

**თემა 17. ენერგეტიკული თანაზარდობანი წრელის
პარამეტრულ რეაქტიულ ელემენტებში**

მთელი რიგი განსაკუთრებული თვისებები გააჩნიათ პარამეტრულ რეაქტიულ ელემენტებს, რომელთა ან ტევადობა $C(t)$ ან ინდუქციურობა $L(t)$ დროში იცვლება. ქვემოთ პარამეტრული მართვადი კონდენსატორის მაგალითზე ნაჩვენები იქნება, რომ განსაზღვრულ პირობებში ასეთი ელემენტები შეიძლება გამოვიდნენ "შუამავლის" როლში, რომლებიც ენერგიის ნაწილს გადასცემენ გარე მმართველი წყაროებიდან, ე.წ. **დატუმბვის გენერატორებიდან** წრედებს, რომლებიც ატარებენ სასარგებლო სიგნალს. ამ პრინციპზეა დაფუძნებული სიგნალების პარამეტრული გაძლიერება, რომელიც შეისწავლება მომდევნო პარაგრაფში.

17.1. კავშირი კონდენსატორის ტევადობასა და დაგროვილ ენერგიას შორის.

რეაქტიულ პარამეტრულ წრედებში მიმდინარე პროცესების გასარკვევად განვიხილოთ C ტევადობისა და შემონაფენებს შორის x_0 დაშორების მქონე ბრტყელი კონდენსატორი, რომელიც დამუხტულია U_0 ძაბვამდე. კონდენსატორს აქვს განცალკევებული მუხტი $q = CU_0$.

დავუშვათ, რომ ღრწო შემონაფენებს შორის მექანიკურად გაზრდილია $x_0 + dx$ სიდიდემდე (ღრწოს გაზრდით კონდენსატორის ტევადობა მცირდება). გადაადგილება ხდება ელექტრული ველის იმ ძალის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რომელიც ისწრაფის დაახლოვოს შემონაფენები. ამიტომ გარე ძალები ასრულებენ რაღაც დადებით მუშაობას და ველის ენერგიის მარაგი კონდენსატორში იზრდება.

იმისათვის, რომ მივიღოთ რაოდენობრივი შეფასებები, შევნიშნოთ, რომ კონდენსატორის საწყისი ენერგია $E = q^2 / (2C)$. თუ ტევადობამ მიიღო ნაზრდი dC , მაშინ ენერგიის ნაზრდი

$$dE = -\frac{q^2}{2C^2} dC = -E \frac{dC}{C}, \quad (5.21)$$

რამდენადაც გამტარობის დენი არ გვაქვს და მუხტი q არ არის შეცვლილი. C ტევადობის გამოთვლით ცნობილი ფორმულით ბრტყელი კონდენსატორისათვის $C = \epsilon_0 S / x_0$ (S - შემონაფენის ფართობია, ϵ_0 - ელექტრული მუდმივა

$\epsilon_0 = 10^{-9} / (36\pi) = 8.842 \cdot 10^{-12}$ ფ/მ), გვაქვს ტევადობის ფარდობითი ნაზრდის შემდეგი გამოსახულება $dC/C = -dx/x_0$, საიდანაც

$$\text{კონდენსატორის ენერჯიის ნაზრდი} \quad dE = E \frac{dx}{x_0}.$$

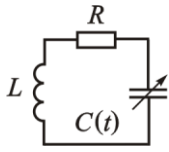
როგორც მოსალოდნელი იყო, ელექტრული ველის ენერჯიის მარაგის გასაზრდელად სისტემაში აუცილებელია გარე ფაქტორების ხარჯზე შევამციროთ დამუხტული კონდენსატორის ტევადობა.

17.2 რხევითი კონტურის პარამეტრული აღზნება

თუ მუხტის სიდიდე q მუდმივია, მაშინ შეუძლებელია მივადწიოთ ენერჯიის უწყვეტ მოწოდებას იზოლირებულ კონდენსატორში მისი ტევადობის პერიოდული ცვლილებით რაღაც საშუალო მნიშვნელობის ირგვლივ. დატუმბვის გარე წყარო, რომელმაც დაასრულა დადებით მუშაობა დროის მონაკვეთზე, როცა ტევადობა მცირდებოდა, კონდენსატორიდან უკან მიიღებს ენერჯიის ზუსტად იგივე პორციას ტევადობის გაზრდის პროცესში. ამიტომ პერიოდის მანძილზე გასაშუალოებული დატუმბვის ენერჯია იქნება ნულის ტოლი.

