

- **Подбор на елементите и схемите за електронните уреди**

- **Операционни усилватели, основни параметри:**

- Захранващо напрежение, работно и максимално допустимо

ОУ с еднополярно и двуполярно захранване

<https://www.ti.com/lit/an/sboa059/sboa059.pdf>

Допустими напрежения на входовете (опасност от повреда).

- Работен обхват по вход и по изход. Работният обхват обикновено е по-тесен от захранващото напрежение с 1 – 3 V. Това зависи от конкретните схеми на входните и изходните стъпала на операционния усилвател. При **вградени делители** входният обхват може да е значително по-широк.

При **Rail to Rail** се достига захранването +V и -V. Има варианти (Rail to Rail) само по вход или само по изход, само до плюс или само до минус.

- **Операционни усилватели, основни параметри:**

Докато по вход напълно се достига захранването, дори и подминава, то по изход винаги остава малко до Rail. Това са от $10 \div 20 \text{ mV}$ до $200 \div 300 \text{ mV}$ като стойностите силно зависят от товара (изходен ток).

- Напрежение на несиметрия, типични стойности ($1\text{-}2\text{mV}$). Нулиране;

ОУ с малко напрежение на несиметрия ($< 0,5\text{mV}$, а има и по няколко μV);

Дрейф на напрежението на несиметрия - $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$;

- Потискане на синфазни сигнали и на промените в захранващото напрежение.

Тези параметри са важни в зависимост от конкретните схеми на свързване.

При инвертиращ ОУ синфазното напрежение на входовете не се променя и

CMRR може да не е голям, **за разлика от неинвертиращ ОУ.**

- **Операционни усилватели, основни параметри:**

- Честотни свойства, устойчивост:

ОУ с вътрешна честотна корекция, всъщност, са само за постоянен ток защото **на 1000Hz усилването спада 100 пъти;**

С външна корекция честотната лента може да се разшири значително. Стойностите на елементите в коригиращите RC групи се подбират според усилването;

- Стръмност на нарастване на изходния сигнал

Има връзка с честотните свойства, но с уговорки, зависи и от товара;

Размах на изходния сигнал като функция на честотата;

- Схеми на свързване, изисквания към стойностите на елементите

Усилване 100 пъти може да се получи с **безкраен брой двойки $R2/R1$;**

- **Опорни източници, дефиниция**

<https://www.ti.com/power-management/voltage-reference/overview.html> :

- На напрежение (Voltage references), последователни и паралелни (шунтови):

Изходно напрежение и консумация, примери;

Изчисление на допълнителните елементи;

Дрейф на изходното напрежение - ppm/°C, обикновено не се променя линейно от температурата. Най-прецизните са с 1-3 ppm/°C, масовите (но достатъчно добри) са с < 50 ppm/°C (50 ppm = 0,005%). От този порядък са и температурните коефициенти на добрите резистори 1%;

Стареене (ppm/year), дава се като стойност само за особено прецизни източници.

- Генератори на ток (Current references):

Параметри. Приложение;

- **Микроконтролери, основни параметри:**

- Как се избира микроконтролер;

Фирма производител, фамилия, контролер от фамилията. Всички фирми произвеждат фамилии със сходни параметри. **Всяка** задача може да се реши с контролер на коя и да е фирма. Решаващ е опитът с конкретната фамилия;

Налично експериментално (развойно) оборудване. **Софтуерни продукти**;

- Определяне на параметрите на микроконтролера според поставената задача;

Брой на изводите, корпус, модули – АЦП, UART, таймери и много други;

Дали да се ползва по-сложен (скъп) контролер или да се добави външно интегрална схема. Финансови съображения;

Програмна памет и RAM, обем според задачите;

• АЦП, ЦАП:

- Как се избира АЦП;

Основни параметри, разрядност, принцип на работа, обхват, цена...;

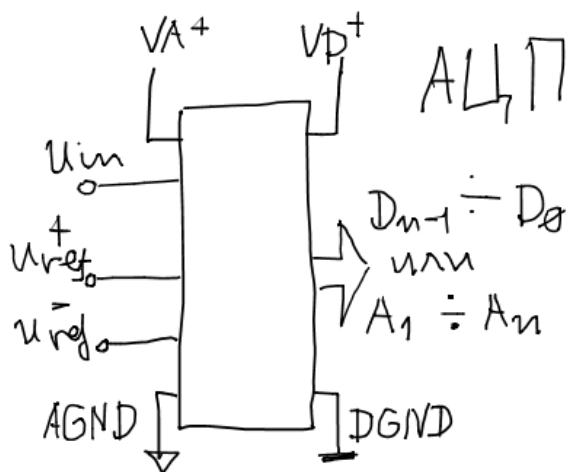
Съчетаване с микроконтролер, интерфейси;

- Как се формира аналогов сигнал. ЦАП, PWM и т.н.

