

Мостови схеми за измерване и регулиране.

Измервателният четири-раменен мост се прилага много широко в устройства с промишлено приложение. Основните предимства на моста са следните:

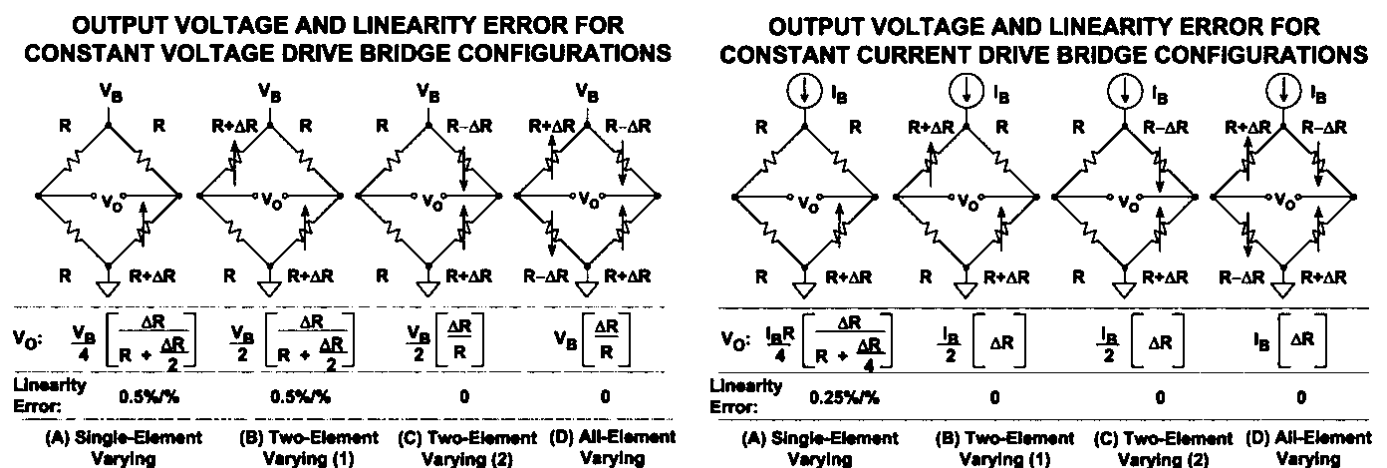
- изходният сигнал е пропорционален на изменението  $\Delta R$  (не  $\Delta R + R$ ), т.е само на полезния сигнал, а така се получава по-голяма разрешаваща способност. Това е много важно, тъй-като при повечето промишлени сензори максималното изменение  $\Delta R$  е само няколко процента от  $R$ .
- много добро подтискане на синфазните сигнали. Когато се използват еднотипни резистори грешките от околното въздействие се намаляват значително – и четирите елемента се изменят в една и съща посока от смущенията и сигналът в изхода почти не се променя.
- при подходящо свързване на чувствителния елемент в моста, изходният сигнал може да бъде с желана полярност, може да се увеличава или намалява при изменение на измерваната величина.

- по-лесно се компенсират грешките които възникват от проводниците свързващи сензора с останалите елементи в моста.

Недостатъци на моста са:

- намаляване на чувствителността на сензора (2 до 4 пъти).
- усложняване на схемата.
- възможност за допълнителни грешки от останалите елементи на моста.

На фигурите по-долу са показани изходното напрежение и грешките при различен брой сензори в моста при захранването му с напрежение и с ток.



Вижда се, че когато се използват резистори които променят стойността си в различна посока при изменение на изходната величина грешката от нелинейност е нула (теоретично). Естествено чувствителността е най-голяма когато и четирите рамена на моста са чувствителни (сензори).

Много голямо е разнообразието от методи и схемни решения при използването на мостови схеми. Те може да се разделят по следния начин:

- постояннотоккови и променливотоккови мостови схеми. Когато сензорите са от индуктивен и капацитивен тип променливотокковото захранване е задължително. В другите случаи изборът на захранващо напрежение зависи от много други фактори, често от допустимия дрейф на ОУ.

