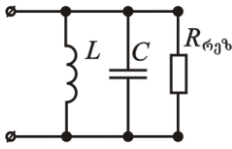


**თავი II. დეტერმინირებული სიბნალების ზემოქმედება
სისშირულად-გამორჩევიად სისტემაზე**

რადიოტექნიკაში მისი ჩამოყალიბების პირველივე ნაბიჯებიდან ფართო გამოყენება ჰპოვა სასარგებლო სიბნალების გამოყოფამ სისშირულად-გამორჩევიადი სისტემების დახმარებით. ასეთი წრედები გამოსასვლელზე ატარებენ მხოლოდ იმ სისშირიან რხევებს, რომლებიც მოთავსებულია შედარებით ვიწრო ზოლში რაიმე ცენტრალური სისშირის გარშემო. სასარგებლო სიბნალის სისშირული ფილტრაცია განსაკუთრებით ეფექტურია იმ შემთხვევაში, თუ დასამუშავებელი სიბნალი საკმარისი ხარისხით ვიწროზოლოვანია. ვიწროსისშირული სიბნალების მაგალითებს წარმოადგენენ სხვადასხვაგვარი მოდულირებული რხევები, რომლებიც განხილულია სახელმძღვანელო "ექსტრული სიბნალები", თავი 4 -ში.

თემა 8. სისშირულად-გამორჩევიადი წრედების ზოგიერთი მოდელები

უმარტივეს ზოლოვან ფილტრს წარმოადგენს რხევითი კონტური, რომელიც შექმნილია L, C და R ელემენტებით. (ნახ.8.1-ზე მოყვანილია პარალელური რხევითი კონტურის ეკვივალენტური სქემა).



ნახ. 8.1

წრედების თეორიაში დაწვრილებით შეისწავლება მომდევრობითი და პარალელური კონტურები [3]. დაწვრილებითი გამოთვლების გარეშე გავისხენოთ ძირითადი დებულებები, რომლებითაც ვიხელმძღვანელებთ შემდგომში.

8.1. პარალელური რხევითი კონტურის სისშირული მახასიათებლები

რეზონანსული სისშირის $\omega_{რეზ} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ მიდამოებში მოცემული რხევითი სისტემა შეიძლება აღწერილი იყოს ეკვივალენტური სქემით, რომელიც შედგება L, C ელემენტებისა და აქტიური რეზონანსული წინააღობის $R_{რეზ} = \rho Q$ (2.1)

პარალელური შეერთებისაგან, სადაც $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ -კონტურის მახასიათებელი წინააღობაა, Q - რხევითი სისტემის ვარგისიანობა.

კონტურის თვისებები განისაზღვრება მისი შესასვლელი წინაღობის დამოკიდებულებით სიხშირეზე. არგუმენტის სახით მოსახერხებელია გამოვიყენოთ უგანზომილებო **განზოგადებული**

ლი აშლა
$$\xi = Q\left(\frac{\omega}{\omega_{რეზ}} - \frac{\omega_{რეზ}}{\omega}\right). \quad (2.2)$$

ამასთან შესასვლელი წინაღობა
$$Z(j\xi) = \frac{R_{რეზ}}{(1+j\xi)}. \quad (2.3)$$

თუ $Q \gg 1$, მაშინ ვიწრო ზოლში რეზონანსული სიხშირის სიახლოვეს განზოგადებული აშლის გამოსათვლელად უნდა ვისარგებლოთ მიახლოებითი ფორმულით:

$$\xi \approx \frac{2Q(\omega - \omega_{რეზ})}{\omega_{რეზ}} = \frac{2Q(f - f_{რეზ})}{f_{რეზ}}. \quad (2.4)$$

პარალელური რხევითი კონტურის **ასმ** გამოისახება ეგრეთ-წოდებული **რეზონანსული მრუდით**. თუ ვარგისიანობა საკმაოდ მაღალია, მაშინ რეზონანსული მრუდი პრაქტიკულად სიმეტრიულია $\omega_{რეზ}$ სიხშირის მიმართ. რეზონანსული მრუდის განტო-

