

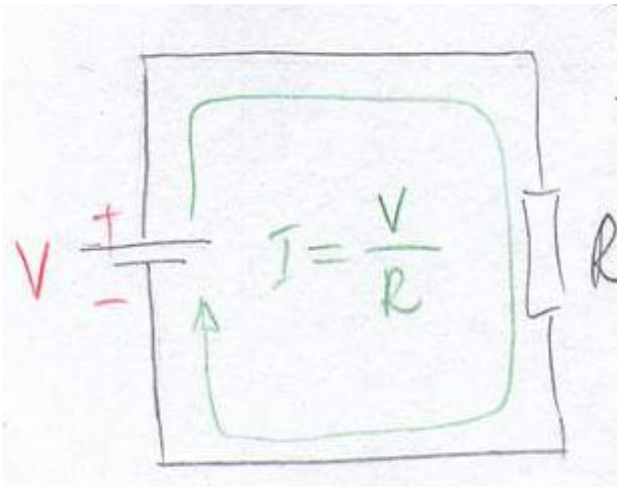
ЛЕКЦИЯ 1

Започваме от самото начало: *Какво е електричество?*

т.е. Търсим отговора на този въпрос

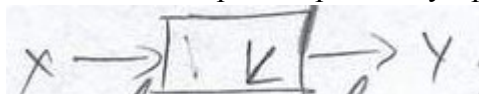
- фундаментална(интуитивна) представа. Аналогии за електричество-->

--> **“напрежението поражда ток”** - най- разпространената гл.Т. В ел. вид това е на най-елементарната ел. верига на Ом.



- Атрибути: V, I, R
- връзки мъу тях : закон на Ом

– Ом е бил учен и е извел само една зависимост. В нея няма причинно- следствени връзки (т.е. не е ясно кое е вход, кое изход). но ние сме инженери и боравим с устройства- **преобразуватели.**

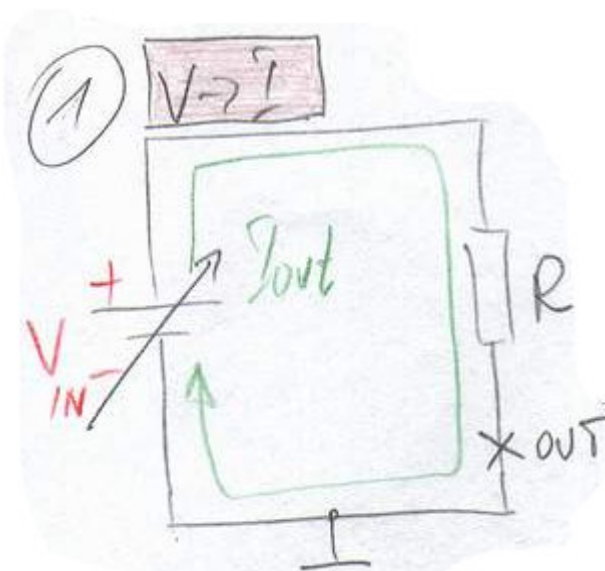


Как можем да “представим” такова устройство от ел верига

- като приемем една величина за вход, а друга за изход и започнеме да варираме с входната като отчитаме изхода.

1.Напрежението поражда ток.

Най очевидното- започваме да варираме с напрежението и отчитаме тока $I=f(V)$, при $R=const$



