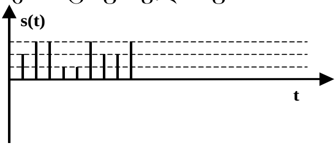
ნახ. შ.4. სიდიდის მიხედვით უწყვეტი და დროის მიხედვით დისკრეტული სიგნალები

სიდიდის მიხედვით დაქვანტული და დროის მიხედვით უწყვეტი სიგნალები მოცემულია მთელ დროის ღერძზე, მაგრამ სიდიდე $s(t)$-ს შეუძლია მიიღოს მხოლოდ დისკრეტული (დაქვანტული) მნიშვნელობები



ნახ. შ.5. სიდიდის მიხედვით დაქვანტული და დროის მიხედვით უწყვეტი სიგნალები

სიდიდის მიხედვით დაქვანტული და დროის მიხედვით დისკრეტული (ციფრული) სიგნალები – გადასცემენ სიგნალის დონეების მნიშვნელობებს ციფრული ფორმით

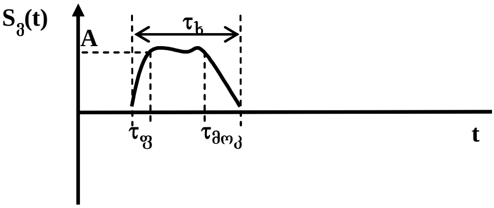


ნახ. შ.6. ციფრული სიგნალი

შ.3. იმპულსური სიგნალები

იმპულსი – ესაა რხევა, რომელიც არსებობს მხოლოდ დროის სასრული მონაკვეთის საზღვრებში.

ვიდეოიმპულსის მაგალითი (ნახ. შ.7)



ნახ. შ.7. ვიდეოიმპულსი

ტრაპეციოდალური ვიდეოიმპულსისათვის შემოტანილია პარამეტრები:

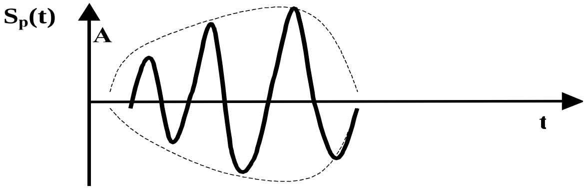
A – ამპლიტუდა;

$\tau_{ხ}$ – ვიდეოიმპულსის ხანგრძლივობა;

$\tau_{ფ}$ – ფრონტის ხანგრძლივობა;

$\tau_{მოკ}$ – მოკვეთის ხანგრძლივობა.

რადიოიმპულსის მაგალითი (ნახ. შ.7.)



ნახ. შ.8. რადიოიმპულსი

$S_p(t)=S_3(t)sin(\omega_0 t+\varphi_0)$

$S_3(t)$ – ვიდეოიმპულსი – მომვლები რადიოიმპულსისათვის.

$sin(\omega_0 t+\varphi_0)$ – რადიოიმპულსის შევსება.

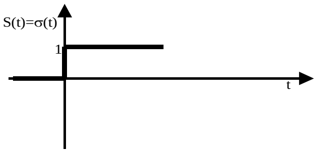
შ.4. სპეციალური სიგნალები: ჩართვის ფუნქცია და დელტა-ფუნქცია

ჩართვის ფუნქცია (*ერთეულოვანი ფუნქცია* ანუ **ხევისაიდის ფუნქცია**)

მოცემული ფუნქცია აღწერს ზოგიერთი ფიზიკური ობიექტის "ნულოვანიდან" "ერთეულოვან" მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს, ამასთან ეს გადასვლა ხდება მყისიერად

$$\sigma(t)=1(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ 0.5, & t=0\\ 1, & t>0\end{cases} \quad (1)$$

ჩართვის ფუნქციის საშუალებით მოსახერხებელია აღიწეროს ელექტრულ წრედებში კომუტაციის სხვადასხვაგვარი პროცესები.



