

## ДВУТАКТЕН ЛОГАРИТМИЧЕН АНАЛОГО-ЦИФРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ (ЛАЦП)

**Борислав Недев**

Технически университет – Габрово, ул. “Хаджи Димитър” 4, Габрово, България, Коре-  
спондиращ автор: b.nedev@tugab.bg

## TWO-CYCLE LOGARITHMIC ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (LADC)

**Borislav Nedev<sup>1</sup>**

Technical University of -Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria  
\* Corresponding author: b.nedev@tugab.bg

### Abstract

A new approach and implementation of a logarithmic analog-to-digital converter (LADC) is presented, based on a classic two-cycle ADC. In this approach, the measured input voltage is integrated and logarithmized in the forward direction, while in the reverse direction, a linear dependence is used to detect the point at which the integration of the negative reference voltage reaches zero. The counted pulses in the second cycle are in a logarithmic dependence on the input voltage. Circuit solutions, analytical dependencies, and obtained results are provided.

**Keywords:** logarithmic analog-to-digital converter (LADC).

### ВЪВЕДЕНИЕ

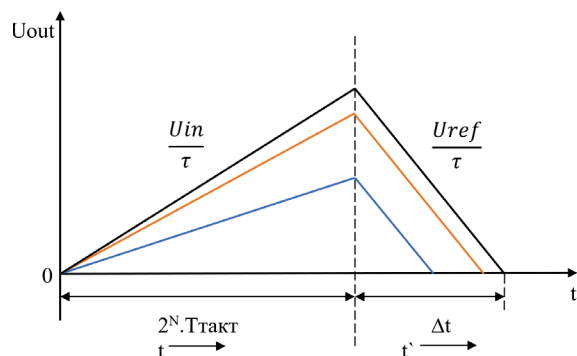
Класическите аналого - цифрови преобразователи (АЦП) имат линейна предавателна характеристика или нарастването на входното напрежение и изменението на изходния код стъпалообразно е по права линия. Това означава, че за целия динамичен диапазон на изследваното напрежение цифровия код ще бъде разпределен равномерно, което в някои случаи когато се търси по-голяма прецизност при ниските нива на сигнала ще е непрактично. Тогава едно от решенията е да се преобразува входния сигнал в цифров вид по логаритмична зависимост (с логаритмична по вид предавателна характеристика), вместо да се повишава разредността на класическия АЦП.

В този доклад се представят схеми и съпътстващите ги аналитични зависимости на преобразуване на АЦП с двукратно интегриране в логаритмичен аналого - цифров преобразовател (ЛАЦП).

Представя се реализираната предавателна характеристика.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Основно звено в АЦП с двукратно интегриране е т.нар. интегратор. Това е операционен усилвател (ОУ) с включен кондензатор в ООВ [1] и подадени чрез превключвател на входа на схемата изследван сигнал и обратно по полярност опорно напрежение  $-U_{ref}$  [2].



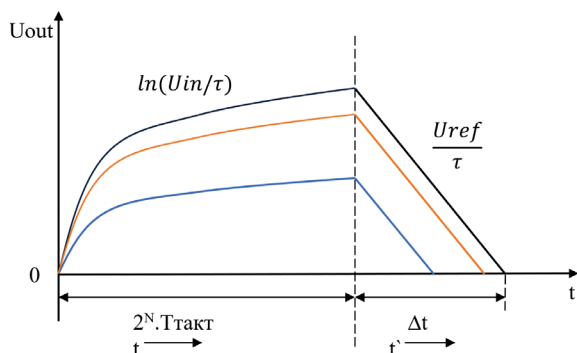
Фиг. 1. Времедиаграма на АЦП с двукратно интегриране

Принципът на работа на този АЦП се пояснява чрез графиката от фигура 1 на зависимостта на изходното напрежение ( $U_{out}$ ) на ОУ от времето на напълване на двоичен брояч за време  $t$  при интегриране на изследваното напрежение в права посока ( $U_{in}/\tau$ , където  $\tau=R.C$  е времеконстантата на интегратора). След което броячът се нулира и започва да се пълни с определен брой импулси за време  $\Delta t$ , при интегрирането в обратна посока (втори такт) с постоянен наклон  $U_{ref}/\tau$ . Отчетеният брой импулси  $n$  за времето на до-стигане на  $U_{out}=0V$ , ще даде двоичния код в линейна зависимост на входното напрежение  $U_{in}$ :

$$n = \Delta t / T_{такт} = (U_{in} / U_{ref}) 2^N, \quad (1)$$

където  $N$  е разрядността на брояча (съответно на АЦП).

