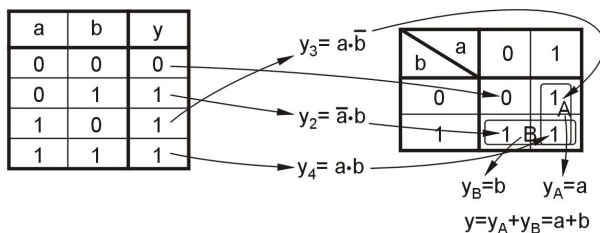


CIPARU ELEKTRONIKA



$$y = y_2 + y_3 + y_4 = \bar{a} \cdot b + a \cdot \bar{b} + a \cdot b = a \cdot \bar{b} + a \cdot b + \bar{a} \cdot b + a \cdot b = a \cdot (\bar{b} + b) + b \cdot (\bar{a} + a) = a + b$$

Bunžs Z.

Ciparu elektronika. – R.: SIA „Drukātava”, 2011. – 180 lpp., il.

Anotācija

Pēdējā laikā arvien vairāk nepārtrauktais jeb analogais signāls tiek aizstāts ar ciparu jeb diskrēto un impulsu signālu. Mūsdienās grūti atrast dzīves sfēru, kurā netiktu lietotas ciparu elektronikas iekārtas. Tās var sastapt burtiski uz katra soļa.

Visu apskatīto ciparu elektronikas iekārtu un automātisko sistēmu pamatā ir ciparu loģikas shēmas, trigeri, reģistri, skaitītāji, elektroniskie komutatori, dešifratori, šifratori, multiplexori, demultiplexori, kodu pārveidotāji, summatori, ciparu komparatori, taimeris, ciparanalogu un analogciparu pārveidotāji. Šo iekārtu uzbūves un darbības principu zināšana ir pirmais solis, lai izprastu, izstrādātu un apkalpotu mūsdienu elektroniskās iekārtas.

Ciparu jeb diskrētās mikroelektronikas galvenais uzdevums ir nodrošināt radioelektroniskās aparatūras augstu darbības drošumu.

Ceturtais paaudzes elektronu aparatūras pamatā ir lielās programmējamās mikroshēmas, mikroprocesori, mikrokontroleri un programmējamās loģikas ierīces, kuras arī darbojas, izmantojot ciparu un impulsu signālus.

Grāmata domāta plašam lasītāju lokam – gan ikvienam, kurš interesējas par mūsdienu ciparu elektroniku, gan kā mācību līdzeklis RTK studentiem priekšmetā „Impulsu un ciparu tehnika”.

Recenzenti:

RTU industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūta docents, inženierzinātņu doktors Uldis Zītaris;

SIA „Baltic Instruments” direktors Romualds Smiļģis.

© Inženierzinātņu doktors Ziedonis Bunžs, 2011.

© SIA „Drukātava”, 2011.

