თემა 10. სიხშირულად-გამორჩევადი წრედები ვიწროზოლო-ვანი ზემოქმედებისას

ტიპიურ სიტუაციაში, მაგალითად, მოდულირებული სიგნა-ლების მიღებისას, სასარგებლო სიგნალი მიეწოდება სიხში-რულად-გამორჩევადი ხაზოვანი ფილტრის შესასვლელზე, რომლის სპექტრალურ სიმკვრივეს აქვს მკვეთრად გამოხატული მაქსიმუმი წრედის გატარების ზოლის საზღვრებში. ამასთან, როგორც წესი, რხევითი კონტურის რეზონანსული სიხშირე ემთხვევა გადამტანი სიხშირის რხევებს (**სიმეტრიული აწყობა**).

შესასვლელი რადიოსიგნალის სპექტრი რომ ყოფილიყო მკა-ცრად შეზღუდული სიხშირეთა არით, რომლის საზღვრებში უცვლელი იქნებოდა ფილტრის გადაცემის სიხშირული კოეფი-ციენტი, მაშინ გამოსასვლელი სიგნალი იქნებოდა შესასვლელი სიგნალის მასშტაბური ასლი. მაგრამ სიხშირულად-გამორჩევა-დი სისტემის **ასმ** და **ფსმ** გარდაუვალ არაიდეალურობას მივ-ყავართ გამოსასვლელი სიგნალის დამახინჯებისაკენ. ქვემოთ განიხილება მეთოდი, რომელიც იძლევა საშუალებას ვიპოვოთ ვიწროზოლოვანი რხევებით აღგზებული სიხშირულად-გამორჩევადი წრედების გამოსასვლელი გამოძახილები.

10.1. ძირითადი თანაფარდობები

განვიხილოთ ნებისმიერი ვიწროზოლოვანი წრედი, რომლის გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტი $K(j\omega)$ განსხვავებულია ნულისგან სიხშირის ღერძის $\pm\omega_0$ წერტილის გარემოში. ვივა-რაუდოთ, რომ შესასვლელ სიგნალი არის ვიწროზოლოვანი (კვაზიჰარმონიული) რხევა სპექტრის ცენტრალური ω_0 სიხში-რით. ეს ნიშნავს, რომ ფორმულაში

$$u_{\text{შეს}}(t)=\mathrm{Re}\left[\tilde{U}_{\text{შეს}}(t)e^{j\omega_0 t}\right] \tag{2.40}$$

კომპლექსური მომვლები $\tilde{U}_{\text{შეს}}(t)$ არის გაცილებით უფრო ნელი ფუნქცია, ვიდრე $\cos\omega_0 t$ რხევა. ავღნიშნოთ შესაბამისობა სიგ-ნალებსა და მათ სპექტრებს შორის: $u_{\text{შეს}}(t)\leftrightarrow S_{\text{შეს}}(\omega)$, $\tilde{U}_{\text{შეს}}(t)\leftrightarrow G_{\text{შეს}}(\omega)$, ამასთან (წიგნი “ელექტრული სიგნალები” თავი V, გვ.136, (5.51)) შესასვლელი სიგნალის სპექტრი და მისი კომპლექსური მომვლები შებმულნი არიან შემდეგნაირად:

$$S_{\text{შეს}}(\omega)=\frac{1}{2}G_{\text{შეს}}(\omega-\omega_0)+\frac{1}{2}G^{*}_{\text{შეს}}(-\omega-\omega_0)$$

აქედან, ხაზოვანი წრედების ანალიზის სპექტრალური მეთოდის გამოყენებით, მივიღებთ გამოსასვლელი სიგნალის შემდეგ გამოსახულებას (2.41):

$$u_{\text{გამ}}(t)=\frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{0} G^{*}_{\text{შეს}}\left(-\omega-\omega_0\right)K\left(j\omega\right)e^{j\omega t}d\omega+\frac{1}{4\pi}\int_{0}^{\infty} G_{\text{შეს}}\left(\omega-\omega_0\right)K\left(j\omega\right)e^{j\omega t}d\omega$$