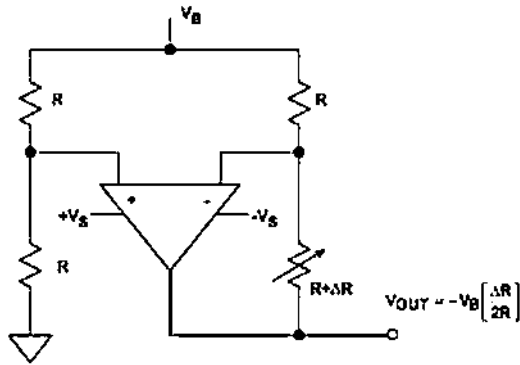
- захранване с генератор на напрежение или генератор на ток. При захранване с ток може да се получи по-малка нелинейност, но схемите на такива генератори са по-сложни, особено за променлив ток.

- в зависимост от броя на сензорите в моста. Използват се 1, 2 или 4 чувствителни елемента.
- полу-мостови схеми. Когато едната половина на моста се използва само за задаване на част от захранващото напрежение. Такива например са индуктивните датчици за малки премествания.

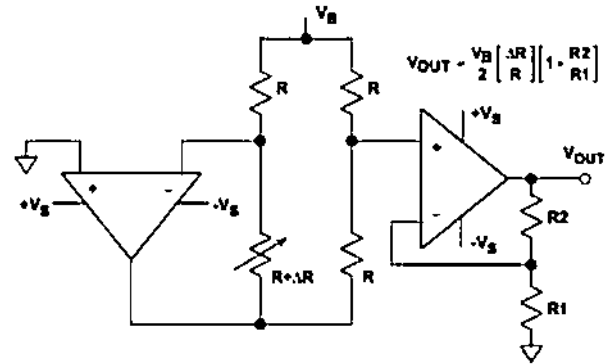
Освен това всяка от групите има множество подразделения в зависимост от избраните начини на измерване, на свързване на сензорите и др.

По-долу са дадени примери за линейризация и за компенсация на свързващите проводници.

#### LINEARIZING A SINGLE-ELEMENT VARYING BRIDGE METHOD 1

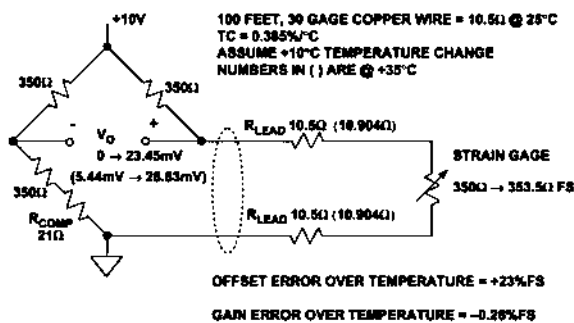


#### LINEARIZING A SINGLE-ELEMENT VARYING BRIDGE METHOD 2

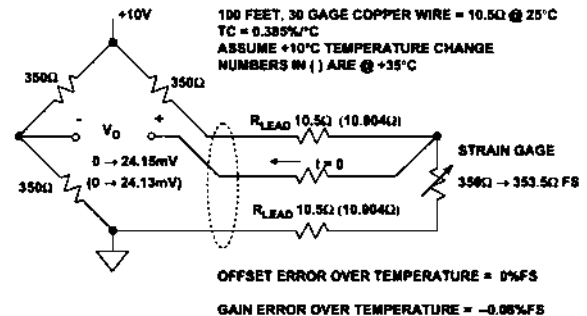


При тези две схеми линейризацията се основава на запазване на тока през резисторите на моста при промяна на съпротивлението на сензора.