Основни параметри, разрядност, бързодействие, пулсации и др.;

Съчетаване с микроконтролер, интерфейси;

- Качествените АЦП са направени по схема подобна на показаната:



Цифровите захранвания са отделени от аналоговите, опорните напрежения са с отделни входове за плюс и минус. Това се среща по-рядко при вградените АЦП в микроконтролерите. Често на платката VA и VD, AGND и DGND (и $-U_{ref}$) са **накъсо**.

- **АЦП, ЦАП:**

ЦАП са по същата схема, но вместо U_{in} има U_{out} и изводите за данни са входове вместо изходи.

В случаите, когато V_A и V_D , $AGND$ и $DGND$ (и $-U_{ref}$) не са „накъсо“, има допълнителни ограничения. Например $AGND$ и $DGND$ не бива да се различават с повече от $0,5V$. Подобно е изискването и за V_A и V_D , $+U_{ref}$ трябва винаги да е по-голямо от $-U_{ref}$ и освен това опорното $(+U_{ref}) - (-U_{ref})$ не може да е по-малко от някаква стойност $(0,5 \div 2V)$;

Когато се избира контролер с вграден АЦП (ЦАП) се подхожда по подобен начин – разрядност, грешка, опорно напрежение (вградено, параметри), време за преобразуване, входно съпротивление, ограничение към съпротивлението (изходно) на измерваната верига.

• Пасивни елементи – резистори, кондензатори, индуктивности . . . :

E SERIES	TOLERANCE (SIG FIGS)	NUMBER OF VALUES IN EACH DECADE
E3	>20%	3
E6	20%	6
E12	10%	12
E24	5% [normally also available in 2% tolerance]	24
E48	2%	48
E96	1%	96
E192	0.5%, 0.25% and higher tolerances	192

- Стандартни стойности, основни параметри, номинал, точност, **TCR**, обхват на стойностите, U_{max} , I_{max} , P_{max} и т.н. При кондензаторите е важен импулсният ток. При най-големите и най-малките стойности може да се **надвиши I_{max} и U_{max} без да се достига P_{max}** . Това важи и за активните елементи;

Често, за да се намали броят на номиналните стойности, елементи от 5% ред се правят с параметри като на 2% или на 1%;

- Елементи за донастройка. Обхват на настройката, влияние върху точността;

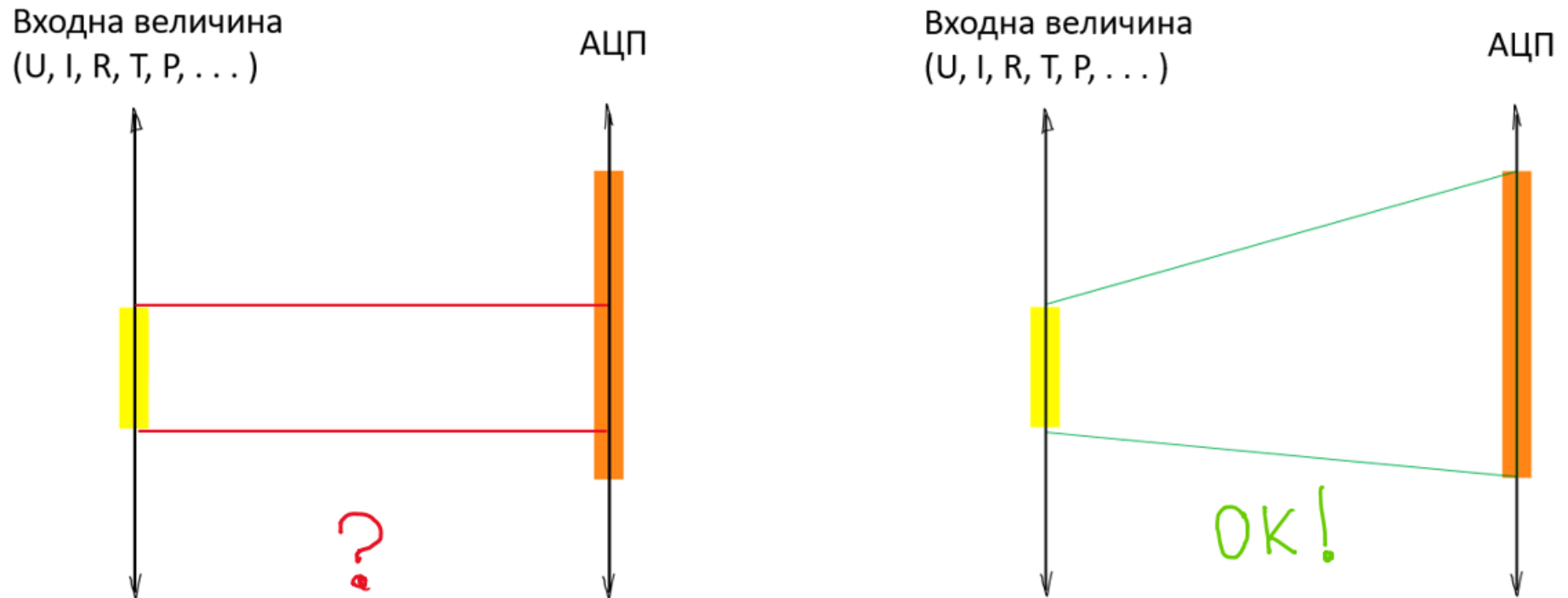
- **Съгласуване, нормализация на обхвата за аналогови величини**