პირველ ინტეგრალში ცვლადის $\omega=-\omega_0-\Omega$ ჩანაცვლების შემდეგ, შევასრულოთ მისი გარდაქმნა:

$$\begin{aligned}&\frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{0} G^{*}_{\text{შეს}}\left(-\omega-\omega_0\right)K\left(j\omega\right)e^{j\omega t}d\omega=\\&=\left\{\frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty} G^{*}_{\text{შეს}}\left(\Omega\right)K\left(-j\left(\omega_0+\Omega\right)\right)e^{j\Omega t}d\Omega\right\}e^{-j\omega_0 t}.\end{aligned} \qquad (2.42)$$

ანალოგურად, $\omega=\omega_0+\Omega$ ჩასმის გამოყენებით, გარდავქმნათ (2.41) ის მეორე ინტეგრალი:

$$\begin{aligned}&\frac{1}{4\pi}\int_{0}^{\infty} G_{\text{შეს}}\left(\omega-\omega_0\right)K\left(j\omega\right)e^{j\omega t}d\omega=\\&=\left\{\frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{შეს}}\left(\Omega\right)K\left(j\left(\omega_0+\Omega\right)\right)e^{j\Omega t}d\Omega\right\}e^{j\omega_0 t}.\end{aligned} \qquad (2.43)$$

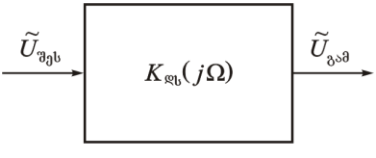
შევნიშნოთ, რომ (2.42) და (2.43) გამოსახულებების მარჯვენა ნაწილები არის კომლექსურად შეუღლებული. ამის გარდა (2.24) საფუძველზე $K\left[j\left(\omega_0+\Omega\right)\right]$ არის ვიწროზოლოვანი წრედის **დს**-ექვივალენტის გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტი. ამიტომ

$$u_{\text{გამ}}(t)=\mathrm{Re}\left\{\left[\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{შეს}}\left(\Omega\right)K_{\text{დს}}\left(j\Omega\right)e^{j\Omega t}d\Omega\right]e^{j\omega_0 t}\right\}.$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გამოსასვლელი სიგნალის კომპლექსური მომვლების სახე შეესაბამება გამოსახულებას

$$\tilde{U}_{\text{გამ}}(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{შეს}}\left(\Omega\right)K_{\text{დს}}\left(j\Omega\right)e^{j\Omega t}d\Omega. \qquad (2.44)$$

მაშინ გამოსაკვლევი სისტემა შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ ნახ.10.1-ზე მოყვანილი სახით



ნახ. 10.1

მაშასადამე, გამოსასვლელი სიგნალის კომპლექსური მომვლები წარმოადგენს დროში ნელა ცვლად რხევას სპექტრალური სიმკრივით $G_{გამ}(\Omega)=G_{შეს}(\Omega)K_{დს}(j\Omega)$. (2.45)

სიხშირულად-გამორჩევად სისტემაში ვიწროზოლოვანი სიგნალის გავლის ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა დასაწყისში ვიპოვოთ შესასვლელი კომპლექსური მომვლების ზემოქმედების რეზულტატი საწყისი სისტემის **დს**-ექვივალენტზე, ხოლო შემდეგ გადავიდეთ გამოსასვლელი სიგნალის პოვნაზე

$$u_{გამ}(t)=\mathrm{Re}\left[\tilde{U}_{გამ}(t)e^{j\omega_0 t}\right] \tag{2.46}$$

(2.44) ტოლობა შეესაბამება სისტემის გამოსასვლელი სიგნალის პოვნის სპექტრალურ მეთოდს. ტოლფასოვნად შესაძლებელია გამოყენება ცნობილი მეთოდების, მაგალითად **ოპერატორული** მეთოდის, ასევე **დუამელის ინტეგრალის** მეთოდის, რომლის თანახმად

$$\tilde{U}_{გამ}(t)=\int_{-\infty}^{t}\tilde{U}_{შეს}(\tau)h_{დს}(t-\tau)d\tau. \tag{2.47}$$

