

Matavimo signalų šaltiniai

Šiame skyriuje nagrinėjamos matavimo priemonės nėra tiesiogiai matuojančios elektrinius signalų ar grandinių parametrus, tačiau nemažiau svarbios. Jos kuria žinomų parametrų elektrinius virpesius – testavimo signalus, kurie naudojami tiriamose grandinėse. Tada kitos matavimo priemonės gali matuoti šiose grandinėse vykstančių procesų elektrinius parametrus.

Kuriami gali būti nuolatinės ar kintamosios srovės virpesiai. Pastarieji gali būti labai įvairių formų ir parametrų, priklausomai nuo konkretaus matavimo reikmių. Paprasčiausiu atveju tai sinusinės formos virpesiai. Sudėtingesniais atvejais tai gali būti periodiniai trikampio ar stačiakampio formos impulsų pavidalo virpesiai, kintančio dažnio arba moduluotieji sinusiniai ir kitokios formos virpesiai.

2.1. Bendrosios žinios ir klasifikavimas

2.1.1. Klasifikavimas

Matavimo virpesių šaltiniai teikia reikiamos formos, amplitudės ir dažnio elektrinius virpesius. Nuo paprastų virpesių šaltinių jie skiriasi tuo, kad turi normuotas metrologines charakteristikas, kurios

nustato šių virpesių šaltinių teikiamų virpesių parametrus.

Signalų šaltinių svarbiausios metrologinės charakteristikos yra tokios: **virpesių dažnių diapazonas, dažnio nustatymo tikslumas ir jo stabilumas, išėjimo įtampos keitimo ribos, jos nustatymo tikslumas ir stabilumas, išėjimo varža ir signalo formos charakteristikos** (pvz., harmoninio signalo netiesinių iškraipymų koeficientas, periodinio impulsinio signalo retis, impulsų trukmė, pjūklo pavidalo virpesio tiesiškumas ir kiti).

Signalų šaltinius literatūroje dažnai vadina *signalų generatoriais* arba **matavimo generatoriais**. Šiame skyriuje ir knygoje naudosime pirmąjį terminą.

Pagal generuojamų virpesių formą signalų generatoriai skirstomi į **harmoninių virpesių, impulsinių virpesių ir funkcinis generatorius**. Pastarieji teikia ir harmoninės ir kitokios formos virpesius: stačiakampių impulsų, trikampės simetrinės, trikampės asimetrinės (pjūklo dantų formos) ir kitokios. Dar naudojami plataus spektro virpesių – **triukšmų** – generatoriai.

Pagal virpesių dažnių diapazoną generatoriai skirstomi į **žemojo dažnio, aukštojo dažnio, superaukštojo dažnio, video dažnio, garsinio dažnio, ultragarsinio dažnio** ir kitus.

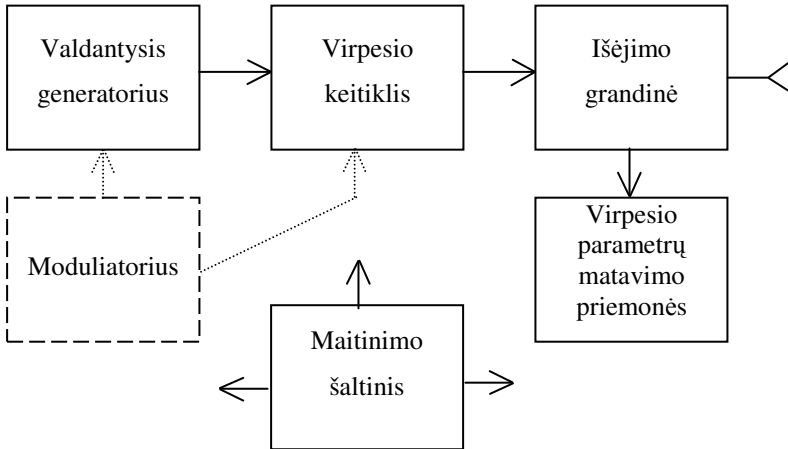
Nors signalų šaltiniai teikia analoginius signalus, kartais juos sąlyginai skirsto į analoginius ir skaitmeninius. Pastarąjį pavadinimą dažnai naudoja tuo atveju kai virpesys kuriamas ir dauguma virpesio keitimų vyksta skaitmeniniu būdu.

2.1.2. Apibendrintoji struktūrinė schema

Apibendrintoji signalų generatoriaus struktūrinė schema pateikta 2.1. paveiksle. Jos svarbiausi elementai yra valdantysis generatorius, virpesio keitiklis, išėjimo grandinė, moduliuojanti grandinė, išėjimo virpesio parametų kontrolės grandinė ir maitinimo šaltinis. **Valdantysis generatorius** kuria pradinį virpesį ir nustato generuojamų virpesių dažnių diapazoną, dažnio stabilumą bei jo nustatymo tikslumą. Žemųjų dažnių generatoriams tai būna **RC generatorius, interferencinis LC generatorius** arba **virpesio tiesioginis skaitmeninis sintezatorius**, aukštojo dažnio generatoriams tai būna **LC generatorius, interferencinis LC generatorius** arba **dažnio sintezatorius**. Superaukštojo dažnio

2. Matavimo signalų šaltiniai

generatoriuose valdantysis generatorius sudaromas naudojant schemas su **mikrobangų įtaisais**: gano diodais, galio arsenido tranzistoriais arba su klistronais ir magnetronais. Impulsų generatorių valdančiaisiais generatoriais būna RC generatoriai ir **multivibratoriai**, rečiau – **bloking-generatoriai**.



2.1 pav. Signalų šaltinio apibendrinotoji struktūrinė schema

Žemojo dažnio generatoriai dažniausiai veikia *nemoduliuotų virpesių* režimu, o auštojo dažnio generatoriai gali teikti nemoduliuotus, moduluotosios *amplitudės*, moduliuotojo *dažnio* bei *impulsais* manipuluotus virpesius. Superaukštojo dažnio generatoriai veikia nemoduliuotų ir moduliuotojo dažnio bei impulsais manipuluotų virpesių režimais.

Virpesio keitiklis keičia valdančiojo generatoriaus virpesio spektro parametrus. Dažnai jame yra keičiama virpesio amplitudė, o kartais ir forma. Jame įvykdoma ir amplitudės moduliacija ar manipuliacija.. Harmoninių virpesių generatorių virpesio keitiklis nekeičia virpesio formos ir juo būna tiesiniu stiprinimo režimu veikiantis **amplitudės** ir **galios stiprintuvas**. Stačiakampių impulsų generatoriuose šis elementas nustato generuojamo impulso trukmę ir amplitudę ir juo dažniausiai būna **laukiantis multivibratorius**. Funkciniuose generatoriuose virpesio formos keitimui gali būti naudojami **amplitudės ribotuvas**, **diferencialiniai** ir **integratoriai**.

2. Matavimo signalų šaltiniai

Aukšto dažnio generatoriuose be virpesio stiprinimo dar, kaip minėta, gali būti vykdoma ir jo amplitudės ar dažnio moduliacija ar manipuliacija.

Moduliuojanti grandinė turi savyje moduliuojančio virpesio šaltinį ir reikiamas kitas grandinės moduliacijos parametrų keitimui: moduliacijos gylį ar dažnio deviacijos valdymui. Moduliuojančio virpesio šaltiniu dažniausiai būna fiksuotojo dažnio harmoninių virpesių generatorius arba stačiakampių impulsų generatorius. Dažnio moduliacija ar manipuliacija, kaip žinoma, gali būti įvykdyta tik veikiant valdančiojo generatoriaus dažnį.

Išėjimo grandinė nustato generatoriaus išėjimo varžą ir įveda reikiamą amplitudės slopinimą, leidžiantį sumažinti išėjimo įtampą reikiamu žingsniu arba tolygiai.

Virpesių parametrų matavimo priemonės leidžia kontroliuoti virpesio *išėjimo įtampą*, kartais ir dažnį, o moduliuotųjų virpesių atveju – ir moduliacijos parametrus: *moduliacijos gylį* ar *dažnio deviaciją*.

Maitinimo šaltinis garantuoja generatoriaus schemos elementų maitinimą reikiamomis įtampomis ir srovėmis.

2.2. Harmoninių signalų generatoriai

2.2.1. Klasifikavimas ir parametrai

Priklausomai nuo generuojamų dažnių ribų harmoninių signalų generatoriai yra skirstomi į tokias grupes:

- Infražemųjų dažnių generatoriai, kurių dažnių diapazonas yra nuo 0,01 Hz iki 100 Hz;
- Žemųjų dažnių generatoriai, kurių dažnių diapazonas yra nuo 20 Hz iki 200 kHz;
- Aukštųjų dažnių generatoriai, kurių dažnių diapazonas yra nuo 100 kHz iki 3 GHz;
- Superaukštųjų dažnių generatoriai, kurių dažnių diapazonas yra nuo 1 GHz iki 100 GHz.

Nurodyti dažnių ruožai yra sąlygiški ir jų konkrečios vertės gali būti labai skirtingos konkrečiuose generatoriuose.

2. Matavimo signalų šaltiniai

Pagrindiniai harmoninių virpesių generatorių parametrai yra: virpesių dažnių diapazonas, dažnio nustatymo tikslumas, dažnio stabilumas, išėjimo įtampos keitimo ribos, išėjimo įtampos nustatymo tikslumas, išėjimo įtampos stabilumas, išėjimo varža ir signalo pašalinių produktų koeficientas.

Dažnių diapazonas gali būti ištisinis nuo $f_{\min}$ iki $f_{\max}$ arba suskaidytas į kelias dalis. Diapazono dalių kraštiniai dažniai turi su nežymia atsarga persidengti.

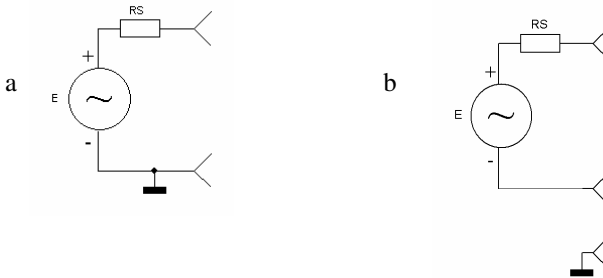
Dažnio nustatymo tikslumas rodo kiek tikrasis virpesio dažnis skiriasi nuo generatoriaus dažnio nustatymo įtaisais nustatyto ir rodomo *vardinio* dažnio. Paprastai šis parametras nurodomas santykinės dažnio nustatymo paklaidos dydžiu ir matuojamas procentais.

