

**Elektrinių grandinių įtampos perdavimo-stiprinimo koeficiento K_u
dažninės $K_u(\omega)$ ir fazinės $\varphi_u(\omega)$ charakteristikų matavimas dviejų
statmenai svyruojančių signalų sudėties būdu.**

Lisąžu figūrų metodas

Bet kuri elektrinė grandinė gali būti atvaizduota keturpoliu (1 pav.).



1 pav. Elektrinės grandinės ekvivalentas- keturpolis

1 pav. parodytas keturpolis turi įėjimo gnybtus, kurie yra veikiami įėjimo signalo įtampos U_{in} arba srovės I_{in} , kurių poveikyje keturpolio išėjimo gnybtuose atsiranda išėjimo signalo (reakcijos) įtampa U_{iss} arba srovė I_{iss} . Vienas iš pagrindinių keturpolio elektrines savybes charakterizuojančių parametrų yra jo įtampos K_u arba (ir) srovės K_i , arba (ir) galios K_p perdavimo-stiprinimo koeficientai:

$$K_u = U_{iss}/U_{in}, \quad K_i = I_{iss}/I_{in}, \quad K_p = (I_{iss} \cdot U_{iss}) / (I_{in} \cdot U_{in}) = P_{iss} / P_{in} \quad (1)$$

Keturpolio įtampos K_u bei srovės K_i perdavimo-stiprinimo koeficientai bendru atveju yra kompleksiniai dydžiai, kurių amplitudės $|K_{u,i}|$ bei fazės $\varphi_{u,i}$ dažninės charakteristikos $K_{u,i}(\omega)$ bei $\varphi_{u,i}(\omega)$, atitinkamai, yra išreiškiamos per atitinkamo kompleksinio dydžio realųjį $\text{Re}\{K_{u,i}\}$ ir menamąjį $\text{Im}\{K_{u,i}\}$ sandus taip:

$$K_{u,i}(\omega) = [\text{Re}^2\{K_{u,i}\} + \text{Im}^2\{K_{u,i}\}]^{1/2}, \quad (2)$$

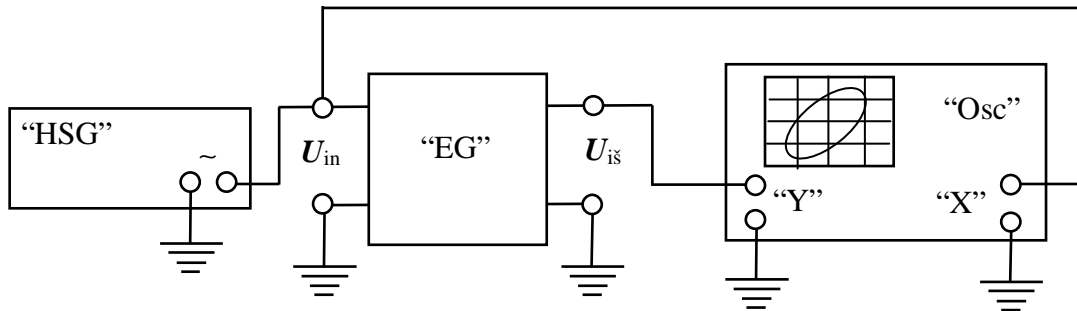
$$\varphi_{u,i}(\omega) = \text{arctg} [\text{Im}\{K_{u,i}\} / \text{Re}\{K_{u,i}\}], \quad (3)$$

kur: $\varphi_{u,i}(\omega)$ - išėjimo signalo U_{iss} (arba I_{iss}) fazė atžvilgiu įėjimo signalo U_{in} (arba I_{in}), arba kitaip išsireiškiant- dydis $\varphi_{u,i}(\omega)$ yra signalų $U_{iss} = U_{iss} \cdot e^{j \cdot \varphi_{iss}}$ ir $U_{in} = U_{in} \cdot e^{j \cdot \varphi_{in}}$ (arba srovių $I_{iss} = I_{iss} \cdot e^{j \cdot \varphi_{iss}}$ ir $I_{in} = I_{in} \cdot e^{j \cdot \varphi_{in}}$) atitinkamų įtampų arba srovių fazių $\varphi_{iss}(\omega)$ ir $\varphi_{in}(\omega)$ skirtumas: $\Delta\varphi_{u,i}(\omega) = \varphi_{iss}(\omega) - \varphi_{in}(\omega) \equiv \varphi_{u,i}(\omega)$.