სადაც $h_{დს}(t)$ - **დს**-ექვივალენტის იმპულსური მახასიათებელია

***დაბალსიხშიროვან ექვივალენტს, განხილულს როგორც დინამიური სისტემა, აქვს უფრო დაბალი რიგი, ვიდრე საწყის ვიწროზოლოვან წრედს. ამიტომ გამოსასვლელზე კომლექსური მომვლების პოვნა წარმოადგენს გაცილებით მარტივ ამოცანას.**

10.2. ამპლიტუდურ-მოდულირებული (ამ) სიგნალის ზემოქმედება ერთკონტურულ რეზონანსულ გამაძლიერებლებზე

პირველ მაგალითად განვიხილოთ ამოცანა - ერთტონალური **ამ**-რხევის $u_{შეს}(t)=U_0(1+M\cos\Omega t)\cos\omega_0 t$ გასვლა ერთკოტურიან რეზონანსურ მაძლიერებელში გადაცემის სიხშირულ კოეფიციენტით $K(j\omega)=\dfrac{-K_{რეზ}}{1+j\left(\omega-\omega_{რეზ}\right)\tau_{კ}}$.

შემოვიტანოთ გასამარტივებელი დაშვება –ჩავთვალოთ, რომ რეზონანსური სიხშირე $\omega_{რეზ}$ და გადამტანი რხევის ω_0 სიხშირე ერთმანეთს ემთხვევა. ავიღოთ ეს სიხშირე საყდენ სიხშირად, მივიღებთ შესასვლელი სიგნალის კომპლექსურ მომვლებს

$$\tilde{U}_{შეს}(t)=U_0(1+M\cos\Omega t), \tag{2.48}$$

სადაც M - მოდულაციის კოეფიციენტია.

გამაძლიერებელის **დს**-ექვივალენტის გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტი იქნება $K_{\text{დს}}(j\Omega)=\dfrac{-K_{\text{რეზ}}}{1+j\Omega\tau_{\text{კ}}}$. (2.49)

გამოსასვლელი კომპლექსური მომვლები შეიძლება ვიპოვოთ (2.48) და (2.49), ჩვეულებრივი კომპლექსური ამპლიტუდების მეთოდის გამოყენებით, რომელიც ცნობილია წრედების თეორიიდან:

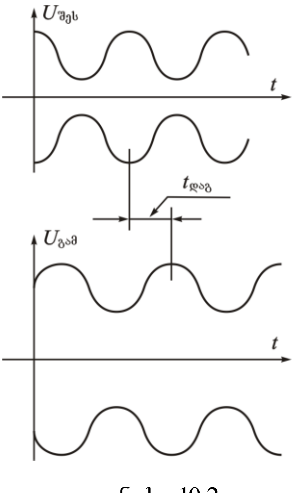
$$\tilde{U}_{\text{გამ}}(t)=-K_{\text{რეზ}}U_0-\frac{K_{\text{რეზ}}U_0M}{\sqrt{1+\Omega^2\tau_{\text{კ}}^2}}\cos(\Omega t-\vartheta_\Omega),$$

სადაც **ფაზური წანაცვლება** $\vartheta_\Omega=arctg\Omega\tau_{\text{კ}}$.

კომენტარი:* *ამოხსნის ხერხი მარტივია იმიტომ, რომ შესასვლელი კომპლექსური მომვლები არის მუდმივი მდგენელის და ჰარმონიული რხევის ჯამი.

(2.46) ფორმულის გამოყენებით თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ კონტურის დროის მუდმივა $\tau_{\text{კ}}=2\Omega_{\text{ეკ}}/\omega_{\text{რეზ}}$, მაშინ გამაძლიერებელის გამოსასვლელი სიგნალი:

$$u_{\text{გამ}}(t)=-K_{\text{რეზ}}U_0\left[1-\frac{M}{\sqrt{1+\xi_\Omega^2}}\cos(\Omega t-\vartheta_\Omega)\right]\cos\omega_0 t, \quad (2.50)$$



ნახ. 10.2

სადაც $\xi_\Omega=2Q_{\text{ეკ}}\Omega/\omega_{\text{რეზ}}$ - რხევითი კონტურის განზოგადებული აშლაა ზედა გვერდით სიხშირეზე.