Dažnio stabilumas parodo kiek gali pasikeisti virpesio dažnis jį lyginant su nustatytuoju dažniu. Dažnio kitimas gali būti lėtas (dažnio dreifas) ir greitas (dažnio variacija). Kaip ir dažnio nustatymo tikslumas šis parametras norminamas santykinės dažnio ribinės nuokrypos nuo nustatyto *vardinio* dažnio dydžiu ir matuojamas procentais.

Išėjimo įtampos keitimo ribos parodo kokiose ribose nuo $U_{\min}$ iki $U_{\max}$ gali būti nustatyta išėjimo įtampos vertė. Išėjimo įtampos mažiausią galimą vertę riboja triukšmų įtampos lygis generatoriaus išėjime, o jos didžiausią vertę – generatoriaus *vardinė* galia. Išėjimo įtampa valdoma išėjimo grandinės varžiniais įtampos dalikliais – *ateniuatoriais* – padalinant įtampą. Paprastai naudojami dviejų pakopų įtampos dalikliai: viena pakopa leidžia įtampą keisti dekadiniu žingsniu (arba decibelais), o antra pakopa – tolygiai.

Išėjimo įtampos nustatymo tikslumas rodo kiek tikroji išėjimo įtampos vertė skiriasi nuo generatoriaus išėjimo įtampos nustatymo įtaisais nustatytos ir jo voltmetro rodomos *vardinės* įtampos. Paprastai šis parametras nurodomas santykinės įtampos nustatymo paklaidos dydžiu ir matuojamas procentais.

Išėjimo įtampos stabilumas parodo kiek gali pasikeisti virpesio įtampa ją lyginant su nustatytuoju dydžiu. Įtampos kitimas gali būti lėtas (įtampos dreifas) ir greitas (įtampos variacija). Kaip ir įtampos nustatymo tikslumas šis parametras norminamas santykinės įtampos ribinės nuokrypos nuo *vardinės* vertės dydžiu ir matuojamas procentais.



2.2 pav. Signalų generatoriaus ekvivalentinė schema: a – asimetrinio išėjimo ir b – simetrinio išėjimo

Išėjimo varža yra signalų generatoriaus vidinė ekvivalentinė varža R_S apkrovos srovei, pagal *Tevenino* (prancūzų inžinierius Léon Charles Thévenin (1857-1926)). įtampos šaltinių ekvivalentinę schemą (2.2. pav.). Jos vertės būna $5\ \Omega$, $50\ \Omega$, $75\ \Omega$ ir $600\ \Omega$. Dažnai išėjimo varža būna fiksuota ir gali būti keičiama tik šuoliais.

Generatoriaus išėjimo grandinė gali būti asimetriška su generatoriaus korpusu sujungtų grandinių ir prie jų prijungto įžeminimui skirtos gnybto atžvilgiu (2.2a pav.) arba simetriška (2.2b pav.). Žemųjų dažnių generatoriams dažnai galima pasirinkti reikiamą simetrišką ar asimetrišką grandinės variantą, o aukštų ir superaukštų dažnių generatoriuose paprastai yra tik asimetriškas išėjimas.

Signalų **pašalinių produktų koeficientas** k_f įvertina signalo spektro grynumą. Jis nustato kokią dalį signalo įtampos sudaro pašalinių nenaudingų virpesių įtampa U_p , lyginant ją su signalo įtampa U . Palyginimui naudojamos vidutinės kvadratinės (efektinės) įtampų vertės, o koeficiento vertė dažniausiai išreiškiama procentais:

$$k_f = \frac{U_p}{U} 100, \% .$$

Pašalinės įtampos komponentės atsiranda dėl maitinimo šaltinio srovės pulsacijų ir yra kartotinio dažnio maitinančio elektros tinklo dažniui. Dėl valdančiojo generatoriaus ir stiprintuvų aktyviųjų elementų voltamperinių charakteristikų netiesiškumo atsiranda įtampos komponentės kartotinės signalo dažniui (harmonikos), o dėl

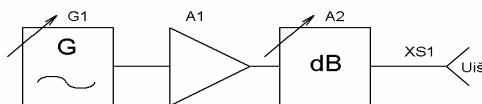
2. Matavimo signalų šaltiniai

dažnio ir amplitudės variacijų – parazitinių signalo amplitudės ir dažnio moduliacijų – šalutinių dažnių juostos (kombinaciniai dažniai). Kartais vertinama tik harmonikų įtampos U_h įtaka, ją išreiškiant harmonikų koeficientu:

$$k_h = \frac{U_h}{U_1} 100, \% .$$

2.2.2. Žemųjų ir infražemųjų dažnių generatoriai

Tokių generatorių bendroji struktūrinė schema yra pavaizduota 2.3 paveiksle. Pagrindiniai generatoriaus elementai yra keičiamo dažnio harmoninių virpesių valdantysis generatorius G1, plačiajuostis įtampos ir galios stiprintuvas A1 ir valdomas atenuatorius A2. Priklausomai nuo dažnių diapazono skiriasi schemos elementų parametrai. Skiriasi ir valdančiųjų generatorių sudarymo principai.



2.3 pav. Žemųjų ir infražemųjų dažnių signalų generatorių bendroji struktūrinė schema

Infražemųjų dažnių generatoriai dažniausiai naudojami automatinio valdymo, matavimo ir kitų grandinių su lėtais procesais tyrimui ir derinimui.

Jų valdantysis generatorius negali būti sudarytas panaudojant klasikines RC, o tuo labiau LC generatorių schemas, nes tokiuose žemuose dažniuose negalima sudaryti reikiamos kokybės ir stabilumo grandinių.

Todėl šiame dažnių ruože valdantieji generatoriai sudaromi iš analoginės elektronikos funkcinių elementų, modeliujančių harmoninio proceso diferencialinę lygtį:

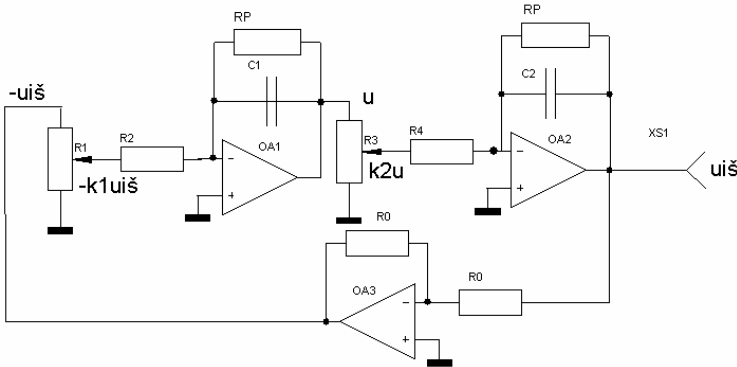
$$\frac{d^2 u_{iš}}{dt^2} + \omega_0^2 u_{iš} = 0, \quad (2.1)$$

kurios sprendinys, kaip žinoma, yra harmoninis virpesys

$$u_{i\check{s}} = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Virpesio amplitudė, dažnis ir pradinė fazė yra nustatomi modeliuojančių procesą elektronikos grandinių parametrais.

Modeliuojanti schema yra parodyta 2.4 paveiksle. Ji sudaryta iš dviejų invertuojančių integratorių su operaciniais stiprintuvais OA1 ir OA2 ir invertuojančio kartotuvo su operaciniu stiprintuvu OA3. Dydis k_1 yra grandinės su potenciomtru R1 įtampos perdavimo koeficientas, o k_2 – grandinės su potenciomtru R2 įtampos perdavimo koeficientas. Pagalbiniai rezistoriai R0 ir RP nustato operacinių stiprintuvų nuolatinės įtampos stiprinimus.



2.4 pav. Harmoninį virpesį modeliuojančios grandinės funkcinė schema

Integratoriui su operaciniu stiprintuvu OA1 galime užrašyti tokią įėjimo ir išėjimo įtampų ryšio formulę, gaunamą sulyginus rezistoriaus R2 ir kondensatoriaus C1 sroves:

$$-C_1 \frac{du}{dt} = -\frac{k_1 u_{i\check{s}}}{R_2}.$$

Analogiškai, antram integratoriui užrašome tokią formulę:

$$-C_2 \frac{du_{i\check{s}}}{dt} = \frac{k_2 u}{R_4}.$$

Išdiferencijavę antrąją lygybę pagal t ir įstatę į pirmąją, galime eliminuoti u . Sutvarkę reiškinių, gauname tokią formulę:

2. Matavimo signalų šaltiniai

$$\frac{d^2 u_{i\dot{x}}}{dt^2} + \frac{k_1 k_2}{R_2 R_4 C_1 C_2} u_{i\dot{x}} = 0. \quad (2.2)$$

Palyginę formules (2.1) ir (2.2) matome, kad harmoninių virpesių kampinis dažnis yra lygus:

$$\omega_0^2 = \frac{k_1 k_2}{R_2 R_4 C_1 C_2}.$$

Kai integratoriai vienodi, o potenciometrai irgi vienodi ir valdomi tuo pačiu valdymo įtaisu, tai $C_1 = C_2 = C$, $R_2 = R_4 = R$, $k_1 = k_2 = k$ ir dažnio formulė gaunama paprastesnė:

$$\omega_0 = \frac{k}{RC}.$$

Tokių valdančiųjų generatorių dažnis tolygiai valdomas keičiant k , o padidapazoniai keičiami, pakeičiant elementus RC . Dažnio nustatymo tikslumas ir stabilumas yra toks pat kaip ir RC generatorių ir yra procentų eilės dydis.

Geresnius stabilumo parametrus turi valdantieji generatoriai su tiesiogine skaitmenine signalo sinteze, kurių sudarymo principą nagrinėsime vėliau.

Žemojo dažnio generatorių valdantieji generatoriai dažniausiai sudaromi kaip grįžtamojo ryšio generatoriai su fazuojančiomis RC grandinėmis arba fazuojančiu RC keturpoliu. Pirmuoju atveju yra naudojamas invertuojantis stiprintuvas ir trijų arba keturių grandžių integruojanti arba diferencijuojanti grandinė, garantuojanti fazės poslinkį $\pm 180^\circ$. Taip garantuojamas generatoriaus fazių balansas, o amplitudžių balansą garantuoja pakankamas stiprintuvo stiprinimas.