SATURS

IEVADS	5
1. CIPARU UN IMPULSU SIGNĀLI	7
1.1. Ciparu sistēmu signāli	7
1.2. Impulsu sistēmu signāli	8
1.3. Impulsu signālu spektri	10
2. SKAITĪŠANAS SISTĒMAS	12
2.1. Pozicionālās skaitīšanas sistēmas	12
2.2. Veselu skaitļu pārvēršana no vienas pozicionālās sistēmas citā sistēmā	13
2.3. Daļskaitļu pārvēršana no vienas pozicionālās sistēmas citā sistēmā	16
2.4. Skaitļu attēlošana	17
2.5. Aritmētiskās darbības binārā sistēmā	19
3. DIFERENCĒJOŠĀS UN INTEGRĒJOŠĀS ĶĒDES	20
3.1. Komutācija elektriskās ķēdēs	20
3.2. Diferencējošās ķēdes	21
3.3. Integrējošās ķēdes	22
4. AMPLITŪDAS IEROBEŽOTĀJI UN IMPULSU FORMĒTĀJI	23
4.1. Ierobežotāji ar paralēli slēgtām diodēm	25
4.2. Ierobežotāji ar virknē slēgtām diodēm	27
4.3. Ierobežotāji ar paralēli slēgtām Zēnera diodēm	31
4.4. Ierobežotāji ar virknē slēgtām Zēnera diodēm	33
4.5. Impulsa vidusdaļu izdaloši ierobežotāji	34
4.6. Līmeņa fiksēšanas shēmas	36
4.7. Komparatori	37
4.8. Šmita trigeri	38
5. IMPULSU ĢENERATORI	40
5.1. Multivibratori	40
5.2. Vienvibratori	46
5.3. Impulsu formēšana ar loģikas elementiem	51
5.4. Impulsu formēšana ar aiztures līniju	54
5.5. Analogo taimeru lietošana impulsu shēmās	56
5.6. Blokingģeneratori	59
5.7. Lineāri mainīga sprieguma ģeneratori	61
5.8. Impulsu selektori	67
5.9. Frekvences mērītāji	68
5.10. Kvarca ģeneratori	70
6. LOĢIKAS SHĒMAS	72
6.1. Loģikas elementi	72
6.2. Loģiskās algebras pamatlikumi	76
6.3. Loģikas shēmas sintēze reizinājumu summas formā	76
6.4. Loģikas shēmas sintēze pēc inversās funkcijas izteiksmes	78
6.5. Loģikas shēmas sintēze summu reizinājuma formā	78
6.6. Karno kartes	79
6.7. Neiespējamās ieeju kombinācijas	87
6.8. Dotās loģiskās funkcijas vienkāršošana	90
6.9. Loģikas shēmu ar vairākām izejām vienkāršošana	90
6.10. Elementu „Izslēdzošais VAI” izmantošana	91
6.11. Karno kartes izmantošana parazitisko impulsu novēršanā	92
7. TRIGERI, REĢISTRI, SKAITĪTĀJI	93
7.1. Asinhronie RS trigeri	94

7.2.	T trigeri	95
7.3.	Universālie D trigeri	96
7.4.	Universālie JK trigeri.....	97
7.5.	Paralēlie reģistri.....	98
7.6.	Bīdes reģistri	98
7.7.	Universālie reģistri	99
7.8.	Skaitītāji	100
7.9.	Binārie skaitītāji	100
7.10.	Sinhronie skaitītāji.....	102
7.11.	Reversīvie skaitītāji	103
7.12.	Nebinārie skaitītāji.....	103
7.13.	Dekādes skaitītāji	106
7.14.	Skaitītāju mikroshēmas.....	110
7.15.	Skaitītāji ar maināmu skaitīšanas koeficientu	115
7.16.	Skaitītāji ar daļskaitļa skaitīšanas koeficientu.....	118
8.	DEŠIFRATORI UN SHĒMAS UZ TO BĀZES	121
8.1.	Dešifratori	121
8.2.	Dešifratoru mikroshēmas	123
8.3.	Demultipleksori	128
8.4.	Multipleksori	128
8.5.	Kodu pārveidotāji	129
8.6.	Šifratori	131
8.7.	Pussumatori	131
8.8.	Pilnie summatori.....	132
8.9.	Ciparu komparatori.....	133
8.10.	Operatīvās atmiņas mikroshēmas	133
8.11.	Pastāvīgās atmiņas mikroshēmas	135
8.12.	Buferu mikroshēmas	136
9.	CIPARANALOGU PĀRVEIDOTĀJI	138
9.1.	Paralēlie pārveidotāji	138
9.2.	Virknes pārveidotāji	139
10.	ANALOGCIPARU PĀRVEIDOTĀJI	140
10.1.	Paralēlie pārveidotāji	140
10.2.	Pakāpeniskās tuvināšanās metodes pārveidotāji	140
10.3.	Integrējošie pārveidotāji	141
10.4.	Divkāršās integrēšanas metodes pārveidotāji	143
10.5.	Datu iegūšanas sistēmu mikroshēmas	144
11.	PROGRAMMĒJAMĀS LOĢIKAS MIKROSHĒMAS	145
12.	APRĒĶINU PIEMĒRI	148
PIELIKUMI		156
1.	TTL, ātrās KMOP, uzlabotās KMOP un BiKMOP mikroshēmas	156
2.	Standarta KMOP mikroshēmas.....	168
3.	Viena loģikas elementa ātrās KMOP mikroshēmas	172
4.	Latīņu, krievu un grieķu alfabēts.....	172
5.	Dažādie elementu apzīmējumi shēmās	172
6.	Mērvienību decimālie reizinātāji.....	174
7.	TTL, ātro KMOP, uzlaboto KMOP un BiKMOP loģikas mikroshēmu izvadi	174
8.	Standarta KMOP loģikas mikroshēmu izvadi.....	175
9.	Viena loģikas elementa ātrās KMOP mikroshēmas.....	177
LITERATŪRA		178

