

- **Електронни схеми за измерване**
  - **Видове сензори според изходния сигнал или чувствителния елемент:**
    - Съпротивление (с паразитни добавки L, C);  
Температура, преместване, деформации (тегло);  
Топлопроводност и др.
    - Капацитет;  
Размери, тегло, налягане, газосъдържание (влажност);
    - Индуктивност;  
Малки премествания, деформации;
    - Напрежение;  
Температура;

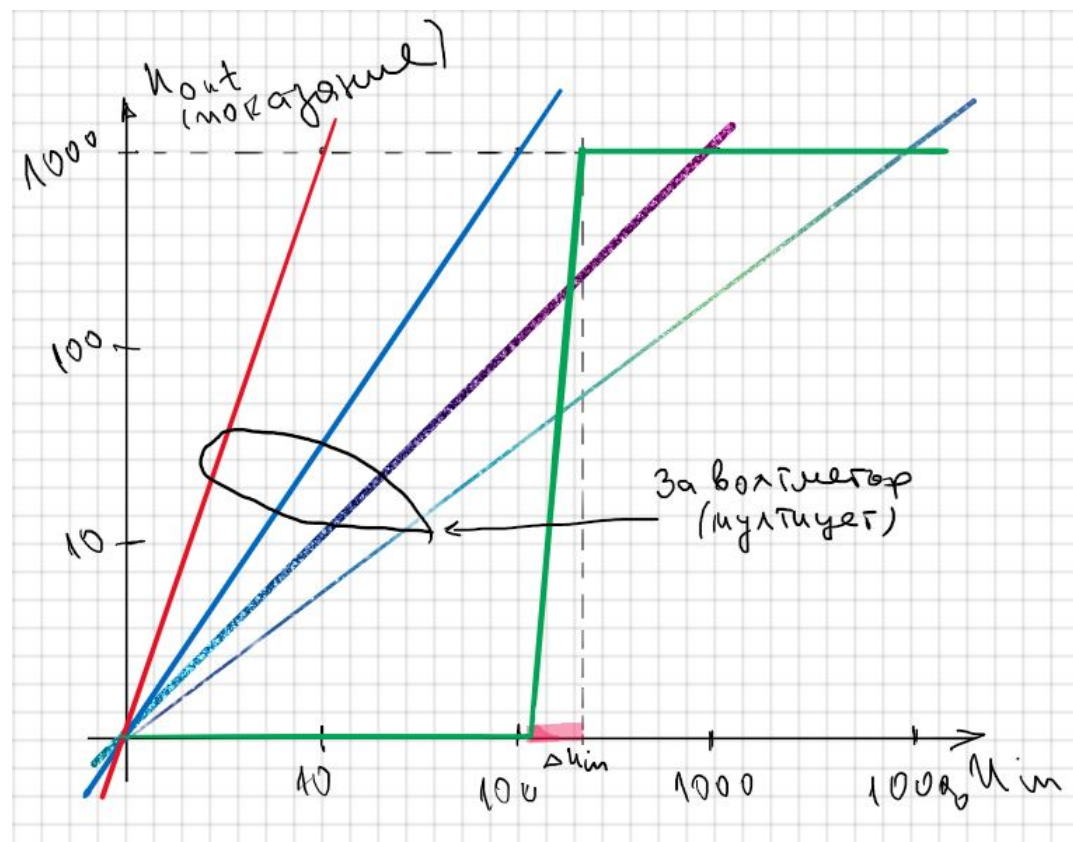
- **Електронни схеми за измерване**
  - **Видове сензори според изходния сигнал или чувствителния елемент:**
    - Ток;  
Електрохимия;
    - Заряд (пиезосензори);  
Малки премествания, вибрации;
    - Светлина (оптически);  
Упражнение „Електронна везна“;
    - Други;  
Магнитострикция (звук от трансформаторите) за измерване на сили, тегло;

- Съгласуване на обхвата

- В повечето случаи, „полезната“ част от обхвата на сензора, често, е едва 1-2%!

Например термосъпротивление Pt100 → 35°C = 114Ω, 42°C = 116Ω) . . .

- Стандартно, смяната на обхвата (волтметър) става само с промяна на усилването;



Обхватите които са показани на фигурата 10, 100, 1000 са на обикновен волтметър (показани са в логаритмичен мащаб).

В зелено е характеристиката на сигнал от сензор, **съгласуван** с обхвата който представлява интерес –  $\Delta U_{in}$ .

- **Електронни схеми за измерване**

- Типова (блокова) схема на измервателен уред. Може да се приложи за измерване на различни величини – температура, налягане, влажност...;

- Микроконтролер, програмиране при серийно производство;

- Първичен преобразувател - нормализация, АЦП, компенсация и др. Ако сензорът е интегриран (интелигентен) или АЦП е вграден в  $\mu\text{C}$  този блок може да **не се показва**;

- Захранване, източник, батерия еднократна или акумулаторна, зареждане, двуполярно захранване (от еднополярен източник);

- Индикация, може и само контролни диоди, а може и без. Изводи за настройка;

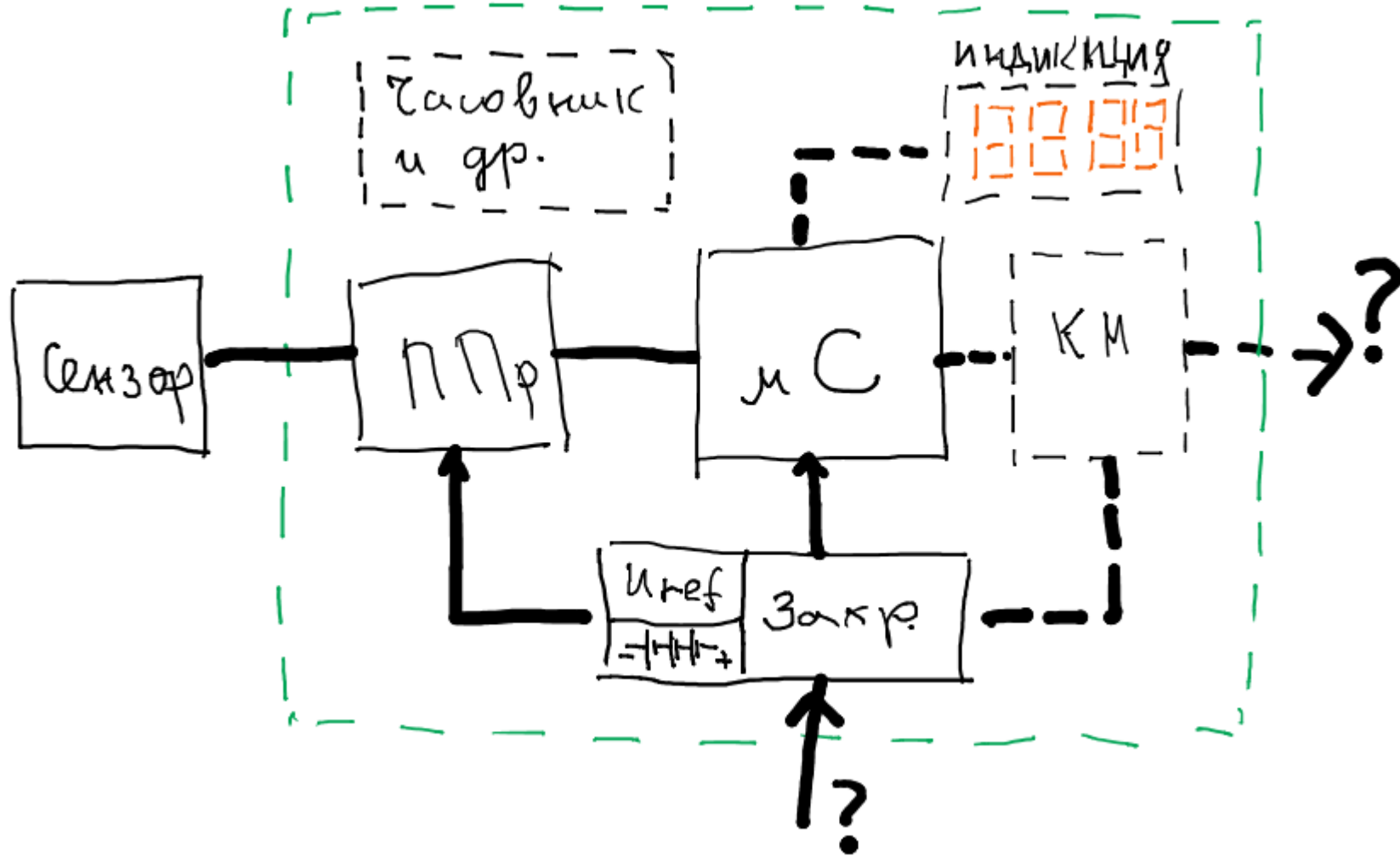
- Комуникация, жична или безжична;