ლება
$$|Z(j\omega)| = \frac{R_{რეზ}}{\sqrt{1 + 4Q^2(\omega - \omega_{რეზ})^2 / \omega_{რეზ}^2}}. \quad (2.5)$$

სიხშირეთა დერძზე (პც) ინტერვალს წერტილებს შორის, რომლებშიც $|Z|$ მცირდება $R_{რეზ}$ მნიშვნელობიდან $\frac{R_{რეზ}}{\sqrt{2}} = 0,707R_{რეზ}$ მნიშვნელობამდე, ეწოდება **კონტურის გატარების ზოლი**:

$$\Delta_{0,707} = \frac{f_{რეზ}}{Q}. \quad (2.6)$$

განასხვავებენ გატარების ზოლის **აბსოლუტურ** და **ფარდობით** მნიშვნელობებს $S_s = f_2 - f_1 = \frac{f_{რეზ}}{Q}$ და $S_g = \frac{S_s}{f_{რეზ}} = \frac{1}{Q}$.

რეზონანსული სიხშირის მიმართ პარალელური კონტურის წინაღობის მოდულის აშლისას **მკვეთრი** დაცემა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ეს წრედი სიგნალების სიხშირული ფილტრაციისათვის.

მაგალითი 2.1. პარალელური რხევითი კონტური პარამეტრებით $Q=125$, $L=6$ მკჰნ აწოდებია სიხშირეზე $f_{\text{რეზ}}=8$ მჰც. კონტური აიგზნება პარმონიული დენის წყაროთ; გამოსასვლელ სიგნალს წარმოადგენს ძაბვა კონტურზე. განსაზღვრეთ, რამდენჯერ იქნება შესუსტებული სიგნალი 8.1 მჰც სიხშირეზე რეზონანსულ სიხშირეზე სიგნალთან შედარებით.

ამოხსნა: მოთხოვნილ რეზონანსულ სიხშირეზე ასაწეობად აუცილვ ბელია გამოვიყენოთ კონდენსატორი ტევადობით $C = \frac{1}{4\pi^2 L f_{\text{რეზ}}^2} = 66$ პფ.

კონტურის რეზონანსული სიხშირე $R_{\text{რეზ}} = \sqrt{\frac{L}{C}} Q = 37.69 \approx 38$ კომ.

(2.4) ფორმულის მიხედვით განზოგადებული აშლა 8.1 მჰც სიხშირეზე,

$$\xi \approx \frac{2Q\Delta f}{f_{\text{რეზ}}} = 3.125.$$

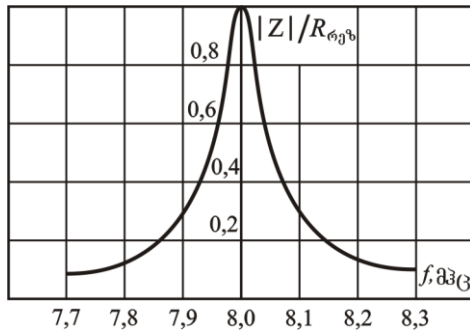
გამოსასვლელი სიგნალის ამპლიტუდა განსახილველ წრედში კონტურის შესასვლელი წინააღობის მოდულის პროპორციულია.

რადგან

$$\frac{|Z|}{R_{\text{რეზ}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

ზემოთ ნაპოვნი ξ მნიშვნელობის ჩასმით ვრწმუნდებით, რომ ამ სიგნალის ამპლიტუდა 8.1 მჰც სიხშირეზე შეადგენს რეზონანსულ სიხშირეზე ამპლიტუდის 0.305. ამ ციფრს შეესაბამება უარყოფითი გაძლიერება (შესუსტება) $20 \lg 0.305 = -10.3$ დბ.