Stiprintuvai gali būti arba tranzistoriniai arba operaciniai stiprintuvai. Viena iš galimų tokio generatoriaus schemų su tranzistoriniu stiprintuvu yra parodyta 2.5 paveiksle. Šioje schemoje yra panaudotos trys diferencijuojančios RC grandinės, kurių parametrai parinkti taip, kad generuojamo dažnio virpesiui jos sukuria $+180^\circ$ fazės poslinkį. Dažniausiai jų elementai imami vienodi: $C_1 = C_2 = C_3 = C$; $R_4 = R_5 = R_{in} = R \gg R_3$. $R_{in} = (R_1 || R_2 || h_{11e})$ yra stiprintuvo įėjimo varža, o h_{11e} – tranzistoriaus

2. Matavimo signalų šaltiniai

įėjimo varža bendro emiterio jungimo schemai. Tokios grįžtamojo ryšio grandinės kompleksinė įtampos perdavimo funkcija yra lygi:

$$\beta(j\omega) = \frac{1}{1 - \frac{5}{(\omega RC)^2} + j \left[\frac{1}{(\omega RC)^3} - \frac{6}{\omega RC} \right]}.$$

Kadangi, kaip minėta, ši grandinė turi sukurti $+180^\circ$ fazės poslinkį, tai jos įtampos perdavimo funkcija turi būti reali ir neigiamą. Prilyginę menamą dalį nuliui, gauname susižadinančio virpesio dažnį:

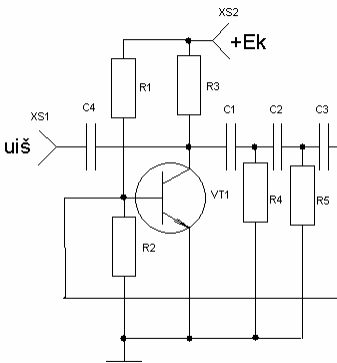
$$\omega_g = \frac{1}{RC\sqrt{6}}.$$

Amplitudžių balansas bus tenkinamas kai stiprintuvo stiprinimas bus

$$K_u(\omega_g) = \frac{1}{\beta(\omega_g)} = -29.$$

Kaip rodo dažnio formulė, norint keisti virpesio dažnį, tektų vienu metu keisti visus C arba visus R. Varžų keitimas yra praktiškai

2.5 pav. RC generatorius su fazuojančia trijų grandžių diferencijuojančia grandine

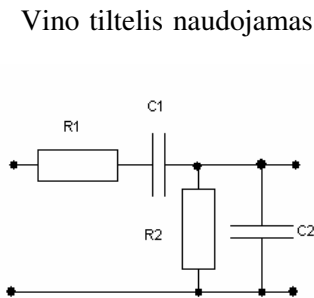


negalimas, nes tektų keisti ir R1, R2, o tai keistų stiprintuvo darbo režimą pagal nuolatinę srovę ir tuo pačiu stiprinimo koeficientą. Todėl galima tik perjungti kitus C, t.y. toks generatorius gali veikti tik fiksuotų dažnių režimu. Todėl ir naudojamas kaip fiksuotųjų dažnių generatorius, pavyzdžiui, moduliuojančių virpesių kūrimui aukšto dažnio generatoriuose.

Kaip fazuojantis keturpolis RC generatoriuose naudojamas vadinamasis *Vino tiltelis* (vokiečių fizikas Max Wien 1866-1938) (2.6 pav.). Kai $R1 = R2 = R$ ir $C1 = C2 = C$ jo kompleksinė įtampos perdavimo funkcija užrašoma taip:

2. Matavimo signalų šaltiniai

$$\beta(j\omega) = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}. \quad (2.3)$$

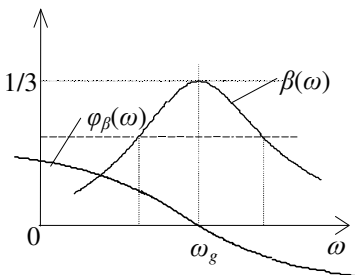


2.6 pav. Vино tiltelio schema

Vino tiltelis naudojamas teigiamam grįžtamajam ryšiui sudaryti neinvertuojančiame stiprintuve, todėl generuojamam dažniui jis neturi keisti virpesio fazės. Šiam dažniui Vино tiltelio įtampos perdavimo funkcija turi būti reali ir teigiama. Prilyginę nuliui perdavimo funkcijos menamą dalį, nustatome generuojamą dažnį, o jį panaudoję ir reikiamo amplitudžių balansui sudaryti stiprinimo dydį:

$$\omega_g = \frac{1}{RC} \text{ ir } K_u \geq \frac{1}{\beta(\omega_g)} = 3.$$

Pertvarkę (2.3) formulę, galime ją užrašyti pavidalu, analogišku lygiagrečiojo rezonansinių virpesių kontūro kompleksinei įtampos perdavimo funkcijai:



2.7 pav. Vино tiltelio amplitudės ir fazės

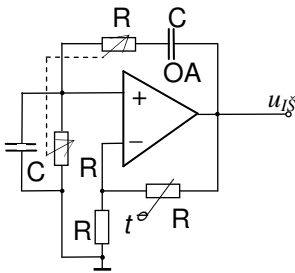
$$\beta(j\omega) = \frac{1/3}{1 + j \frac{1}{3} \left(\frac{\omega}{\omega_g} - \frac{\omega_g}{\omega} \right)}.$$

Perdavimo funkcijos modulio ir fazės kitimas pavaizduotas 2.7 paveiksle, o tokios kvazirezonansinės grandinės kokybė yra labai maža: $Q = 1/3$.

Kadangi RC generatoriuose, ypač diapazoniniuose, yra naudojami stiprintuvai su plačia praleidžiamų dažnių juosta, tai amplitudžių balansas gali būti garantuojamas plačiame dažnių ruože. Todėl reikia automatiškai reguliuoti vidutinį stiprinimo dydį, kad jis išliktų artimas reikiamam pagal amplitudžių balanso sąlygą. Kitaip virpesių amplitudė gali išaugti ir virpesio forma gaunama iškraipyta, o amplitudė – nestabili.

2. Matavimo signalų šaltiniai

Automatiniam stiprinimo ir amplitudės reguliavimui dažniausiai naudojamas neigiamas inercinis grįžtamasis ryšys per inercinės varžos elementą – termistorių, kurio varža priklauso nuo per jį tekančios srovės sukeltos šilumos ir, padidėjus



2.8 pav. RC generatoriaus su
Vino tilteliu schema

stiprinimui ir virpesių amplitudei, jo varža sumažėja ir neigiamo grįžtamojo ryšio stipris išauga ir stiprinimą bei virpesio amplitudę sumažina. RC generatoriaus su Vino tilteliu ir operaciniu stiprintuvu schema pavaizduota 2.8 paveiksle. Tokie valdantieji generatoriai yra naudojami diapazoniniuose generatoriuose.

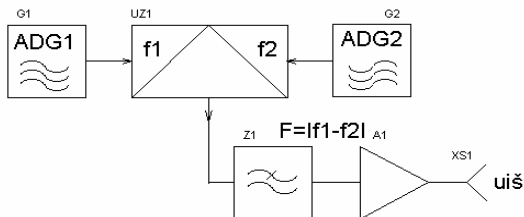
Juose virpesių dažnis diapazono ribose keičiamas, keičiant vienu metu abiejų Vino tiltelio rezistorių varžas, o padiaapazoniai keičiami perjungiant kondensatorius.

RC generatoriai negali veikti aukštuose dažniuose, nes dėl parazitinių schemos reaktyvumų įtakos yra pakeičiamos grandinių savybės ir netenkinamos susižadinimo sąlygos. Tokių generatorių praktinė didžiausio dažnio riba yra dešimtys megahercų. Be to, kaip minėta, šių generatorių dažnio nustatymo tikslumas ir stabilumas yra kelių procentų eilės dydis, nes RC grandinių savybės yra ypač priklausomos nuo aplinkos temperatūros. Dar vienas tokių generatorių trūkumas yra tai, kad jų generuojama įtampa gerokai skiriasi nuo harmoninės, todėl jie netinka grandinių netiesinių iškraipymų tyrimui.

Pagal virpesių stabilumo ir virpesio formos švarumo kriterijus geresni yra **LC generatoriai**, tačiau tiesiogiai jų panaudoti žemo dažnio virpesių kūrimui negalima, nes reikėtų labai didelių induktyvumų ir talpų, todėl tokių kontūrų kokybė būtų maža ir generatoriaus kokybiniai rodikliai taptų negeresni už RC generatorių, o schemos sudėtingumas ir kaina būtų didesnė. Apie LC generatorių schemas kalbėsime vėliau, o dabar aptarkime kaip jie panaudojami žemo dažnio virpesių kūrimui. Tam naudojamos schemos su dviejų aukšto dažnio generatorių virpesių interferencija. Tokio generatoriaus struktūrinė schema yra pavaizduota 2.9 paveiksle. Aukšto dažnio generatorių ADG1 ir ADG2 virpesiai yra sumaišomi

2. Matavimo signalų šaltiniai

dažnių maišiklyje ir po to dažnių skirtumas yra išskiriamas žemojo dažnio filtru. Jeigu generatorių dažniai skiriasi nedaug, tai gaunamo skirtumo dažnis yra žemas. Tačiau skirtuminio dažnio stabilumas išlieka aukštas, nes aukštojo dažnio generatorių virpesių kontūrai yra didelės kokybės ir jų virpesių dažnis gana stabilus. Taip pat gaunama gana „švari“ harmoninė įtampa, nes tokiuose generatoriuose amplitudžių ir fazių balansas yra garantuojamas praktiškai tik kontūro rezonansiniam dažniui. Diapazoniniame generatoriuje



2.9 pav. Interferencinio valdančiojo generatoriaus struktūrinė schema

ADG1 dažnis yra perderinamas ir jo didžiausia vertė turi skirtis nuo fiksuotojo dažnio generatoriaus ADG2 dažnio tokiu dydžiu, koks yra diapazono dažnių ruožas $F_{\max}$:

$$f_{1\max} = f_2 + F_{\max}.$$

Nesunku įsitikinti, kad nežymiai pakeitus ADG1 dažnį, galima žymiai pakeisti žemąjį dažnį. Pavyzdžiui, kai f_1 keičiamas nuo 100 kHz iki 120 kHz, o f_2 yra 100 kHz, tai F kinta nuo 0 Hz iki 20 kHz, t.y. visam garsinio dažnio ruožui. Tuo tarpu ADG1 dažnio perderinimo koeficientas yra tik 1,2.