Разглеждат се измервания при които независимо от сензорите (R, L, C и т.н.) след първичните преобразуватели се получава напрежение (ток). Прави се тази уговорка, защото, при някои измервания, изходният сигнал може да е продължителност на импулс, честота, коефициент на запълване и др.

Много рядко входната величина точно съответства на обхвата на АЦП. За **максимална разрешаваща способност** обхватите трябва да се съгласуват (изравнят). Има най-различни случаи - входната величина е двуполярна, а АЦП - не, или обратно. Двуполярните величини да са симетрични спрямо нулата, а по-често – да не са. От целия обхват на входната величина (на сензора) да се интересуваме само от малка част – например при измерване на телесна температура (35-44°C) и т.н.

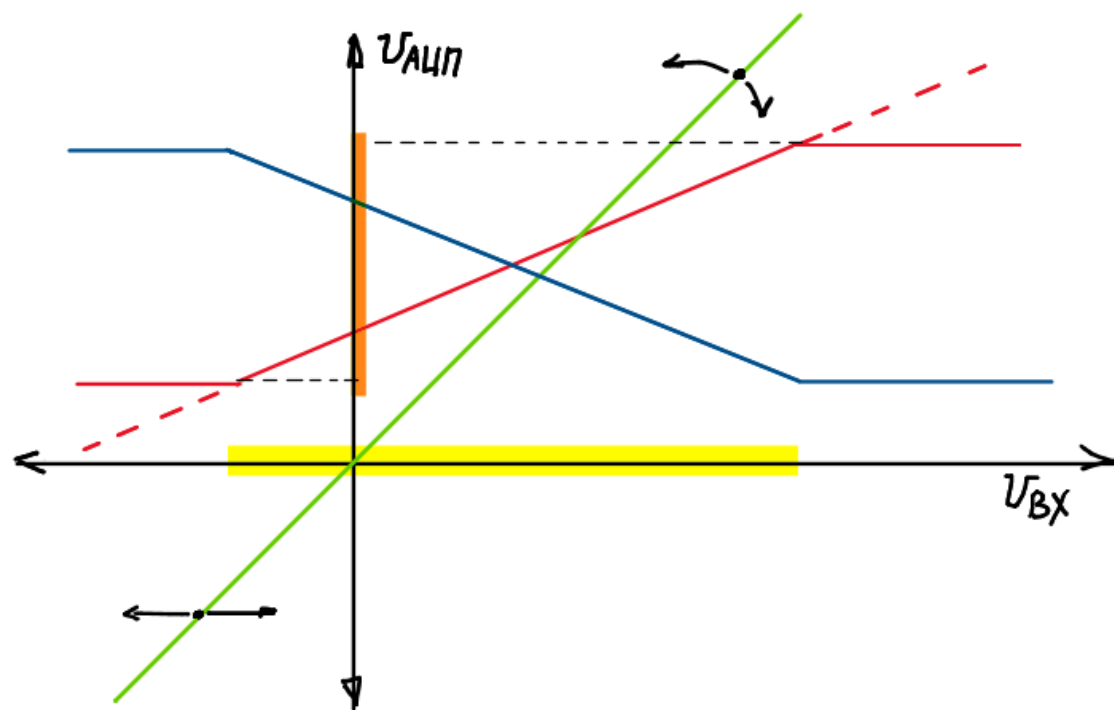
Електронни устройства за измерване и управление

Обобщено, ако обхватът на входната величина е по-голям от обхвата на АЦП **няма да се измерват всички стойности**, а ако е обратно, измерването ще е с **влошена точност**. На примера се вижда, че, ако сигналът директно се подаде на АЦП, ще се работи с два пъти по-лоша разрешаваща способност (точност).