მაშასადამე, რეზონანსური გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე არსებობს რხევა, რომელიც, მომდევნო ამპლიტუდური გაძლიერებისას ინარჩუნებს **ამ**-სიგნალის ერთტონალობას. მაგრამ გამოსასვლელზე მოდულაციის კოეფიციენტი ნაკლებია, ვიდრე შესასვლელზე: $M_{\text{გამ}}=\dfrac{M}{\sqrt{1+\xi_\Omega^2}}$. (2.51)

ამის გარდა, გამოსასვლელი სიგნალის მომვლები ჩამორჩება (ნახ. 10.2) შესასვლელი სიგნალის მომვლებს $t_{\text{დაყ}}=\vartheta_\Omega/\Omega$ დროით.

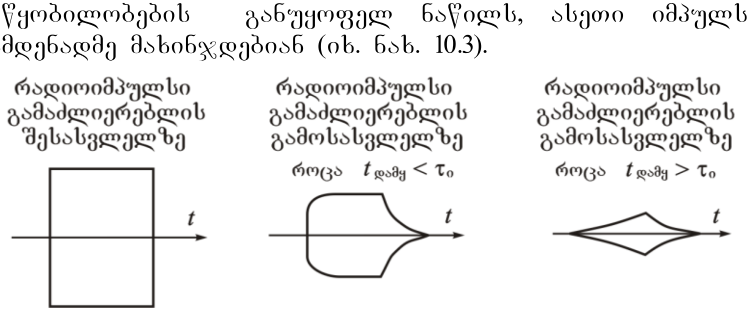
მაგალითი 2.6. *ამ-სიგნალი პარამეტრებით: მოდულაციის კოეფიციენტი* $M=0,8$, *რეზონანსული სიხშირე* $\omega_0=\omega_{რეზ}=5\cdot10^6$ წმ$^{-1}$, $\Omega=3\cdot10^4$ წმ$^{-1}$ *გადის გამაძლიერებელში, რომელიც აწყობილია გადამტან სიხშირეზე. გამაძლიერებლის კონტურის ექვივალენტური ვარგისობა* $Q_{ეკ}=75$. *იპოვეთ* $M_{გამ}$ *და* $t_{დაგ}$.

ამოხსნა: *რხევითი კონტურის განზოგადებული აშლა ზედა გვერდით სიხშირეზე* $\xi_\Omega=2\cdot Q_{ეკ}\cdot\Omega/\omega_0=2\cdot75\cdot3\cdot10^4/5\cdot10^6$ =0,9 , აქედან ფორმულით $M_{გამ}=\dfrac{M}{\sqrt{1+\xi_\Omega^2}}$ ვპოულობთ $M_{გამ}=\dfrac{0,8}{\sqrt{1+0,81}}=0,59$.

ამრიგად, ადგილი აქვს მოდულაციის სიღრმის საგძნობ შემცირებას. ვინაიდან ფაზური წანაცვლება განისაზღვრება $\vartheta_\Omega=arctg\Omega\tau_კ$ *,ხოლო* $\tau_კ=2\Omega_{ეკ}/\omega_{რეზ}=2\cdot75/5\cdot10^6$, *მაშინ* $\vartheta_\Omega=arctg\,0,9=0.733$ *რად და მოვლების* $t_{დაყ}$ *დაყოვნება შეადგენს* $t_{დაყ}=\vartheta_\Omega/\Omega=0,733/\left(3\cdot10^4\right)=24$ მკწმ.

10.3. ჰარმონიული ემძ-ის ჩართვის იმპულსის ზემოქმედება რეზონანსულ გამაძლიერებელზე

მრავალ რადიოტექნიკურ სისტემაში (რადიოლოკაციური, მრავალარხიანი კავშირის სისტემები) სასარგებლო ინფორმაცია გადაიცემა მართკუთხა იმპულსების მიმდევრობის საშუალებით. გადიან რა რეზონანსულ სიხშირულად გამორჩევად სისტემებში, რომლებიც შეადგენენ რადიომიმღები მოწყობილობების განუყოფელ ნაწილს, ასეთი იმპულსები რამდენადმე მახინჯდებიან (იხ. ნახ. 10.3).