- Часовник, памет за съхранение на резултати и други;

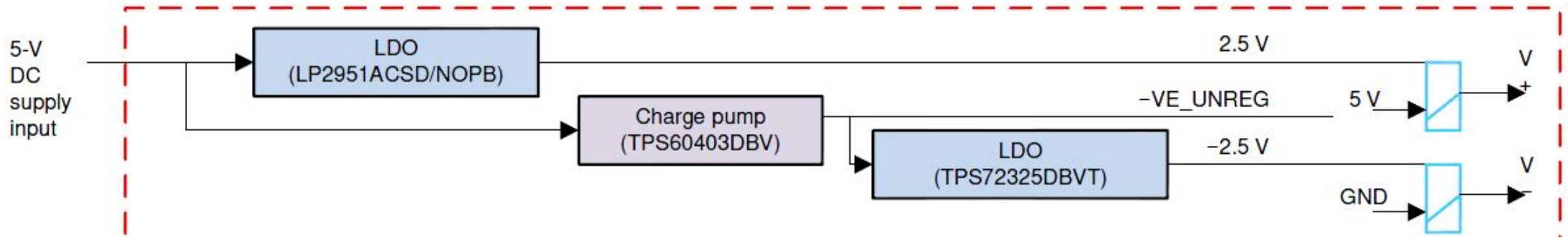
- Защита на входове (и изходи).**

# Електронни устройства за измерване и управление

- Типова схема, основни блокове. **Да се съставя за конкретен случай!**



- Генериране на отрицателно напрежение при еднополярно захранване



Вместо входно напрежение 5V DC може да се ползва батерия - 3÷4,5V. Използват се два стабилизатора за 2,5V тип LDO (**L**ow-**D**rop**O**ut regulator) и кондензаторен инвертор на напрежение (Charge pump). КПД не е голям, но и консумацията не е голяма.

Друг начин е, като захранващото напрежение се раздели на две и средата е 0V.

Тези решения се използват когато е необходимо отрицателно захранване. **Кога?**

- Операционни усилватели;
- Сензори с двуполярен изход, например термодвойки;

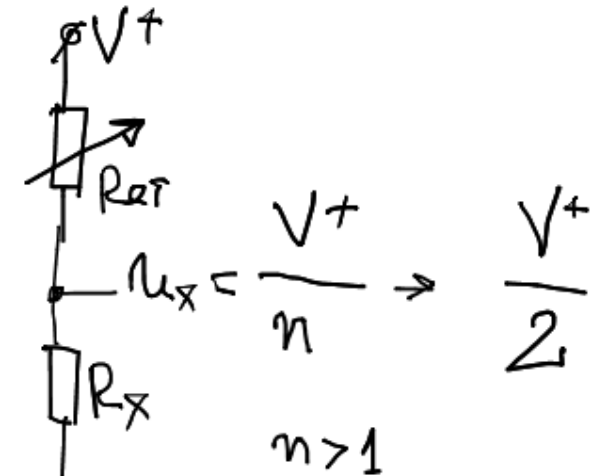
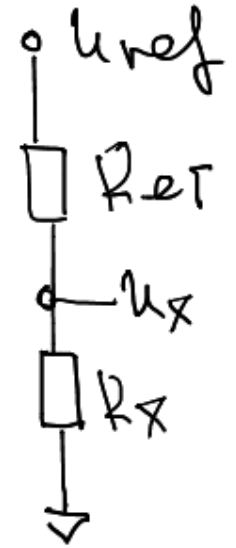
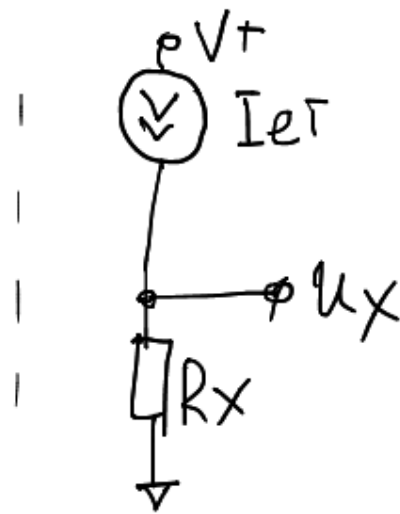
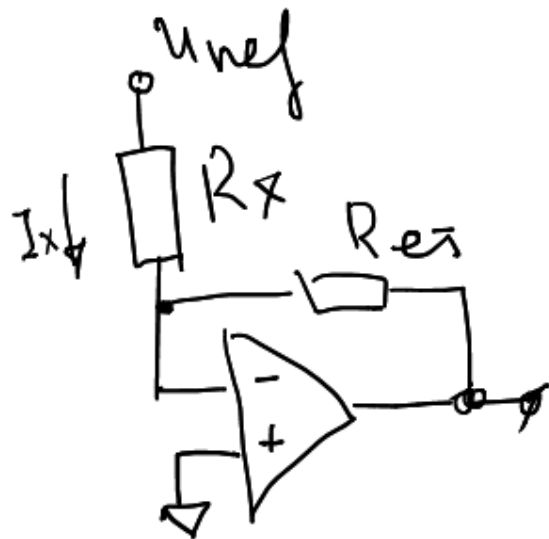
- **Електронни схеми за измерване**