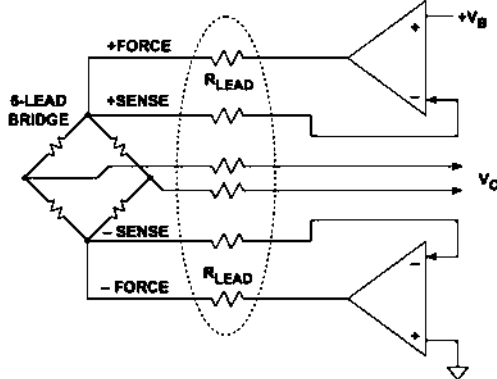
#### ERRORS PRODUCED BY WIRING RESISTANCE FOR REMOTE RESISTIVE BRIDGE SENSOR



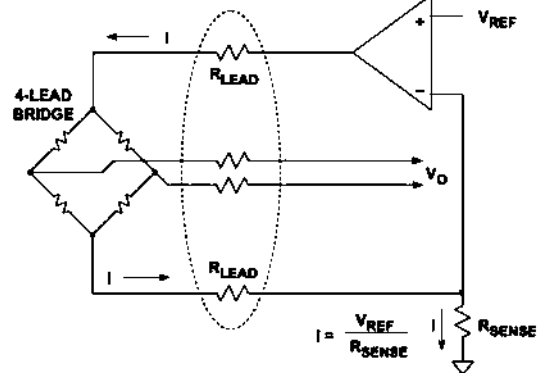
#### 3-WIRE CONNECTION TO REMOTE BRIDGE ELEMENT (SINGLE-ELEMENT VARYING)



#### KELVIN (4-WIRE) SENSING MINIMIZES ERRORS DUE TO LEAD RESISTANCE



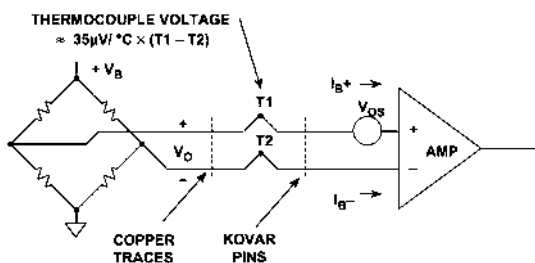
#### CONSTANT CURRENT EXCITATION MINIMIZES WIRING RESISTANCE ERRORS



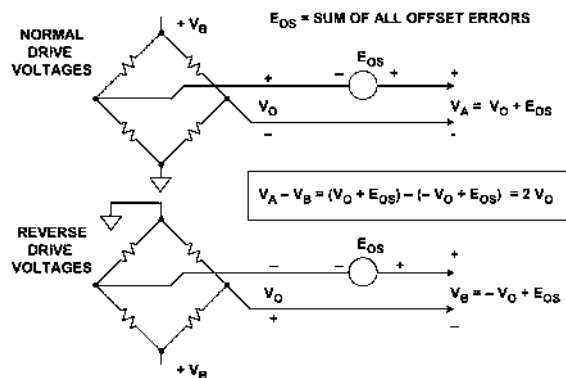
Тук е показана причината за грешки поради съпротивлението на свързващите проводници и различни подходи за нейното намаляване. Най-често това става с четири- или три-проводна схема на свързване, като съпротивлението (вредното) на свързващите проводници се разпредели в двете рамена на моста.

На схемите по-долу е показана причината за възникване на грешки поради термо-ЕДС (ЕДН). За да се намали въздействието се използва променливотоково (АС) захранване.

### TYPICAL SOURCES OF OFFSET VOLTAGE

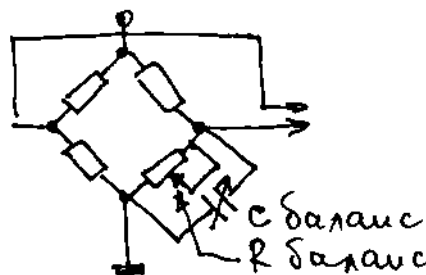
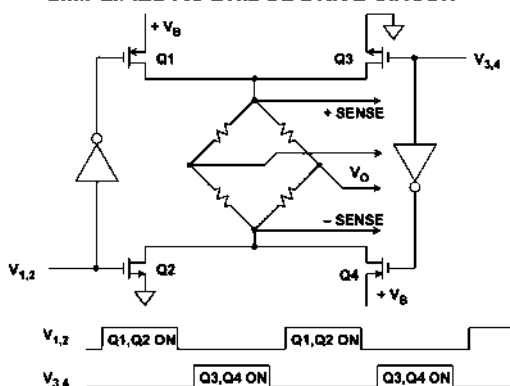