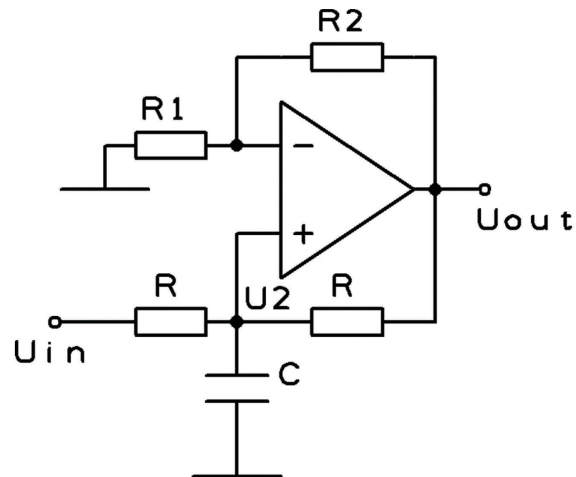
Промяната на интегриране от линейна  $U_{in}/\tau$  в логаритмична зависимост  $\ln(U_{in}/\tau)$ , както е показано на фигура 2 би променило изходния за двутактния АЦП цифров код в логаритмичен вид.



Фиг. 2. Времедиаграма на двутактен логаритмичен АЦП

Съчетаването на неинвертиращ интегратор показан на фигура 3 от [3] с логаритмичен преобразувател (фигура 4) е реализирано в схемата представена на фигура 5. Това по своята същност ще представлява логаритмичен интегратор, чиято предавателна характеристика ще определим, след направените по-долу разсъждения и извеждане на отделни аналитични зависимости.

За да се постигне неинвертиращ интегратор (фиг. 3) е необходимо да се създаде отрицателно съпротивление ( $-R1$ ). Това е съпротивление при което приложеното напрежение и протичащия ток не съвпадат по направление.



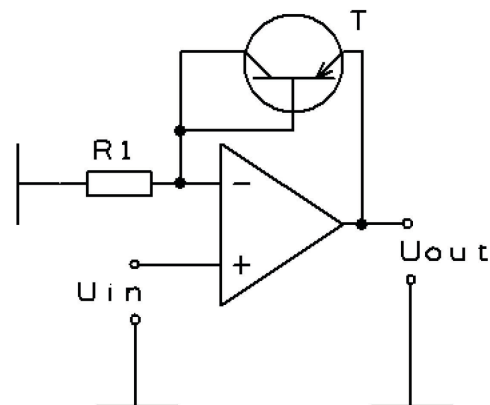
Фиг. 3. Неинвертиращ интегратор

Реализирането на отрицателно съпротивление ( $-R1$ ) [3] може да се реализира с активни схеми. Ако приемем, че  $R1=R$  се получава реализация на неинвертиращия интегратор с операторна по Лаплас предавателна функция:

$$W(s) = U_2(s) / U_{in}(s) = 1 / (sRC), \quad (2)$$

където  $RC$  е времеконстантата на интегратора, а  $s=\sigma+j\omega$  е комплексна променлива (честота) [4].

Фигура 4 представя схемата на неинвертиращ логаритмичен



Фиг. 4. Неинвертиращ логаритмичен преобразувател

преобразувател. За него е характерно, че се използват свойствата на p-n преход на диод или биполярен транзистор, за да се получи необходимата функционална характеристика [5].