IEVADS

Šodien grūti atrast tādu dzīves sfēru, kurā netiktu lietotas mūsdienu ciparu elektronikas iekārtas. Tās var sastapt burtiski uz katra soļa. No rīta mūs modina elektroniskais pulkstenis, elektroniskais rokas pulkstenis vai mobilais telefons. Jaunākās ziņas mēs iegūstam no ciparu televīzijas raidījumiem. Braucot sabiedriskajā transportā – tramvajā, trolejbusā vai autobusā, mūs par galapunktu, laiku un nākamo pieturu informē ciparu tablo. Dodoties uz darbu savā automašīnā, tās darbību vada elektroniskā degvielas iesmidzināšanas sistēma un borta dators. Darbā daudzi no mums izmanto datorus, kurus varēja radīt tikai uz ciparu mikroelektronikas bāzes. Veikalā mūs apkalpo kasiere, kura sveramos produktus nosver uz ciparu svāriem, nosaka produkta cenu, aprēķina pirkuma cenu, sarēķina izdodamo naudas summu un izsniedz čeku par pirkumu ar kases aparātu, kas darbojas uz ciparu mikroelektronikas bāzes.

Visu apskatīto ciparu elektronikas (*Digital Electronics*) iekārtu un automātisko sistēmu pamatā ir ciparu loģikas shēmas, trigeri, reģistri, skaitītāji, taimeru, elektroniskie komutatori, dešifratori, šifratori, summatori, ciparu analogie un analogciparu pārveidotāji. Šo iekārtu uzbūves un darbības principu zināšana ir pirmais solis, lai izprastu, izstrādātu un apkalpotu mūsdienu ciparu elektroniskās iekārtas.

Ciparu jeb diskretās elektronikas galvenā loma ir nodrošināt elektroniskās aparatūras augstu darbības drošumu. Pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados ASV nacionālā programma numur viens bija radioelektroniskās aparatūras darbības drošuma palielināšana. Šīs programmas ietvaros tika radītas integrālās mikroshēmas, kuras ļāva ievērojami palielināt elektroniskās aparatūras darbības drošumu, jo mikroshēmās kristāls tiek ražots augstas tīrības apstākļos, rūpīgi pārbaudīts, un kristāla darbības drošums, pirmajā tuvinājumā, ir vienāds ar viena lodējuma darbības drošumu neatkarīgi no elementu skaita kristālā.

Ciparu integrālo mikroshēmu pielietošanas galvenās priekšrocības:

- 1) ievērojami palielināts elektroniskās aparatūras darbības drošums;
- 2) ievērojami samazināti aparatūras izmēri;
- 3) ievērojami samazināta aparatūras masa;
- 4) palielināta aparatūras darbības frekvence, jo starp mikroshēmas elementiem ir ļoti mazi parazitiskie parametri – parazitiskās kapacitātes un induktivitātes;
- 5) ievērojami samazinātas ražošanas izmaksas, jo viena mikroshēma var aizstāt veselus aparatūras blokus;
- 6) samazināts elektroniskās aparatūras izstrādāšanas laiks, jo var konstruēt sarežģītāku aparatūru īsākā laikā;
- 7) ciparu mikroshēmu barošanai pietiek ar vienu barošanas spriegumu +5 vai +3,3 V;
- 8) ciparu komplementārās metāla oksīda pusvadītāja (KMOP) mikroshēmas ir ļoti ekonomiskas, jo statistiskā režīmā informācijas glabāšanas laikā praktiski nepatērē strāvu no barošanas avota.

Pēdējā laikā arvien vairāk nepārtrauktais jeb analogais signāls tiek aizstāts ar impulsu un ciparu jeb diskreto signālu. Impulsu režīmā īslaicīgs signāls mijas ar pauzi. Impulsu un ciparu tehnika ir plaši izplatīta skaitļošanas tehnikā, mikroprocesoros un mikrokontroleros, datoros, radiolokācijā, televīzijā, telekomunikācijā, automātikā, rūpnieciskajā elektronikā, vielu un materiālu nesagraujošajā kontrolē un citur.