### AC EXCITATION MINIMIZES OFFSET ERRORS



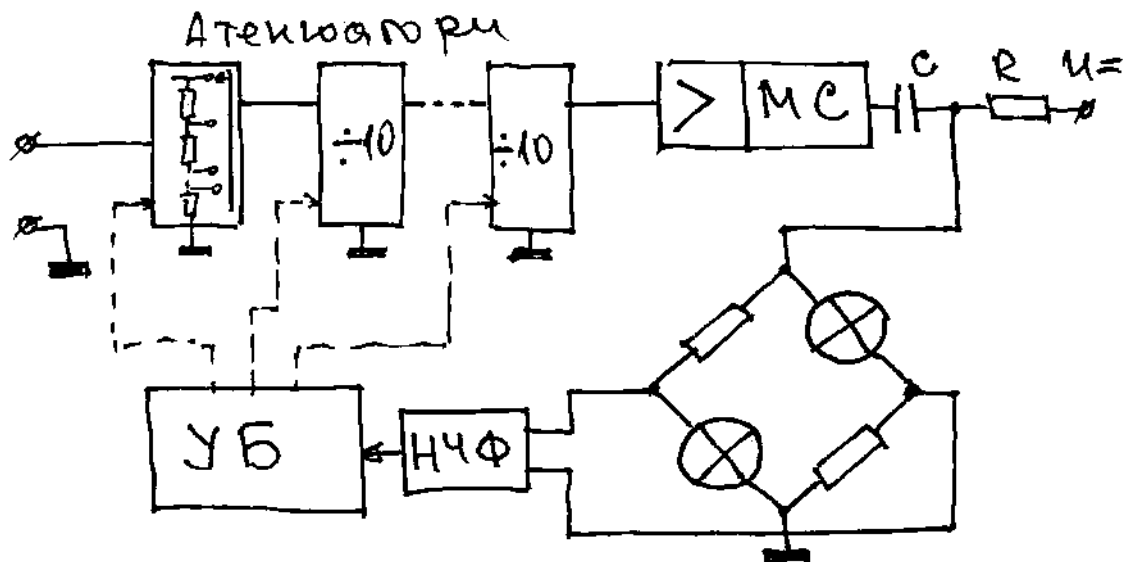
При смяна на поляритета на захранването (AC) постояннотоковото отместване  $E_{OS}$  се премахва. На схемата долу влияе е показана схема за AC захранване с генератор на ток.