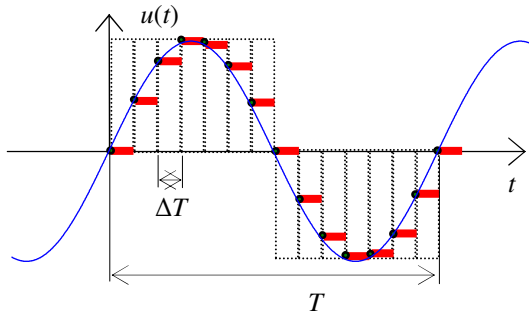
Interferenciniai valdantieji generatoriai naudojami kai reikia tolydžiai plėčiame dažnių ruožui keisti generatoriaus dažnį, pavyzdžiui, svyruojančio dažnio generatoriuose. Taip pat tada, kai svarbus dažnio stabilumas ir maži sinusoidės iškraipymai. Tačiau tokių generatorių schema ir konstrukcija yra sudėtingesnė (reikia gerai ekranuoti aukštojo dažnio generatorius vieną nuo kito, kad nevyktų jų dažnių interferencija be dažnių maišiklio) ir jie yra brangesni.

2. Matavimo signalų šaltiniai

Infražemųjų ir žemųjų dažnių diapazonuose naudojami ir valdantieji generatoriai su *tiesiogine skaitmenine signalo sinteze* (angl. *Direct Digital Synthesis* – DDS). Jie formuoja sinusinį signalą kaip diskrečiųjų signalų sumą.

Veikimas yra grindžiamas skaitmeninio kodo formavimu ir jo keitimu su funkcinio skaitmeniniu–analoginiu keitikliu (FSAK) į analoginę įtampą. Keitimo funkcija turi būti sinusinė.

Vienas iš tokios sintezės variantų yra sinusinio signalo aproksimavimas laiptuota funkcija, kurios laiptų skaičius periode yra p , o laipto plotis, t.y. periodo diskretizacijos žingsnis yra ΔT (2,10 paveikslas). Toks diskretizavimas vadinamas diskretizavimu su pastoviu žingsniu. Tačiau šiuo atveju diskrečių signalo lygių skirtumai labai žymūs.



2.10 pav. Sinusinis virpesys diskretizuotas pastoviu žingsniu

Tokio diskrečiojo virpesio i vertę galima užrašyti taip:

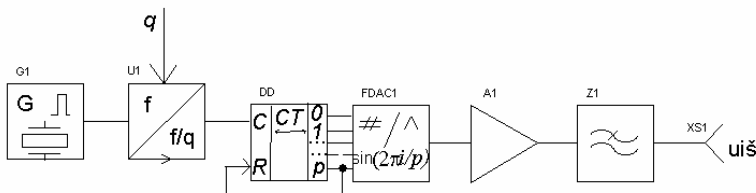
$$u(i, \Delta T) = U_m \sin\left(2\pi i \frac{\Delta T}{T}\right) = U_m \sin\left(2\pi \frac{i}{p}\right),$$

čia $p = T/\Delta T$ yra diskretų skaičius telpantis virpesio periode.

Įvertinus tai kas pasakyta, viena iš galimų virpesio tiesioginės skaitmeninės sintezės schemų variantų pavaizduota 2.11 paveiksle. Taktavimo impulsų generatoriaus G1 su kvarcine dažnio stabilizacija dažnis f_0 yra dalinamas valdomo dalinimo koeficiento q dažnio dalikliu U1 ir patenka į impulsų skaitiklį, kuris skaičiuoja šiuos impulsus. Skaičiaus i kodas iš impulsų skaitiklio yra perduodamas į funkcinį SAK, kurio analoginė išėjimo įtampa yra sinuso funkcija nuo dydžio proporcingo šiam skaičiui. Toliau ši įtampa yra

2. Matavimo signalų šaltiniai

stiprinama tiesiniu stiprintuvu A1 ir filtruojama žemojo dažnio filtru Z1.



2.11 pav. Tiesioginės skaitmeninės sinusinio virpesio sintezės schema

Kadangi skaitiklio talpa yra parinkta lygi p , tai, suskaičiavus iki šio skaičiaus, skaitiklis užpildomas ir aukštas lygis jo išėjime numeta impulsų skaitiklį į pradinę padėtį. Toliau viskas periodiškai kartojasi.

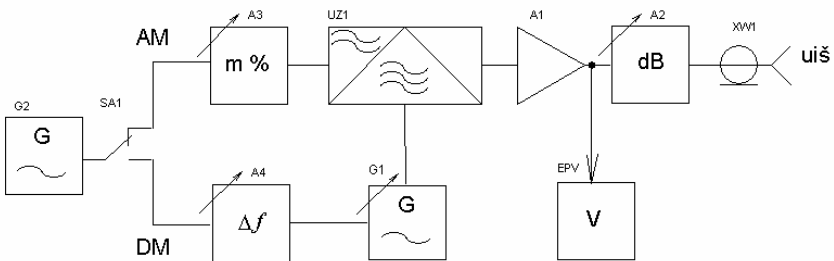
Tokioje schemeje diskretizavimo žingsnis yra: $\Delta T = f_0/q = qT_0$, o virpesio periodas – $T = qpT_0$. Keičiant dažnio daliklio U1 dalinimo koeficientą q yra keičiamas virpesio periodas T ir dažnis f . Nors suformuota SAK analoginė įtampa yra laiptuota, tačiau jeigu p yra didelis, tai jos skirtumas nuo sinusinės formos bus nežymus. Artimiausios dažniui f virpesio harmonikos yra $(p-1)f$ ir $(p+1)f$. Kai $p = 100$, tai sudaro $99f$ ir $101f$. Todėl harmonikų dažniai labai žymiai skiriasi nuo virpesio dažnio ir lengvai nufiltruojami žemojo dažnio filtru. Po filtro virpesys gaunamas su labai mažais iškraipymais. Be to, virpesio dažnis yra stabilus, nes jo vertė proporcinga stabiliam kvarcinio generatoriaus dažniui.

Skaitmeninės sintezės valdantieji generatoriai leidžia gauti tikslaus ir stabilaus dažnio bei mažai iškraipytus harmoninius virpesius, dauguma jų schemos elementų yra skaitmeniniai ir lengvai suderinami su skaitmeninio valdymo sistemomis (mikroprocesoriais), interfeisų ir indikacijos elementais ir todėl, nežiūrint to, kad yra sudėtingesni, šiuo metu plačiai naudojami.

Esminis tokių generatorių trūkumas yra tas, kad jų dažnis yra keičiamas diskretiškai. Be to, kol kas negalima suformuoti didesnio už kelias dešimtis MHz dažnio virpesių, nes dažnio daliklių ir impulsų skaitiklių veikimo sparta yra ribota, o jie veikia bent p kartų didesne sparta nei formuojamo virpesio dažnis.

2.2.3. Aukštųjų dažnių generatoriai

Tokie generatoriai, kaip minėta, veikia radijo dažnių diapazone, todėl kartais dar vadinami radijo dažnių generatoriais. Jų dažnių diapazonas būna platus. Generuojami nemoduliuoti virpesiai, o taip pat naudojama virpesių amplitudės (AM) bei dažnio (DM) moduliacija bei manipuliacija. Todėl jų bendrojoje struktūrinėje schemoje (2.12 paveikslas) yra ir atitinkami tam tikslui skirti elementai: fiksuotojo dažnio generatorius G2, kuriantis harmoninį arba impulsinį virpesį, amplitudės moduliatorių UZ1 ir kalibruoti įtampų dalikliai A3 ir A4, leidžiantys reguliuoti AM gylį ir dažnio deviaciją. Moduliacijos virpesys gali būti ir išorinis.



2.12 pav. Aukštojo dažnio signalų generatoriaus bendroji struktūrinė schema

Šio tipo generatorių atenuatoriai paprastai turi platesnes reguliavimo ribas ir garantuoja tikslesnį virpesio išėjimo lygio nustatymą. Išėjimo varža fiksuota ir lygi 50 Ω (televiziniams taikymams 75 Ω). Išėjimo signalo lygio tikslesniam nustatymui naudojamas elektroninis voltmetras.

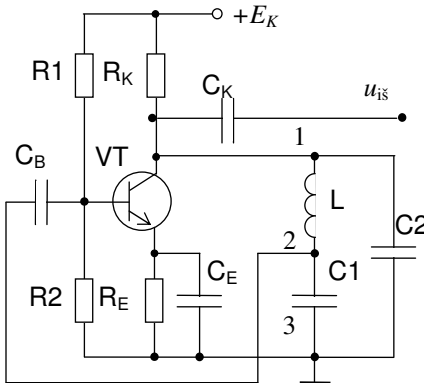
Aukštojo dažnio generatorių valdantieji generatoriai paprastai būna tokie: LC generatoriai, LC interferenciniai generatoriai ir dažnio sintezatoriai.

LC generatoriai leidžia gauti mažai iškraipytus harmoninius virpesius. Naudojami grįžtamojo ryšio generatoriai su LC rezonansinių virpesių kontūru grįžtamojo ryšio grandinėje. Virpesių dažnis keičiamas, keičiant kontūro rezonansinį dažnį: padidapazoniai pakeičiami keičiant kontūro induktyvumą, o padidapazonio ribose

2. Matavimo signalų šaltiniai

dažnis keičiamas tolygiai kontūro kintamosios talpos kondensatoriumi. Praktiškai padiaazonio dažnio ribų santykis yra apie 3 – 4, nes žymiai kintant kontūro talpai, kinta ir jo kokybė bei rezonansinė varža, todėl labai kinta virpesių dažnio stabilumas ir amplitudė. Amplitudės stabilizavimui naudojami stiprintuvai su automatinio stiprinimo reguliavimu (ASR).

Kaip žinoma, LC generatoriai gali būti realizuojami įvykdant induktyvinį grįžtamąjį ryšį, panaudojant induktyvinio arba talpinio tritaškių schemas ir su elektroniniu ryšiu. Plačiausiai naudojama talpinio tritaškio schema (2.13 pav.), nes ją realizuojant tereikia vienos



2.13 pav. Talpinio tritaškio LC generatoriaus schema

induktyvinės ritės, todėl garantuojamas didesnis virpesių dažnio stabilumas ir generatorius gaunamas paprastesnis ir pigesnis.

