

- **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 с 1 – 3 V от захранването. Това зависи от конкретните схеми на входните и изходните стъпала. При **вградени делители** входният обхват е по-широк.

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

Електронни устройства за измерване и управление

- **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 10-20 mV до 200-300 mV като стойностите зависят от товара (изходен ток).

- Напрежение на несиметрия, типични стойности (1-2mV). 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 напрежението на входовете не се променя и CMRR не трябва да е голям, **за разлика от неинвертиращ ОУ.**

Електронни устройства за измерване и управление

- **Операционни усилватели, основни параметри:**

- Честотни свойства, устойчивост:

ОУ с вътрешна честотна корекция, всъщност са постояннотокови усилватели - **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;

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**

<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;
 - Стареене (ppm/year), дава се като стойност само за особено прецизни източници.
- Генератори на ток (Current references):
 - Параметри;
 - Приложение.

Електронни устройства за измерване и управление

- **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;

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

- Определяне на параметрите на микроконтролера според поставената задача;

Брой на изводи, 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...;

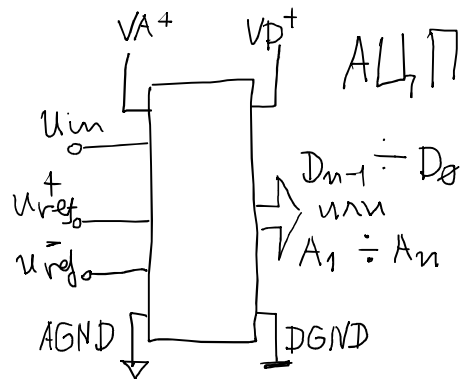
Съчетаване с микроконтролер, интерфейси;

- 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 вляво –



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.

ЦАП са по същата схема, но вместо U_{in} има U_{out} .

Електронни устройства за измерване и управление

• 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 най-големите и най-малките стойности може да се надвиши I_{max} и U_{max} без да се достигне P_{max} . Важи и за активните елементи;

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

- Елементи за донастройка;
Обхват, влияние върху точността;

Електронни устройства за измерване и управление

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

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

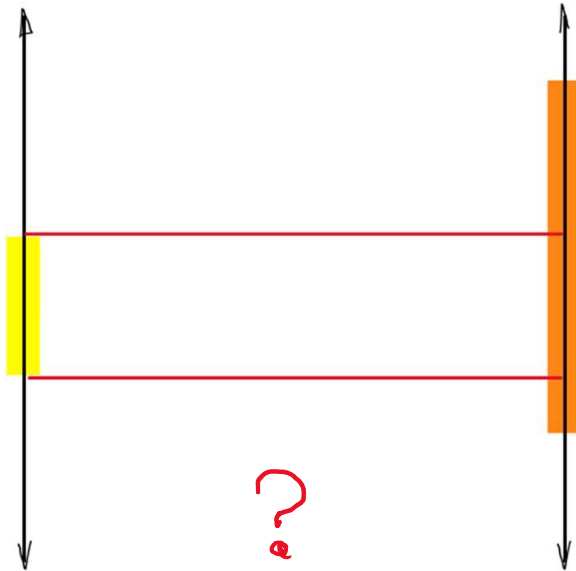
Много рядко входната величина точно съответства на обхвата на АЦП. Вариантите са най-различни - входната величина да е двуполярна, а АЦП – не, или обратно. Двуполярните величини да са симетрични спрямо нулата, а по-често – да не са. От целия обхват на входната величина (на сензора) да се интересуваме само от малка част – например при измерване на телесна температура (35-42).

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).

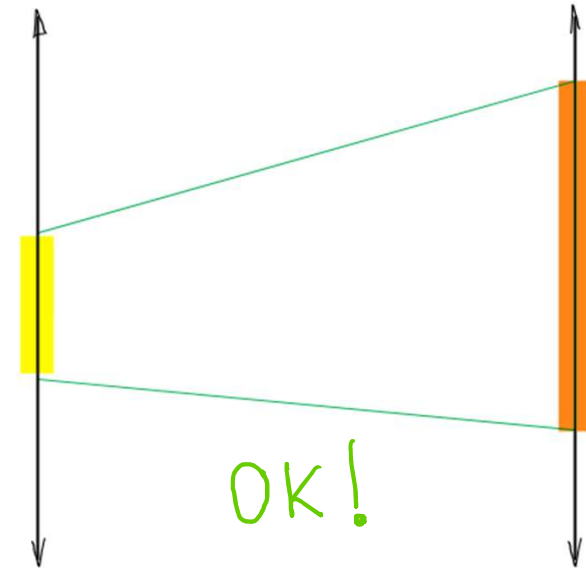
Входна величина
(U, I, R, T, P, ...)