სხვა სურათი შეიმჩნევა რხევით სისტემაში, სადაც ძაბვა კონდენსატორზე იცვლის ნიშანს ნულზე გადასვლისას.

განვიხილოთ ვარგისი რხევითი კონტური, რომელიც შექმნილია მუდმივი ინდუქციურობით L , პარამეტრული ტევადობით $C(t)$ და დანაკარგების წინააღობით R (ნახ. 17.1). დაუშვათ, რომ კონტურში რაიმე გზით აღზნებულია საკუთარი რხევები. უგულებელვყოფთ რა რხევების ამპლიტუდის უმნიშვნელო შემცირებას დანაკარგების გამო, ჩავთვალოთ, რომ U_{mC} არის კონდენსატორზე

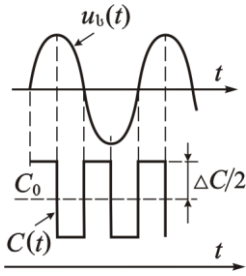


ძაბვის ამპლიტუდა, რომელიც

ნახ. 17.1 იცვლება დროში საკუთარი რხევების სიხშირით $\omega_{საგ} = 1/\sqrt{LC_0}$. აქ C_0 ტევადობის საშუალო მნიშვნელობაა.

დაუშვათ, კონდენსატორის ტევადობა პერიოდულად იცვლება შემდეგნაირად (ნახ. 17.2) : ორჯერ საკუთარი რხევების პერიოდის მანძილზე დროის იმ მომენტებში, როცა ძაბვა კონდენსატორზე ექსტრემალურია, ტევადობა ნახტომისებურად მცირდება სიდიდით ΔC . დაბრუნება საწყის მდგომარეობაში, ე. ი. ტევადობის დადებითი სხვაობა გადის ნულზე.

თემა 17. ენერგეტიკული თანაფარდობანი წრეების პარამეტრულ რეაქტიულ ელემენტებში



ნახ. 17.2

ასეთი დატუმბვის დროს შესამჩნევი ხდება ენერგიის ერთმიმართულებიანი მიწოლა რხევით კონტურში. მართლაც, გარე ძალების მუშაობა, რომელიც სრულდება ტევადობის უარყოფითი სხვაობების მომენტებში, ყოველთვის დადებითა შემონაფენებზე ძაბვის ნიშნის მიუხედავად. ტევადობის დაბრუნება საწყის მდგომარეობაში დასრულდება დროის მომენტებში, როცა ძაბვა კონდენსატორზე ნულის ტოლია, ე. ი. ენერგიის ხარჯვის გარეშე.

აქ გათვალისწინებულია, რომ ენერგია მიეწოდება კონტურს ორჯერ საკუთარი რხევების პერიოდში
თუ

$$E_{max} = \frac{1}{2} U_{mc}^2 (C_0 + \Delta C / 2) \approx \frac{1}{2} U_{mc}^2 C_0$$

კონდენსატორში დაგროვებული მაქსიმალური ენერგიაა, მაშინ (5.21) ფორმულის თანახმად საკუთარი რხევების პერიოდის მანძილზე სისტემა მიიღებს დატუმბვის ენერგიას

$$E_{დატ} = 2E_{max} \Delta C / C_0 = U_{mc}^2 \Delta C . \quad (5.22)$$

ამავე დროს კონტურში დანაკარგის (დან.) საშუალო სიმძლავრე

$$P_{დან} = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} U_{mc}^2 R / \rho^2 = \frac{1}{2} U_{mc}^2 / (\rho Q), \quad (5.23)$$

სადაც $R = \rho / Q$. (მხედველობაში მიიღება $\rho_{კონტურის} = 1 / C_0$).