Generuojamų virpesių dažnis yra artimas virpesių kontūro rezonanso dažniui:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C1 + C2}{C1C2L}}.$$

Virpesių parametrai gaunami stabilesni, kai sudaromas silpnas ryšys

su bazės grandine, todėl imama

$$C1 + C2 \gg C2 \text{ ir } C1 \gg C2.$$

Tada rezonansinio dažnio keitimui pakanka mažos talpos kintamosios talpos kondensatoriaus C2. Dažnio moduliacija įvykdoma analogiškais metodais kaip įtampa valdomuose generatoriuose valdomas dažnis (žr. 2.15 pav.).

Valdantieji **LC interferenciniai generatoriai** aukštojo dažnio generatoriuose naudojami siekiant išplėsti darbo dažnių diapazoną ir garantuoti vienodus padiaazonių dažnio perderinimo koeficientus. Jų struktūrinė schema nesiskiria nuo pavaizduotos 2.9 paveiksle, o dažnio moduliacija ar manipuliacija vykdoma veikiant fiksuoto dažnio generatoriaus dažnį.

2. Matavimo signalų šaltiniai

LC valdančiųjų generatorių dažnio stabilumas yra dvejomis eilėmis didesnis už RC generatorių ir yra apie $\pm 0,01\%$. Tai pasiekama panaudojant kontūro elementus su priešingo ženklo parametrų priklausomybe nuo temperatūros. Šiuolaikinėje radijo ryšių, radiolokacijos, radionavigacijos ir kitoje elektroninėje aparatūroje naudojamų dažnių stabilumas privalo būti ženkliai didesnis, todėl ir signalų generatoriai naudojami tokiais aparatūrai tirti privalo garantuoti didesnę dažnio stabilumą. Tai galima būtų pasiekti panaudojus generatorius su kvarcine dažnio stabilizacija, tačiau tokių generatorių dažnis yra fiksuotas. Didesniam dažnių skaičiui reikėtų labai daug tokių generatorių su skirtingais dažniais. Tokia įranga būtų labai brangi ir nepatikima. Todėl dabar naudojamos schemos, kuriose yra vienas atraminio dažnio kvarcinis generatorius, o kita aibė dažnių yra sukuriama dažnių formavimo schemomis. Tokie įtaisai įgijo *dažnių sintezatorių* pavadinimą.

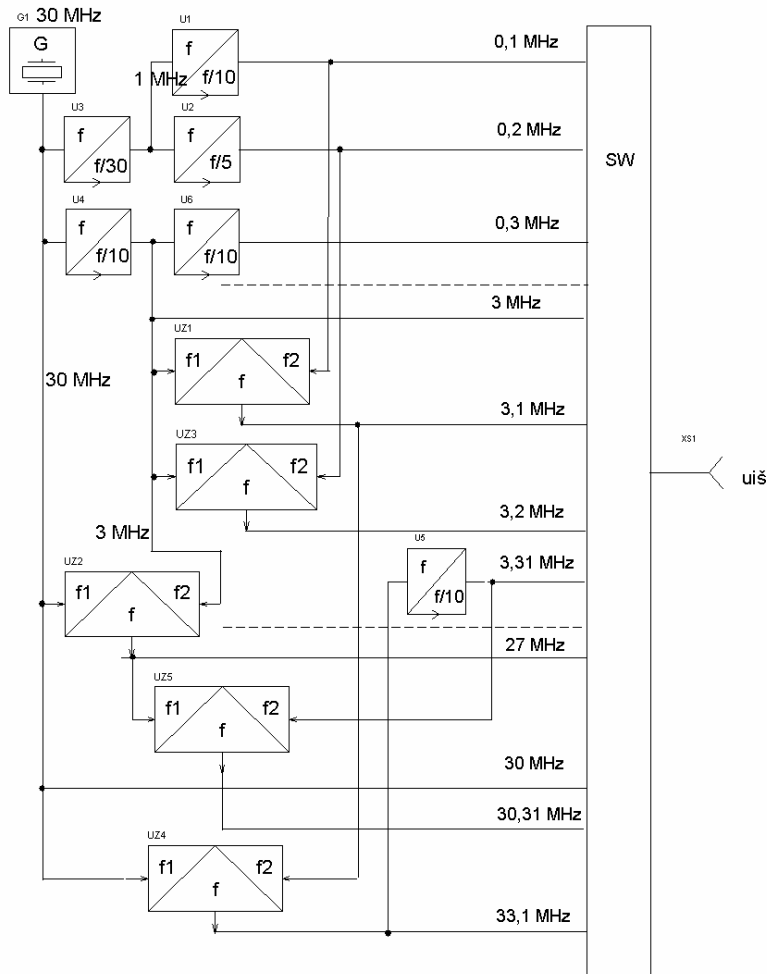
Valdantieji ***generatoriai su dažnio sintezatoriais***. Žinomi du dažnių sintezės metodai: *tiesioginė ir netiesioginė dažnio sintezė*.

Tiesioginė dažnio sintezė yra gaunama, kai atraminio kvarcinio generatoriaus dažnis yra dalinamas skaitmeniniais dažnio dalikliais, o gautoji dažnių visuma toliau keičiama dažnių keitimo schemomis tuos dažnius sumuojant ir atimant ir tuo būdu kuriant didelį skaičių papildomų kombinacinių dažnių. Panaudojus didelį dažnio daliklių ir dažnio keitiklių skaičių, gaunama signalų su įvairiais dažniais visuma plačiame dažnių diapazone, vadinamasis *dažnių tinklelis*. Reikiamas signalas pasirenkamas komutatoriumi. Taigi dažnio keitimas yra diskretus, tačiau galima pasiekti pakankamai nedidelį dažnio keitimo žingsnį, žinoma schemos sudėtingumo sąskaita. Tokio tiesioginio dažnių sintezatoriaus iliustracinė schema yra pavaizduota 2.14 paveiksle.

Schemoje nepavaizduoti juostiniai filtrai, kurie jungiami po dažnių daliklių ir dažnio keitiklių. Tai dar labiau komplikuoja schemą ir ją ypač pabrangina.

Šiuo metu dažnių sintezei plačiau naudojamas *netiesioginės dažnių sintezės* metodas. Jo schema yra žymiai paprastesnė, o dažnių diapazonas gali būti labai platus, esant mažam dažnių diskretizavimo žingsniui.

2. Matavimo signalų šaltiniai

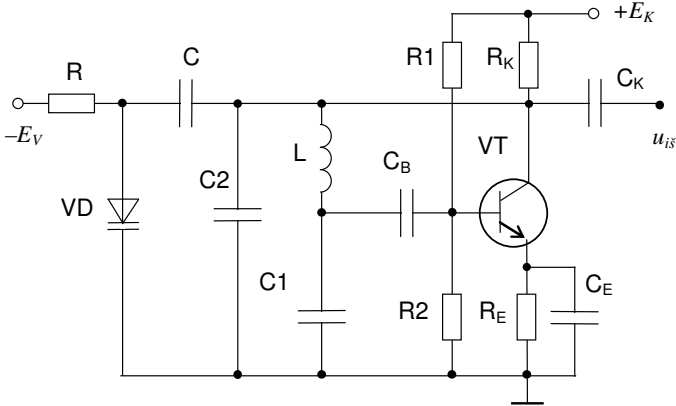


2.14 pav. Tiesioginės dažnių sintezės principo iliustracija

Netiesioginės sintezės dažnio sintetatoriaus pagrindiniai elementai yra atraminio dažnio kvarcinis generatorius ir įtampa valdomas generatorius (*angl. Voltage-Controlled Oscillator – VCO*), kurio dažnis valdomas išorine įtampa. Dažnį valdo puslaidininkių diodai – varikapai, kurių barjerinė pn sandūros talpa kinta priklausomai nuo prijungtos atbulinės sandūros įtamos dydžio.

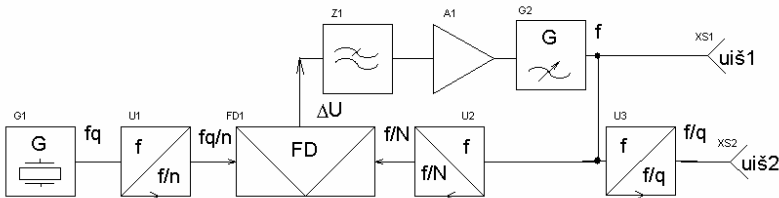
2. Matavimo signalų šaltiniai

Varikapas VD jungiamas per ryšio kondensatorių C lygiagrečiai LC generatoriaus virpesių kontūro kondensatoriui C2 (2.15 pav.).



2. 15 pav. Valdomo dažnio talpinio tritaškio LC generatoriaus schema

Sintezatoriaus struktūrinė schema yra parodyta 2.16 paveiksle. Įtampa valdomo generatoriaus G2 dažnis yra padalinamas valdomu dažnio dalikliu, kurio dažnio dalinimo koeficientas yra N ir gauto virpesio fazė yra palyginama faziniame detektoriuje FD su iki tokio paties dažnio padalinto atraminio kvarcinio generatoriaus virpesio faze. Fazinio detektoriaus paklaidos įtampa $\pm\Delta U$ po filtravimo ŽDF ir stiprinimo valdo įtampa valdomo generatoriaus dažnį. Taip gaunama dažnio fazinio paderinimo kilpa (*angl. Phase-Lock Loop – PLL*), palaikanti stabilų įtampa valdomo generatoriaus dažnį f .



2.16 pav. Netiesioginės sintezės dažnio sintezatoriaus struktūrinė schema

2. Matavimo signalų šaltiniai

Kaip minėta dažniai fazinio detektoriaus įėjimuose yra palaikomi lygūs:

$$\frac{f_q}{n} = \frac{f}{N}.$$

Todėl įtampa valdomo generatoriaus dažnis gaunamas kartotinis atraminio kvarcinio generatoriaus dažniui:

$$f = \frac{Nf_q}{n}.$$

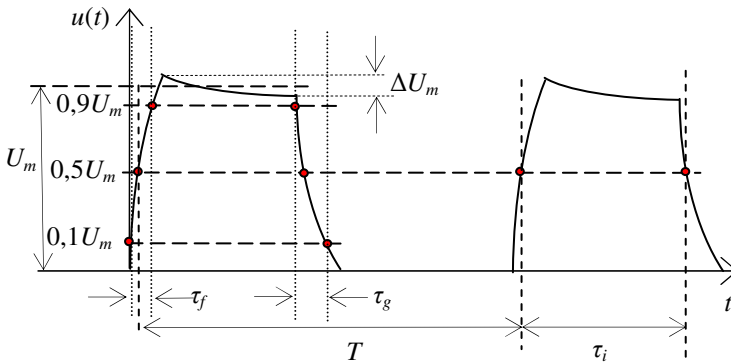
Keičiant dažnio daliklio dažnio dalinimo koeficientą N , galima diskretiškai plačiose ribose keisti įtampa valdomo generatoriaus dažnį jo dažnių diapazono ribose. Panaudojus papildomą dažnių daliklį galima gauti padalintą pastoviu dydžiu q generatoriaus dažnį. Todėl tokiu metodu galima generuoti ir aukštus ir žemus dažnius. Dažnai dalinimo koeficientai valdomi mikroprocesoriais skaitmeniniu būdu.