Електронни устройства за измерване и управление

При всички варианти на съотношение между $U_{вх}$ и $U_{АЦП}$, съгласуването на обхвата се свежда до усилване (затихване) и постояннотоково отместване. На фигурата, в зелено е показана стандартната характеристика, с жълто – входната величина, а с оранжево работният обхват на АЦП. В червено е съгласуваната характеристика.



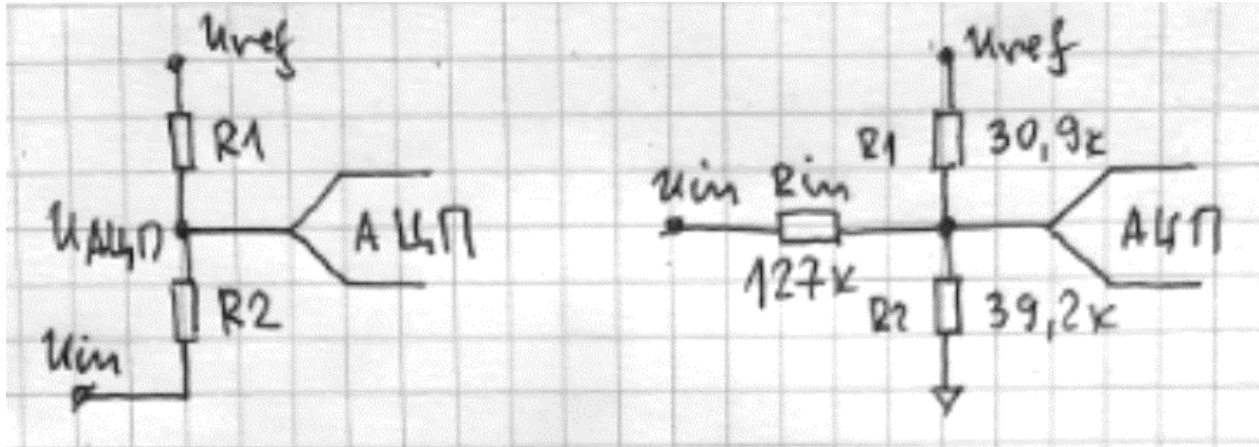
За да стане това, сигналът е намален (усилване < 1) и е отместен в положителна посока. Това е така защото входният сигнал е двуполярен и обхватът му е по-широк от обхвата на АЦП.

Със **синьо** е характеристиката при използване на **инвертиращ ОУ**.

Пунктираните линии показващи съгласуваната характеристика са **малко по-навътре** от обхвата на АЦП – това не е грешка на чертежа.

Електронни устройства за измерване и управление

Примери на схеми за съгласуване на обхвата са показани на фигурите по-долу:



Вляво е най-простата схема за измерване на двуполярно напрежение с еднополярен АЦП. При $R_2 = R_1$ входният обхват е $\pm U_{ref}$, при което усилването е $\frac{1}{2}$, т.е. сигналът се намалява 2 пъти.

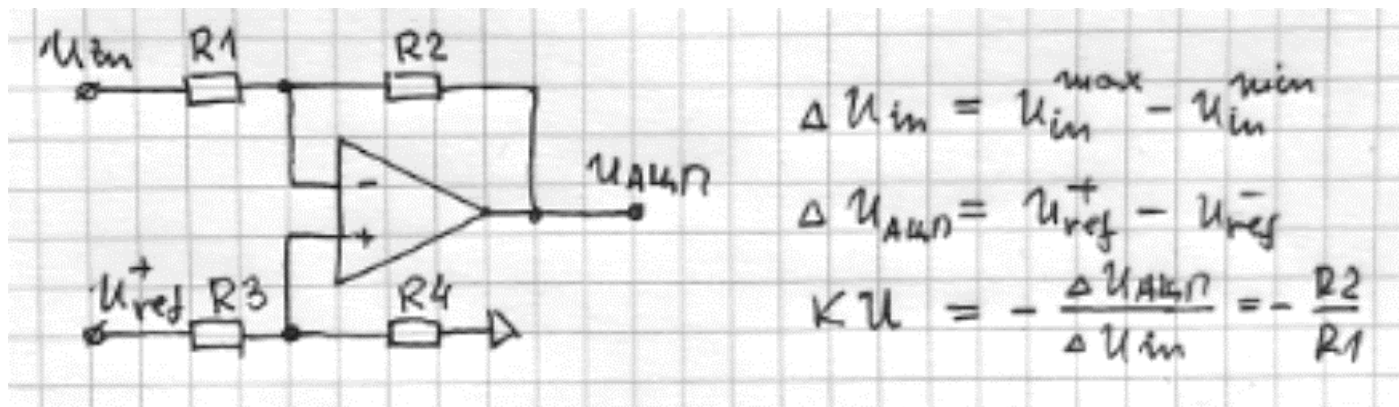
Втората схема е от USB 6008/6009 на NI. Измерва напрежения от $-10V$ до $+10V$. Опорното напрежение е $2,5V$. С делителя R_1 - R_2 входното напрежение е отместено така, че при $0V$ входно напрежение, на АЦП да се подава около $U_{ref}/2$.