მოცემული სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი გამოსახულია ნახ. 8.2



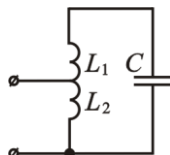
ნახ. 8.2

მოყვანილი მრუდი შეესაბამება პარალელური რხევითი კონტურის **სსმ**-ს პარამეტრებით $Q=125$, $L=6$ მკჰნ, $C=66$ პფ.

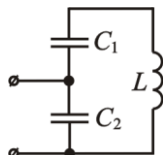
**თავი II. დეტერმინირებული სიბნალების ზემოქმედება
სიხშირულად-გამორჩეველ სისტემას**

განხილული რხევითი კონტური წარმოადგენს ვიწროხოლოვან სიხშირულად-გამორჩეველ სისტემას, ვინაიდან გატარების ხოლის შეფარდება რეზონანსულ სიხშირესთან $\frac{\Delta_{0.707}}{f_{რეზ}} = \frac{1}{Q} \ll 1$

სწირად იყენებენ პარალელურ რხევით კონტურებს არასრული ჩართვით. გარე წრედები შეიძლება ჩაირთოს ან ინდუქციურ (იხ. ნახ. 8.3), ან ტევადურ (იხ. ნახ. 8.4) ელემენტებთან გამოყოფის შუა წერტილიდან გამომყვანით, შესაბამისად. ასეთი



ნახ. 8.3



ნახ. 8.4

კონტურის შესასვლელი წინაღობა გამოითვლება ფორმულით (2.3), რომელშიც საჭიროა ჩავსვათ რეზონანსული წინაღობის სიდიდე $R_{რეზ} = k_{წარ}^2 \rho Q$ სადაც - $k_{წარ}$ კონტურის ჩართვის კოეფიციენტია. მოყვანილი სქემებისათვის $k_{წარ}$ გამოითვლება შესა-

ბამის ფორმულებით $k_{წარ} = \frac{L_2}{L_1 + L_2}$ და $k_{წარ} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$.

8.2 რხევითი კონტურის მახასიათებლის ნულ-პოლუსური წარმოდგენა

ოპერატორული მეთოდის ფარგლებში პარალელური დანაკარგებიანი რხევითი კონტურის დინამიკური თვისებები შეიძლება აღიწეროს მისი შესასვლელი გამტარობის

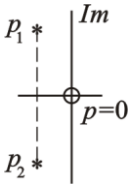
$Y(p) = \frac{1}{R_{რეზ}} + pC + \frac{1}{pL}$ ან შესასვლელი წინაღობის მოცემით

$$Z(p) = \frac{1}{Y(p)} = \frac{p}{\left(p^2 + \frac{p}{R_{რეზ}C} + \frac{1}{LC}\right)} \quad (2.7)$$

შევნიშნოთ, რომ $\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_{რეზ.0}$ არის დანაკარგების გარეშე კონტურის რეზონანსული სიხშირე და $\frac{1}{R_{რეზ}C} = \frac{1}{\rho QC} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}QC} = \frac{\omega_{რეზ.0}}{Q}$. გადავწეროთ (2.7) გამოსახულება შემდეგნაირად:

$$Z(p) = \frac{\frac{p}{C}}{(p^2 + \frac{\omega_{რეზ.0}}{Q}p + \omega_{რეზ.0}^2)}$$

მოცემულ ოპერატორულ წინაღობას აქვს ერთადერთი ნული როცა $p=0$ და ორი კომპლექსურ-შეუღლებული პოლუსები წერტილებში კოორდინატებით (იხ. ნახ. 8.5)

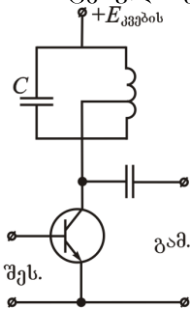


$$p_{1,2} = \frac{\omega_{რეზ.0}}{2Q} \pm j\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}\omega_{რეზ.0} \quad (2.8)$$

პოლუსები განლაგებულია მარცხენა ნახევარ ნახ. 8.5 სიბრტყეში (სისტემა მდგრადია) და *მით უფრო ახლოსა წარმოსახვით ღერძთან, რაც მაღალია კონტურის ვარგისიანობა*. უკანასკნელი თვისება წარმოადგენს საერთოს სიხშირულად-გამორჩევადი სისტემებისათვის.