Impulsu režīmam ir vairākas priekšrocības:

- 1) impulsu un ciparu iekārtas vieglāk izpildīt integrālajā tehnoloģijā, kura ļauj ievērojami palielināt aparatūras darbības drošumu, vienlaikus samazinot aparatūras masu un gabarītus, bet palielinot ātrdarbību;
- 2) impulsa darbības laikā var iegūt ievērojamu jaudu, saglabājot mazu vidējo jaudas vērtību impulsu atkarības perioda laikā; tas ļauj samazināt aparatūras masu un gabarītus, jo tos nosaka vidējā jauda;

- 3) impulsu režīms ļauj samazināt temperatūras un tranzistoru parametru izkliedes iespaidu uz iekārtas darbību, jo tranzistori galvenokārt strādā tikai divos režīmos – ieslēgts un izslēgts;
- 4) pāreja uz ciparu jeb diskrēto informācijas apstrādi ļauj ievērojami palielināt mēraparatūras precizitāti, jo frekvenci var izmērīt ar precizitāti līdz astotajai zīmei, ciparu mēraparatūras rezultātu var nolasīt precīzi līdz trešajai, ceturtajai, piektajai vai tālākai zīmei bez noļaušanas kļūdām, un informācijas apstrādi ciparu veidā var veikt ar precizitāti līdz pusei no diskrētuma kļūdām;
- 5) impulsu režīma informācijas pārraide ļauj izdalīt signālus, kuru amplitūda ir mazāka par trokšņu signālu, nodrošinot labus televīzijas attēlus no Mēness, Marsa un citām tālākām planētām;
- 6) impulsu darba režīms ļauj ievērojami palielināt caurlaides spēju un traucējumu noturību.

Caurlaides spēja ir lielākais iespējamais informācijas pārraides ātrums.

Traucējumu noturība ir spēja aparatūrai normāli funkcionēt, ja uz to iedarbojas elektromagnētiskie traucējumi no citām elektriskām iekārtām.

Ciparu un impulsu tehnika arvien vairāk ieviešas arī energoelektronikā un automātikā, jo analogie regulatori tiek aizstāti ar impulsu platuma modulatoriem.

Barošanas avotos spēka transformatora un diožu taisngrieža vietā tiek lietoti impulsu pārveidotāji, kas darbojas ar augstu pārslēgšanās frekvenci un ļauj samazināt masu, gabarītus un palielināt lietderības koeficientu.

Elektriskajā apgaismošanā halogēno spuldžu ar spriegumu 12 V barošanai arvien plašāk tiek izmantoti elektroniskie transformatori, kas pēc būtības ir vienkārši augstfrekvences pustilta impulsu pārveidotāji, jo tiem ir mazāki gabarīti un masa kā 50 Hz transformatoriem.

Ekonomisko luminiscento spuldžu barošanai lieto tā sauktos elektroniskos balastus, kas būtībā ir augstfrekvences impulsu pustilta pārveidotāji. Luminiscento dienasgaismas spuldžu parastie kontakta starteri tiek nomainīti ar elektroniskajiem starteriem [49].

Elektriskajā apgaismošanā kvēlspuldzes jau tiek aizstātas ar daudz ekonomiskākajām gaismas diodēm, un to vadībai izmanto augstfrekvences impulsu pārveidotājus.

Elektriskajā piedziņā, kur nepieciešama ātruma regulēšana plašās robežās, līdzstrāvas kolektoru motori tiek aizstāti ar soļu dzinējiem un trīsfāžu asinhronajiem dzinējiem ar īsi slēgtu rotoru, tos barojot no trīsfāžu augstfrekvences impulsu pārveidotāja ar regulējamu frekvenci. Šāds pārveidotājs sastāv no vienfāzes vai trīsfāžu tilta taisngrieža ar kapacitīvu slodzi un trīsfāžu tilta impulsu pārveidotāja ar mikrokontrolera vadību, kas no 250...500 V līdzsprieguma formē trīsfāžu spriegumu ar regulējamu sprieguma amplitūdu un frekvenci.

Pārslēdzošā tipa jaudas iekārtās lieto elektroniskos jaudas faktora korektorus, kuri nodrošina to, ka no maiņstrāvas tīkla patērējamā strāva ir sinusoidāla un fāzē ar spriegumu. Tas novērš elektroenerģijas kvalitātes pasliktināšanos citiem patērētājiem. Pēc ASV un Eiropas elektroenerģijas kvalitātes standartiem IEC 555-2, VDE0871B un EN 60555 pārslēdzošā tipa jaudas iekārtām ar jaudu virs 300 W ir jābūt ar jaudas faktora korektoriem.