- **Измерване на съпротивление (импеданс):**

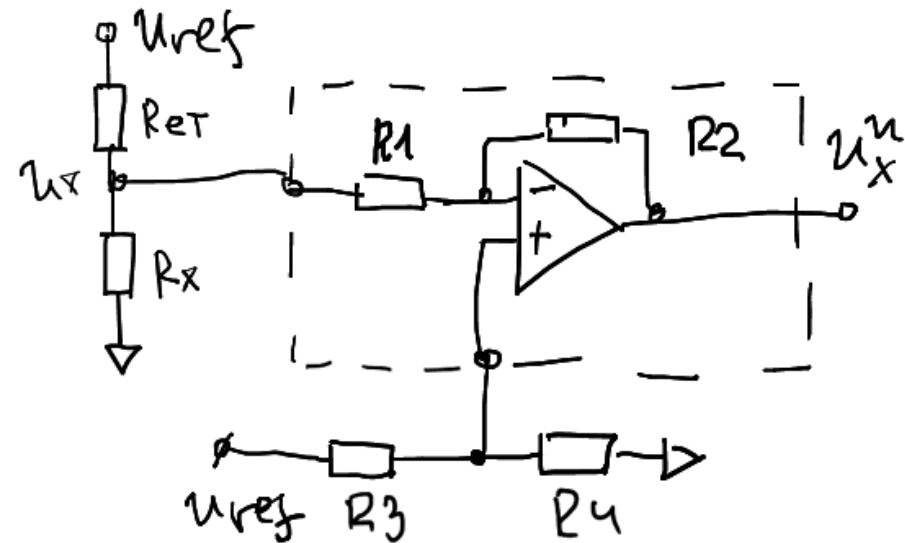
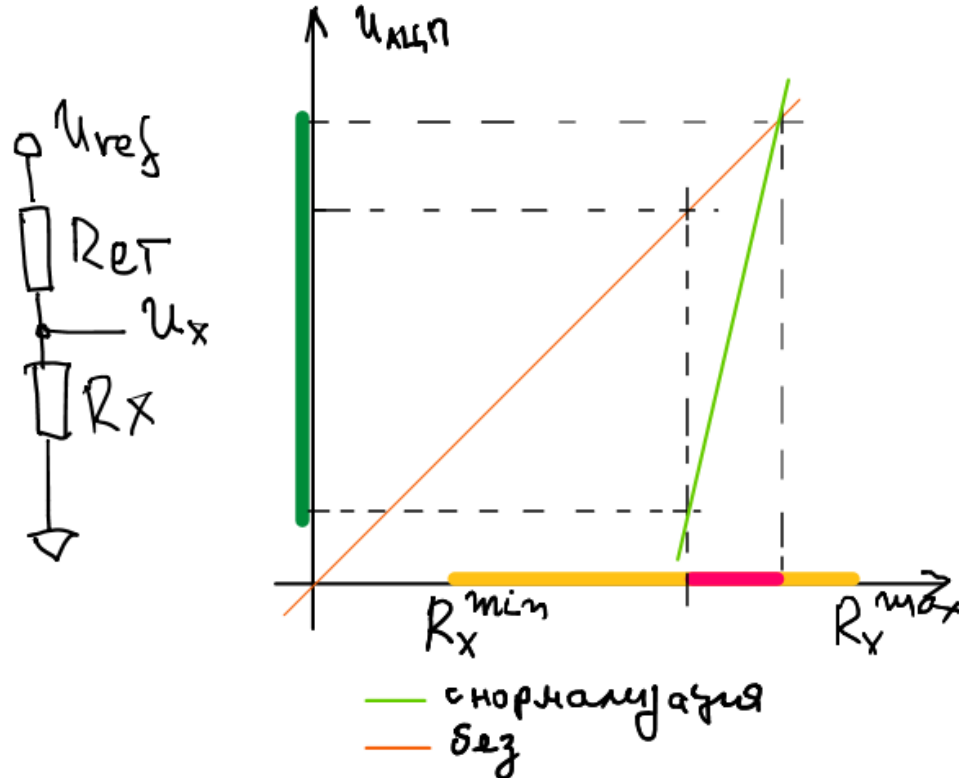
- Постояннотоково и променливотоково измерване;

- **Измерване на активно съпротивление, примери:**

Може да се ползват и за променлив ток. Двете вдясно са без и с уравнивяване.

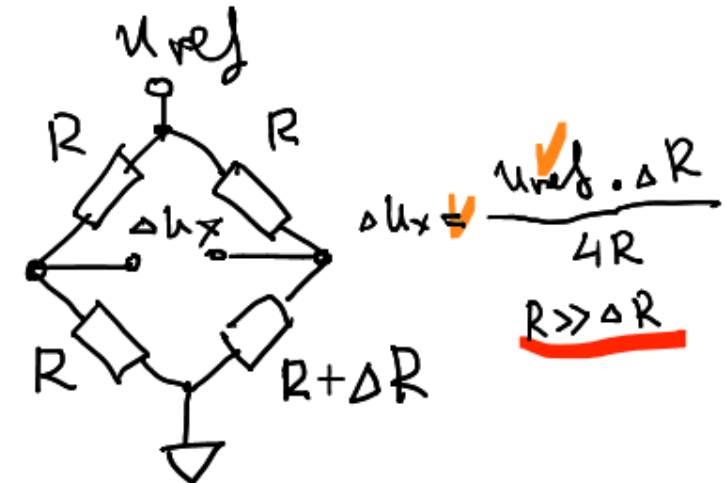
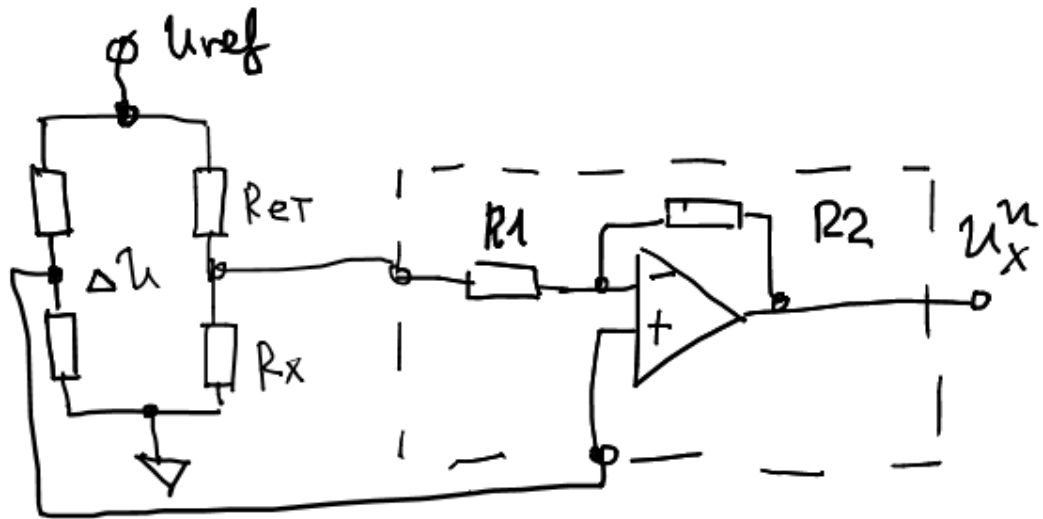


- Измерване на активно съпротивление, нормализация на обхвата:
  - Избиране на усилване и на постояннотоково отместване, обхвати;
  - (Не)Линейност на метода на измерване е в самата формула  $U_x(R_x)$ , но според обхвата на изменение, може да се приеме, че зависимостта е линейна;

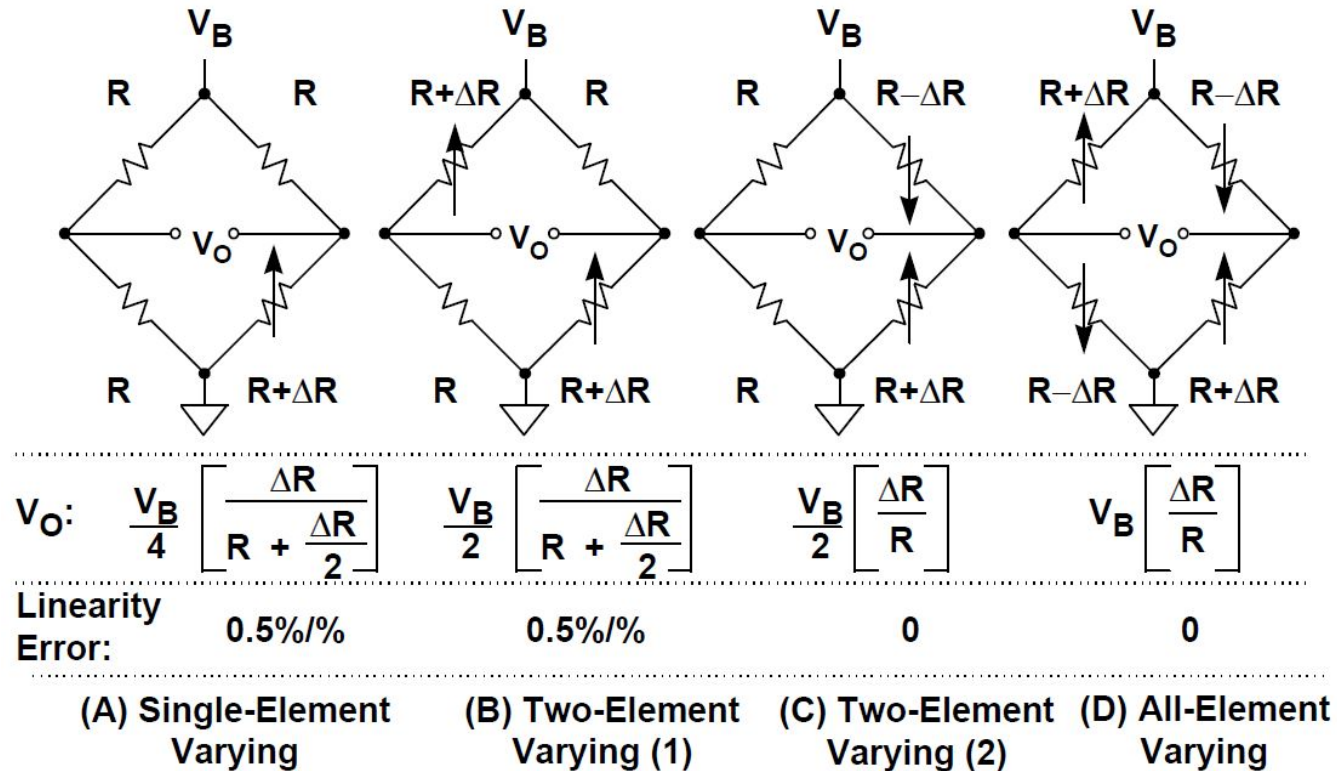




- **Мостови схеми на измерване** - <https://lark.tu-sofia.bg/ntt/eusku/readings/eusku02.pdf>
  - Принцип на работа, основни параметри:
    - Често се ползват, **не винаги се разпознават**;