### SIMPLIFIED AC BRIDGE DRIVE CIRCUIT



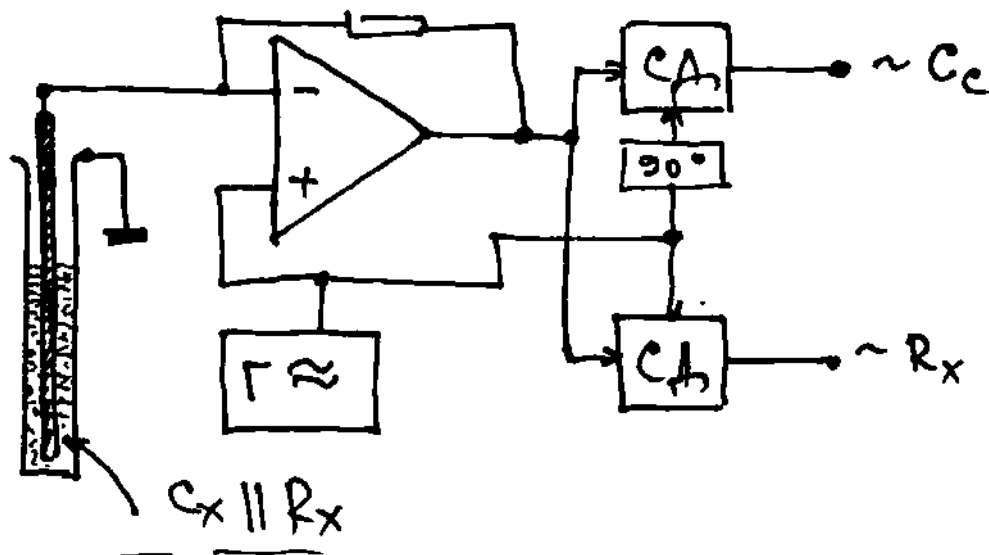
При работа с променливотоково захранване има някои основни изисквания. Преди всичко трябва да се има предвид, че всички елементи имат активна и реактивна съставка и когато има нужда от настройка това се прави и по двете съставки – в практиката това се нарича “R-C баланс”. Тъй-като е по-просто и индуктивната и капацитивната съставка се компенсират с кондензатор - ефектът от капацитет в едното рамо се проявява като индуктивност в противоположното.

За разликата от постояннотоковото захранване което се характеризира само с амплитудата си, променливотоковото има и честота, фаза, хармоничен състав (форма). Това означава, че е значително по-трудно да се направи генератор със стабилни характеристики. Същото се отнася и за всички останали стъпала в едно устройство работещо с променливотоков мост – пред-усилвател, детектор, формирова̀тел, усилвател и т.н. Общото изискване е те да имат стабилна амплитудно-честотна и фазова характеристика, да не внасят нелинейни изкривявания. Тъй-като това са много трудни за изпълнение изисквания, в някои устройства се прилагат подходи за “заобикалянето” им. Най-често се прави така, че стъпалата с активни елементи да работят около една и съща точка на характеристиката си – тази при която е извършена настройката на уреда. Пример за такова устройство е показан на блоковата схема по-долу. Дадена е само усилвателната част, а сигналът се взема от променливотоков мост. В тази схема има няколко интересни неща: тя работи винаги с точно определен сигнал на изхода, усилвателите работят с един и същ коефициент на усилване, т.е в една и съща работна точка. При различен входен сигнал се променя само коефициентът на делене на атенюаторите и доколкото те са пасивни устройства постигането на стабилност е по-лесно. Управляващият блок намира коефициент на делене при който мостовата схема на изхода на мощния усилвател се балансира. Балансирането става от промяна на съпротивлението на лампите с нажежаема жичка – при по-високо напрежение жичката се нагръва повече и съпротивлението ѝ се увеличава. При точно определено напрежение мостът ще се балансира, а това значи, че и мощното стъпало ще работи около една точка от характеристиката си.



Друго предимство на това устройство е, че отчита истинска ефективна стойност (управлението на съпротивлението на лампите става с топлина – виж дефиниция на ефективна стойност), за разлика от повечето измерители които измерват средна стойност, а отчитат ефективна като “предполагат”, че напрежението е със синусоидална форма.

Възможността да се разделят активната и реактивната съставка позволява да се извършват някои специфични измервания при които полезната информация се носи само от едната съставка. Типичен пример за това е схемата показана по-долу която се използва като нивомер – измерва напълването на резервоари. Информацията се носи от капацитета – реактивната съставка. Съпротивлението  $R_x$  зависи от проводимостта на течността в резервоара и се променя в много широки граници - при отпадъчни води например. С помощта на синхронни детектори отделно се получава информация за капацитета и съпротивлението.