Elektronikas standartizācijas valoda ir angļu, tādēļ darbā ir doti oriģinālie apzīmējumi un angļu valodā lietotie saīsinājumi un indeksi, bet pirmajā reizē – iekāvās kursīvā to angļu valodas pilni nosaukumi un nepieciešamības gadījumā to tulkojums latviešu valodā. Lai indeksi būtu skaidri saskatāmi pie teksta mēroga samazināšanas izdevniecībā, indeksiem ir izmantoti lieli burti.

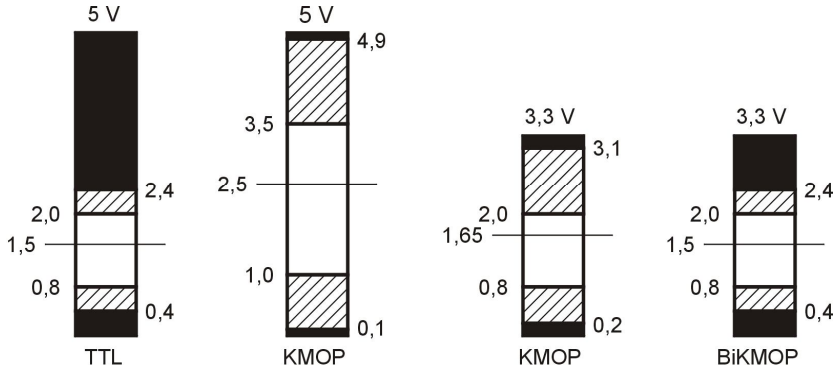
Autors izsaka pateicību visiem, kas piedalījās grāmatas sagatavošanā.

Piezīmes un priekšlikumus šīs grāmatas satura uzlabošanai lūdzam sūtīt RTK *docentam, inženierzinātņu doktoram Z. Bunžam*, RTK, Braslas ielā 16, Rīgā, LV-1035, vai uz e-pasta adresi ziedonis.bunzs@rtk.lv.

1. CIPARU UN IMPULSU SIGNĀLI

1.2. Ciparu sistēmu signāli

Ciparu signālam ir tikai divas vērtības: zemais L (*Low*) jeb „0” līmenis un augstais H (*High*) jeb „1” līmenis. Signāla zemā un augstā līmeņa vērtības ir atkarīgas no izvēlēto mikroshēmu tipiēm un to barošanas spriegumiem (1.1. att.).

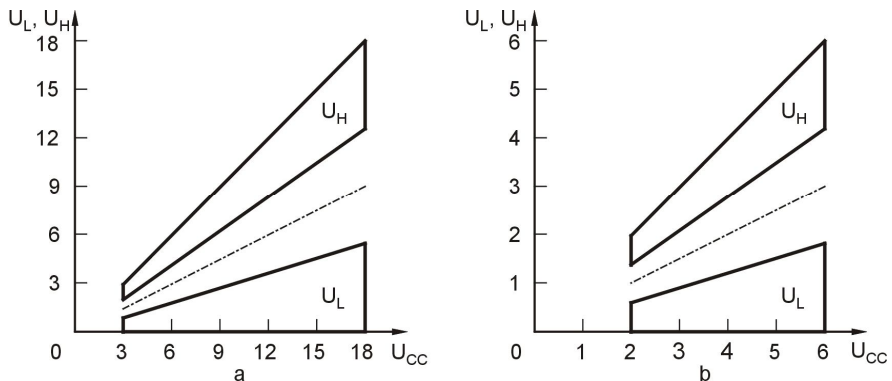


1.1. att. Ciparu TTL un KMOP ar 5 V barošanas spriegumu, KMOP ar 3,3 V barošanas spriegumu un BiKMOP mikroshēmu ieejas un izejas signālu līmeņi un pārslēgšanās sliekšņi

Katras mikroshēmas izejas signāla zemais līmenis jeb „0” līmenis atrodas apakšējā melnajā zonā, bet augstais jeb „1” līmenis atrodas augšējā melnajā zonā. Ieejas signāls var atrasties melnajā plus iesvītrotajā zonā. Iesvītrotā zona raksturo traucējumu noturību. Baltajā, neiesvītrotajā zonā signāls var atrasties tikai īslaicīgi pārejas procesa laikā. Pārslēgšanās sliekšnis ir parādīts ar tievu līniju, kura atrodas baltajā zonā [14].