ენერგია, რომელიც რხევის T პერიოდში დანაკარგის სახით იფანტება რეზისტორზე, შეადგენს სიდიდეს

$$E_{დან} = P_{დან} T = U_{mc}^2 C_0 \pi / Q . \quad (5.24)$$

თუ სრულდება ტოლობა $E_{დატ} = E_{დან}$, (5.25)

მაშინ დატუმბვის წყაროს მოქმედების ხარჯზე ხდება კონტურში დანაკარგების კომპენსაცია. თუ $E_{დატ} > E_{დან}$, მაშინ სისტემა ხდება არამდგრადი და რხევების ამპლიტუდა კონტურში ექსპონენციალურად გაიზრდება, ე.ი. მოხდება რხევითი სისტემის **პარამეტრული აღვზნება**. (5.22) და (5.24)-დან გამომდინარეობს თანაფარდობა, რომელიც განსაზღვრავს ტევადობის ფარდობითი ცვლილების კრიტიკულ მნიშვნელობას:

$$\Delta C_{კრ} / C_0 = \pi / Q. \quad (5.26)$$

$\Delta C_{კრ}$ მნიშვნელობები, როგორც წესი, დიდი არ არის. მაგალითად, $C_0 = 20$ პფ $Q = 100$ პარამეტრებიანი კონტურის პარამეტრული ალგზნებისათვის საკმარისია გვექონდეს $\Delta C = 0.63$ პფ.

მართვადი ტევადობის მქონე კონტურის აქ მოყვანილი კერძო მაგალითის ანალიზი ჩატარებულია დაშვებით, რომ დატუმბვის სიგნალი იცვლის კონდენსატორის ტევადობას ორჯერ საკუთარი რხევების პერიოდის მანძილზე. მაგრამ ადვილად დაინახავთ, რომ რხევითი სისტემის პარამეტრული ალგზნების ეფექტი შესამჩნევი იქნება მაშინაც, როცა დატუმბვის არაჰარმონიული ძაბვის ძირითადი სიხშირე $\omega_{დატ} = \omega_{საკ} / n, n = 1, 2, \dots$

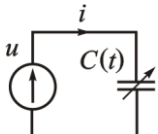
მნიშვნელოვანია მხოლოდ, რომ დატუმბვის სიგნალის სპექტრში არსებობდეს საკუთარი მდგენელი სიხშირით $2\omega_{საკ}$.

(ეს არის მოთხოვნები დატუმბვის გენერატორის მიმართ, რომელიც უზრუნველყოფს რხევითი კონტურის პარამეტრულ ალგზნებას)

პარამეტრული გენერატორის მუშაობისათვის მოითხოვება აგრეთვე, რომ ალგზნების პროცესში კონტურის საკუთარ რხევებსა და დატუმბვის გენერატორის რხევებს შორის ადგილი ჰქონდეს მკაცრ ფაზურ თანაფარდობებს. საკმარისია დავძაბოთ დატუმბვის სიგნალი ფაზით პერიოდის ნახევარზე, რომ ტევადობის დადებითი სხვაობა აღმოჩნდება დროის იმ მომენტებზე, როცა ძაბვა კონდენსატორზე გადის ექსტრემუმებზე. ამასთან პარამეტრული კონდენსატორი უკვე კი აღარ მიაწოდებს ენერგიას კონტურს, არამედ დაიწყებს დამატებითი რეზისტიული დატვირთვის როლის შესრულებას.

17.3. კავშირი ძაბვასა და დენს შორის არაპარამეტრულ კონდენსატორზე.

განვიხილოთ წრედი (ნახ. 17.3), რომელსაც ქმნის სიგნალის ძაბვის წყარო $u(t) = U_m \cos(\omega_s t + \phi_s)$ და მართვადი კონდენსატორი, რომლის ტევადობა იცვლება დროში ჰარმონიული კანონით დატუმბვის სიხშირით:



$$C(t) = C_0 [1 + \beta \cos(\omega_{დატ} t + \phi_{დატ})], \quad (5.27)$$

ნახ. 17.3 სადაც β არის კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ტევადობის მოდულაციის სიღრმეს.