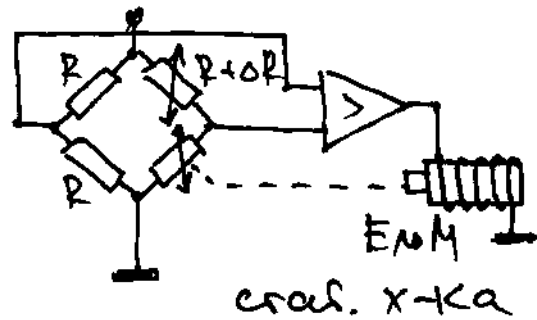
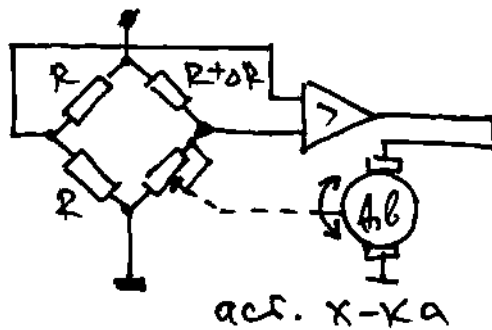


Мостови схеми за променлив ток се използват и при измерване и регулиране на някои величини които се разглеждат по нататък - напр. при малки механични премествания.

Мостовите схеми се разделят и по начина по който се определя измерваната величина. Досега разгледаните са от групата на неуравновесените мостове. При тях на изхода на моста се получава напрежение пропорционално на измерваната величина. Има и друг подход - така наречените уравновесени мостове. При тях, когато се промени измерваната величина и на изхода на моста се появи сигнал, се въздейства така, че в изхода напрежението да стане нула. Примери на

такива мостове са показани по-долу.

## Уравновесени мостове



Уравновесяването при лявата схема става с потенциометър който се променя от двигател. При другата схема се измерват деформации с тензорезистор. Компенсацията става с деформация на тензорезистора в съседното рамо на моста. Първата схема е с астатична характеристика - след като мостът се уравновеси, на изхода напрежението е нула (поради интегриращото звено - двигател). Втората схема е със статична характеристика - при нея винаги остава малка неуравновесеност която усилена поддържа тока през електромагната деформиращ тензорезистора. В този случай няма интегриращо звено и ако на изхода на моста напрежението е нула и токът през ел.магнита ще е нула.

Ако се сравнят уравновесените и неуравновесените мостови схеми може да се направят следните изводи:

### неуравновесени мостове:

- те са по-прости и по-евтини, с по-голямо бързодействие
- изходното напрежение е пропорционално на полезния сигнал, но и на захранващото напрежение (ток). Поради това се изисква стабилно захранване

### уравновесени мостове:

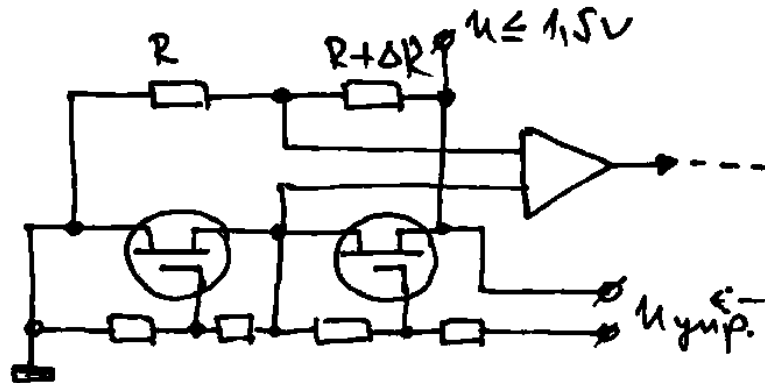
- по-сложни и по-скъпи устройства
- напрежението в изхода им е около нулата. Те не са чувствителни на промените в захранването на моста.
- точността на преобразуване е съсредоточена само в уравновесяващия елемент, а всички други грешки се компенсират от обратната връзка.
- с подходящ избор на компенсиращия елемент може да се влияе на вида на характеристиката – може да се линеаризира, да се въведе логаритмична зависимост и т.н.