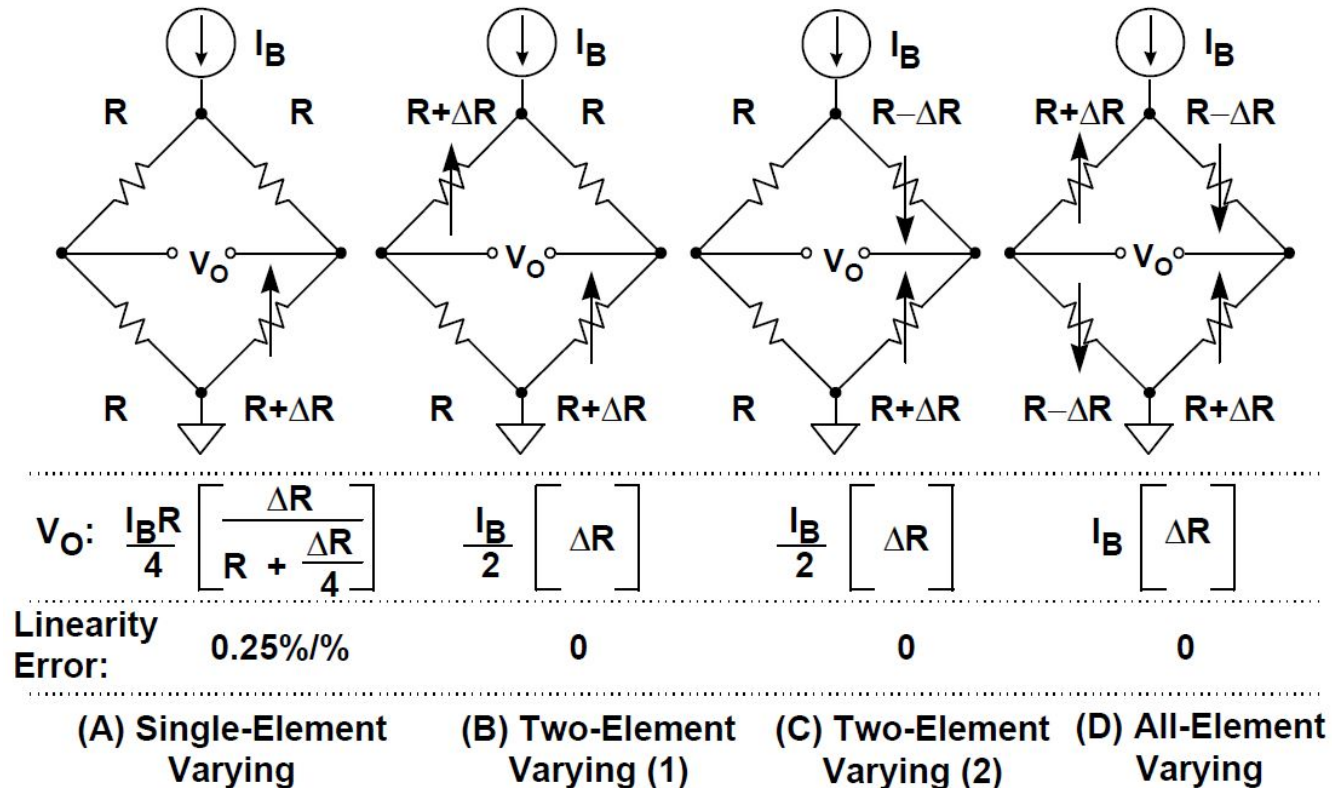


- Видове мостови схеми:
  - С 1, 2 или 4 сензора, еднопосочно или разнопосочно изменящи се;
  - Захранване с напрежение;



- Захранване с ток;

Сравнение между двата вида захранване и **коментар** за линейността на сензора и на схемата за измерване, **остаряло като проблем**;



## Електронни устройства за измерване и управление

- С нееднакви резистори  $R_{et}$ ,  $R_x$ ;
- Полу-мостови схеми;
- Уравновесени и неуравновесени мостови схеми, **примери**, сравнение;

Бързодействие, цена, точност;

Зависимост от захранването на моста;

Статична и астатична характеристика;

Каква е схемата (характеристиката) на ЛУ №3 - “УРАВНОВЕСЕН МОСТ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕ (ПРОВОДИМОСТ)”, а на ЛУ №1 (Везна)?

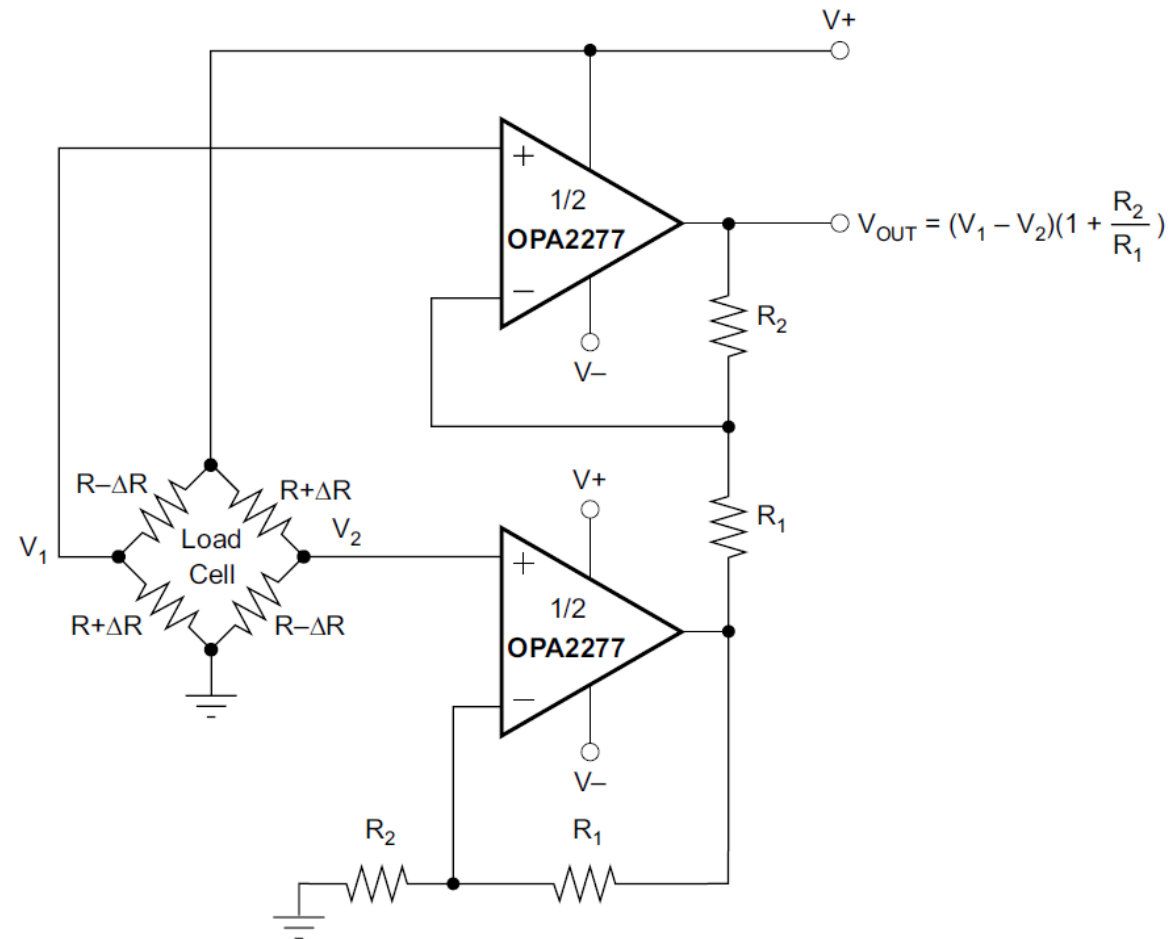
Уравновесяващ елемент, потенциометър - реохорд (rheocord).