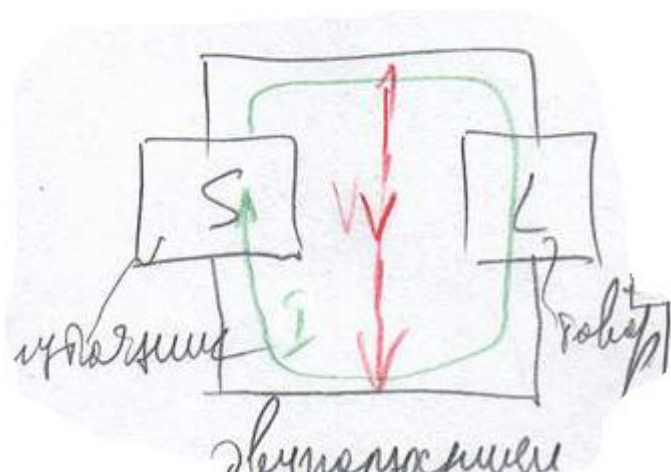
- **графично означение**



- **аналитично представяне**

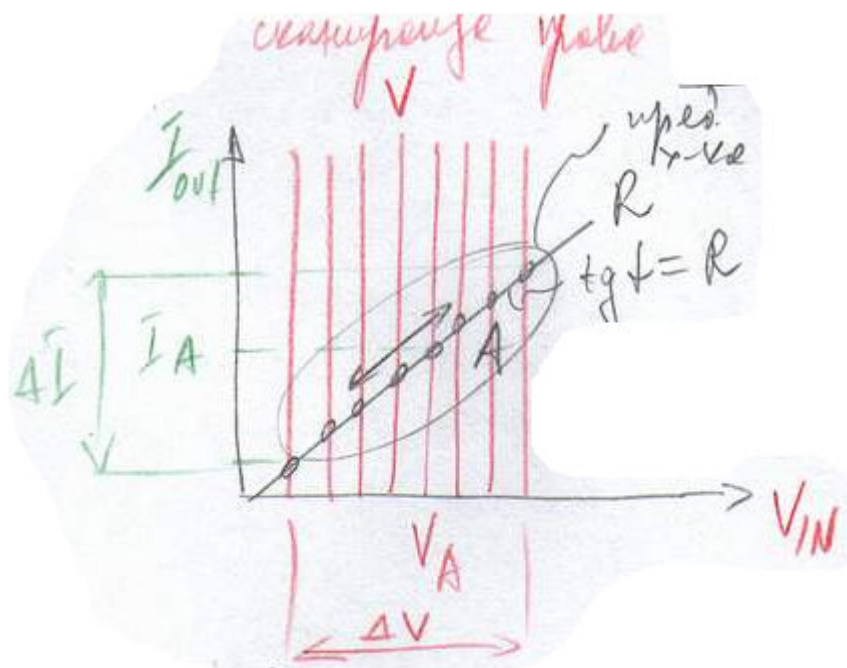
$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R} \square \square$$

- **графо аналитично представяне** -идеята му е следната:
всяка една схема може да се сведе до най- простото:



Какво е това свързване? Последователно, паралелно? Нито едно от двете, най-елементарното

Напрежението V и тока I са еднакви и за двата елемента. Всеки от двата двуполусника се характеризира с V I х-ка, чертаем в/у обща координатна с-ма.

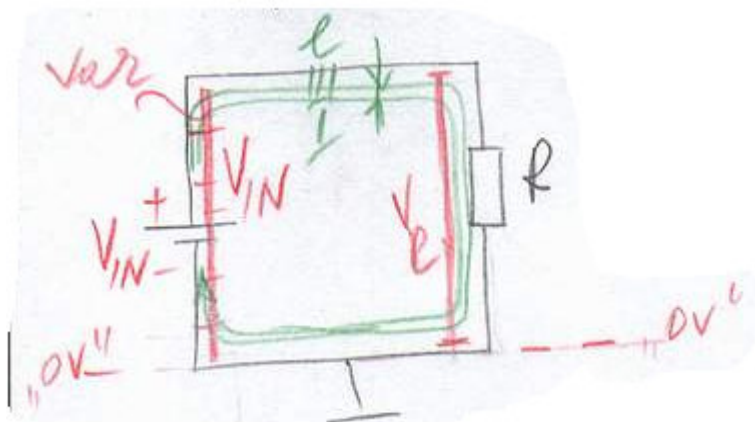


- х-ка на R – права, започваща от началото на координатната с-ма
- х-ка на V – вертикална права
- прес. точка A – работна точка (V, I)
Тя се движи по х-ка--> коеф.на предаване зависи от R .

