

ANALOGINIO SKAITMENINIO KEITIKLIO PAKLAIDOS

Mantas Amulis

VGTU AGAI Aviacijos prietaisų katedra
El. p. apk@vgtu.lt

Anotacija. Tyrimo metu nagrinėtas analoginis skaitmeninis keitiklis. Išanalizuota keitiklio perdavimo funkcija; kvantavimo, adityvinė ir apertūrinė paklaidos; diferencialinis keitiklio funkcijos netiesiškumas bei integralinis keitiklio statinės perdavimo funkcijos netiesiškumas. Nustatytos paklaidų atsiradimo priežastys.

Reikšminiai žodžiai: analoginis skaitmeninis keitiklis, kvantavimo paklaida, diferencialinis perdavimo funkcijos netiesiškumas, integralinis statinės perdavimo funkcijos netiesiškumas, adityvinė paklaida, mastelio paklaida, apertūrinė paklaida.

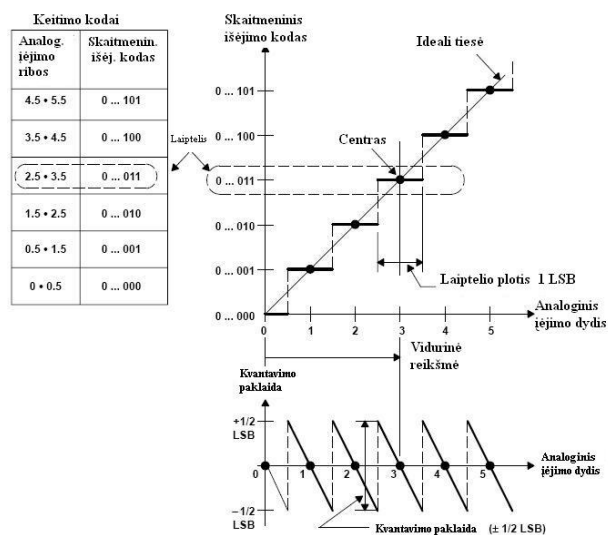
1. Įvadas

Analoginių signalų parametrų kokybė gerinama juos keičiant skaitmeniniais. Iš dalies taip yra todėl, kad skaitmeninių signalų apdorojimo schemų kaina mažėja ir jie pritaikomi vis plačiau. Mažėjant apdorojimo technikos matmenims, tuo pačiu gerėja jų kokybė. Pasirinktą įėjimo signalą apdoroja dviejų tipų keitikliai: ASK (analoginis skaitmeninis keitiklis) – įėjimo signalą keičia dvejetainiu kodu ir SAK (skaitmeninis analoginis keitiklis) – dvejetainį kodą paverčia išėjimo signalu. Skaitmeninių signalų kodo apdorojimo kokybė priklauso nuo analoginio skaitmeninio keitiklio parametrų – diskretizavimo dažnio bei bitų skaičiaus, kurie naudojami signalų kvantavimui (Marcinkevičius 2006). Dauguma ASK schemų skirtingai apdoroja į jį patekusį signalą. Pavyzdžiui, daugialaisniai keitikliai yra tiesiog daugiažingsniai amplitudės kvantizatoriai. Juose signalus apdoroja mažo skiltiškumo analogas – skaičių keitiklis, kuris koduojamas daugeliu panašių arba identiškų lygių pakopomis. Šiuo atveju daugialaisniškumas užtikrina didelį keitimo našumą su analoginiais registras. Jie dirba vienu metu su visais laipsniais lygiagrečiai.

Daugialaisnių ASK sudėtis priklauso nuo to, kaip turi apdoroti signalą ir koku pavidalu jį pateikti. Nuo to priklauso ir veikimo sparta bei tikslumas.

Panagrinėkime, kas yra analoginis skaitmeninis keitiklis. Idealus ASK keičia visus analoginius įėjimo signalo lygius į skaitmeninius išėjimo kodus. Grafinis ASK vaizdas parodytas 1 paveiksle, kur matyti, kad skaitmeniniai kodai yra diskretūs, todėl atsiranda kvantavimo procesas ir yra neišvengiamos paklaidos (Understanding... 1995). Didėjant diskretinių kodų skilčių skaičiui, atitinkamai mažėja laiptelio aukštis ir perdavimo funkcija artėja link idealios tiesės. Atstumas tarp kvantavimo lygių žymimas *LSB* (angl. – *Least Significant Bit*). Kvantavimo paklaida – $\frac{1}{2}$ *LSB*. Kuo mažesnis keitiklio *LSB* arba kuo daugiau bitų skirta signalo konvertavimui, tuo didesnis konvertavimo tikslumas. *LSB* dydis dažnai naudojamas kaip atraminis kitiems keitiklio parametrams specifikacijose. Juo taip pat yra nusakomas keitiklio skiriamumas,

kadangi jis nustato analoginio signalo lygių gradavimo skaičių.