Приложение;

Безреохордни схеми - цифрови потенциметри, MOS транзистори, други;

# Електронни устройства за измерване и управление

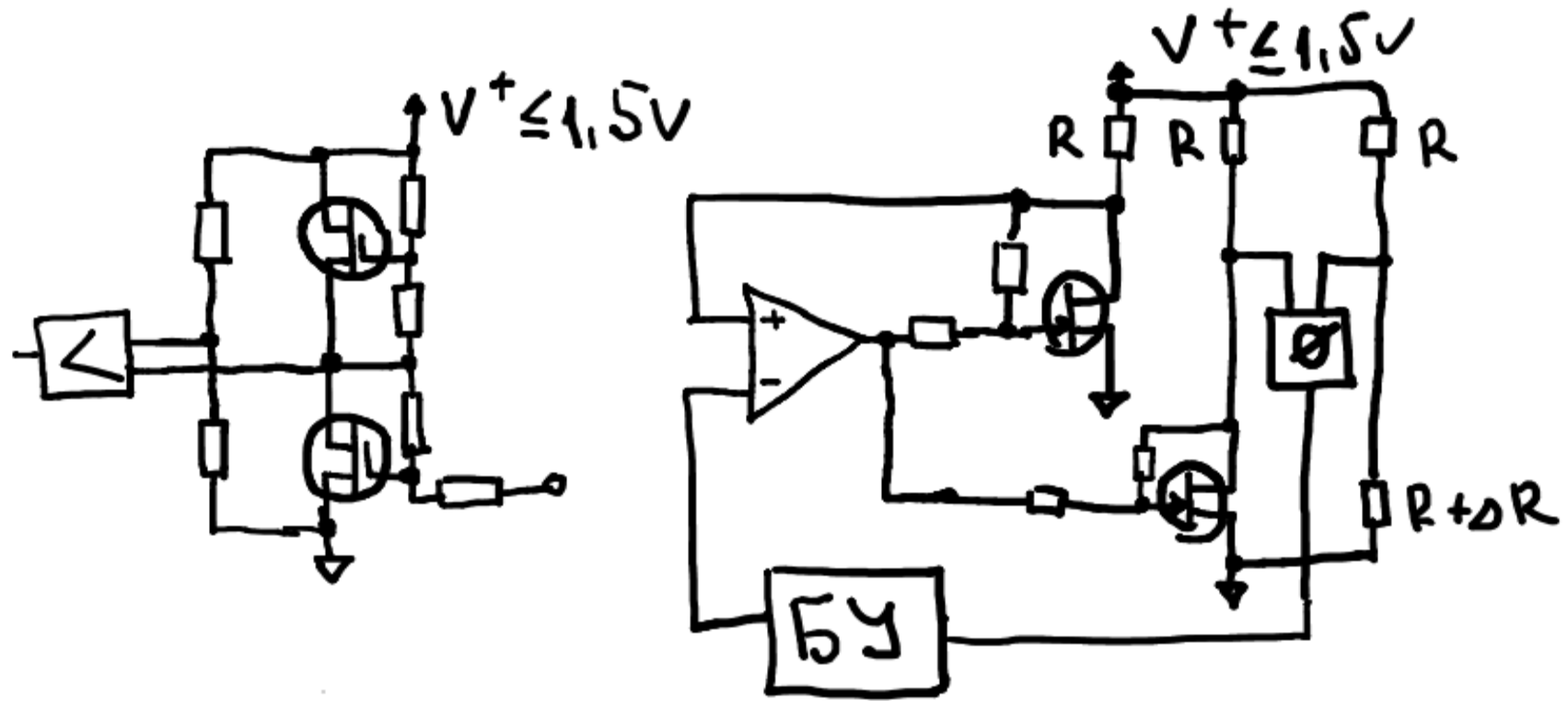
Пример за мостова схема с инструментален усилвател:



For integrated solution see: INA126, INA2126 (dual)  
INA125 (on-board reference)  
INA122 (single-supply)

# Електронни устройства за измерване и управление

Безреохордни схеми с MOS транзистори:



## Електронни устройства за измерване и управление

- Постояннотокови и променливотокови мостови схеми;

Сравнение. **Особености на променливотоковете**. Примери;

При работа с променливотоково захранване има някои основни изисквания. Преди всичко трябва да се има предвид, че **всички елементи имат активна и реактивна** съставка. Елементите съставлящи моста не са напълно еднакви и обикновено има нужда от настройка, уеднаквяване на елементите, „нулиране“ на моста. За разлика от постояннотоковите при променливотоковите това трябва да се прави и по двете съставки – по активната и по реактивната. В практиката това се нарича **“R-C баланс”**. Индуктивната и капацитивната съставка може да се компенсират с кондензатор - ефектът от капацитет в едното рамо е същият като индуктивност в противоположното. Разбира се, че индуктивност може да се компенсира с индуктивност! Защо се предпочита капацитет?

**R-C баланс – уравнивяване по активна и реактивна съставка. С капацитет може да се балансира индуктивност, а с индуктивност – капацитет;**

## Електронни устройства за измерване и управление

За разликата от постояннотоковото захранване, което се характеризира само с амплитуда, променливотоковото има и честота, фаза, хармоничен състав (форма). Това означава, че е значително по-трудно да се направи генератор със стабилни параметри който да захранва моста.

Използването на един и същ източник на напрежение за  $U_{ref}$  на АЦП и за захранване на моста, с което да се компенсира нестабилността на това напрежение, което често се ползва при постоянен ток, **тук е неприложимо**.

Трудностите се отнасят и за всички останали стъпала в едно устройство работещо с мост захранван с променлив ток – предусилвател, детектор, формирова̀тел, усилвател и т.н. **Общото изискване е тези стъпала да имат стабилна амплитудно-честотна и фазова характеристика, да не внасят нелинейни изкривявания.**