ნახ. 10.3

იმისათვის, რომ შევაფასოთ ამ არასასურველი დამახინჯებების ხარისხი, ამოვხსნათ გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტის $K(j\xi_{ეკვ}) = \dfrac{-SR_{რეზ.ეკვ}}{1+j\xi_{ეკვ}}$ (თავი 8 (2.12)) მქონე ერთკონტურიანი რეზონანსული გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე სიგნალის შესახებ ამოცანა, იმ პირობის დროს, რომ შესასვლელზე მოქმედებს სიგნალი $u_{შეს}(t) = U_m \cos(\omega_0 t)\cdot\sigma(t)$.

ვთქვათ გამაძლიერებელი აწყობილია **მატარებელ** სიხშირეზე ე.ი. $\omega_{რეზ}(t) = \omega_0$. მაშინ, ამ სიხშირის არჩევისას საყრდენ სიხშირედ, კომპლექსური მომვლებისთვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$\tilde{U}_{შეს}(t) = U_m\sigma(t). \qquad (2.52)$$

(2.49) გადაცემის სიხშირული კოეფიციენტის მქონე წრფივ სისტემაზე (2.52) სიგნალის ზემოქმედების შესახებ ამოცანა განხილული იყო მე-8 თავში *RC* წრედის გარდამავალი მახასიათებლის შესწავლისას. ამიტომ შეიძლება ვისარგებლოთ ცნობილი შედეგით და ჩავწეროთ

$$\tilde{U}_{გამ}(t) = -K_{რეზ}U_m[1-\exp(-t/\tau_k)]\sigma(t). \qquad (2.53)$$

მაშინ გამაძლიერებლის გამოსასვლელი სიგნალი

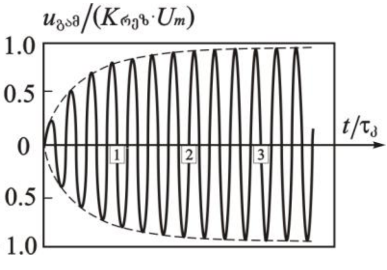
$$u_{გამ}(t) = -K_{რეზ}U_m[1-\exp(-t/\tau_k)]\cos(\omega_0 t)\sigma(t). \qquad (2.54)$$

(2.54) ფორმულის მიხედვით აგებული გრაფიკი ნახ. 10.4 ნაჩვენებია სიგნალის სიხშირეზე აწყობილი რეზონანსული გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე რხევების დამყარების პროცესი

გამოსასვლელი სიგნალის მიმდინარე ამპლიტუდა აღწევს სტაციონარული მნიშვნელობის $K_{რეზ}U_m$ 0.9 დონეს ***დამყარების დროის*** განმავლობაში

$$t_{დამყ} = 2.303\tau_{კ} = 4.606Q_{ეკვ}/\omega_{რეზ}. \qquad (2.55)$$

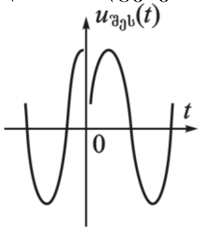
ამგვარად,კონტურის მაღალ ვარგისიანობას მივყავართ იმპულსის მომვლების არსებით დამახინჯემამდე.



ნახ. 10.4

10.4. ფაზომანიპულირებადი სიგნალების ზემოქმედება რეზონანსულ გამაძლიერებელზე

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, თანამედროვე რადიოტექნიკაში ხშირად გამოიყენება სიგნალები, რომლებიც წარმოადგენენ ჰარმონიული რხევების მონაკვეთებს, რომელთა საწყისი ფაზა იცვლება ნახტომებით დროის დისკრეტულ მომენტებში. მსგავს სიგნალებს უწოდებენ ***ფაზომანიპულირებულ რხევებს*** (იხ. ნახ, 10.5).