Потенциометрите с които най-често се извършва компенсацията се наричат **реохорди**. Това са много прецизни елементи които определят качеството на работа на целия уред. Това ги прави и много скъпи елементи. Обикновено реохордите са жични, линейни, много-оборотни потенциометри с клас 0,1-0,5%. Като електро-механични устройства те имат типични недостатъци:

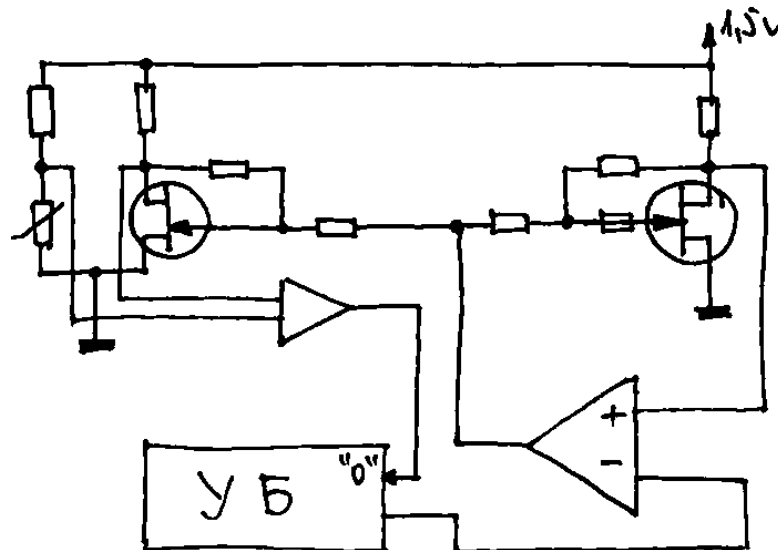
- скъпи са
- трудно се правят с нелинейност по-добра от 0,1%
- износват се
- имат контактно съпротивление между плъзгача и намотката
- между плъзгача и намотката може да възникне термо-ЕДС
- инертни са (бавни) и не могат да се използват в бързодействащи устройства

Поради тези причини в някои приложения се предпочитат безреохордни елементи за компенсация. От механичните най-удобни са променливите кондензатори но и те имат част от недостатъците на реохордите, а освен това изискват променливотоково захранване. От електронните елементи MOS транзисторите се използват като управляеми съпротивления. Като полупроводникови елементи обаче те имат типичните недостатъци – температурна зависимост и голяма нелинейност. Затова за компенсация винаги се използват по двойки с еднакви параметри (спрегнати). За намаляване на

нелинейността се прилага обратна връзка между дрейна и гейта, а управляващото напрежение се подава между гейта и сорса. Обикновено е достатъчно двата резистора (дрейн-гейт и гейт-Уупр.) да са еднакви. Това свързване понякога се нарича 50% обратна връзка.



Тъй-като зависимостта на съпротивлението дрейн-сорс от напрежението гейт-сорс е линейна само в началния (триоден) участък на характеристиката захранващото напрежение е ниско  $< 1,5V$ . На схемата показана по-долу, за подобряване на линейността, в обратната връзка е използван транзистор аналогичен на този в моста. Поради дълбоката обратна връзка напрежението в дрейна на транзистора е същото както на инвертиращия вход на ОУ, подавано от управляващия блок -УБ.



В зависимост от алгоритъма избран за работа може или непрекъснато да се следи изменението на сензора или да се приложи методът на развиващо уравновесяване. При този метод напрежението се променя по трионо-образен закон от  $U_{min}$  до  $U_{max}$  и с нулев детектор се отчита моментът в който се получава уравновесяване (нула в изхода). Времето за което се достига до това състояние носи информация за стойността на сензора. Това всъщност е аналогово-цифрово преобразуване.

В безреохордните мостови схеми могат да се използват и съвременни потенциометри с цифрово управление. Все още те имат ограничен брой стъпки 256-1000.

### Въпроси:

1. Какви са основните предимства и недостатъци на мостовите схеми?
2. Как се компенсира влиянието на свързващите сензора проводници?
3. Предимствата и недостатъците на уравновесените и неуравновесените схеми.
4. Какви са предимствата и недостатъците на безреохордните мостове?
5. Какви са изискванията към мостовете за променлив ток?
6. Какво представлява R-C балансът, за какво е необходим?