1 pav. ASK perdavimo charakteristika

Fig. 1. ADC transfer characteristics

ASK skiriamumas dažniausiai išreiškiamas kaip skaitmeninio kodo skaičius išėjime. Pavyzdžiui, ASK su n -bitų skiriamumu turi 2^n galimų skaitmeninių kodų, kurie nustato 2^n laiptelių kiekį. Visas laiptelių skaičius yra padalytas į $2^n - 1$ laiptelių aukščius. Taigi:

$$1\text{LSB} = \text{FSR} / (2^n - 1) - n \text{ bitų keitikliui.}$$

čia *FSR* yra pilnos skalės skaičius (angl. *full-scale range*).

2. Analoginio skaitmeninio keitiklio parametrai

Apžvelgsime pagrindinius ASK parametrus, nuo kurių priklauso keitiklių charakteristikos.

Kvantavimo paklaida (Q_E). Ši paklaida randama norint sugraduoti analoginio įėjimo signalo charakteristiką (tiesę), kuri turi begalinį skaičių galimų lygių į baigtinį signalo lygių skaičių. Kuo didesnis lygių skaičius, tuo

didesnis ASK skiriamumas. Kvantavimo paklaidos dydis idealaus ASK sąlygomis yra nustatomas pagal šias išraiškas:

$$Q_E = V_{iej} - V_{laiptelio}; \quad (1)$$

$$V_{laiptelio} = D \cdot V_{LSB}. \quad (2)$$

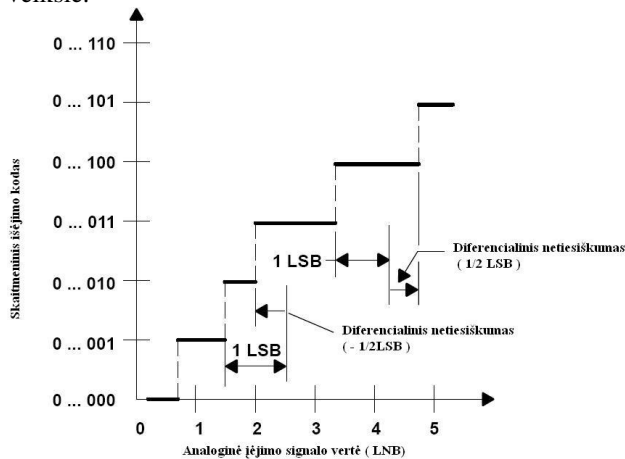
čia D yra ASK išėjimo kodas.

Diferencialinis perdavimo funkcijos netiesiškumas (DNL) – tai kodinės skilties reikšmės (laiptelio pločio) deviacija nuo idealios ASK žemiausios reikšminės skilties reikšmės. Kitaip tariant, diferencialinis perdavimo funkcijos netiesiškumas yra skirtumas tarp realaus laiptelio pločio ir idealaus 1 LSB dydžio. Jei laiptelio plotis yra lygus 1 LSB, reiškia, kad diferencialinis perdavimo funkcijos netiesiškumas yra lygus nuliui.

Šis dydis apskaičiuojamas pagal formulę, žinant ASK perdavimo charakteristiką:

$$DNL = \frac{V_{laiptelio} - V_{LSB}}{V_{LSB}}. \quad (3)$$

Šios perdavimo funkcijos netiesiškumas parodytas 2 paveiksle.

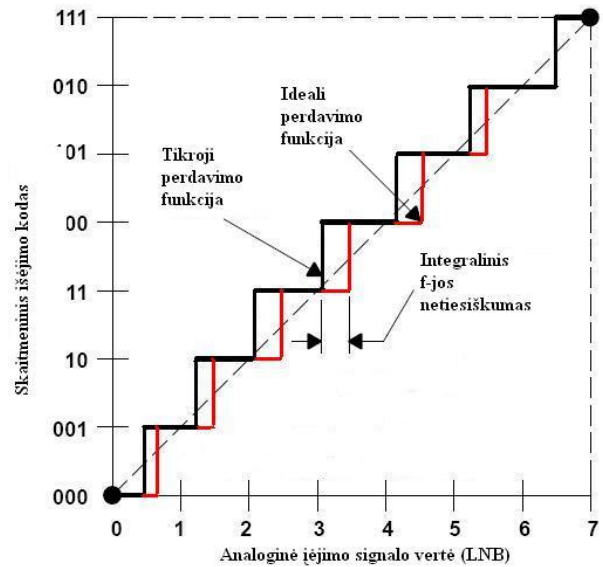


2 pav. Diferencialinis perdavimo funkcijos netiesiškumas (DNL)

Fig. 2. Differential non-linearity (DNL) of transfer function

Pažymėtina, kad diferencialinis netiesiškumas (DNL) yra normalizuotas vienam LSB. Jei $DNL = -1$, o tai reiškia, kad yra dingęs kodas.