ნახ. 10.5

ასეთი სიგნალების სიხშირულად-გამორჩევად წრედებში გატარების შესწავლისას განვიხილოთ მოდელური ამოცანა ერთკონტურიან რეზონანსულ გამაძლიერებელზე, რომლის შესასვლელზე მოქმედებს სიგნალი ფაზის ნახტომისებური ცვლილებით φ_0 რადიანზე, როცა $t=0$:

$$u_{შეს}(t)=\begin{cases} U_m\cos(\omega_{რეზ}t) & t<0, \\ U_m\cos(\omega_{რეზ}t+\varphi_0) & t\ge 0. \end{cases} \tag{2.60}$$

ამ სიგნალს პასუხობს კომპლექსური მომვლები

$$\tilde{U}_{შეს}(t) = -U_m[\sigma(-t)+e^{j\varphi_0}\sigma(t)]. \tag{2.61}$$

დუამელის ინტეგრალის მეთოდის გამოყენებით ვპოულობთ გამოსასვლელზე კომპლექსურ მომვლებს:

$$\tilde{U}_{გამ}(t) = -\frac{K_{რეზ}U_m}{\tau_კ}\int_{-\infty}^{t}\left[\sigma(-\tau)+e^{j\varphi_0}\sigma(\tau)\right]e^{-(t-\tau)/\tau_კ}d\tau \tag{2.62}$$

როცა $t<0$ (2.62) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\tilde{U}_{გამ}(t) = -\frac{K_{რეზ}U_m}{\tau_კ}\int_{-\infty}^{t}e^{-(t-\tau)/\tau_კ}d\tau = -K_{რეზ}U_m, \tag{2.63}$$

ე.ი. ფაზის ნახტომის მომენტამდე გამაძლიერებელი იმყოფება ჰარმონიული აღგზნების სტაციონარულ რეჟიმში. თუ $t>0$, მაშინ

$$\tilde{U}_{გამ}(t) = -\frac{K_{რეზ}U_m}{\tau_კ}\int_{-\infty}^{t}e^{-(t-\tau)/\tau_კ}d\tau - \frac{K_{რეზ}U_m e^{j\varphi_0}}{\tau_კ}\int_{-\infty}^{t}e^{-(t-\tau)/\tau_კ}d\tau = \tag{2.64}$$

$$= K_{რეზ}U_m[e^{-t/\tau_კ}+e^{j\varphi_0}(1-e^{-t/\tau_კ})].$$

ავღნიშნოთ, რომ როცა $t=0$ (2.63) და (2.64) გამოსახულებები გვაძლევენ ერთნაირ შედეგს: $\tilde{U}_{\text{გამ}}(0)=-K_{\text{რეზ}}U_m$. თუ $t/\tau_k \gg 1$, მაშინ $\tilde{U}_{\text{გამ}}(t)\approx -K_{\text{რეზ}}U_m exp(j\varphi_0)$, , ე.ი. გარდამავალი სისტემის დასრულებისას სისტემა გადადის ახალ სტაციონარულ მდგომარეობაში, რომელიც განსხვავდება საწყისისაგან φ_0 რადიანის ტოლი ფაზური ძვრით.

კომპლექსური მომვლების მოდულის გამოთვლისას, ვპოულობთ გამოსახულებას გამოსასვლელი სიგნალის მომვლებისათვის როცა $t>0$:

$$U_{\text{გამ}}(t)=K_{\text{რეზ}}U_m\left\{[e^{-t/\tau_{\text{კ}}}+(1-e^{-t/\tau_{\text{კ}}})\cos\varphi_0]^2+(1-e^{-t/\tau_{\text{კ}}})^2\sin^2\varphi_0\right\}^{1/2}.$$

(2.65)