8.3. მცირე რხევების რეზონანსული გამაძლიერებელი

მოცემული ვიწროზოლოვანი სისტემა ითავებს გამაძლიერებლის და წრფივი სიხშირული ფილტრის ფუნქციებს. მცირე რხევების რეზონანსული გამაძლიერებელის პრინციპიალური სქემა მოყვანილია (ნახ. 8.6):



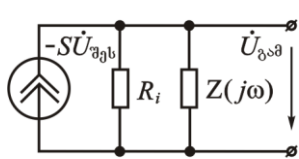
ნახ. 8.6

ჩანაცვლების

რეზისტორულ-ტევადური დატვირთვის მქონე გამაძლიერებლისგან (იხ. თავი 8) განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ აქ ელექტრონული ხელსაწყოს დატვირთვად გამოდის პარალელური რხევითი კონტური; კონტურის ჩართვა ზოგად შემთხვევაში შეიძლება იყოს არასრული.

ჩანაცვლების ექვივალენტურ სქემასთან მიმართებით (ნახ. 8.7)

ვხედავთ, რომ დენი კომპლექსური ამპლიტუდით $S\dot{U}_{შეს}$, რომელიც მოდის მართველი წყაროდან, გადის წინააღობაში



ნახ. 8.7

$$Z_{გამ}(j\omega) = \frac{Z(j\omega)R_i}{Z(j\omega) + R_i} \quad \text{და ქმნის მასზე}$$

ძაბვის ვარდნას, წარმოადგენს გამაძლიერებლის გამოსასვლელ სიგნალს. მარტივი გარდაქმნები გვიჩვენებს - [იხ. ფორმულა (2.3)], რომ

$$Z_{გამ}(j\xi) = \frac{R_{რეზ.გამ}}{1 + j\xi_{გამ}} \quad (2.9). \quad \text{აქ} \quad R_{რეზ.გამ} = \frac{R_{რეზ}}{1 + \frac{R_{რეზ}}{R_i}} \quad (2.10)$$

- გამაძლიერებლის კონტურის ექვივალენტური წინააღობაა რეზონანსის დროს წყაროს შიგა წინააღობის გათვალისწინებით;

(ექვივალენტური განზოგადებული აშლა) $\xi_{გამ} = \frac{Q}{1 + \frac{R_{რეზ}}{R_i}}$. (2.11)

(2.11) ფორმულის თანახმად ელექტრონული ხელსაწყო რხევით სისტემაზე მაშუნტირებელი ზემოქმედების შესასუსტებლად გამაძლიერებლის კატარების ზოლის ვაფართოების გარეშე საჭიროა შევამციროთ რეზონანსული წინააღობა $R_{რეზ}$, კონტურის არასრული ჩართვის გამოყენებით

შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ შიგა წინააღობის გავლენა მდგომარეობს იმაში, რომ რხევითი სისტემის ვარგისიანობა მცირდება და ტოლი ხდება ექვივალენტური ვარგისიანობის.

რამდენადაც გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე პარმონიული სიგნალის კომპლექსური ამპლიტუდა

$$\dot{U}_{გამ} = -SZ_{გამ}\dot{U}_{შეს}, \quad \text{მოცემული მოწყობილობის გადაცემის}$$

სისშირული კოეფიციენტი $K(j\xi_{გამ}) = \frac{-SR_{რეზ.გამ}}{1 + j\xi_{გამ}}$ (2.12)