потенциални стълбчета и токови контури

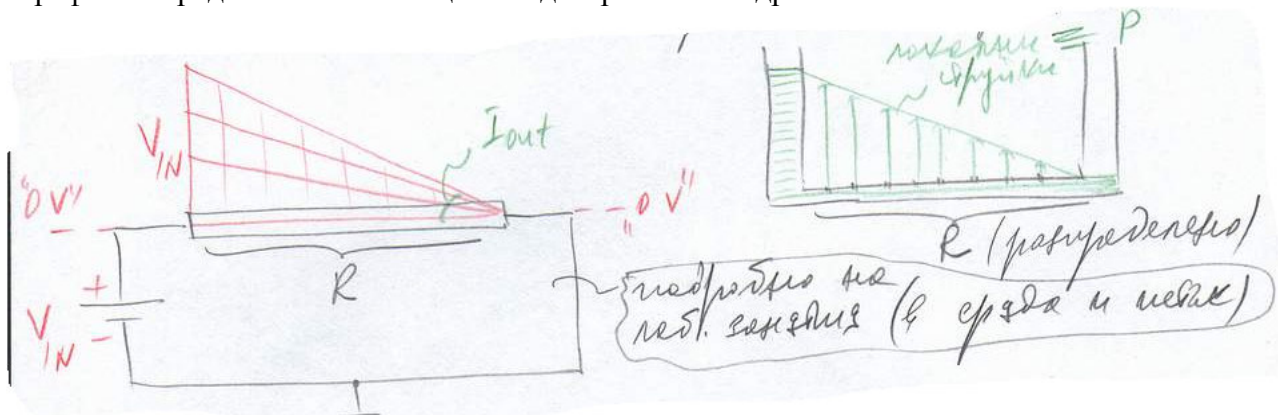
(представено на сайта www.circuit-fantasia.com в голяма част от анимациите)

- графично представяне с



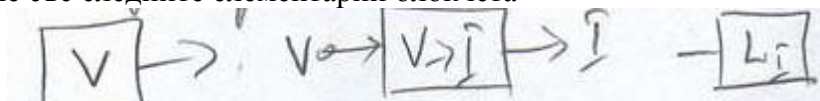
1. потенциално стъбло- следва от "височината", представена за потенциал.
2. Токов контур- от "флуидната" представа за тока. Ще си представяме че се движат (както на анимациите)

- графично представяне с потенциална диаграма- от хидро аналогията



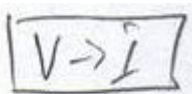
Като меням вх. напрежения V_{in} пот. диаграма се свива и разтяга във вертикална посока и токът I се меня пропорционално на V .

До тук разполагаме със следните елементарни блокчета



Сега ще започнем да комбинираме най- елементарните блокчета, които имаме до тук за да "изобретим" по- сложни, съставни блокове т.е. започваме да търсим приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА



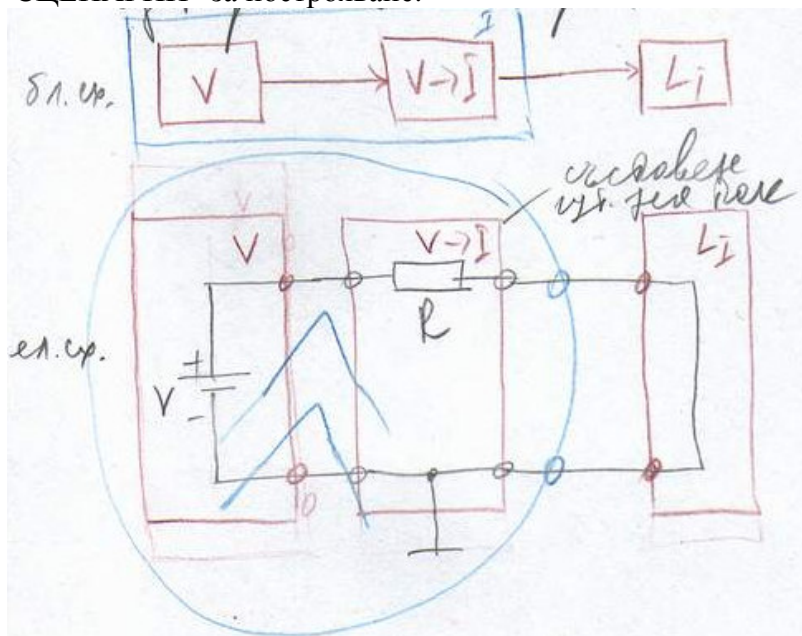
Избираме възможно най- елементарните примери от изучаваните дисциплини (електротехника, ел. Измервания)