TTL izejas signāla zemais līmenis ir no 0 līdz 0,4 V, bet augstais līmenis no 2,4 līdz 5 V. TTL ieejas signāla zemais līmenis ir no 0 līdz 0,8 V, bet augstais līmenis no 2,0 līdz 5 V un pārslēgšanās sliekšnis ir ap 1,5 V.

Komplementāro metāla oksīda pusvadītāja KMOP mikroshēmu ar plašu barošanas spriegumu diapazonu ieejas signāla zemais jeb „0” līmenis ir robežās no nulles līdz 30% no barošanas sprieguma, bet augstā jeb „1” līmeņa apakšējā robežā ir 70% no barošanas sprieguma un augšējā robeža ir līdz pilnam barošanas spriegumam (1.2. att.).



1.2. att. KMOP loģikas mikroshēmu ieejas zemā līmeņa signāla U_L un ieejas augstā līmeņa signāla U_H atkarība no barošanas sprieguma: a – standarta; b – ātro un uzlaboto

Standarta, ātro un uzlaboto KMOP mikroshēmu, kas slogotas ar citām KMOP shēmām, izejas sprieguma zemais līmenis nepārsniedz 0,1 V, bet izejas sprieguma augstais līmenis nav vairāk kā par 0,1 V mazāks par barošanas spriegumu, jo mikroshēmās ir izolēta aizvara un inducēta kanāla lauktranzistori, kuru izejas strāvas ir mazākas par 1 nA.

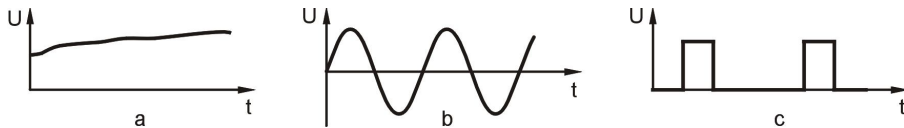
Ciparu signāls ir impulsu signāla veids, kurā signāls mijas ar pauzi, un tas periodiski vai neperiodiski atkārtojas.

1.2. Impulsu sistēmu signāli

Impulsu tehnika ir zinātnes un tehnikas nozare, kura nodarbojas ar elektrisko impulsu ģenerēšanas, apstrādāšanas un mērīšanas metožu un iekārtu izstrādāšanu un pētīšanu.

Elektrotehnikā un elektronikā visplašāk izplatītie ir trīs signālu veidi:

- 1) analogais signāls;
- 2) sinusoidālais signāls;
- 3) impulsu signāls (1.3. att.).



1.3. att. Izplatītāko signālu laika diagrammas: a – analogais signāls; b – sinusoidālais signāls; c – impulsu signāls

Analogais signāls mainās pēc nepārtrauktas funkcijas likuma.

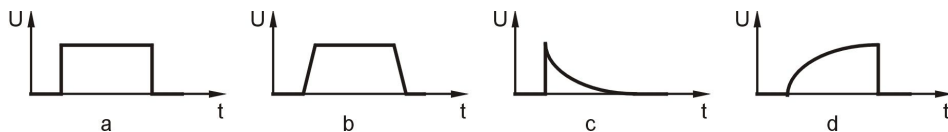
Sinusoidālais signāls mainās pēc sinusa funkcijas likuma. Sinusoidālos signālus plaši lieto maiņstrāvas tīklā un radiotehnikā informācijas pārraidē pa radiokanālu.

Impulsu signāls jeb elektriskais impulss ir spriegums vai strāva, kura iedarbojas īsā laika periodā un var periodiski vai neperiodiski atkārtoties.

Impulsi iedalās videoimpulsos un radioimpulsos.

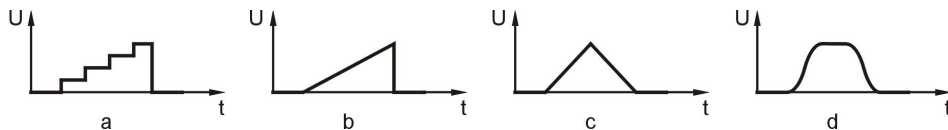
Videoimpulsi jeb vienkārši impulsi satur strāvu vai spriegumu, kas ātri izmainās no nulles līdz pozitīvai vai negatīvai maksimālai jeb amplitūdas vērtībai un pēc tam samazinās līdz nullei [41, 50].