2.2.4. Superaukštųjų dažnių (SAD) generatoriai

Gaminami dažnių diapazonui nuo 1 GHz iki 100 GHz. Išleidžiami atskiri generatoriai tam tikram vienam šio diapazono padiapazoniui, kurių dažnių perderinimo koeficientas yra apie 1,5–2. Žemesnių šio diapazono dažnių valdantieji generatoriai sudaromi analogiškai kaip LC generatoriai su koaksialinių linijų atkarpų pavidalo virpamosiomis sistemomis ir didelio ribinio veikimo dažnio galio arsenido tranzistoriais. Tokio generatoriaus signalų perdavimo traktai ir išėjimo grandinė yra koaksialiniai. Generatoriai neturi papildomų stiprintuvų, todėl išėjimo galia yra sąlygojama valdančiojo generatoriaus galios.

Aukštesnių dažnių diapazonuose valdantieji generatoriai sudaromi su tūrinių rezonatorių pavidalo virpamosiomis sistemomis ir mikrobangų generavimui skirtais įtaisais: atbulinės bangos lempomis, refleksiniais klisonais ir magnetronais. Virpamosios sistemos sudaro šių aktyvių elektronikos įtaisų sandaros dalį. Tokių generatorių signalo perdavimo ir išėjimo grandinės yra bangolaidinės (2.17 pav.). Generatoriaus kuriama galia yra matuojama milivatmetru PW, o generuojamo virpesio dažnis – rezonansiniu bangomačiu PF. Reikiamas išėjimo virpesio galios lygis yra pasirenkamas

2. Matavimo signalų šaltiniai



2,18 pav. Impulsų parametrų normavimas

Impulsų amplitudės keitimo ribos parodo kokiose ribose gali būti nustatyta impulsų amplitudės vertė U_m . Amplitudės mažiausią galimą vertę riboja trukdžių lygis generatoriaus išėjime, o jos didžiausią vertę – generatoriaus impulsinė galia. Amplitudė yra valdoma išėjimo grandinės kompensuotais varžiniais įtampos dalikliais – *ateniuatoriais* – padalinant įtampą. Paprastai naudojami dviejų pakopų įtampos dalikliai: viena pakopa leidžia įtampą keisti šuoliais), o antra pakopa – tolygiai. Impulsų amplitudė būna nuo 1 mV iki 100 V.

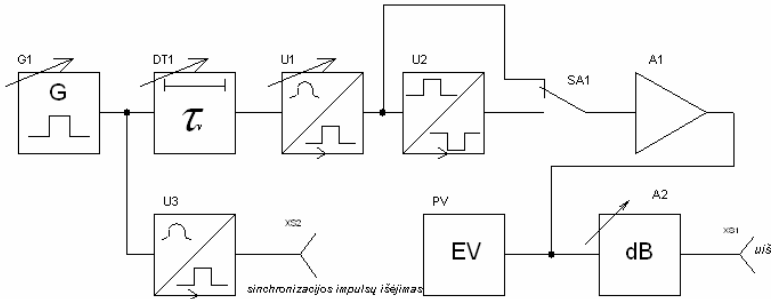
Impulsų trukmės keitimo ribos nurodo kokios trukmės impulsus galima generuoti. Pasirinkus pasikartojimo periodą T ir impulsų trukmę τ_i yra gaunamas tam tikras impulsų sekos parametras – *impulsų retis* Q , kuris matuojamas impulsų pasikartojimo periodo ir jų trukmės santykiu: $Q = T/\tau_i$. Realiai šis parametras turi būti didesnis už vienetą, nes priešingu atveju, impulsų seka virsta nuolatine įtampa. Generatorių impulsų trukmės būna nuo kelių pikosekundžių iki kelių sekundžių.

Generatoriaus išėjimo **impulsus galima vėlinti** laiku τ_v atžvilgiu jo kuriamą synchronizacijos impulsų. Tai leidžia geriau atlikti oscilografinius matavimus arba tirti grandinių vėlinimo laikus. Jeigu synchronizacijos impulsai nenaudojami, tai šio parametro keitimas nedaro įtakos suformuotų impulsų sekai.

Impulsų generatoriaus bendroji struktūrinė schema yra parodyta 2.19 paveiksle. Impulsų pasikartojimo periodą ir jo stabilumą nustato

2. Matavimo signalų šaltiniai

taktinis generatorius G1, kuriuo, priklausomai nuo konkrečių sąlygų, gali būti RC arba LC generatorius su trumpų impulsų formavimo schema arba multivibratorius.



2.19 pav. Impulsų generatoriaus bendroji struktūrinė schema

Sinchronizacijos impulsų formavimo schema iš taktinių impulsų suformuoja nustatytos amplitudės ir pasirinkamo poliarumo impulsus, kurie perduodami į sinchronizacijos impulsų išėjimą.

Valdoma vėlinimo grandinė DT1 suvėlina taktinius impulsus paduodamus į impulsų formavimo schemą U1, todėl generatoriaus išėjimo impulsai vėluoja atžvilgiu sinchronizacijos impulsų. Kaip vėlinimo grandinė dažnai naudojamos schemos su laukiančiais multivibratoriais.

Impulsų formavimo schema U1 suformuoja nustatytos trukmės ir tam tikros amplitudės savo forma artimus stačiakampiui impulsus. Ši schema dažniausiai irgi yra laukiantis multivibratorius.

Impulsų poliarumo keitiklis U2 invertuoja impulsus ir perjungikliu SA1 galima pasirinkti teigiamo arba neigiamo poliarumo impulsus.

Išėjimo grandinė atlieka impulsų galios stiprinimą ir nustato generatoriaus išėjimo varžą. Dažniausiai šis grandinės funkcijas atlieka emiterinis kartotuvas A1. Impulsų generatorių išėjimo varža, kaip taisyklė, yra 50 Ω .

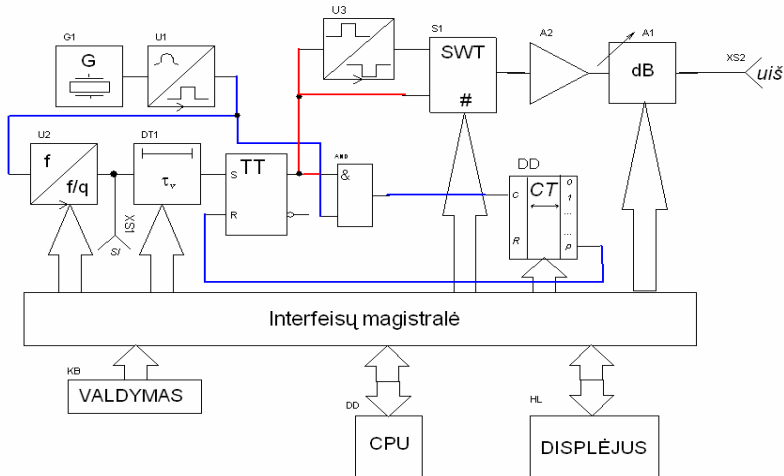
Suformuotų impulsų amplitudė matuojama impulsiniu elektroniniu voltmetru PV. Amplitudės dydis generatoriaus išėjime nustatomas atenuatoriais A2. Kadangi impulsų spektras, ypač trumpų, yra labai platus, tai naudojami plačiajuosčiai varžiniai

2. Matavimo signalų šaltiniai

įtampų dalikliai, kuriuose panaudotos parazitinių talpų kompensavimo schemas.

Aptarta impulsinio generatoriaus schema nepasižymi aukštu parametrų nustatymo tikslumu ir stabilumu, nes joje naudojami analoginės elektronikos ir impulsinės technikos elementai. Geresni rezultatai gaunami panaudojant skaitmenines impulsų formavimo schemas.

Skaitmeninio impulsų generatoriaus struktūrinė schema yra parodyta 2.20 paveiksle.



2.20 pav. Skaitmeninio impulsų generatoriaus su mikroprocesoriniu valdymu bendroji struktūrinė schema

Schema taktuojama taktinių impulsų šaltiniu, kurį sudaro kvarcinis generatorius G1 ir trumpų impulsų formuotuvas U1. Šių impulsų dažnis yra f_0 , o periodas – T_0 . Toliau šie impulsai panaudojami dvejopai: patekę į laiko selektoriaus (sutapimo schemas AND) skaitinį įėjimą, jam esant atviram, yra perduodami į impulsų skaitiklį CT1, o patekę į valdomą skaitmeninį dažnio daliklį U2, kurio dažnio dalinimo koeficientas yra q , suformuoja impulsus, kurių pasikartojimo periodas ir nustato generatoriaus impulsų pasikartojimo periodą $T = qT_0$. Šie impulsai patenka į generatoriaus sinchronizacijos impulsų išėjimą XS1 ir valdomą skaitmeninę

vėlinimo schemą DT1. Vėlinimo schema dažniausiai realizuojama kaip valdomas postūmio registras ir suvėlina impulsus vėlinimo laiku τ_v . Suvėlinti impulsai patenka į RS trigerio TT aukšto lygio nustatymo įėjimą ir sukuria aukštą lygį jo išėjime. Impulsų skaitiklio talpa yra C , tačiau į jį iš anksto įrašomas tam tikras skaičius A , taigi jo faktinė talpa yra m . Kai impulsų skaitiklis suskaičiuoja m impulsų, skaitiklio užpildymo signalas, numeta RS trigerį TT į žemo lygio padėtį. Taip trigerio išėjime yra suformuojamas impulsas, kurio trukmė yra $\tau_i = mT_0$. Šis impulsas yra paduodamas į generatoriaus išėjimo grandinę, kuri yra analogiška 2.19 paveikslo schemos išėjimo grandinei.

Tokie impulsų generatoriai sudaryti praktiškai vien iš skaitmeninių elementų, todėl lengvai suderinami su mikroprocesorinio valdymo sistemomis ir turi žymiai stabilesnius ir tiksliau nustatomus impulsų sekos parametrus (grindžiamus kvarcinio generatoriaus dažnio stabilumu). Jų esminis trūkumas yra tas, kad dėl skaitmeninių schemų ribotos veikimo spartos negalima kol kas sukurti didelio pasikartojimo dažnio ir trumpų impulsų virpesių.