Това са схеми с пасивни елементи без усилване. С максимална разрешаваща способност, може да се измерват **само напрежения по-големи** от U_{ref} .

Входното и изходното съпротивление на тези схеми се определят от стойностите на резисторите. Това може да не отговаря на изискванията на АЦП или на схемата която дава U_{in} . Обикновено на входа има и защита – нелинейно $R_{вх}$!

Следващата схема е с усилване и входният сигнал може да по-малък от U_{ref} .

Това е **инвертиращ** усилвател и характеристиката е обърната – изисква **софтуерна корекция**. Съображенията за изчисляване на стойностите на резисторите са дадени



на същата схема.

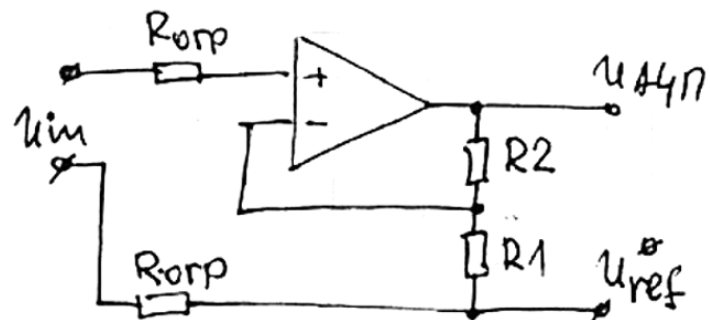
За да може да се измерват и отрицателни напрежения, с делителя R3-R4, характеристиката е отместена.

В този случай на **входа през R1 се появява напрежение** равно на напрежението на неинвертиращия вход което се определя от U_{ref} , R3, R4.

Ако входният ток на ОУ не може да се пренебрегне (биполярен ОУ), трябва при изчисленията $R1 || R2 = R3 || R4$ (**а това защо**).

Входното съпротивление се определя от резистора R1. За нормална работа той не може да е много голям (**какво означава това**). Ако е необходимо по-високо входно съпротивление трябва да се използва буферно стъпало;

Ако се ползва схема на неинвертиращ усилвател входното съпротивление е много голямо. Когато източникът на сигнала е **двуполярен** и **няма обща маса** с АЦП отместването U^{0ref} се определя от $U_{in} (min)$. Необходимото усиление се изчислява



$$K_u = \frac{\Delta U_{АЦП}}{\Delta U_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_{ref} \geq -U_{in}^{min} \cdot K_u$$

подобно на предната схема но за **неинвертиращ ОУ**.

Отместването трябва да е равно или малко по-голямо от минималното входно, но

това да не води до надвишаване на U_{ref} (АЦП) при максимално U_{in} !

В схемите участват елементи които имат **толеранси на стойностите**. Опорното не е точно, операционните усилватели имат Offset, резисторите са с точност рядко по-добра от 1% и т.н. Това бе загатнато на стр. 11. За да се компенсира влиянието на неидеалните елементи, **при изчисленията се оставя запас** - напрежението на входа на АЦП при изменение на U_{in} от min до max да не достига до U_{ref} и 0, а да има малък резерв - 10-20mV до 200-300mV в зависимост от качеството на елементите.

- Теми за тестови въпроси:

- Защо се налага съгласуване на обхватите?
- Как се определя необходимият коефициент на усилване (предаване)?
- Как се определя отместването на характеристиката?
- Влияние на толерансите на реалните елементи при изчисленията;
- Изчисления на примерни схеми за съгласуване на обхватите;
- Примери на схеми за съгласуване на обхвата за конкретни сензори;