Bet kokio keturpolio įtampos arba (ir) srovės perdavimo-stiprinimo koeficientų K_u ir K_i , atitinkamai, dažninės charakteristikos $K_{u,i}(\omega)$ ir $\varphi_{u,i}(\omega)$ gali būti eksperimentiškai ištirtos

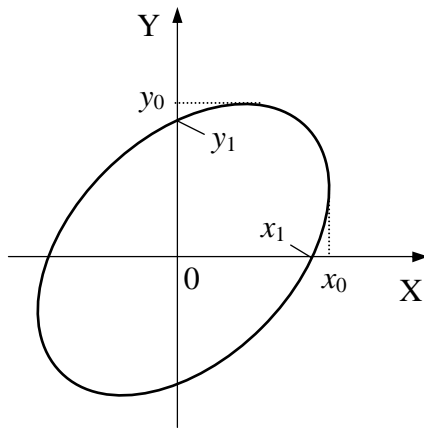
Lisažu figūrų metodą. Šio metodo esmė yra dviejų kanalų (dviejų spindulių) oscilografo taikymas.

Realizuojant Lisažu figūrų metodą, oscilografo vidinės skleistinės pjūklinės įtampos generatorius yra atjungiamas nuo “X” atlenkimo plokštelių (oscilografo elektroniniame vamzdyje) ir šios plokštelės kartu su “Y” atlenkimo plokštelėmis yra prijungiamos prie atitinkamų oscilografo kanalų- “1” ir “2” arba “A” ir “B” ir t.t. Matuojamasis keturpolis “EG” į matavimo grandinę turi būti įjungtas taip, kaip yra parodyta 2 pav.



2 pav. Keturpolio “EG” įtampos arba (ir) srovės perdavimo-stiprinimo koeficientų K_u ir K_i , atitinkamai, dažninės $K_{u,i}(\omega)$ ir fazinės $\varphi_{u,i}(\omega)$ charakteristikų matavimo grandinė Lisažu figūrų metodu, kur:
 “HSG”- harmoninių signalų generatorius; “EG”- tiriamoji elektrinė grandinė;
 “Osc”- oscilografas

Iš 2 pav. parodytos matavimo grandinės matome, kad Lisažu figūrų metodas yra realizuojamas tik tada, kai tiriamo keturpolio “EG” išėjimo signalas $U_{i\text{š}}$ (arba $I_{i\text{š}}$) yra paduodamas į oscilografo “Osc” kanalą, kuris yra sujungtas su “Y” atlenkimo plokštelėmis, o įėjimo signalas $U_{i\text{in}}$ (arba $I_{i\text{in}}$) yra paduodamas į oscilografo “Osc” kanalą sujungta su “X” atlenkimo plokštelėmis. Čia pastebėsime, kad Lisažu figūrų metodas veikia tik harmoninių signalų atveju, t.y., kai tiriamieji signalai $U_{i\text{in}}, i\text{š}}$ (arba $I_{i\text{in}}, i\text{š}}$) atitinka harmoninės funkcijos pavidalą: $A = A_o \cdot e^{j\varphi}$ arba $A = A_{re} + j \cdot A_{im}$, arba $A = A_o \cdot (\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi)$. Todėl 2 pav. parodytoje matavimo schemoje yra naudojamas harmoninių signalų generatorius “HSG” ir šiuo atveju tiriamasis keturpolis “EG” turi būtinai tenkinti tiesinio keturpolio sąlyga- veikti mažo signalo veika, t.y. turi būti tenkinama “mažo signalo” sąlyga. Esant šioms sąlygoms oscilografo ekrane bendru atveju yra stebima dviejų statmenai sudėtų to paties dažnio (arba skirtingų dažnių) signalų $U_{i\text{š}}, i\text{in}}$ (arba $I_{i\text{š}}, i\text{in}}$) tipinė oscilograma- Lisažu figūra, pvz. vienodų dažnių atveju yra stebima elipsė, kurios vaizdas yra parodytas 3 pav. Matavimo metu būtina užtikrinti, kad elipsės ar kitos Lisažu figūros simetrijos centras sutaptu su oscilografo ekrano matavimo tinklelio centru, t. y. sutaptu su koordinatinių ašių “Y”-“X” pradžios tašku- “0”.



$K_u(\omega) = y_0/x_0$ - įtampos perdavimo-stiprinimo koeficientas

$\varphi_u(\omega) = \arcsin(x_1/x_0) \equiv \arcsin(y_1/y_0)$ - fazė

3 pav. Dviejų statmenai sudėtų to paties dažnio signalų tipinė oscilograma, matuojant Lisažu figūrų metodu