ნახ. შ.9. ჩართვის ფუნქცია

დელტა-ფუნქცია (**დირაკის ფუნქცია**)

დელტა-ფუნქცია წარმოადგენს იმპულსს, რომლის ხანგრძლივობა მიისწრაფის ნულისაკენ, ამ დროს იმპულსის სიმაღლე უსაზღვროდ იზრდება. ამბობენ, რომ ფუნქცია თავმოყრილია ამ წერტილში.

$$\delta(t)=\begin{cases}\infty, & t=0\\ 0, & t\neq 0\end{cases} \quad (შ.2) \qquad \int_{-\infty}^{+\infty}\delta(t)dt=1 \quad (შ.3)$$

შ.5. სიგნალების სპექტრალური წარმოდგენა

რადიოტექნიკაში ორთოგონალური ფუნქციების ბაზისად იღებენ ჰარმონიულ ფუნქციებს, რაც დაკავშირებულია მათი გენერაციის სიმარტივესთან, აგრეთვე იმასთან, რომ სიგნალები ინვარიანტულია გარდაქმნების მიმართ სტანდარტულ ელექტრულ წრედებში.

სიგნალის სპექტრალური დაშლა – ესაა სიგნალის წარმოდგენა სხვადასხვა სიხშირიანი ჰარმონიული რხევების ჯამის სახით.

სიხშირული სპექტრი (სპექტრი) – ესაა სიგნალის ცალკეული ჰარმონიული კომპონენტების კრებული.

შ.6. ფურიეს მწკრივი

პერიოდული სიგნალი შეიძლება წარმოვიდგინოთ სხვადასხვა სიხშირიანი ჰარმონიული რხევების ჯამის სახით ფურიეს მწკრივის საშუალებით:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t) \qquad (შ.4)$$

სადაც:

$$a_0 = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} S(t)dt \qquad (შ.5)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} S(t)\cos(n\omega_1 t)dt \qquad (შ.6)$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} S(t)\sin(n\omega_1 t)dt \qquad (შ.7)$$

ზოგად შემთხვევაში პერიოდული სიგნალი შეიცავს მუდმივ მდგენელს და ჰარმონიული რხევების – ჰარმონიკების უსასრულო კრებულს, რომელთა სიხშირეები $\omega_n = n\omega_1$, $n = 0, 1,$. მიმდევრობის ძირითადი ω_1 სიხშირის ჯერადია. ლუწ სიგნალს გააჩნია მხოლოდ კოსინუსოიდალური, ხოლო კენტ სიგნალს - სინუსოიდალური მდგენელები.

თითოეული ჰარმონიკა შეიძლება აღიწეროს მისი ამპლიტუდით A_n და საწყისი ფაზით φ_n. მაშინ ფურიეს მწკრივის კოეფიციენტები:

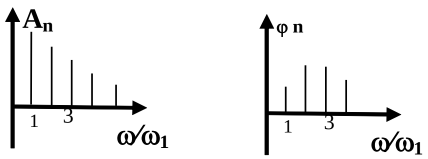
$$a_n = A_n \cos\varphi_n$$
$$b_n = A_n \sin\varphi_n$$
$$A_n = \sqrt{a_n^{\ 2} + b_n^{\ 2}} \qquad (შ.8)$$
$$tg\varphi_n = \frac{b_n}{a_n}$$

და ფურიეს მწკრივის ექვივალენტური ფორმა იქნება:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(A_n cos(n\omega_1 t - \varphi_n) \qquad (შ.9)$$

პერიოდული სიგნალის **სპექტრალური დიაგრამა** – ესაა ფურიეს მწკრივის კოეფიციენტების გრაფიკური გამოსახულება კონკრეტული სიგნალისათვის.

არსებობს ამპლიტუდური და ფაზური სპექტრალური დიაგრამები. დიაგრამების ჰორიზონტალურ ღერძზე მასშტაბში გადაიზომება ჰარმონიკების სიხშირეები, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე – მათი ამპლიტუდები ან საწყისი ფაზები.