Пример1

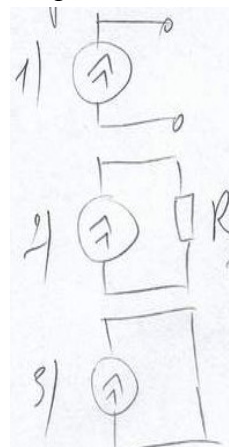
Как се прави източник на ток, управляван от напрежение?



“СЦЕНАРИИ” за построяване:



Кога един източник на ток се “чуства” най-добре?



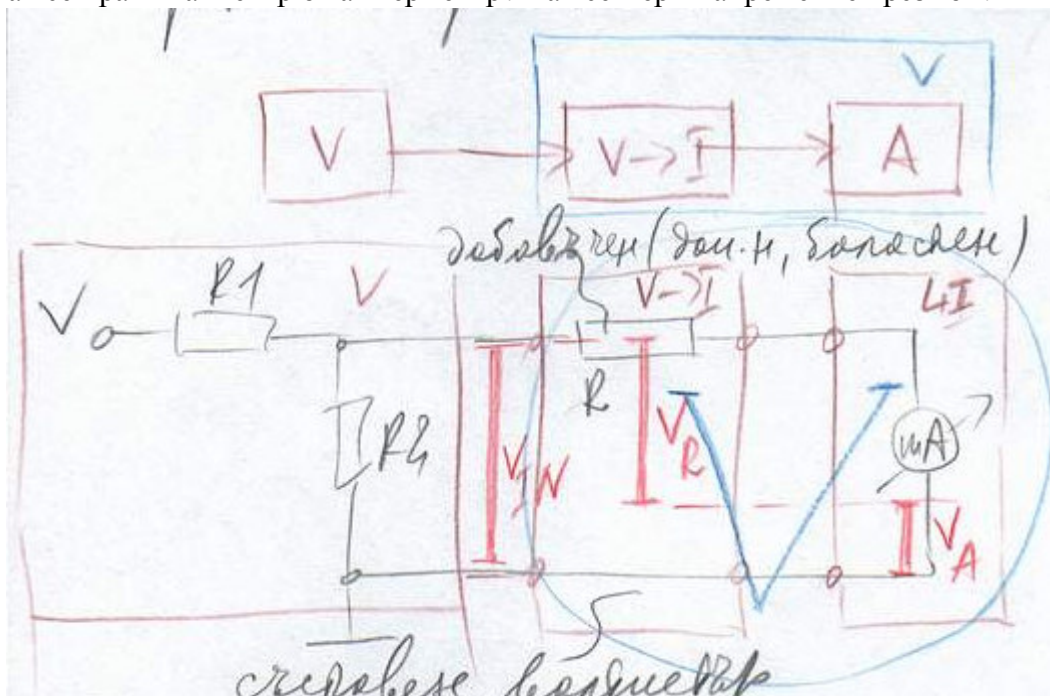
т.е започваме да разсъждаваме в/у грешките на устройството
За какво може да се избобзва този

източник на ток?

- Зареждане на акумулатори
- снемане на VA х-ки на диод, транзистор
- управляеми светлиоди, транзистори

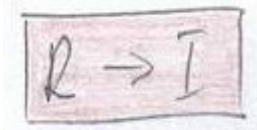
Пример2

Как се прави ватметър от амперметър? Как се мери напрежение чрез ток?