2.3. Funkcijų ir pasirenkamos kreivės formos generatoriai

Funkcijų generatoriai yra plačiai naudojami bendrosios paskirties signalų šaltiniai. Kadangi šiuolaikinės elektronikos įtaisų paskirtis ir funkcijos yra labai įvairios, tai jų tyrimui reikia labai įvairios formos virpesių. Funkcijų generatoriai dažniausiai teikia *sinusinės*, *stačiakampės*, *trikampės* ir *pjūklo dantų* pavidalo įtampos virpesius. Gali būti kuriami ir kitokios formos (pavyzdžiui, sudvejintų impulsų) bei moduluotieji ir svyruojančio dažnio virpesiai.

Tradiciškai tokių įtampų formavimo seka gali būti tokia: anksčiau aptartais būdais generuojamas sinusinis virpesys, iš jo amplitudės ribotuvais yra suformuojamas periodinis artimas stačiakampiui virpesys, o iš pastarojo, integruojant gaunamas trikampis virpesys ir pjūklo dantų virpesys.

2. Matavimo signalų šaltiniai

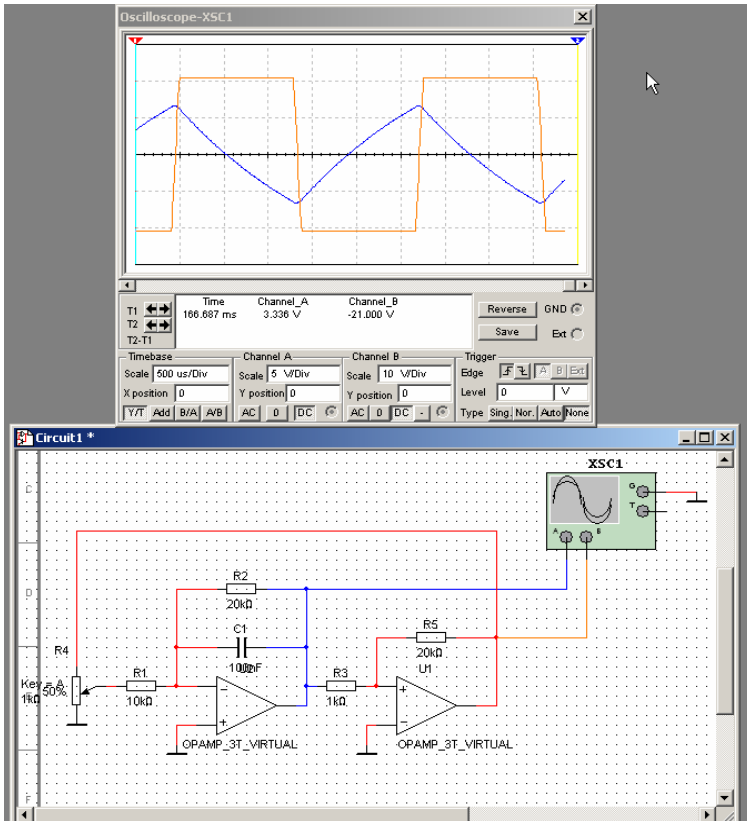
Šiuo metu naudojama kita tokių virpesių formavimo schema. Naudojamas autogeneratorius, kurio grįžtamojo ryšio kilpa sudaryta iš integratoriaus ir neinvertuojančio Šmito trigerio: trigerio išėjimo įtampa paduodama į integratoriaus įėjimą, o pastarojo išėjimas prijungiamas prie Šmito trigerio įėjimo (2.21 pav.). Kai įtampa trigerio išėjime yra aukšto lygio (artima teigiamai maitinimo įtampos vertei $+E$), tai integratoriaus įėjimo įtampa yra teigiama ir jo išėjimo įtampa tiesiškai mažėja, artėdama prie Šmito trigerio neigiamos perjungimo slenksčio įtampos. Slenksčio įtampą nustato įtampos daliklis R5R3 Šmito trigerio teigiamojo grįžtamojo ryšio grandinėje. Pasiekus neigiamo slenksčio įtampos lygį, Šmito trigeris persijungia ir jo išėjimo įtampa tampa neigiama. Tada pasikeičia ir integratoriaus įėjimo įtampos ženklas ir jo išėjimo įtampa pradeda tiesiškai augti tol, kol pasiekusi trigerio viršutinio perjungimo slenksčio įtampą vėl jį perjungia į aukštą lygį. Taip procesas periodiškai kartojasi, o trigerio išėjime gaunama meandro formos stačiakampė periodinė įtampa, o integratoriaus išėjime – simetrinė trikampė įtampa. Virpesio periodas priklauso nuo integratoriaus įtampos augimo spartos, t.y. nuo jo integravimo konstantos $R1C1$. Jeigu integratoriaus įėjime sudarysime papildomą įtampos daliklį, tai jo dalinimo koeficientas taip pat įtakos virpesių periodą, nes nuo jo priklausys integruojamos įtampos lygis ir integratoriaus išėjimo įtampos augimo sparta. Panaudojus reguliuojamą įtampos daliklį (schemoje R4), galima tolygiai keisti virpesių dažnį padiapazonio ribose, o padiapazonius perjungti, perjungiant integratoriaus kondensatoriaus C1 talpą.

Sinusinė įtampa funkciniam generatoriuje yra formuojama iš trikampės panaudojant netiesines grandines su atitinkama įtampos perdavimo funkcija. Tokios sinusoidės formavimo grandinės įgijo *sinuso formuotuvo* pavadinimą (*angl. sine-shaper*). Reikiama perdavimo funkcija yra dažniausiai aproksimuojama tiesių atkarpomis, panaudojant diodines–rezistyvines grandinėles (2.22 pav.).

Schemos veikimas yra labai paprastas: kai didėjanti trikampė įėjimo įtampa pasiekia vertę $+E1$, tai tampa atviras diodas D1 ir lygiagrečiai įtampos daliklio R1R2 rezistoriui R2 prijungiamas rezistorius R3, todėl bendra jų varža sumažėja, paduodama įtampa dalinama daugiau ir išėjimo įtampa auga lėčiau. Trikampei įtampai

2. Matavimo signalų šaltiniai

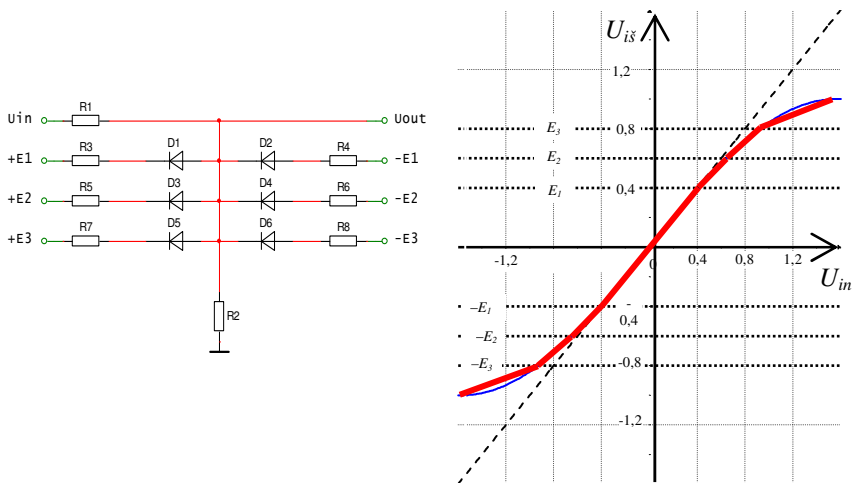
pasiekus vertę E2, atsidaro diodas D3 ir įtampos dalinimas padidėja, o išėjimo įtampos augimo sparta dar daugiau sulėtėja. Procesas atvirkščia tvarka vyksta ir įtampai mažėjant iki neigiamos amplitudinės vertės, o po to kartojasi.



2.21 pav. Funkcinio generatoriaus stačiakampės ir trikampės įtampos formavimo schema ir virpesių oscilogramos

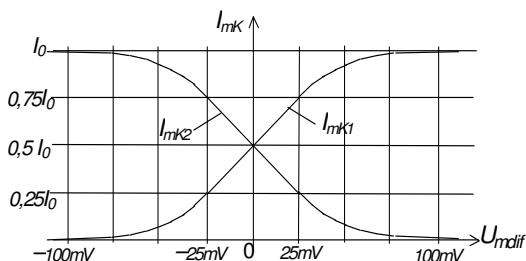
Kaip matosi iš 2.22 paveikslo grafiko pakankamai gera aproksimacija gaunama su šešių diodų grandinėle. Panaudojus daugiau diodų, aproksimacijos tikslumą galima padidinti.

2. Matavimo signalų šaltiniai



2.22 pav. Sinusinį virpesį formuojančios grandinės schema ir įtamos perdavimo funkcija (stora linija)

Kitas galimas metodas yra diferencinės stiprinimo pakopos perdavimo funkcijos netiesiškumo, kai įėjimo įtampa yra didelė, išnaudojimas. Tokios pakopos amplitudinė charakteristika yra parodyta 2.23 paveiksle. Jos palyginimas su 2.22 paveiksle pavaizduotu sinusinės funkcijos kitimu rodo, kad tokia charakteristika leidžia gauti taip pat neblogą aproksimaciją.



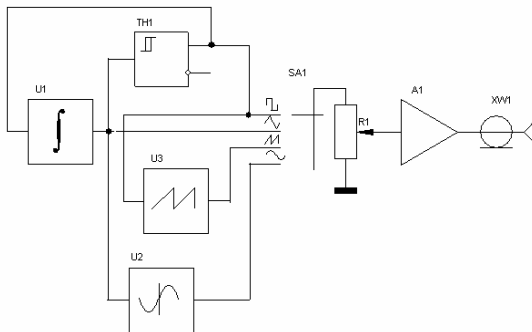
2.23 pav. Diferencinės stiprinimo pakopos amplitudinės charakteristikos (I_0 – pakopos srovės šaltinio srovė)

Aptarę virpesių formavimo principus, pateiksime bendrąją funkcijų generatoriaus struktūrinę schemą ir suformuluosime kokie

2. Matavimo signalų šaltiniai

jų parametrai norminami ir kokie jie būna. Schemoje (2.24 pav.) integratorius U1 ir Šmito trigeris TH1 sudaro jau išnagrinėtą anksčiau autovirpesių schemą, generuojančią stačiakampius ir trikampus simetrinius virpesius. Trikampiai virpesiai sinuso formuotuvu U2 keičiami į sinusinius virpesius, o stačiakampiai virpesiai formuotuvu U3 – į pjūklo dantų pavidalo virpesius. Reikiamą virpesio formą galime pasirinkti perjungikliu SA1, o jo lygį keisti lygio reguliatoriumi R1. Suformuoti virpesiai stiprinami plačiajuosčiu stiprintuvu A1. Tokiuose generatoriuose dar numatyta galimybė prie virpesio pridėti reguliuojamą nuolatinę dedamąją ir vykdyti virpesių dažnio moduliaciją iš išorės. Taip pat yra suformuojami sinchroimpulsai.