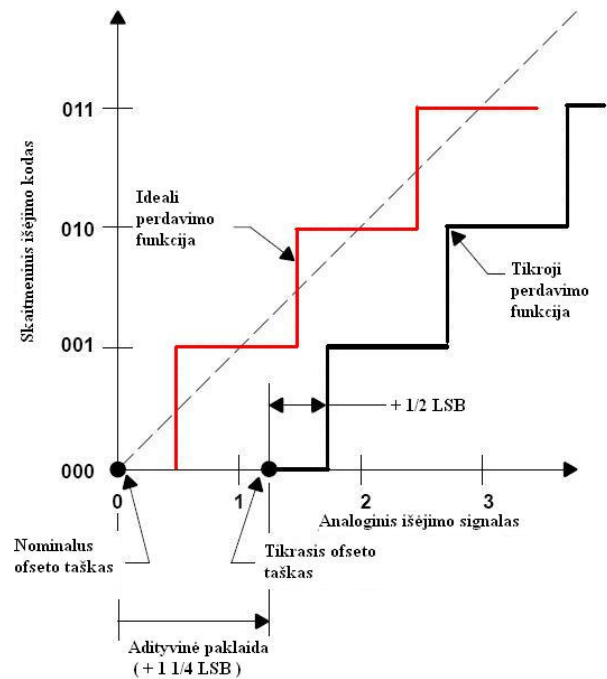
Integralinis ASK statinės perdavimo funkcijos netiesiškumas (INL) tai didžiausia deviacija nuo tiesios linijos, jungiančios ASK perdavimo charakteristikos pradžią ir pabaigą. Ji apibūdina ištisos ASK perdavimo charakteristikos netiesiškumą nuo idealios; tai galima pavaizduoti nubrėžiant kreivę per ASK perdavimo charakteristikos visų laiptelių taškus ir palyginti ją su idealia perdavimo charakteristika (3 pav.):



3 pav. Integralinis netiesiškumas (INL)

Fig. 3. Integral non-linearity (INL)

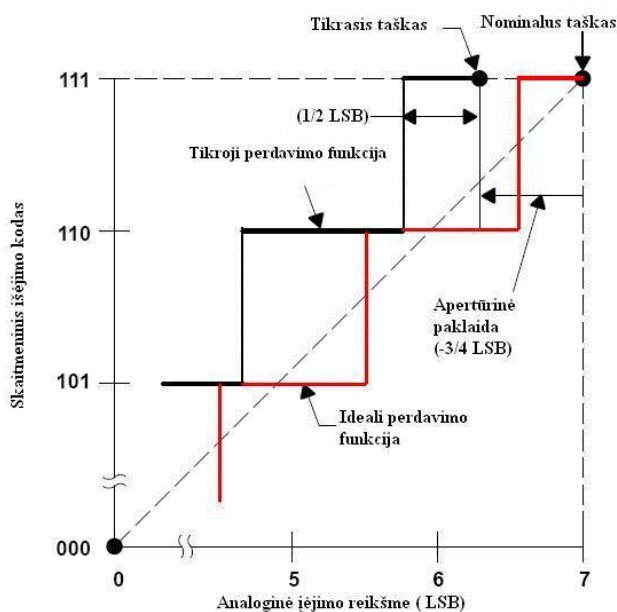
Nulio nustatymo arba adityvinė paklaida (angl. – *Offset Error*) – tai dydis, nustatytas kaip skirtumas tarp ASK ir idealios perdavimo charakteristikos lygių taškų. Reikia pažymėti, kad ši pakopos paklaida yra pastovus dydis visuose charakteristikos perdavimo dydžiuose. Tai matyti šiame paveiksle:



4 pav. Adityvinė paklaida

Fig. 4. Additive error

Mastelio paklaida (angl. – *Gain Error*). Kai ASK perdavimo charakteristikos polinkis skiriasi nuo idealios ASK perdavimo funkcijos, sakoma, kad yra mastelio paklaida. Šio dydžio priklausomybė pavaizduota 5 paveiksle:



5 pav. Mastelio paklaida

Fig. 5. Scale error

Apertūrinė paklaida (angl. – *Aperture Error*). Ši paklaida yra išrinkimo ir saugojimo veiksmo laiko tarpo neapibrėžtume priežastis, kai pereinama iš išrinkimo režimo į saugojimo režimą (Fung 2002). Tai labai gerai matyti 6 paveiksle. Paklaida atsiranda dėl strobavimo impulsų ar įėjimo signalo triukšmų. Sinusinio signalo įėjimo dydžiui V galime parašyti:

$$V = V_o \sin 2\pi ft. \quad (4)$$

Maksimalus kvantavimo dažnis yra ties nuline ašimi ir randamas:

$$\frac{dV}{dt} \max = 2\pi ft V_o. \quad (5)$$

Jei apertūrinė paklaida neturi poveikio keitiklio tikslumui, ji turėtų būti mažesnė nei $1/2$ LSB ties maksimalaus kvantavimo dažnio tašku.

Tokiu būdu n bitų keitikliui ši paklaida apskaičiuojama taip:

$$E_A = T_A \frac{dV}{dt} = \frac{1}{2} LSB = \frac{2V_o}{2^{n+1}}. \quad (6)$$

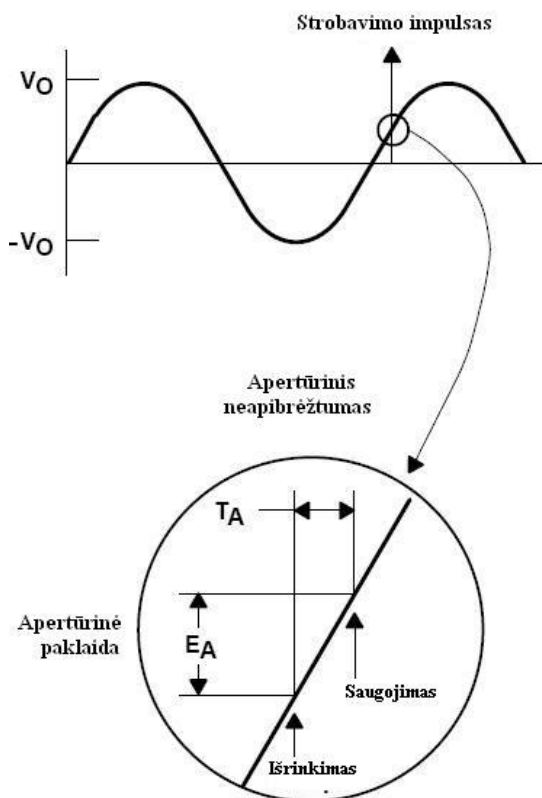
Perrašome į šią lygybę:

$$\frac{2V_o}{2^{n+1}} = 2\pi f V_o T_A. \quad (7)$$

Taigi maksimalus dažnis yra:

$$f_{MAX} = \frac{1}{T_A \pi 2^{n+1}}. \quad (8)$$

Norint apriboti šią paklaidą, turime nustatyti maksimalų sinusinio signalo įėjimo dažnį, kuriam esant ši paklaida būtų minimali.



6 pav. Apertūrinė paklaida

Fig. 6. Aperture error

3. Išvados

1. Keičiant įėjimo įtampos signalą skaitmeniniu išėjimo kodu, dėl keitiklių sudarančių elektroninių elementų netobulumo atsiranda kvantavimo įrenginio perdavimo funkcijos paklaidos:
 - mastelio paklaida;
 - nulio nustatymo – adityvinė paklaida;
 - perdavimo funkcijos netiesiškumo paklaidos:
 - a) integralinė;
 - b) diferencialinė.
2. Mažinant kvantavimo paklaidą didinamas ASK skiriamumas, tačiau tai turi įtakos ASK keitimo greičiui.
3. Apertūrinio neapibrėžtumo įtaka signalo ir triukšmo santykiui pasireiškia visame dažnių diapazone ir priklauso nuo apertūrinio neapibrėžtumo laiko.
4. Kuo mažesnis keitiklio LSB , arba kuo daugiau bitų skirta signalo konvertavimui, tuo tikslesnis yra konvertavimas.

Literatūra

- Fung, R. 2002. *Improving Accuracy of Analog-to-Digital Converters*.
- Marcinkevičius, A. J. 2006. Integriniai analoginiai skaitmeniniai informacijos keitikliai, *Mokslas ir technika* (2): 40–41.

Understanding data converters. 1995. Texas Instruments Application Report SLAA013, Mixed-Signal Products.

ERRORS OF ANALOGUE TO DIGITAL CONVERTER

M. Amulis

Summary

An analogue to digital converters is analyzed. The transfer function, quantization, offset, and aperture errors, differential and integral non-linearities of converters are analyzed too. The cause of error origin is also defined.

Keywords: analogue to digital converter, quantization error, differential non-linearity, integral non-linearity, offset error, gain error, aperture error.