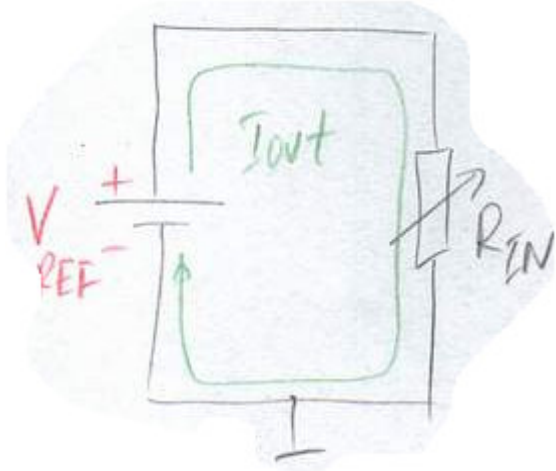


Исторически погледнато тази задача е възникнала с изобретяването на магнито- електрическата система.

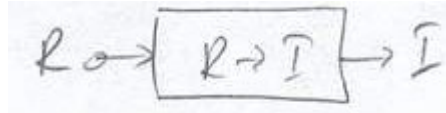
ПРИЛОЖЕНИЕ НА



Сега започваме да варираме със съпротивлението и пак отчитаме тока $I=f(V)$, при $R=\text{const}$
Така получаваме второто просто градивно блокче- **преобразувател “съпротивление- ток”**