Funkcijų generatorių yra bendrosios paskirties matavimo priemonė, todėl jų parametrai nėra griežtai norminami. Virpesių dažnių diapazonas būna nuo 0,001 Hz iki 20 MHz su kelių procentų dažnio nustatymo paklaida. Išėjimo įtampos amplitudė siekia iki 20 V, o tipinės išėjimo varžos būna 50 Ω ir 600 Ω . Sinusinio signalo harmonikų koeficientas siekia iki 5 %, trikampių ir pjūklo dantų formos virpesių netiesiškumas neviršija 5 %, o stačiakampių virpesių priekinio ir galinio frontų trukmės bei pjūklo dantų formos virpesių kritimo laikas neviršija 0,2 μ s. Stačiakampių virpesių retis yra 2 ± 1 % (meandro pavidalo virpesiai).



2.24 pav. Analoginio funkcijų generatoriaus bendroji struktūrinė schema

Kadangi tokie generatoriai dažniausiai eksploatuojami kartu su oscilografais, tai juose nenumatyta galimybė matuoti išėjimo įtampą.

2. Matavimo signalų šaltiniai

Paprastiausio analoginio funkcijų generatoriaus valdymo panelio vaizdas parodytas 2.25 paveiksle.



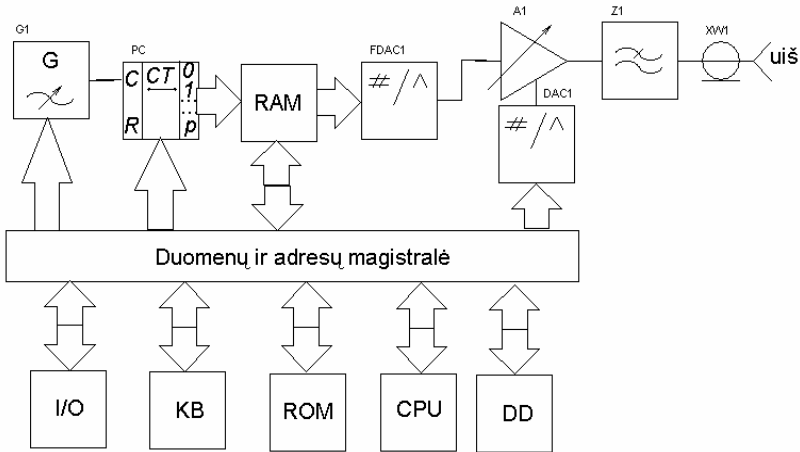
2.25 Analoginio funkcijų generatoriaus Г6–27 bendras vaizdas

Pastaruosiu metu plinta skaitmeniniai funkcijų generatoriai su žymiai išplėstu pasirenkamų funkcijų skaičiumi. Be jau aptartų funkcijų dar numatomi virpesiai su gėstančia tiesiniu ir eksponentiniu dėsniais amplitudė, tiesiniu ir logaritminiu dėsniais svyruojančio dažnio virpesiai, virpesių paketų formavimas su galimybe tarp paketų įterpti tam tikro lygio plačiajuostį triukšmą. Taip pat numatyta virpesių amplitudės manipuliacija (*angl.* amplitude-shift keying – ASK), dažnio manipuliacija (*angl.* frequency-shift keying – FSK) ir fazės manipuliacija (*angl.* phase-shift keying – PSK). Yra taip pat galima įvairių virpesių pasirenkama kombinacija, o kartais net vartotojo paties pasirinkta iš atskirų taškų virpesio forma. Tokie generatoriai įgijo **pasirenkamos kreivės formos** (*angl.* arbitrary waveform) virpesių generatorių pavadinimą. Jie sudaromi pagal struktūrinę schemą (2.26 pav.) analogišką harmoninių virpesių skaitmeniniams generatoriams (žr. 2.11 pav.) ir virpesius formuoja tiesioginės skaitmeninės sintezės metodu.

Virpesio kreivės formų bibliotekos yra saugomos generatoriaus **pastovioje atmintyje** (*angl.* Read-only memory – ROM) ir pasirinkus perrašomos į **operatyvinę atmintį** (*angl.* Random access memory – RAM). Vartotojo formuojama kreivės forma įvedama iš klaviatūros (KB) tiesiai į RAM. Generatoriaus darbą valdo bei parametrus

2. Matavimo signalų šaltiniai

kontroliuoja *mikrovaldiklis* (angl. Central Processing Unit – CPU), o parametrų vertes rodo duomenų displejus (DD).



2.26 pav. Pasirenkamos kreivės formos virpesių generatoriaus bendroji struktūrinė schema

Informacija apie kreivės formą iš RAM patenka į funkcinį skaitmeninį–analoginį keitiklį FDAC, kurio kuriamas virpesys po filtravimo nuo diskterizavimo triukšmo ir stiprinimo teikiamas į generatoriaus išėjimą. Generatorius taktuojamas iš netiesioginės dažnių sintezės dažnių sintezatoriaus G1. Tokius generatorius dabar gamina daugelio šalių matavimo prietaisų gamybos įmonės. Jų parametrai ir galimybės yra labai įvairios. 2.27 paveiksle yra parodytas firmos Agilent Technologies funkcijų ir pasirenkamos kreivės formos virpesių generatoriaus 33220A bendras vaizdas. Generatoriaus harmoninių ir stačiakampių simetrinių virpesių dažnių diapazonas yra iki 20 MHz, o pasirenkama kreivės forma gali būti sudaryta iš 64 000 14 bitų skiltiškumo taškų su iki 50 milijonų imčių per sekundę ėmimo sparta. Generatorius turi USB, GPIB ir LAN interfeisus.

2. Matavimo signalų šaltiniai



2.27 pav. Firmos Agilent Technologies funkcijų ir pasirenkamos kreivės formos virpesių generatoriaus 33220A valdymo panelio ir galinio panelio bendras vaizdas

2.4. Klausimai ir užduotys savarankiškam darbui

1. Kokia matavimo generatorių bendroji struktūrinė schema?
2. Kokie dažnių diapazonai sąlyginai vadinami infražemojo dažnio, žemojo dažnio, aukštojo dažnio ir superaukštojo dažnio diapazonais?
3. Kokie būna žemojo dažnio generatorių valdantieji generatoriai?
4. Kaip sudaryti žemo dažnio interferenciniai valdantieji generatoriai?
5. Kokios yra RC generatorių schemas?

2. Matavimo signalų šaltiniai

6. RC generatoriuje su Vīno tilteliu $C_1 = C_2 = C = 250 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = R$ kinta nuo $200 \text{ } \Omega$ iki $3 \text{ k}\Omega$. Apskaičiuokite generatoriaus dažnių diapazoną.

7. Kaip RC generatoriuje su Vīno tilteliu yra stabilizuojama virpesių amplitudė?

8. Nuo ko priklauso ir kaip reguliuojamas žemojo dažnio generatoriaus išėjimo įtampos lygis?

9. Kokie svarbiausi žemo dažnio generatorių metrologiniai parametrai?

10. Kaip normuojamas žemo dažnio generatorių dažnio nestabilumas ir kaip jis matuojamas?

11. Kaip normuojamas žemo dažnio generatorių dažnio nustatymo tikslumas ir kaip jis matuojamas?

12. Ką vadiname generatoriaus išėjimo virpesio DACH ir kaip ji surandama?

13. Ką vadiname harmoninių virpesių generatoriaus virpesio netiesiniais iškraipymais ir kaip jie įvertinami?

14. Nubraižykite tiesioginės skaitmeninės harmoninio signalo sintezės schemą ir paaiškinkite jos veikimą.

15. Nubraižykite aukšto dažnio signalų generatoriaus struktūrinę schemą ir paaiškinkite veikimą.

16. Kokie būna aukšto dažnio generatorių valdantieji generatoriai?

17. Kokios moduliacijos rūšys naudojamos aukšto dažnio matavimo signalų generatoriuose?

18. Kaip įvykdoma amplitudės moduliacija aukšto dažnio generatoriuje?

19. Kaip įvykdoma dažnio moduliacija aukšto dažnio generatoriuje?

20. LC generatorius sudarytas pagal talpinio tritaškio schemą. Apskaičiuokite jo generuojamą dažnį, jeigu $C_1 = 100 \text{ pF}$, $C_2 = 10 \text{ pF}$, o ritės induktyvumas yra $L = 100 \text{ } \mu\text{H}$.

21. Kaip sudaromi tiesioginės sintezės dažnio sintezatoriai?

2. Matavimo signalų šaltiniai

22. Kaip sudaryti ir veikia netiesioginės sintezės dažnio sintezatoriai? Nuo ko priklauso ir kaip keičiamas jų virpesių dažnis?

23. Kokie aukštojo dažnio matavimo generatorių svarbiausieji metrologiniai parametrai?

24. Nubraižykite struktūrinę schemą ir aptarkite veikimą analoginio impulsų generatoriaus.

25. Nubraižykite struktūrinę schemą ir aptarkite veikimą skaitmeninio impulsų generatoriaus.

26. Kokie svarbiausi impulsų generatorių metrologiniai parametrai?

27. Kaip kuriami stačiakampiai ir trikampiai simetriniai virpesiai analoginiuose funkcijų generatoriuose?

28. Nubraižykite schemą ir aptarkite veikimą rezistyvinio–diodinio trikampės simetrinės įtampos keitiklio į sinusinę įtampą.

29. Kokia yra bendroji analoginių funkcijų generatorių struktūrinė schema?

30. Kokie svarbiausi funkcijų generatorių metrologiniai parametrai?

31. Nubraižykite skaitmeninio pasirenkamos virpesių kreivės formos generatoriaus struktūrinę schemą ir aptarkite jos veikimą.