თემა 17. ენერგეტიკული თანაფარდობანი წრეების პარამეტრულ რეაქტიულ ელემენტებში

ვინაიდან მუხტი კონდენსატორზე $q = C(t)u$, დენი წრედში

$$i(t) = \frac{dC}{dt}u + C \frac{du}{dt} =$$

$$= -\beta\omega_{\text{ლაბ}} C_0 U_m \sin(\omega_{\text{ლაბ}}t + \varphi_{\text{ლაბ}}) \cos(\omega_b t + \varphi_b) - \omega_b C_0 U_m \sin(\omega_b t + \varphi_b) -$$

$$-\beta\omega_b C_0 U_m \cos(\omega_{\text{ლაბ}}t + \varphi_{\text{ლაბ}}) \sin(\omega_b t + \varphi_b) \quad (5.28)$$

თუ ვისარგებლებთ ტრიგონომეტრიის ცნობილი ფორმულით $\cos x \sin y = 1/2[\sin(x+y) - \sin(x-y)]$, (12.28) ფორმულის მარჯვენა ნაწილის პირველი და მესამე შესაკრებების ნამრავლები შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც:

$$\sin(\omega_{\text{ლაბ}}t + \varphi_{\text{ლაბ}}) \cos(\omega_b t + \varphi_b) =$$

$$= (1/2) \{ \sin[(\omega_b + \omega_{\text{ლაბ}})t + \varphi_b + \varphi_{\text{ლაბ}}] - \sin[(\omega_b - \omega_{\text{ლაბ}})t + \varphi_b - \varphi_{\text{ლაბ}}] \}, \quad (5.29)$$

$$\cos(\omega_{\text{ლაბ}}t + \varphi_{\text{ლაბ}}) \sin(\omega_b t + \varphi_b) =$$

$$= (1/2) \{ \sin[(\omega_b + \omega_{\text{ლაბ}})t + \varphi_b + \varphi_{\text{ლაბ}}] - \sin[(\omega_{\text{ლაბ}} - \omega_b)t + \varphi_{\text{ლაბ}} - \varphi_b] \}. \quad (5.30)$$

შედგებად

$$i(t) = -\omega_b C_0 U_m \sin(\omega_b t + \varphi_b) +$$

$$+ (1/2) \beta C_0 U_m \cos(\omega_b - \omega_{\text{ლაბ}}) \sin[(\omega_{\text{ლაბ}} - \omega_b)t + \varphi_{\text{ლაბ}} - \varphi_b] -$$

$$- (1/2) \beta C_0 U_m \cos(\omega_{\text{ლაბ}} + \omega_b) \sin[(\omega_{\text{ლაბ}} + \omega_b)t + \varphi_b + \varphi_{\text{ლაბ}}]. \quad (5.31)$$

ეს გამოსახულება ადგენს პარამეტრულ კონდენსატორში დენის სპექტრალური დიაგრამის სახეს. სპექტრი, გარდა მდგენელისა სიგნალის სიხშირეზე, შეიცავს ორ გვერდით რხევას სიხშირეებით $\omega_b - \omega_{\text{ლაბ}}$ და $\omega_b + \omega_{\text{ლაბ}}$.

17.4 საშუალო სიმძლავრე, მოთხოვნილი პარამეტრული კონდენსატორით სიგნალის სიხშირეზე

წრედების თეორიიდან ცნობილია, რომ სიმძლავრის რაღაც საშუალო ნაკადის არსებობისათვის წყაროდან დატვირთვისკენ მოითხოვება, რომ ჰარმონიულ რეჟიმში დენსა და ძაბვას შორის ფაზის ძვრა იყოს 90° -ისაგან განსხვავებული.

(ზოგადად, საშუალო სიმძლავრე, მოხმარებული ორპოლუსას მიერ, გამოითვლება ფორმულით $P = UI / 2 \cdot \cos\varphi$, სადაც φ - დენსა და ძაბვას შორის ფაზათა ძვრის კუთხეა).