ნახ. შ.10. პერიოდული სიგნალის ამპლიტუდური და ფაზური დიაგრამები

შ.7. ფურიეს მწკრივის კომპლექსური ფორმა

პერიოდული სიგნალის სპექტრალური დაშლა შეიძლება მოხდეს საბაზისო ფუნქციების სისტემაში, რომლებიც შედგება კომპლექსურ მაჩვენებლებიანი ექსპონენტებისაგან. ამ ბაზისის ფუნქციები პერიოდულია T პერიოდით და ორთონორმირებულია დროის მონაკვეთზე [-T/2,T/2]. მაშინ ფურიეს კომპლექსური მწკრივი კომპლექსური სიგნალის ნორმის გათვალისწინებით

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_1 t} \qquad (შ.10)$$
$$C_n = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} S(t) e^{-j\omega_1 t} dt$$

გამოთვლებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას ექსპონენციალური ფუნქციების კავშირი ტრიგონომეტრიულ ფუნქციებთან

$$e^{-jn\omega_1 t} = \cos(n\omega_1 t) - j\cdot\sin(n\omega_1 t) \qquad (შ.11)$$

$$\cos(n\omega_1 t) = \frac{e^{jn\omega_1 t} + e^{-jn\omega_1 t}}{2} \qquad (შ.12)$$

$$j \times \sin(n\omega_1 t) = \frac{e^{jn\omega_1 t} - e^{-jn\omega_1 t}}{2} \qquad (შ.13)$$

ექსპონენციალური წარმოდგენის შემთხვევაში სიგნალის სპექტრი შეიცავს ჰარმონიკებს სიხშირეთა ღერძის უარყოფით ღერძის არეზე, ამ დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ უარყოფითი სიხშირე მათემატიკური და არა ფიზიკური ცნებაა, განპირობებული კომპლექსური რიცხვების წარმოდგენით.

იმის გათვალისწინებით, რომ

$$\frac{1}{T}\int_0^T \cos^2\left(k\omega_1 t - \varphi_k\right)dt = \frac{1}{2},$$

$$\frac{1}{T}\int_0^T \cos\left(m\omega_1 t - \varphi_m\right)\cos\left(n\omega_1 t - \varphi_n\right)dt = 0,$$

$$\frac{1}{T}\int_0^T \cos\left(k\omega_1 t - \varphi_k\right)dt = 0,$$

სადაც ***m*** და ***n*** – მთელი რიცხვებია, რომლებც წარმოადგენენ k რიცხვის კერძო მნიშვნელობებს, შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ:

$$\frac{1}{T}\int_0^T \left[S(t)\right]^2 dt = \frac{a_0^2}{4} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{\infty} A_k^2 \qquad (შ.14)$$

თუ ფუნქცია $S(t)$ წარმოადგენს, მაგალითად დენს ელექტრულ წრედში, მაშინ ეს გამოსახულება ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, პროპორციულია საშუალო სიმძლავრის, რომელიც შთაინთქმება ამ წრედში. აქედან გამომდინარე, საშუალო სიმძლავრე წრედში, რომელშიც გადის დენი, წარმოადგენს რა დროის რთულ პერიოდულ ფუნქციას, ტოლია ყველა ჰარმონიკის საშუალო სიმძლავრეების ჯამის.

ჯამი (შ.14) გამოსახულების მარჯვენა ნაწილში წარმოადგენს უსასრულო მწკრივს. მაგრამ, რომელიღაც ნომრიდან დაწყებული, ჰარმონიკების ამპლიტუდები იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება მათი უგულებელყოფა და პრაქტიკულად რეალური პერიოდული პროცესი წარმოადგენს ფუნქციას შემოფარგლული სპექტრით. სიხშირეთა ინტერვალს, რომელიც შეესაბამება შემოფარგლულ სპექტრს, ეწოდება სპექტრის სიგანე.

სიგნალების სპექტრალური ანალიზის მოკლედ გადმოცემული თეორია საშუალებას გვაძლევს გავაანალიზოთ სიგნალების გავლა რადიოტექნიკურ წრედებში, მოწყობილობებსა და სისტემებში.