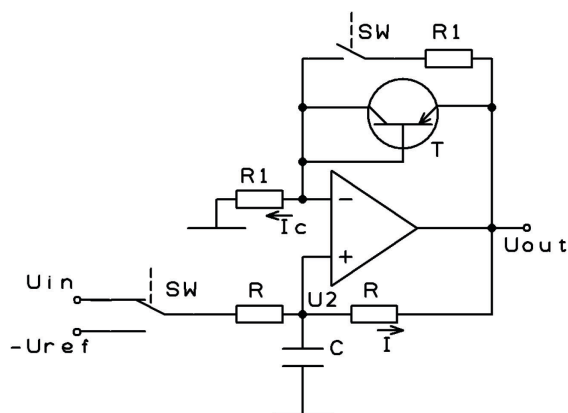
Схемата от фигура 4 е с използването на PNP транзистор. Тук е важно да се отбележи, че е необходимо обратното му напрежение  $U_{EBO}$  да е по-голямо от възможното обратно напрежение в схемата. Затова е избран транзистор 2Т3851 с  $U_{EBO}=6V$  и еднополярно захранване (+5V) на ОУ LM324N.

От [5] може да се вземе, че токът, който протича през транзистора при нулево напрежение колектор – база е:

$$I_c = I_{c0}[\exp(qU_{BE}/kT) - 1]. \quad (3)$$

Където  $I_{c0}$  е обратния колекторен ток на насищане и за маломощни транзистори е около 0,1 pA,  $q$  е заряд на електрона,  $k$  – константа на Болцман,  $T$  – температура в °K. За стайна температура  $V_T=kT/q \approx 25$  mV е широчината на забранената зона на полупроводника.

На фигура 5 е показана схемата на двутактен логаритмичен интегратор като логаритмичното интегриране е с показаното положение на аналоговите ключове SW. При подаване на логическа 1 на управляващите ги входове ключовете ще се превключат и ще реализират линейно интегриране в обратна посока.



Фиг. 5. Двутактен логаритмичен интегратор

Използвайки законите на Кирхоф за схемата на неинвертиращ логаритмичен интегратор (първоначално положение на ключовете) можем да изведем, че:

$$U_{out} = U_2 - U_R = U_{R1} + U_{BE} \quad (4)$$

За идеален ОУ с диференциално напрежение  $U_D \approx 0$ , напреженията на инвертиращия и неинвертиращ вход са равни, т.е.  $U_{R1}=U_2$ , също  $I_c=-I$  от където следва, че:

$$U_{BE} = -U_R = -I.R = I_c.R \quad (5)$$

Ако поставим резистор  $R=R1$  от (4) и (5) се получава, че:

$$U_{out} = 2U_{R1} = 2U_2 = 2I_c.R \quad (6)$$

Замествайки  $I_c$  от (3) в (6) се получава, че:

$$U_{out} = 2.I_{c0}[\exp(qU_{BE}/kT) - 1].R, \quad (7)$$

Откъдето след преобразуване се получава:

$$U_{BE} = V_T.\ln[(U_{out}/2I_{c0}.R)+1] \quad (8)$$

Също така от (5) се получава, че  $U_{BE}=U_{R1}=U_2$  и като вземем от (6), че  $U_2=U_{out}/2$ , следва:

$$U_{out} = 2.V_T.\ln[(U_2/I_{c0}.R)+1] \quad (9)$$

От (2) си извеждаме израз за  $U_2(s)$  и полагаме в (9). Получава се окончателна зависимост на  $U_{out}=f(U_{in})$ :

$$U_{out} = 2.V_T.\ln[(U_{in}/sI_{c0}.R^2.C)+1] \quad (10)$$

При превключване на схемата към  $-U_{ref}$ , т.е. към линейно интегриране в обратна посока, изходното напрежение се изменя по следната зависимост (11):

$$U_{out} = 2 \cdot V_T \cdot \ln[(U_{in}/sI_{co} \cdot R^2 \cdot C) + 1] - 2 \cdot U_{ref}/s \cdot R \cdot C \quad (11)$$

При достигане на нулева стойност на изходното напрежение от [2] може да се изведе, че времето за което протича вторият такт е:

$$\Delta t = V_T \cdot R \cdot C \cdot \ln[(U_{in} \cdot 2^N \cdot T_{такт} / I_{co} \cdot R^2 \cdot C) + 1] / U_{ref}, \quad (12)$$

Където N е броя разряди на логаритмичния АЦП. Вижда се, че броя импулси n, които отчита двоичният брояч за време  $\Delta t$  е в логаритмична зависимост от входното напрежение.