АЦП



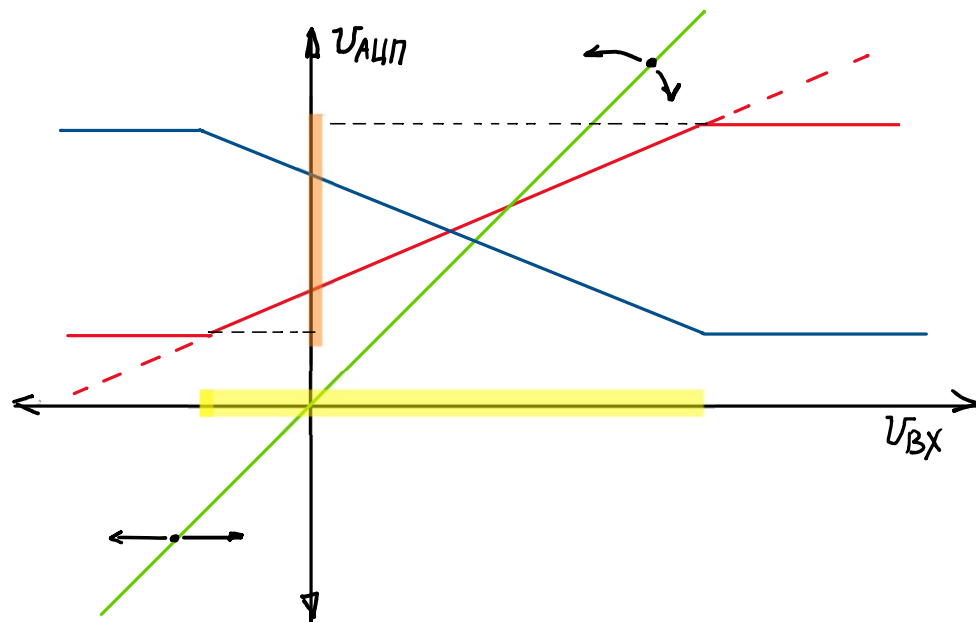
Входна величина
(U, I, R, T, P, ...)

АЦП



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.



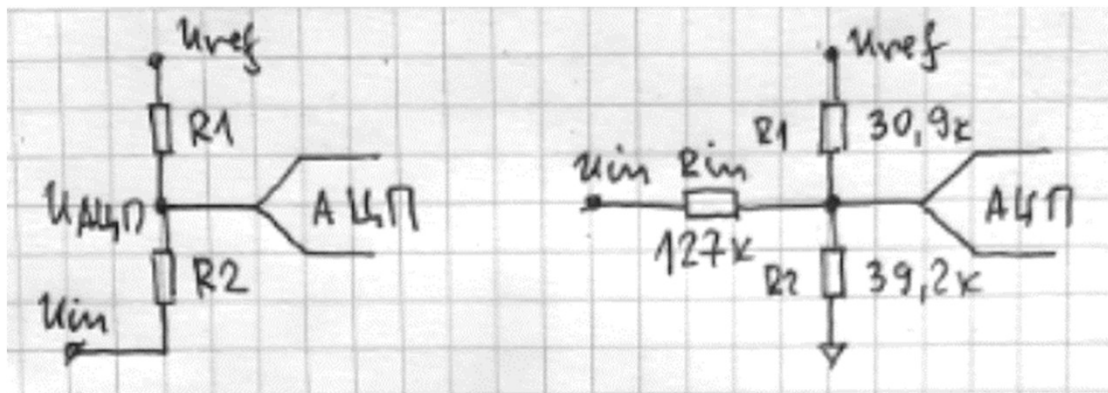
За да стане това, сигналът е намален (усилване < 1) и е отместен в положителна посока. Това е така защото входният сигнал е двуполярен и обхватът му е по-широк от обхвата на АЦП.