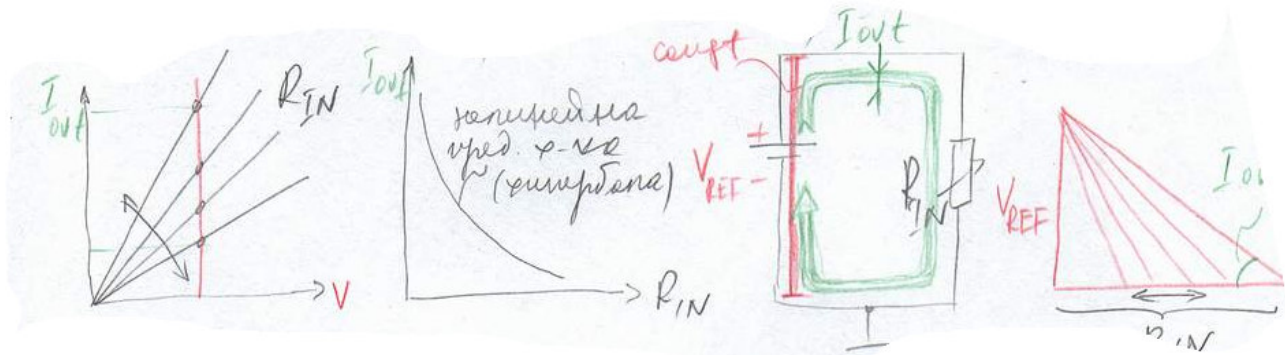
1. графично означение



2. аналитично представяне

$$I_{out} = \frac{V}{R_{in}} \square$$

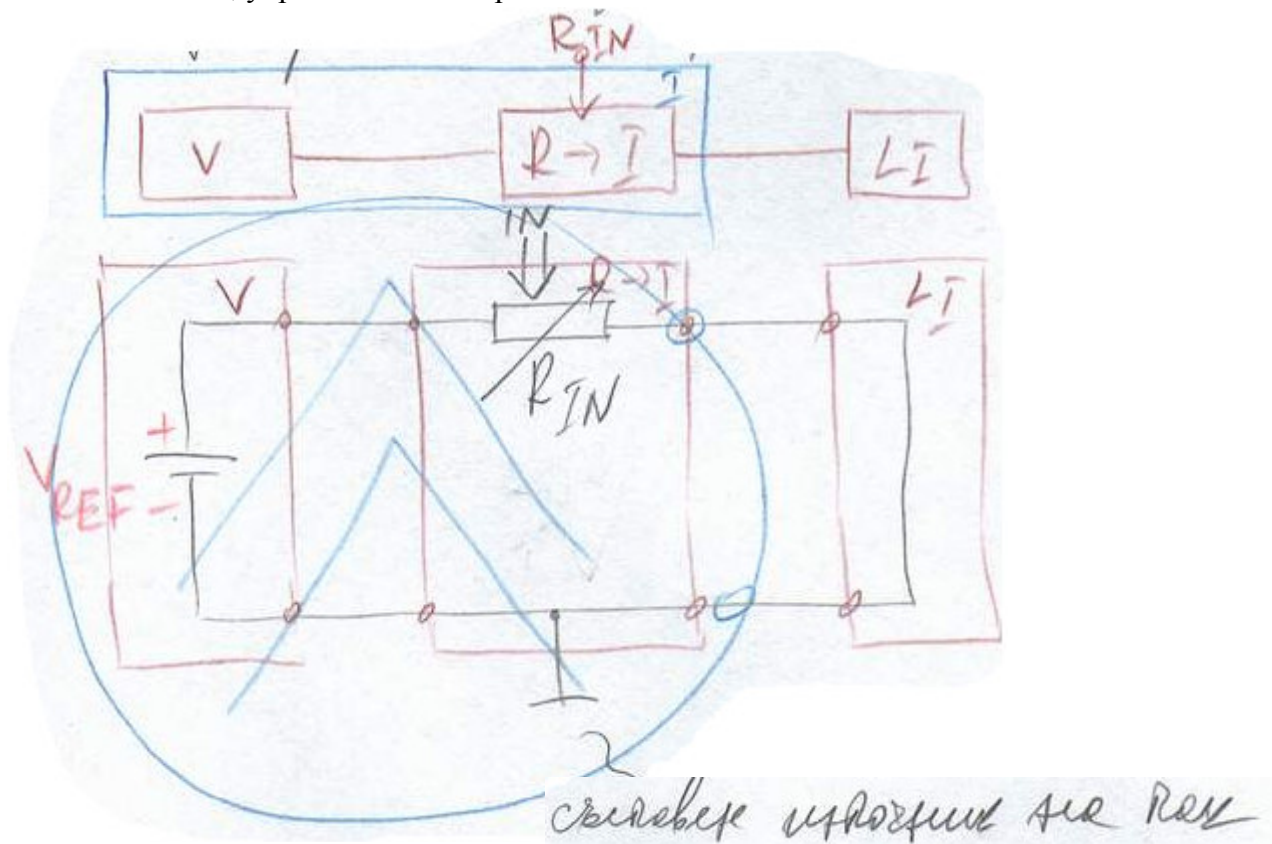
3. Следват графичните представяния



Сега започваме да комбиниране ел. блокчета, които “изобретихме”. Дали не можем да правим по- сложни съставни блокове?

Пример

Източник на ток, управляван от съпротивление:

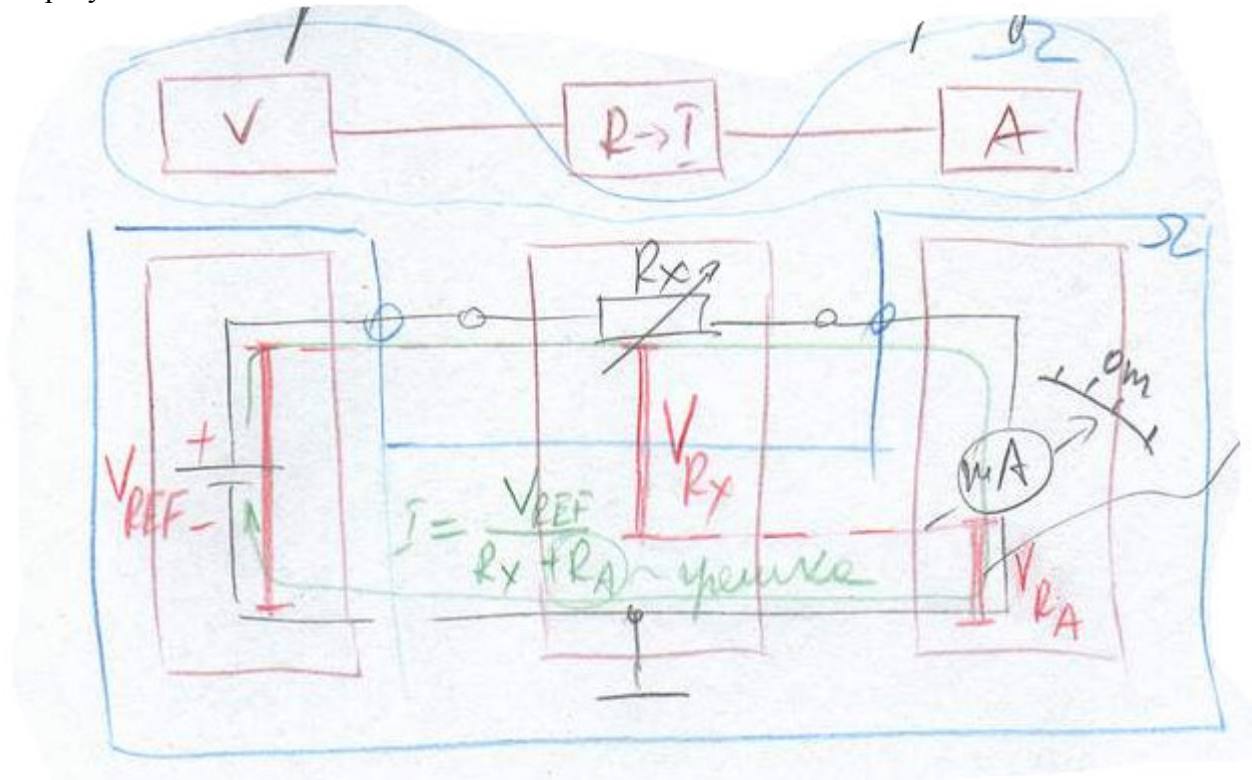


Идеален ли е този източник? Има ли грешка? Коя се проявява? Как можем да я намалим? Как да я отстраним въобще?

На тази с-ма работи транзисторния източник на ток -- лекция4

Пример 2

Как се прави омметър чрез амперметър. Косвено измерване на съпротивление чрез преобразуване в ток.

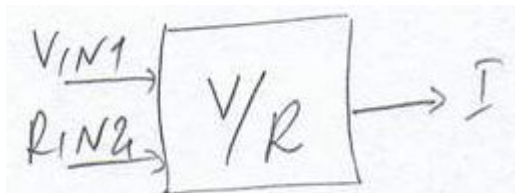


Идеална ли ще е тази с-ма?

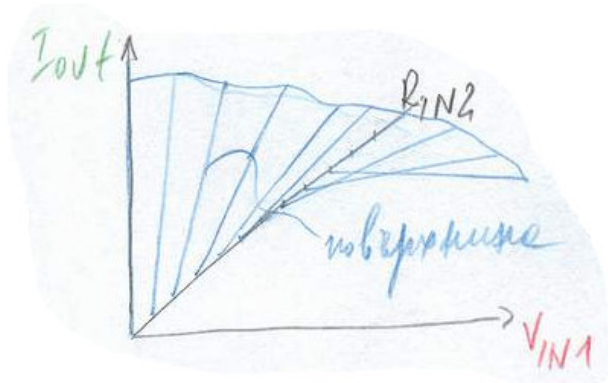
Да, ако амперметъра е идеален $R_a = 0$

Недостатък: нелинеен омметър. Нелинейна скала.

Варираме едновременно и с двете величини V и R, $I=f(V,R)$



получаваме аналогов делител



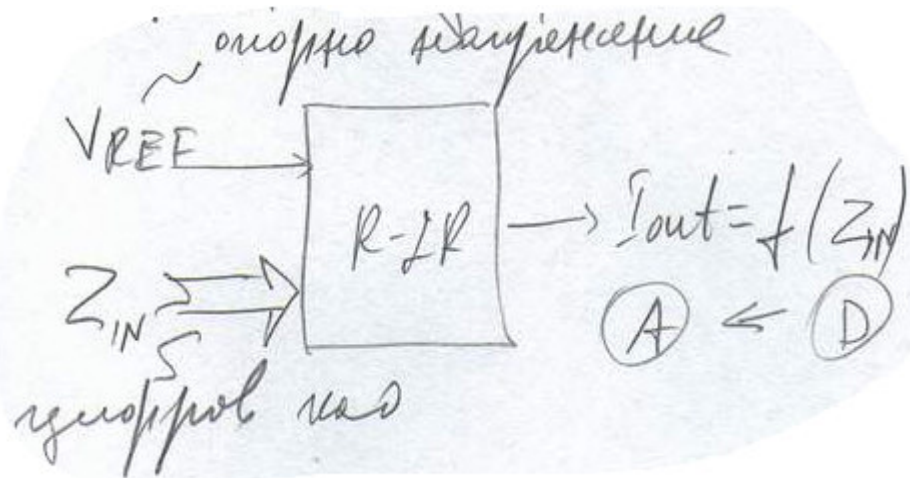
$$1. \text{ аналитично } I = \frac{U_{in1}}{R_{in1}}$$