Dažniausiai oscilografo kanalų įėjimo varža yra daug didesnė už matuojamos grandinės įėjimo ir išėjimo varžas. Todėl, kaip taisyklė, oscilografas tenkina įtampos matavimo prietaiso- voltmetro reikalavimą ir Lisažų figūrų metode yra matuojamos oscilogramos kreivės atitinkamų taškų įtampos- y_0, y_1 arba x_0, x_1 (3 pav.). Iš 3 pav. matome, kad y_0 ir x_0 yra Lisažu figūros kreivės taškų didžiausios vertės „Y“ bei „X“ ašių kryptimis, atitinkamai. Tuo tarpu taškai y_1 ir x_1 - Lisažu figūros kreivės susikirtimo vietų su „Y“ bei „X“ ašimis taškų įtampų vertės, atitinkamai. Išmatavus Lisažu figūros kreivės taškų y_0, y_1 arba (ir) x_0, x_1 įtampų vertes galima apskaičiuoti išėjimo signalo $U_{i\tilde{}}$ (arba $I_{i\tilde{}}$) fazę $\varphi_{u,i}(\omega)$ atžvilgiu įėjimo signalo U_{in} (arba I_{in}) bei įtampos arba (ir) srovės perdavimo-stiprinimo koeficientų K_u ir K_i , atitinkamai, modulių $|K_u|$ ir $|K_i|$, atitinkamai, dažninės charakteristikas $K_u(\omega)$ ir $K_i(\omega)$, atitinkamai. Keturpolio koeficientų $K_{u,i}(\omega)$ bei fazės $\varphi_{u,i}(\omega)$ išraiškos (3 pav.) per išmatuotus Lisažu figūrų metodu parametrus y_0, y_1 arba (ir) x_0, x_1 yra gaunamos, pvz. tokiu būdu.

Į oscilografo „Osc“ atitinkamus kanalus „X“ ir „Y“ (2 pav.) patenkantys elektrinei signalai, pvz. įtampų signalai U_{in} ir $U_{i\tilde{}}$, atitinkamai, yra išreiškiami taip:

$$U_{in\sim} = U_{in\ o} \cdot \sin(\omega t), \quad U_{i\tilde{\sim}} = U_{i\tilde{\ o}} \cdot \sin(\omega t \pm \varphi_u), \quad (4)$$

kur: $U_{in\ o}$ ir $U_{i\tilde{\ o}}$ - atitinkamų signalų amplitudės; φ_u - išėjimo signalo $U_{i\tilde{\sim}}$ fazė atžvilgiu įėjimo signalo $U_{in\sim}$, arba šių signalų $U_{i\tilde{\sim}}$ ir $U_{in\sim}$ fazių skirtumas.

Iš 2 pav. matome, kad įėjimo signalas $U_{in\sim}$ yra paduotas į oscilografo „X“ atlenkimo plokšteles, o išėjimo signalas $U_{i\tilde{\sim}}$ yra paduotas į oscilografo „Y“ atlenkimo plokšteles. Todėl oscilografo ekrane elektroninis spindulys atsilenkia tiesiog proporcingai šioms įtampoms atitinkamomis kryptimis ir šio automatinio statmenai svyruojančių signalų sumavimo išdavoje oscilografo ekrane yra gaunamos įvairios Lisažu figūros. Kai sumuojamų signalų dažniai yra

vienodi, Lisažu figūros atitinka elipsės arba apskritimo, arba tiesės pavidalus. Taigi iš čia seka, kad Lisažu figūros oscilogramos taškų koordinatės y ir x (3 pav.) yra išreiškiamos taip:

$$x = U_{in} = U_{in0} \cdot \sin(\omega t), \quad y = U_{is} = U_{is0} \cdot \sin(\omega t \pm \varphi_u). \quad (5)$$

Iš išraiškų (5) randame Lisažu figūros kreivės lygtį- $y = F(x)$, eliminavę kintamąjį ωt :

$$\begin{aligned} y &= U_{is0} \cdot [\cos(\pm \varphi_u) \cdot \sin(\omega t) + \sin(\pm \varphi_u) \cdot \cos(\omega t)] = \\ &= U_{is0} \cdot \{x \cdot \cos(\pm \varphi_u) / U_{in0} + \sin(\pm \varphi_u) \cdot [1 - \sin^2(\omega t)]^{1/2}\} = \\ &= U_{is0} \cdot \{x \cdot \cos(\pm \varphi_u) / U_{in0} + \sin(\pm \varphi_u) \cdot [1 - (x/U_{in0})^2]^{1/2}\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Iš gautos Lisažu figūros kreivės išraiškos (6) ir 3 pav. randame:

kai $x = 0$, koordinatė y yra:

$$y = y_1 = U_{is0} \cdot \sin(\pm \varphi_u); \quad (7)$$

kai $y = 0$, koordinatė $x = x_1$ ir jos vertę gauname taip:

$$0 = U_{is0} \cdot \{x_1 \cdot \cos(\pm \varphi_u) / U_{in0} + \sin(\pm \varphi_u) \cdot [1 - (x_1/U_{in0})^2]^{1/2}\},$$

ir iš čia nesunkiai randame:

$$x_1 = U_{in0} \cdot \sin(\pm \varphi_u). \quad (8)$$

Iš išraiškų (5) seka akivaizdžios tapatybės:

$$x_0 = U_{in0}, \quad y_0 = U_{is0}, \quad (9)$$

ir iš (7) ÷ (9) bei (1) gauname:

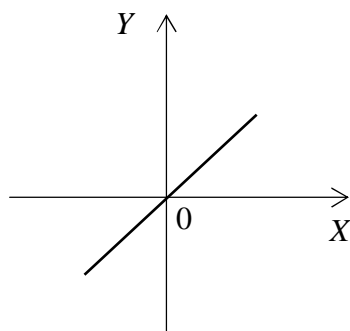
$$\varphi_u(\omega) = \arcsin(x_1/x_0) \equiv \arcsin(y_1/y_0), \quad (10)$$

$$K_u(\omega) = y_0/x_0. \quad (11)$$

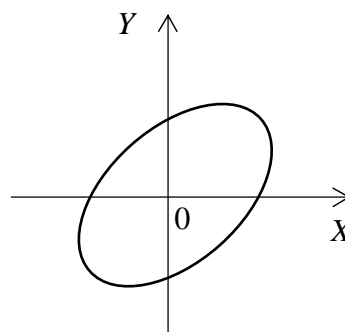
Čia pastebėsime, kad dažniausiai nepriklausomai nuo oscilografo veikimo būdo elektroninio spindulio atlenkimo „Y“ kryptis yra sugraduota įtampos matavimo vienetais. Todėl fazės $\varphi_u(\omega)$ apskaičiavimui iš išraiškos (10) tikslinga matuoti Lisažu figūros kreivės taškų y_1 ir y_0 parametrus, o koeficiento $K_u(\omega)$ vertei iš išraiškos (11) apskaičiuoti reikalinga parametro x_0 vertė yra nustatoma matuojant įėjimo įtampos U_{in} amplitudinę vertę U_{in0} oscilografo „X“ kanale (2 pav.).

Lisažu figūrų oscilogramos, esant įvairioms fazėms $\varphi_u(\omega)$

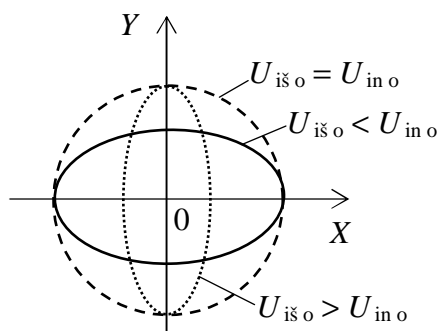
tarp $U_{i\sim}$ ir $U_{in\sim}$ signalų



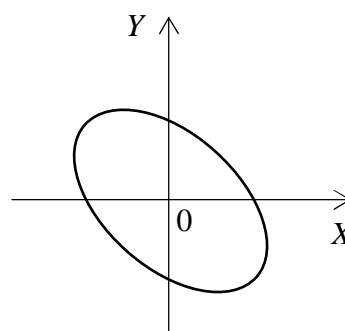
$\varphi_u(\omega) = 0^\circ$ arba $k \cdot 360^\circ$,
kur $k = 0, 1, 2, \dots$



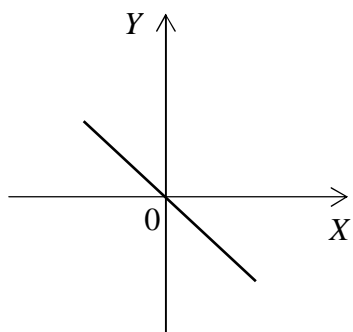
$\varphi_u(\omega) = 30^\circ$ arba 330° ,
 $270 < \varphi_u(\omega) < 90^\circ$



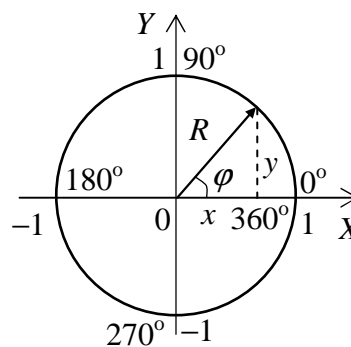
$\varphi_u(\omega) = 90^\circ$ arba 270°



$\varphi_u(\omega) = 150^\circ$ arba 210° ,
 $90^\circ < \varphi_u(\omega) < 270^\circ$



$\varphi_u(\omega) = 180^\circ$



Vienetinis apskritimas- $R = 1$

$y^2 + x^2 = R^2 = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$