აქედან გამომდინარეობს შესაბამისად რეზონანსული გამაძლიერებლის **ასმ** და **შსმ**:

$$|K(j\omega)| = \frac{SR_{რეზ.გამ}}{\sqrt{1 + 4Q_{გამ}^2 (\omega - \omega_{რეზ})^2 / \omega_{რეზ}^2}}, \quad (2.13)$$

$$\varphi_K(\omega) = \pi - \arctg[2Q_{\text{მმ}}(\omega - \omega_{\text{რეზ}}) / \omega_{\text{რეზ}}]. \quad (2.14)$$

მაგალითი 2.2. გამაძლიერებელს, რომელიც აწყობილია ნახ. 8.6 სქემის მიხედვით, აქვს შემდეგი პარამეტრები: $f_{\text{რეზ}} = 28$ მჰც, $Q = 95$, $\rho = 430$ ომ, $k_{\text{ხართ}} = 0.6$, $S = 20$ მმ², $R_i = 15$ კომ. განსაზღვრეთ გაძლიერების კოეფიციენტის მოდული რეზონანსულ სიხშირეზე და გამაძლიერებლის გატარების ზოლი.

რხევეთი სისტემის რეზონანსული წინაღობა

$$R_{\text{რეზ}} = k_{\text{ხართ}}^2 \rho Q = 0.36 \cdot 0.43 \cdot 95 = 14,71 \text{ კომ.}$$

კონტურის ექვივალენტური წინაღობა რეზონანსის დროს ტრანზისტორის მაშუნტირებელი მოქმედების გათვალისწინებით

$$R_{\text{რეზ.აქტ}} = 14,71 / (1 + 14,71 / 15) = 7,43 \text{ კომ.}$$

გამაძლიერებლის აწყობისას რეზონანსზე ამიტომ (2.12)-დან გამოდინარეობს, რომ გაძლიერების რეზონანსული კოეფიციენტი

$$K_{\text{რეზ}} = SK_{\text{რეზ.აქტ}} = 20 \cdot 7,43 = 148,6,$$

ან ლოგარითმულ ერთეულებში

$$\Delta_{\text{რეზ}} = 20 \lg K_{\text{რეზ}} = 43 \text{ დბ}$$

გამაძლიერებლის გატარების ზოლს 0,707 დონეზე ვსაზღვრავთ ფორმულით (2.6):

$$\Delta_{0,707} = f_{\text{რეზ}} \left(1 + \frac{R_{\text{რეზ}}}{R_i}\right) / Q = 0,58 \text{ მჰც.}$$

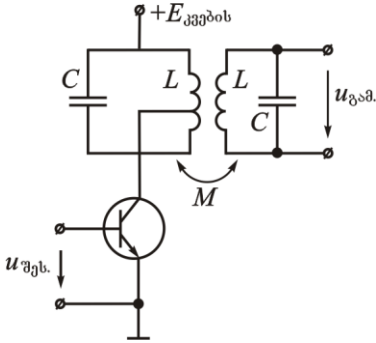
8.4. მრავალკონტურიანი სიხშირულად-გამორჩევადი სისტემები

ზემოთგანხილულ ერთკონტურიან ვიწროზოლოვან წრედებს აქვთ მნიშვნელოვანი ნაკლი – მცირე სიხშირული არჩევითობა. ეს თვისება მულავნდება იმაში, რომ გატარების ზოლის საზღვრებს გარეთ ასეთი წრედების **ასმ** მიისწრაფის ნულისაკენ არასაკმარისად სწრაფად. ამიტომ გამოსასვლელი რხევა შეიცავს არა მარტო სასარგებლო სიგნალს, რომლის სპექტრი განლაგებულია **ასმ**-ის მაქსიმუმის სიახლოვეს, არამედ სპექტრიანი ხელშემშლელი სიგნალების, ხმაურის და ა.შ. რაღაც, ზოგჯერ მნიშვნელოვან წილს, რომელთა სპექტრი ძეკს საკმაოდ დაშორებით იმ სიხშირიდან, რომელზედაც აწყობილია ფილტრი.