Impulsu iekārtās var izmantot dažādu formu impulsus: taisnstūra, trapecveida, eksponenciāli dilstošus un eksponenciāli augošus (1.4. att.).



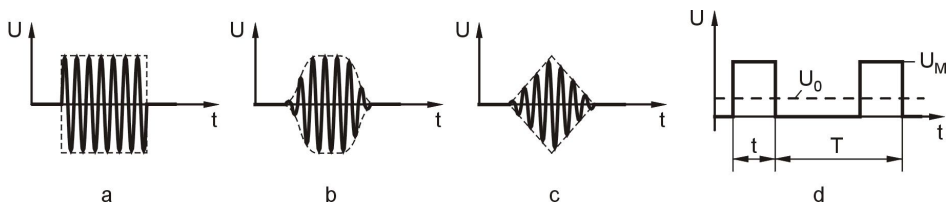
1.4. att. Impulsu signālu laika diagrammas: a – taisnstūra; b – trapecveida; c – eksponenciāli dilstoša; d – eksponenciāli augoša

Izmanto arī pakāpjveida, zāģveida, trīsstūrveida un zvanveida impulsus (1.5. att.).



1.5. att. Impulsu signālu laika diagrammas: a – pakāpjveida; b – zāģveida; c – trīsstūrveida; d – zvanveida

Radioimpulss ir īslaicīgas augstfrekvences sinusoidālu svārstību paketes, kuru amplitūda uz abām pusēm no nulles ir modulēta ar videoimpulsu (1.6. att.).



1.6. att. Radioimpulsi: a – taisnstūra; b – zvanveida; c – trīsstūrveida; d – ideālu taisnstūra impulsu signālu secības galvenie parametri

Parasti impulsi atkārtojas pēc noteikta perioda – T , kuram atbilst impulsu atkārtošanās frekvence – f .

Ideālas taisnstūra impulsu secības parametri:

A, U_M, I_M – impulsa amplitūda, sprieguma vai strāvas maksimālā vērtība;

t, t_p – impulsa (*Pulse* – impulss) garums jeb platums, ns, μ s, ms, s;

T – impulsu atkārtošanās periods;

f – impulsu atkārtošanās frekvence

$$f = \frac{1}{T}; \quad (1.1)$$

Q – impulsa samērs

$$Q = \frac{T}{t}; \quad (1.2)$$

D, γ – impulsu aizpildījuma koeficients jeb darba cikls $D = \gamma = 1/Q$;

$U_0, U_{(AV)}, I_0, I_{(AV)}$ – sprieguma vai strāvas vidējā jeb līdzstrāvas vērtība

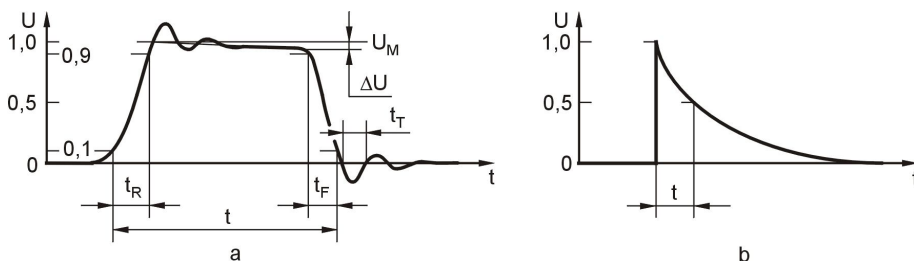
$$U_0 = U_{(AV)} = U_{DC} = \frac{U_M}{Q} = \frac{t}{T} \cdot U_M; \quad (1.3)$$

$U_{(RMS)}, I_{(RMS)}$ – sprieguma vai strāvas efektīvā – vidējā kvadrātiskā vērtība (RMS – *Root Mean Square* – vidējā kvadrātsakne) jeb maiņstrāvas vērtība

$$U_{(RMS)} = U_{AC} = \frac{U_M}{\sqrt{Q}} = \sqrt{Q} \cdot U_0. \quad (1.4)$$

Impulsa sprieguma vai strāvas efektīvā jeb vidējā kvadrātiskā vērtība ir \sqrt{Q} reizes lielāka par impulsa vidējo jeb līdzstrāvas vērtību.