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 двуполлярно напрежение с еднополярен АЦП. При $R2 = R1$ входният обхват е $\pm U_{ref}$, при което усилването е $\frac{1}{2}$, т.е. сигналът се намалява 2 пъти.

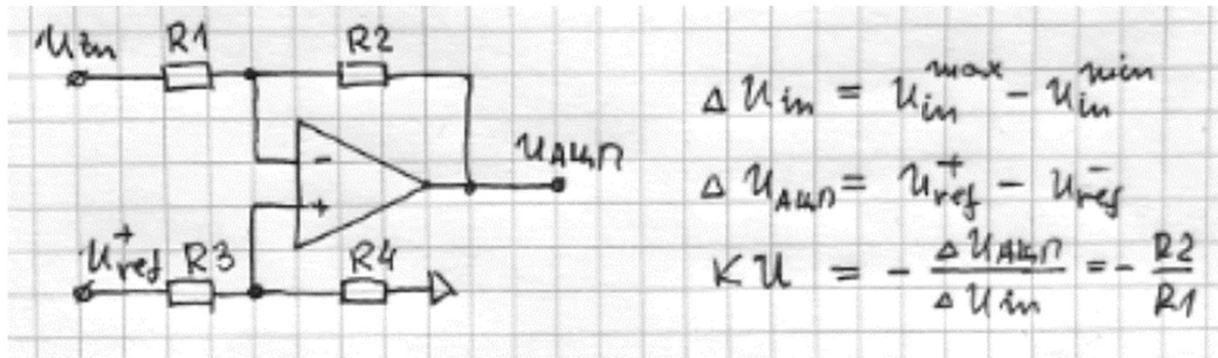
Втората схема е от USB 6008/6009 на NI. Измерва напрежения от $-10V$ до $+10V$. Опорното напрежение е $2,5V$. С делителя $R1-R2$ входното напрежение е отместено така, че при $0V$ входно напрежение, на АЦП да се подава около $U_{ref}/2$.

Това са схеми с пасивни елементи, т.е. няма усилване. Така, с макс. разрешаваща способност, може да се измерват само напрежения по-големи от U_{ref} .

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

Електронни устройства за измерване и управление

Следващата схема е с усилване и входният сигнал може да е и по-малък от U_{ref} . Това е инвертиращ усилвател и характеристиката е обърната – изисква софтуерна корекция. Съображенията за изчисляване на стойностите на резисторите са на



същата схема.

За да може да се измерват отрицателни напрежения, с делителя $R_3 R_4$, характеристиката е отместена.

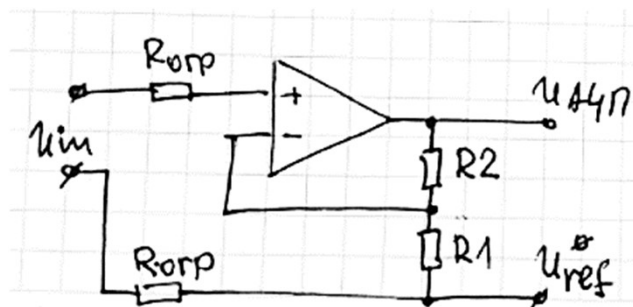
В този случай на **входа през R_1 се появява напрежение** равно на напрежението на неинвертиращия вход.

Ако входният ток на ОУ не може да се пренебрегне (биполярен ОУ), трябва при изчисленията $R_1 || R_2 = R_3 || R_4$ (а това защо).

Входното съпротивление се определя от резистор R_1 . 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;

Електронни устройства за измерване и управление

Когато източникът на сигнала няма обща маса с АЦП може да се използва схемата на неинвертиращ усилвател. Входното съпротивление се определя от операционния усилвател и е много голямо. Необходимото усиление се изчислява



$$K_u = \frac{\Delta U_{AЦП}}{\Delta U_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$
$$U_{ref} = U_{in} \geq -U_{in}^{min} \cdot K_u$$

подобно на предната схема
но за неинвертиращ ОУ.

Отместването трябва да е
поне равно или по-голямо
от минималното входно.

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. 10. 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 има малък резерв. Той е от 10-20mV до 200-300mV в зависимост от качеството на елементите.

Електронни устройства за измерване и управление

- **Теми за тестови въпроси:**

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