მივისწრაფით რა იმისკენ, რომ ავამაღლოთ ფილტრების სიხშირული არჩევითობა, მივიღვართ მრავალკონტურიანი მოწყობილობებამდე, რომლებშიც ხერხდება მივიღოთ **ასმ**-ის ფორმა, იდეალურთან (მარტოკუთხასთან) მიახლოებული.

უმარტივეს მრავალკონტურიან სიხშირულ-გამორჩევა ფილტრს წარმოადგენს ორი დაკავშირებული რხევითი კონტურის სისტემა. ასეთი მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი შეისწავლება წრედების თეორიაში.

ნახ. 8.8 -ზე გამოსახულია მცირე რხევების რეზონანსული გამაძლიერებლის პრინციპიალური სქემა დაკავშირებული კონ-



ნახ. 8.8

ტურებით, რომლის დატვირთვას წარმოადგენს ორი ერთნაირი ინდუქციურად დაკავშირებული კონტურის სისტემა.

ამ სისტემის პარამეტრებია

კავშირის კოეფიციენტი $k_j = \frac{M}{L}$

და ეგრეთწოდებული **კავშირის ფაქტორი** $A = k_j Q$. გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტის მოდული გამოითვლება ფორმულით

$$|K(j\xi)| = \frac{k_{ნარ} ASR_{ტეზ.გვს}}{\sqrt{(1+A^2-\xi^2)^2 + 4\xi^2}} \quad (2.15)$$

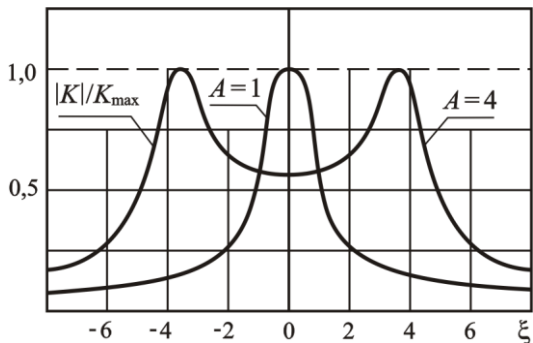
სსმ-ის გრაფიკები, აგებული (2.15) გამოსახულების შესაბამისად, გამოსახულია ნახ. 8.9 -ზე **კავშირის სხვადასხვა A ფაქტორებისას**. ავლნიშნოთ, რომ თუ $A > 1$, მაშინ რეზონანსულ მრუდს გატარების ზოლში აქვს ჩაგარდნა, რომლის სიღრმე იზრდება კავშირის ფაქტორის გაზრდით.

შეიძლება შეიქმნას საკმაოდ სრულყოფილი სიხშირულად-გამორჩევადი მოწყობილობები ერთმანეთთან დაკავშირებული რხევითი სისტემების ფილტრების გამოყენებით.

** ერთ- და ორკონტურიანი გამაძლიერებლების სსმ-ის შედარებით შეიძლება შევამჩნიოთ, რომ რხევითი სისტემების ტოლი ვარგისიანობისას ორკონტურიან გამაძლიერებელს აქვს რეზონანსული მრუდის დაქანების მეტი ციცაბოვნება, ე.ი. შეუძლია უზრუნველყოს მეტი სიხშირული არჩევითობა*

უკანასკნელ ხანს რადიოტექნიკაში დაიწვეს გავრცელება სიხშირულად-გამორჩევადი ფილტრებმა, აგებულმა ახალ სქემოტექნიკურ პრინციპებზე – ეგრეთწოდებული **აქტიური ფილტრები** (იხ.თავი 14). დიდი წარმატებებია მიღწეული სიხშირული ფილტრების კონსტრუირების სფეროში, რომელთა მუშაობა

დაფუნქციონირებს მყარ სხეულებში ულტრაბგერითი ტალღების გამოყენებაზე. რადიოტექნიკის ახალი სფერო, რომელმაც მიიღო აკუსტოელექტრონიკის სახელწოდება, გვიქადის მინიატურული და საიმედო სიხშირულ-გამორჩევი სისტემების მომხიბვლელ პერსპექტივებს.



ნახ. 8.9