Reāliem impulsiem strāva vai spriegums nevar izmainīties momentāni, bet tikai ar noteiktu izmaiņas ātrumu (1.7. att.).



1.7. att. Impulsu laika diagrammas: a – reāla taisnstūra; b – ideāla eksponenciāli dilstoša impulsa

Reālam taisnstūra impulsam papildus ir šādi parametri:

t, t_p – impulsa garums jeb ilgums, kuru mēra pie signāla līmeņa 0,1 no signāla amplitūdas vērtības, bet eksponenciāli dilstošam impulsam garumu mēra pie signāla līmeņa 0,5 no signāla amplitūdas vērtības;

t_R – impulsa augšanas laiks (*Rise* – augt), kuru mēra starp signāla izmaiņām no 0,1 līdz 0,9 no signāla amplitūdas vērtības;

t_F – impulsa krišanas laiks (*Fall* – krist), kuru mēra starp signāla izmaiņām no 0,9 līdz 0,1 no signāla amplitūdas vērtības;

ΔU – impulsa virsmas samazinājums no 0,9 līdz 1,0 no signāla amplitūdas vērtības;

δ – impulsa virsmas kritums

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_M}; \quad (1.5)$$

s – impulsa augšanas ātrums V/ μ s, V/ns

$$s = \frac{0,8U_M}{t_R}; \quad (1.6)$$

$U_0, U_{(AV)}$ – reāla impulsa vidējā jeb līdzstrāvas vērtība

$$U_0 = U_{(AV)} = \frac{1}{T} \int_0^t u(t) dt; \quad (1.7)$$

$U_{(RMS)}$ – reāla impulsa efektīvā jeb vidējā kvadrātiskā vērtība

$$U_{(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t u^2(t) dt}; \quad (1.8)$$

W – enerģija, ko impulsi izdala rezistorā ar pretestību R vai vadāmību $g=1/R$

$$W = g \int_0^t u^2(t) dt; \quad (1.9)$$

t_T – impulsa astes laiks (*Tail* – aste).

1.3. Impulsu signālu spektri

Periodisku taisnstūra impulsu spektru dabū, izvirzot Furjē rindā [1]

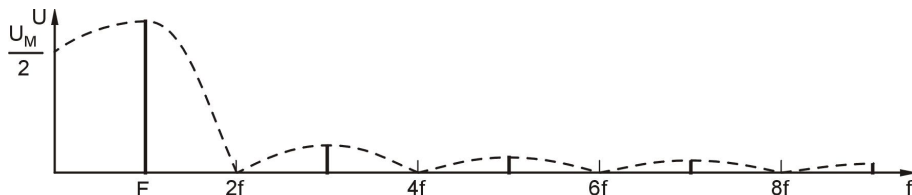
$$f(t) = \frac{U_M}{Q} + \frac{2U_M}{Q} \left(\frac{\sin \frac{\pi}{Q}}{\frac{\pi}{Q}} \cos \Omega_1 \cdot t + \frac{\sin \frac{2\pi}{Q}}{\frac{2\pi}{Q}} \cos 2\Omega_1 \cdot t + \frac{\sin \frac{3\pi}{Q}}{\frac{3\pi}{Q}} \cos 3\Omega_1 \cdot t + \dots \right), \quad (1.10)$$

$$\text{kur } \Omega_i = 2\pi F = \frac{2\pi}{T}. \quad (1.11)$$

Furjē rinda taisnstūra impulsiem ar $Q=2$ nesatur pāra skaita harmoniskās

$$f(t) = \frac{U_M}{2} + U_M (0,636 \cos \Omega + 0,212 \cos 3\Omega + 0,127 \cos 5\Omega + 0,091 \cos 7\Omega + \dots). \quad (1.12)$$

Impulsa secība ar $Q=2$ spektrs nesatur 2., 4., 6., 8., 10. un tā tālāk harmonisko (1.8. att.)



1.8. att. Taisnstūra impulsa ar $Q=2$ spektrs

Taisnstūra impulsa secības ar $Q=2$ pirmās, trešās un piektās harmoniskās summa jau ir diezgan tuva taisnstūra impulsa secībai, bet jo vairāk harmonisko tiek sasummēts, jo rezultāts ir tuvāks taisnstūrim (1.9. att.).