## Електронни устройства за измерване и управление

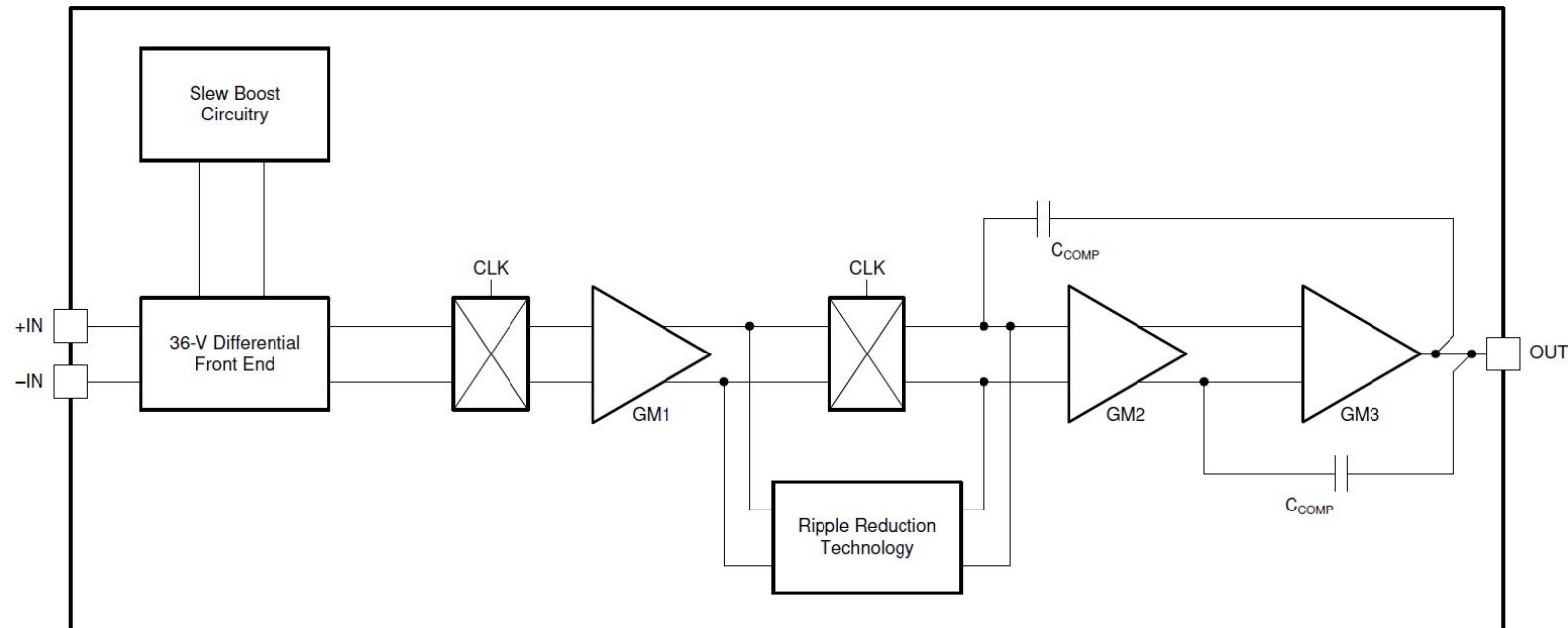
Това са трудни за изпълнение изисквания, особено за мощни стъпала. В някои устройства тези изисквания се “заобикалят”. Прави се така, че стъпалата с активни елементи да работят около една и съща точка на характеристиката си – тази при която е извършена настройката на уреда.

Уредите за работа с променливотокови сензори (L и C) са прецизни (скъпи) уреди. Естествено те може да се ползват и за работа със сензори които имат само активна съставка (R).

В инженерната практика такива уреди често се наричат „Мост“ – например „Мост за индуктивни датчици“ или „RLC мост“ и други.

## Електронни устройства за измерване и управление

Предимство (почти единствено) при работа със захранване с променлив ток е, че не се проявява напрежението на несиметрия (Offset) на операционните усилватели. Често ОУ с много малък Offset са всъщност променливотокови усилватели. На входа им постоянното напрежение се преобразува в променливо, усилва се и след това се изправя. Наричат се МДМ усилватели (Chopper).



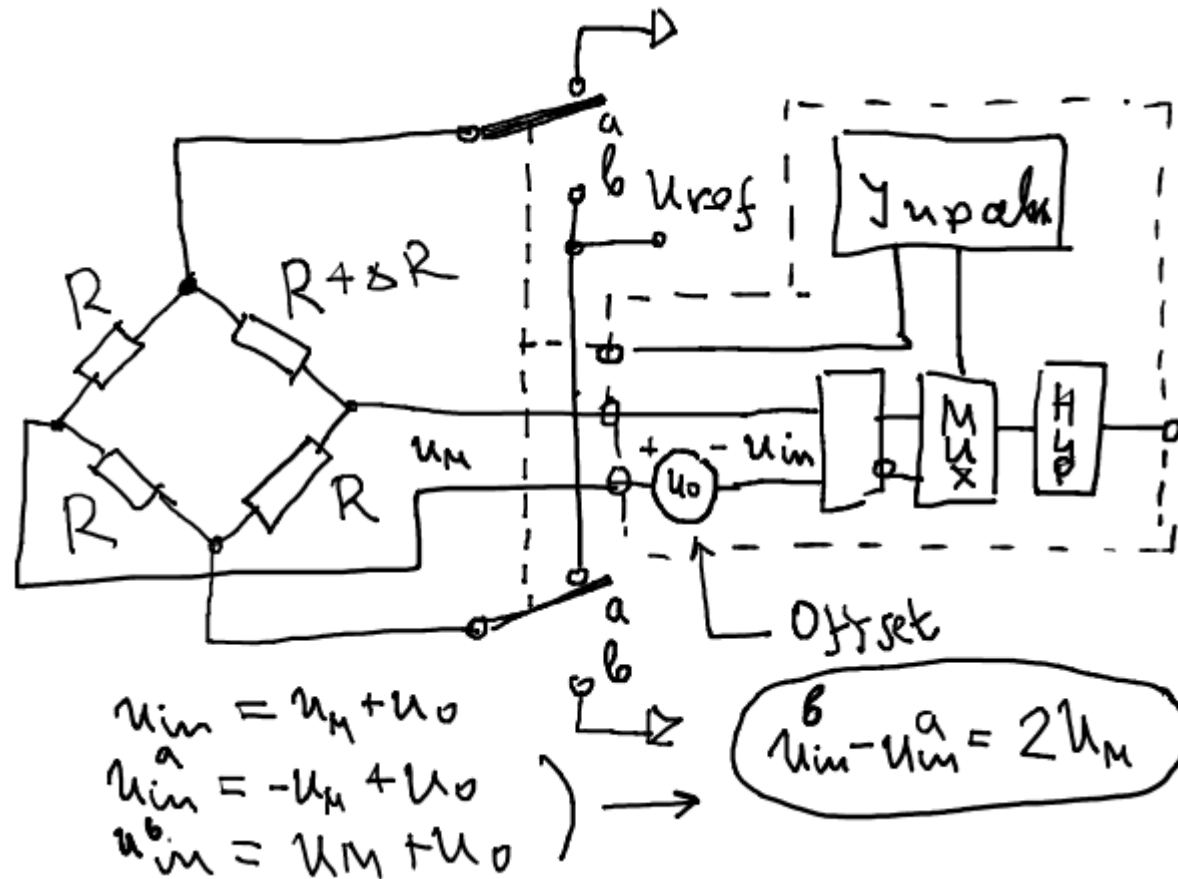
## Електронни устройства за измерване и управление

За компенсация на напрежението на несиметрия в някои интегрални схеми за работа с мостови схеми с активни съпротивления се прилага смесен подход – захранването е постоянноково, но с ниска честота се сменя полярността му или се разменят входовете на усилвателя (opa2182.pdf, sboa182b.pdf, pga308.pdf, UTI\_datasheet.pdf).

Синхронно с това се управляват и следващите стъпала – схеми следене запомняне, мултиплексор и т.н. Ако АЦП е достатъчно бърз се извършва измерване при всяка смяна на поляритета и след това резултатът се обработва.

Полезният сигнал си сменя знака, а напрежението на несиметрия  $U_0$  – не. Като извадим двете измервания (със знак)  $U_0$  ще се премахне от крайния резултат.