როგორც (5.31) ფორმულიდან ჩანს, დენის შემადგენლობაში, რომელიც გადის პარამეტრულ კონდენსატორში, ყოველთვის არსებობს რეაქტიული მდგენელი სიგნალის სისწორეზე:

$$i_{რეა}(t) = -\omega_b C_0 U_m \sin(\omega_b t + \varphi_b).$$

ეს დენი, რომელიც იმყოფება დროით კვადრატურაში წყაროს ძაბვასთან, საშუალოდ არ გამოყოფს სიმძლავრეს. თუმცა შესაბამისი დატუმბვის სისწორის არჩევისას შეიძლება მივადწიოთ დენის კიდევ ერთი მდგენელის განენას სიგნალის სისწორით. როგორც (5.29) და (5.30) გამოსახულებებიდან ჩანს, ამისათვის საკმარისია დაუშვათ $\omega_{ლატ} = 2\omega_b$. მაშინ დენს პარამეტრულ კონდენსატორში ექნება მდგენელი, რომელსაც დავარქვათ **სასარგებლო**:

$$i_{სას}(t) = -(1/2)\beta\omega_b C_0 U_m \sin(\omega_b t + \varphi_{ლატ} - \varphi_b). \quad (5.32)$$

სასარგებლო მდგენელის მყისიერი სიმძლავრე

$$\begin{aligned} P_{სას}(t) &= u(t)i_{სას}(t) = \\ &= -(1/2)\beta\omega_b C_0 U_m^2 \cos(\omega_b t + \varphi_b) \sin(\omega_b t + \varphi_{ლატ} - \varphi_b) = \\ &= -(1/4)\beta\omega_b C_0 U_m^2 [\sin(2\omega_b t + \varphi_{ლატ}) - \sin(2\varphi_b - \varphi_{ლატ})]. \end{aligned}$$

სასარგებლო მდგენელის სიმძლავრე. გასაშუალოებული სიგნალის პერიოდში

$$P_{სას,საშ} = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} P_{სას}(t) dt = (1/4)\beta\omega_b C_0 U_m^2 \sin(2\varphi_b - \varphi_{ლატ}). \quad (5.33)$$

17.5. პარამეტრული კონდენსატორის ჩანაცვლების სქემა

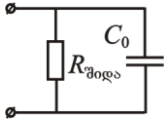
ფორმულა (5.33) მოწმობს იმას, რომ შესასვლელი სიგნალის წყაროსა და დატუმბვის რხევების გენერატორის საწყის ფაზებს შორის თანაფარდობების მიხედვით საშუალო სიმძლავრის მნიშვნელობა შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. ამიტომ შესაბამისი φ_b და $\varphi_{ლატ}$ კუთხეების არჩევის დროს შესაძლებელია რეჟიმი, როცა პარამეტრულად მართვადი კონდენსატორი იქცევა აქტიური ელემენტის მსგავსად, რომელიც კი არ მოიხმარს, არამედ, შესასვლელი სიგნალის სისწორეზე, წრედს აწვდის სიმძლავრეს.

თემა 17. ენერგეტიკული თანაფარდობანი წრედის პარამეტრულ რეაქტიულ ელემენტებში

$\Phi = 2\varphi_s - \varphi_{ღაღ}$ კუთხის შემოტანით ჩავწეროთ კონდენსატორში რხევითი პროცესის საშუალო სიმძლავრის გამოსახულება შემდეგი სახით $P_{ს.ს.შ} = U_m^2 / (2R_{შოღა})$.

აქ $R_{შოღა} = 2 / (\beta \omega_s C_0 \sin \Phi)$ (5.34)

- აქტიური წინაღობაა, რომელიც შემოაქვს მოცემულ ელემენტს წრედში. პარამეტრული კონდენსატორის ჩანაცვლების სქემა, რომელიც იმართება დატუმბვის წყაროთი სიგნალის გაორკეცვბული სიხშირით, წარმოადგენს C_0 ტევადობისა



და $R_{შოღა}$ წინაღობის პარალელურ შეერთებას (იხ. ნახ. 17.4). იმისათვის, რომ ეს ელემენტი იქცეოდეს ისე, როგორც გენერატორი, აუცილებელია გვქონდეს აქტიური წინაღობის უარყოფითი მნიშვნელობა.

ნახ. 17.4 მნიშვნელობა.