На фигура 6 е показана схема на реализация на представения логаритмичен АЦП.

Компараторът в схемата сравнява нивото на изходното напрежение ( $U_{out}$ ) на ОУ с нулево ниво (маса) и когато то бива достигнато подава сигнал логическа нула към логическия елемент (схема И), което спира отчитането на тактови импулси от N разредния двоичен брояч. Нов цикъл на измерване започва след като показанието бива отчетено и брояча се нулира от вход Clear. Същевременно е необходимо T тригерът да се обърне в изходно положение (логическа нула на инвертиращия изход). Това ще превключи аналоговите ключове SW1 и SW2 в първоначалното указано в

схемата положение. Ще започне нов цикъл на измерване при който броячът ще се напълни с  $2^N$  импулса и ще обърне T тригера (логическа 1 на инвертиращия изход), което ще превключи схемата във втория такт на интегриране - в обратна посока до достигане на нулево ниво на  $U_{out}$ , което спира пълненето на брояча и т.н., и т.н.

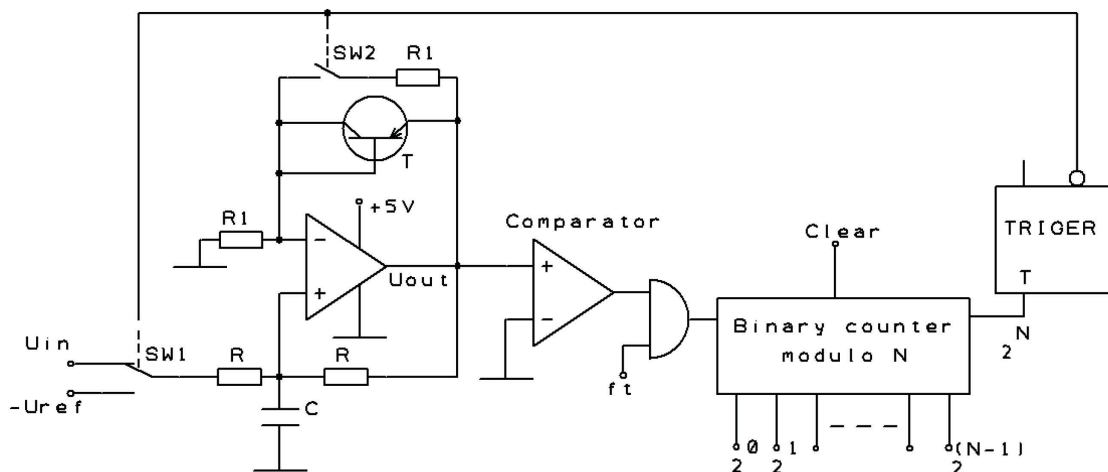
Включването на биполярен транзистор в схемата на логаритмичния интегратор ще внесе промяна в температурната стабилност на преобразувателя. Тук освен температурната компенсация на опорното напрежение е необходима и допълнителна такава за работата на транзистора T.

Честотата с която ще се дискретизира входния сигнал ще бъде:

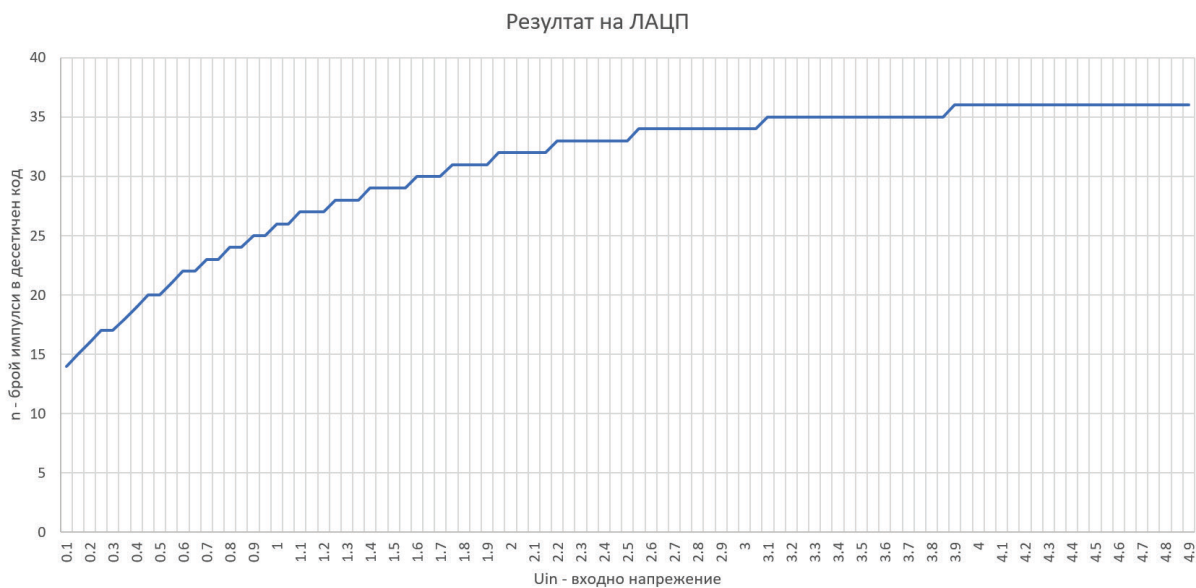
$$f_D = f_T / 2^{N+1}, \quad (13)$$

където  $f_T = 1/T_{такт}$  е тактовата честота с която работи ЛАЦП. Поради двата цикъла на работа се запазва основния недостатък на АЦП с двутактно интегриране, а именно неговата бавна скорост на дискретизация. Поради това този преобразувател би намерил приложение при изследване на сравнително бавни сигнали.

Реализираният по представената схема ЛАЦП, дава във вид на графика следната предавателна характеристика (фиг.7). Двоичните числа са представени в десетична бройна система.



Фиг. 6. Схема на логаритмичен АЦП



**Фиг. 7.** Предавателна характеристика на логаритмичен АЦП

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада се представя елегантно решение за реализация на логаритмичен АЦП. Изведени са аналитичните зависимости по които преобразувателя работи и е снета предавателната характеристика като е представена във вид на графика.

Относно стабилност и точност на преобразуването може да се говори след реализирането на антилогаритмичен (експоненциален) цифрово - аналогов преобразувател, което ще е в процес на бъдещи разработки. С него ще е възможно да се направи съпоставка между реалния изследван сигнал и дискретизирания и възстановен обработван сигнал.

*Благодарности:* Този доклад е финансиран по проект № 2405Е „Усъвършенстване на обучението чрез информационни и комуникационни технологии“ за науч-

ни изследвания на Технически университет – Габрово.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рынок Микроэлектроники. Схема интегрирования, (2023), [Online]. [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop\\_9\\_2.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop_9_2.htm) . (Accessed 11.2024).
- [2] Soclof, Sidney. *Applications of Analog Integrated Circuits*, Sofia, Technika, 1990.
- [3] Рынок Микроэлектроники. Преобразователь отрицательного сопротивления, (2023), [Online]. [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop\\_10\\_6.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop_10_6.htm) . (Accessed 11.2024).
- [4] Wikipedia. Преобразование на Лаплас, (2024), [Online]. [https://bg.wikipedia.org/wiki/Преобразование\\_на\\_Лаплас](https://bg.wikipedia.org/wiki/Преобразование_на_Лаплас) . (Accessed 11.2024).
- [5] Рынок Микроэлектроники. Логарифмирующие и экспоненциальные преобразователи, (2023), [Online]. [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop\\_13\\_1.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/funop_13_1.htm) . (Accessed 11.2024).