# Електронни устройства за измерване и управление

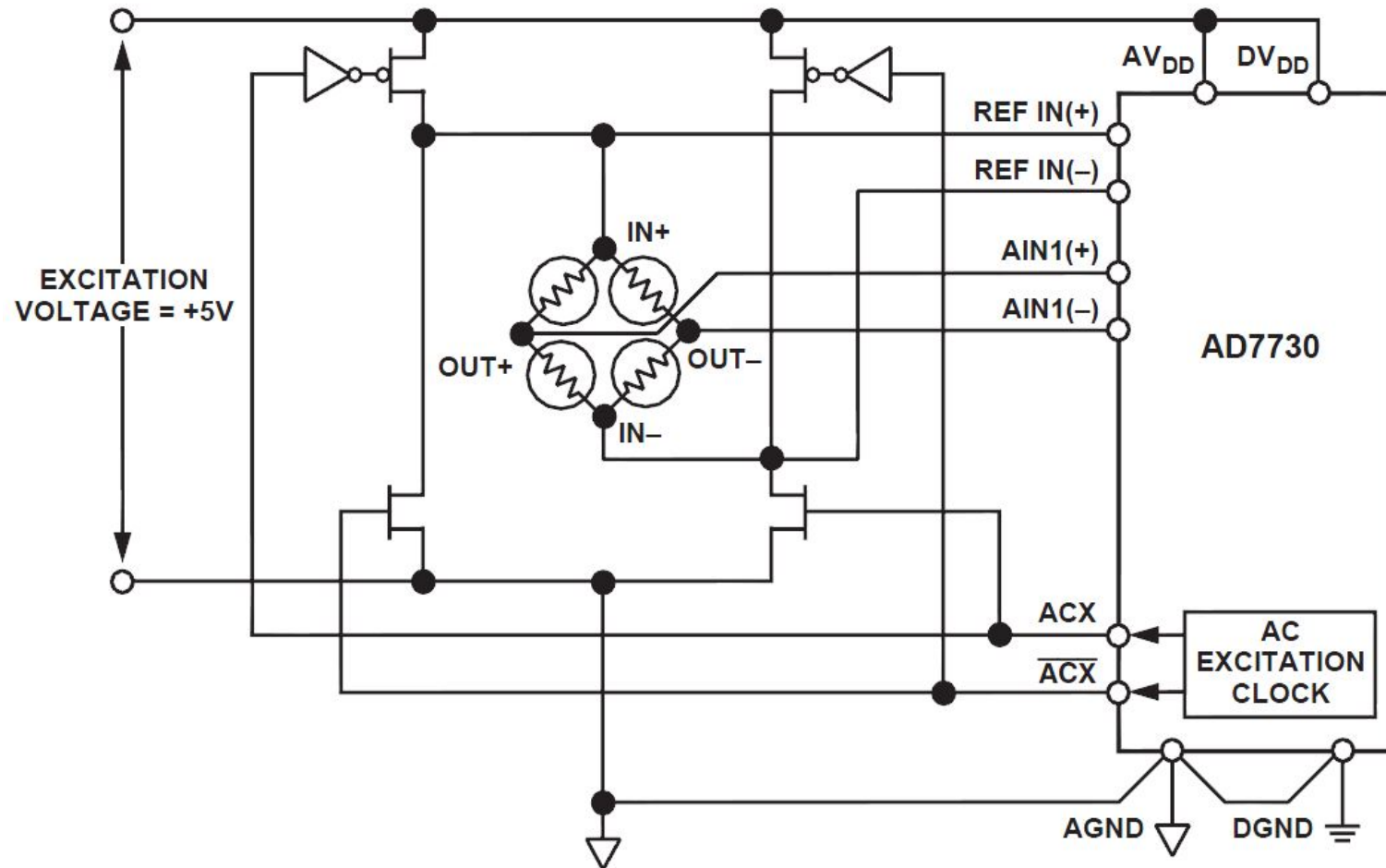


Като захранваме моста с  $U_{ref}$  на АЦП и сменяме полярността му, то и поляритетът на напрежението  $U_M$  ще се сменя. Към  $U_M$ , на входа ще се добавя  $U_0$  - напрежението на несиметрия. Ако извадим резултатите за всяка полярност  $U_0$  се компенсира.

Същият резултат се получава без да сменяме поляритета на  $U_{ref}$ , а като разменяме входовете към  $U_M$ .

Естествено и в двата случая е необходим подходящ софтуер.

## Електронни устройства за измерване и управление

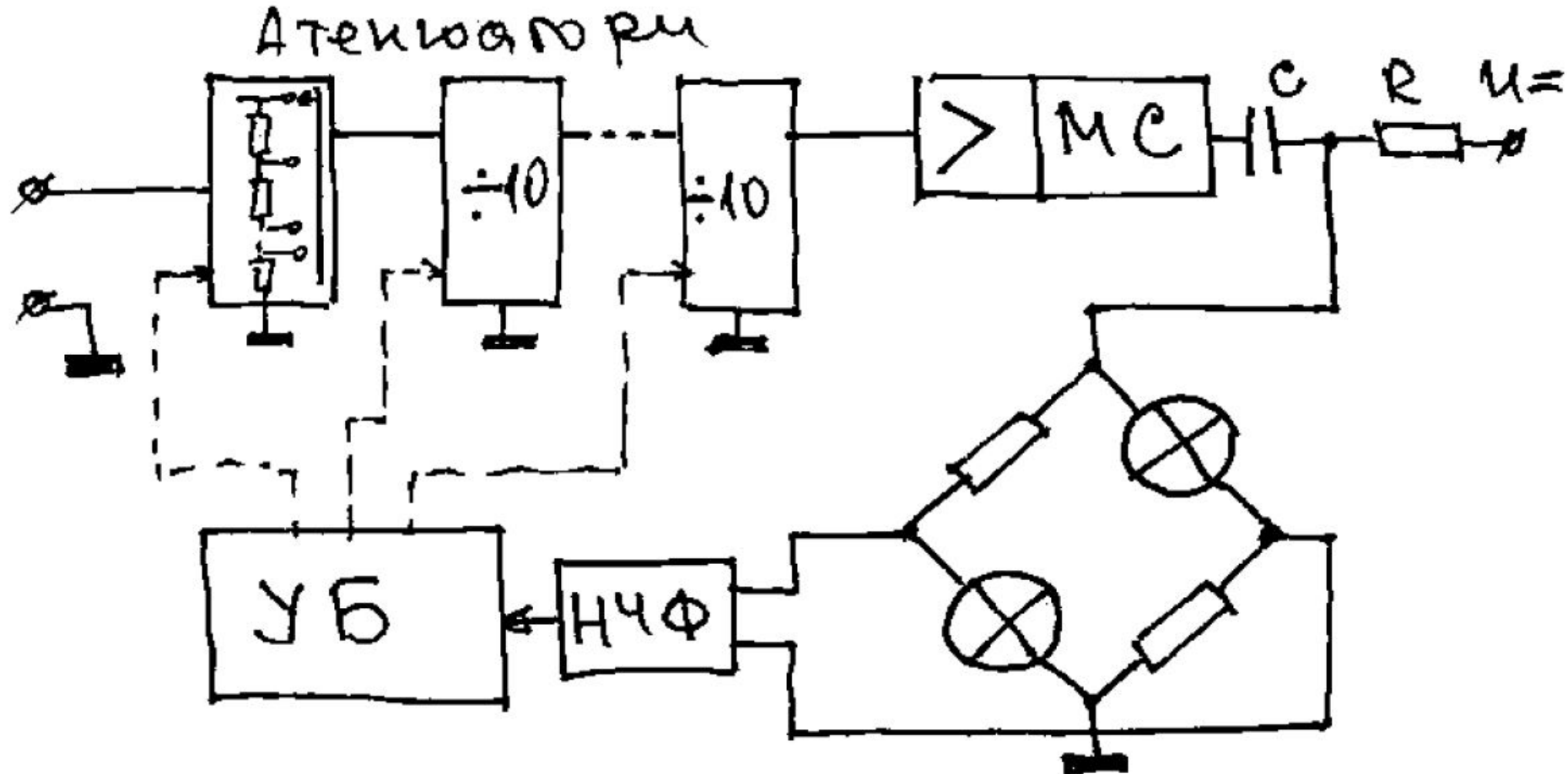


Примерът показва този принцип приложен в една съвременна интегрална схема - AD7730.

Захранващото напрежение се превключва с външни ключове които, синхронно с измерването, се управляват от схемата.