(აიღება კვადრატული ფესვის დადებითი მნიშვნელობა) პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება სიგნალები 180^0-იანი ფაზური მანიპულაციით. ამ კერძო შემთხვევაში

$$U_{\text{გამ}}(t)=K_{\text{რეზ}}U_m\left|2exp(-t/\tau_{\text{კ}})-1\right|.$$

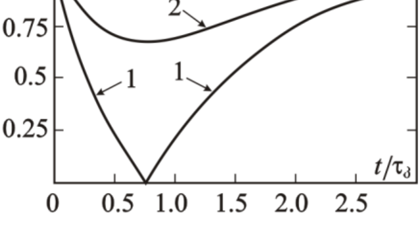
აქ გამოსასვლელი სიგნალის ამპლიტუდა ხდება ნულის ტოლი t_0 დროის მომენტში, რომელიც წარმოადგენს

$$2exp(-t_0/\tau_{\text{კ}})-1=0,$$

განტოლების ფესვს, საიდანაც $t_0=0.693\tau_{\text{კ}}$ (იხ. ნახ. 10.6). (2.67)

t_0 დროის მომენტში შესასვლელი სიგნალი საბოლოოდ "აქრობს" რხევებს, რომლებიც არსებობს კონტურში ფაზის ნახტომამდე

ნახ. 10.6 მოყვანილია რეზონანსური მაძლიერებლის გამოსასვლელი სიგნალები აღგძნებული ფაზომანიპულირებადი სიგნალების გავლის შემდეგ. ნაჩვენებია ფიზიკური მომვლების დამოკიდებულება უგანზომილებო პარამეტრზე $t/\tau_{\text{კ}}$ ფაზური φ_0 ორი ძვრის: 1 – როცა $\varphi_0=180^0$; 2 როცა $\varphi_0=90^0$ მნიშვნელობისას.



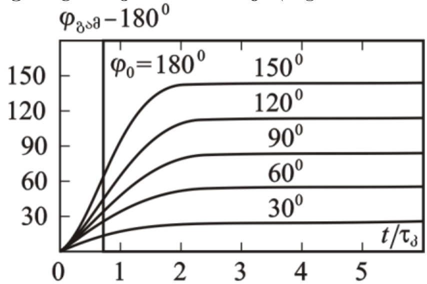
თუ $\varphi_0=180^0$, მაშინ გამოსასვლელი რხევის ამპლიტუდა დასაწყისში მდორედ

ნახ. 10.6 მცირდება ნულამდე, ხოლო შემდეგ კვლავ იზრდება თავდაპირველ დონემდე კონტურის რამდენიმე რიგის დროის მუდმივას ინტერვალის განმავლობაში.

ფაზომანიპულირებადი სიგნალების მიმღებების პროექტირებისათვის პირველხარისხოვან ინტერესს წარმოადგენს გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე მყისიერი ფაზის ცვლილების კანონი. გამოსასვლელი კომპლექსური მომვლების ჩაწერით ფორმით $\tilde{U}_{გამ}(t) \approx U_{გამ}(t)exp[(j\varphi_{გამ}(t)],$ (2.64) ფორმულიდან გვაქვს მყისიერი ფაზის (რად) შემდეგი გამოსახულება:

$$\varphi_{გამ}(t) = \pi + \arg[(1-e^{-t/\tau_k})\cos\varphi_0 + e^{-t/\tau_k} + j(1-e^{-t/\tau_k})^2 \sin\varphi_0)]. \qquad (2.68)$$

მარჯვენა ნაწილის პირველი შესაკრები გვაძლევს მუდმივ ფაზურ ძვრას, რომელიც არ ასრულებს პრინციპიალურ როლს.



ნახ. 10.7 გამოსახულია მრუდები, რომლებიც აღწერენ გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე სიგნალების მყისიერი ფაზის ცვლადი ნაწილის დამოკიდებულებას უგანზომილებო პარამეტრზე $t/\tau_კ$.

$\varphi_0 = 180^0$ არის **გადაგვარებული შემთხვევა**; აქ გამოსასვლელის ფაზა იცვლება ნახტომისებურად $t = t_0$ დროის მომენტში [იხ. ფორმულა (2.67)]. φ_0-ის სხვა მნიშვნელობებისას კი გამოსასვლელზე სიგნალის ფაზა იცვლება დროში უწყვეტად.

გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე რხევების ფაზა მყარდება კონტურის დროის მუდმივას რიგის დროის მონაკვეთზე.