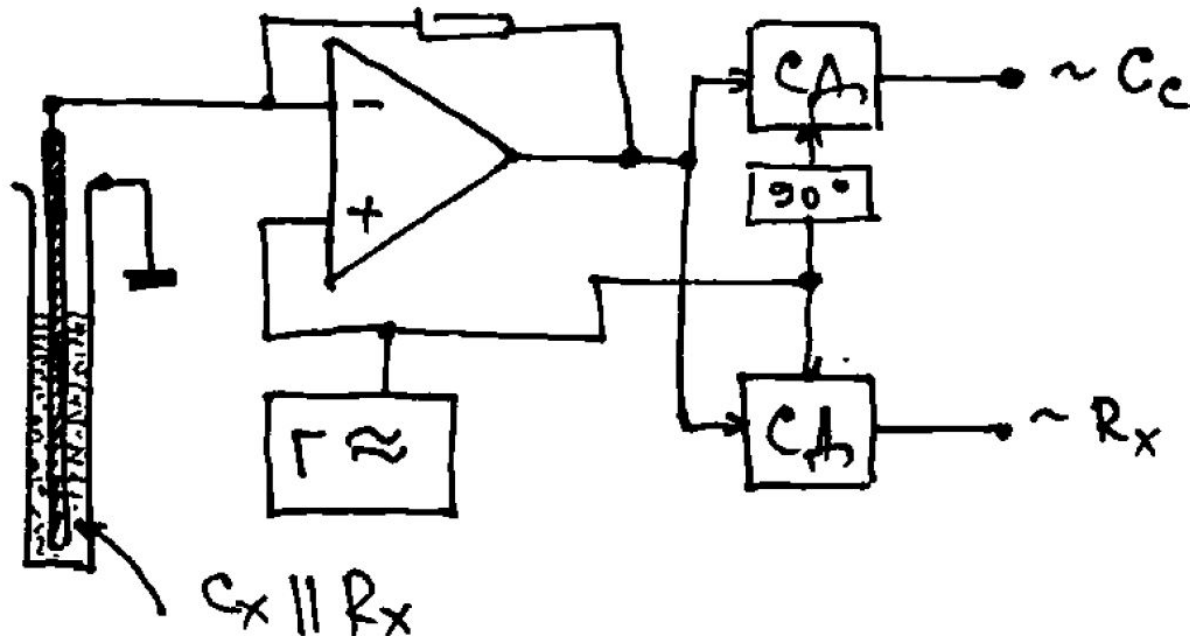
**Как с АЦП се мери променливотоков сигнал?**

- Променливотокови мостови схеми. Примери.



Мостът се балансира от **ефективната стойност** (True-RMS) на входния сигнал!

- Променливотокови мостови схеми. Примери.



С тази схема се измерват отделно активната от реактивната съставка.

Измерва водата в резервоар или басейн. Капацитетът  $C_x$  показва нивото на водата, а  $R_x$  – честотата.

Двете съставки се разделят като се ползват фазови (синхронни) детектори.

Този за реактивната съставка се управлява с дефазирани на  $90^\circ$  сигнал.

- Предимства и недостатъци на мостовите схеми:

Изходният сигнал е пропорционален на  $\Delta R$  (не на  $\Delta R + R$ ) ;

Може да се избере полярността на сигнала;

Потискане на синфазните смущения - 50Hz, но и от температурата и др. влияния;

Проста компенсация на грешките от свързващите проводници.

Усложняване на схемата;

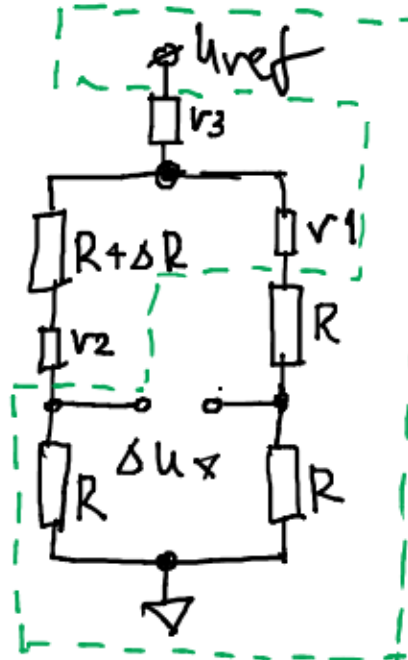
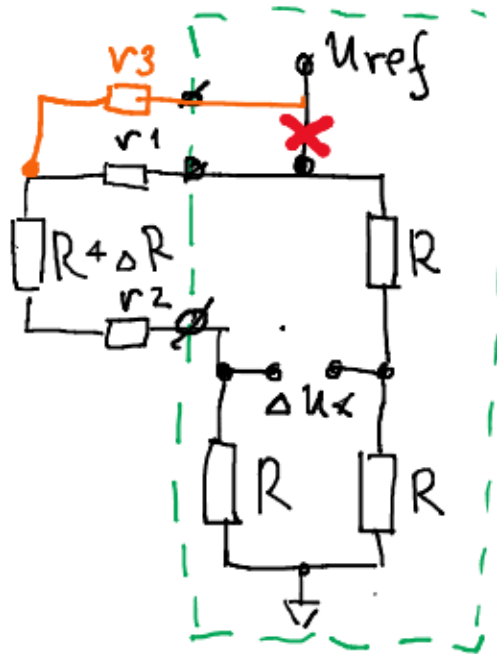
Намаляване на чувствителността;

Внасяне (евентуално) на грешки от допълнителните елементи.



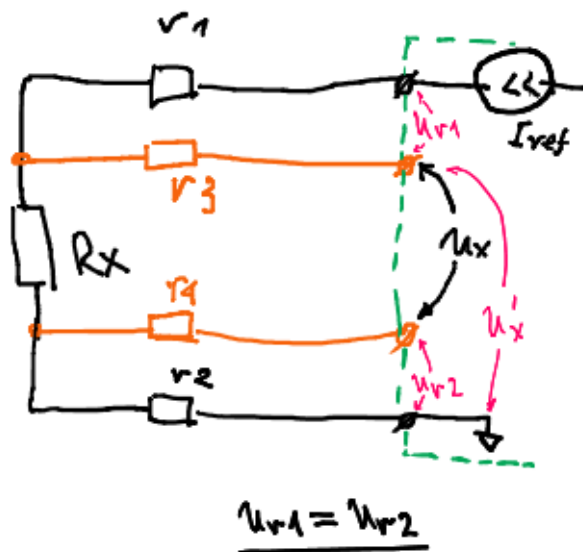
## Електронни устройства за измерване и управление

- Компенсация на свързващите проводници:
  - Отнася се както за мостови схеми, така и за единични сензори;
  - Кога се прилага? Съпротивлението на свързващите проводници –  $0 \div 50 \Omega$ ;
  - Какъв е принципът на работа?



- Съпротивлението  $r_1$  и  $r_2$  на свързващите проводници се „пренася“ в двете съседни рамена на моста. Така, в голяма степен, се компенсира влиянието на  $r_1$ ,  $r_2$  върху точността. Появява се, обаче, съпротивление  $r_3$ !

- Има 2, 3, 4, 5 и 6-проводно свързване.



На фигурата е показано свързването на сензор  $R_x$  към чието съпротивление се добавя и това на свързващите проводници  $r_1$  и  $r_2$ . С допълнителните проводници „премества“ входа на волтметъра при самия  $R_x$ . Поради високото входно съпротивление на волтметрите съпротивленията  $r_3$  и  $r_4$  не влияят на измерването.

Ако се приеме, че  $r_1$  и  $r_2$  са равни може да се спести единият проводник ( $r_4$ ) и  $U_x$  да се изчисли като от  $U_x'$  се извади  $U_{r1}$ . Така се получава три-проводна схема. При масово прилагане може да се спестят 25% от проводници.

- Теми за тестови въпроси:

- Примери с L, R, C и др. сензори, изчисления, съгласуване на обхвата?
- Мостови схеми, видове. Изходно напрежение;
- Сравнения м/у различните мостови схеми – уравновесени и неуравновесени, постояннотокови и променливотокови и т.н.;
- Уравновесени схеми, статична и астатична х-ка. Реохордни и безреохордни мостови схеми. Компенсиране на измененията в захранването на моста;;
- Особенности на променливотоковите мостови схеми;
- R-C баланс, фазови детектори;
- Намаляване на влиянието на напрежението на несиметрия;
- Примери за променливотокови мостови схеми;
- Две, три, четири проводно свързване;