2. графично

х-ка на един делител е повърхнина, в началото стръмна, след това лула надолу ($R \rightarrow \infty$).
Построяваме я от отделни сечения, които са характеристиките на елем. преобразувател.

Пример:

Умножаващ ЦАП с матрица R-R2 и токов изход.

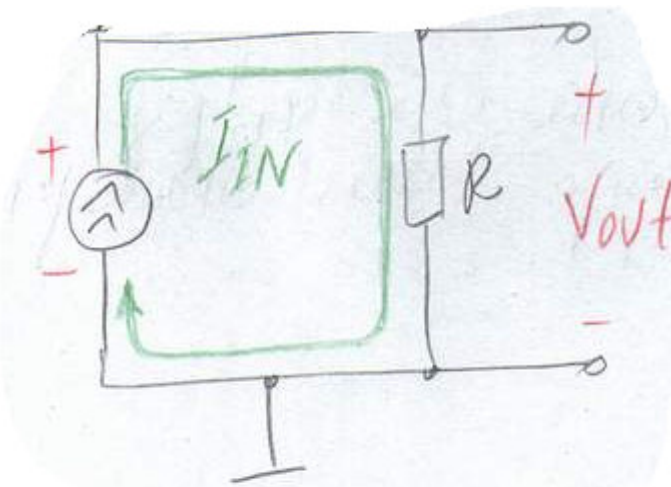


В най-общия случай този ЦАП е устройство с 2 входа (делител)

2. Токът поражда напрежение.

Сега обсъждаме причинно следствените връзки като приемем, че токът поражда напрежение. Това означава да захраним елементарната верига от източник на ток.

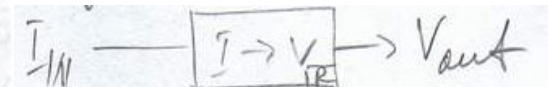
- Нека варираме първо с най-очевидното тока.



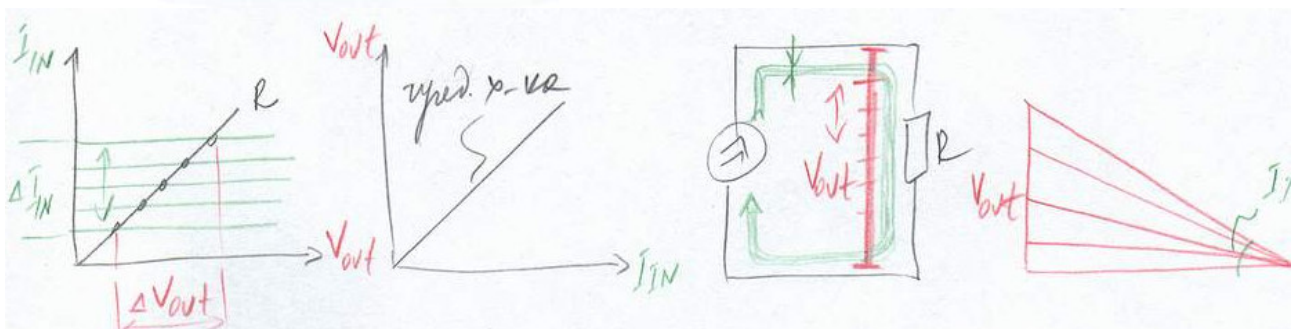
$$V=f(I), R=\text{const}$$

получаваме преобразувател.

$$I \rightarrow V$$

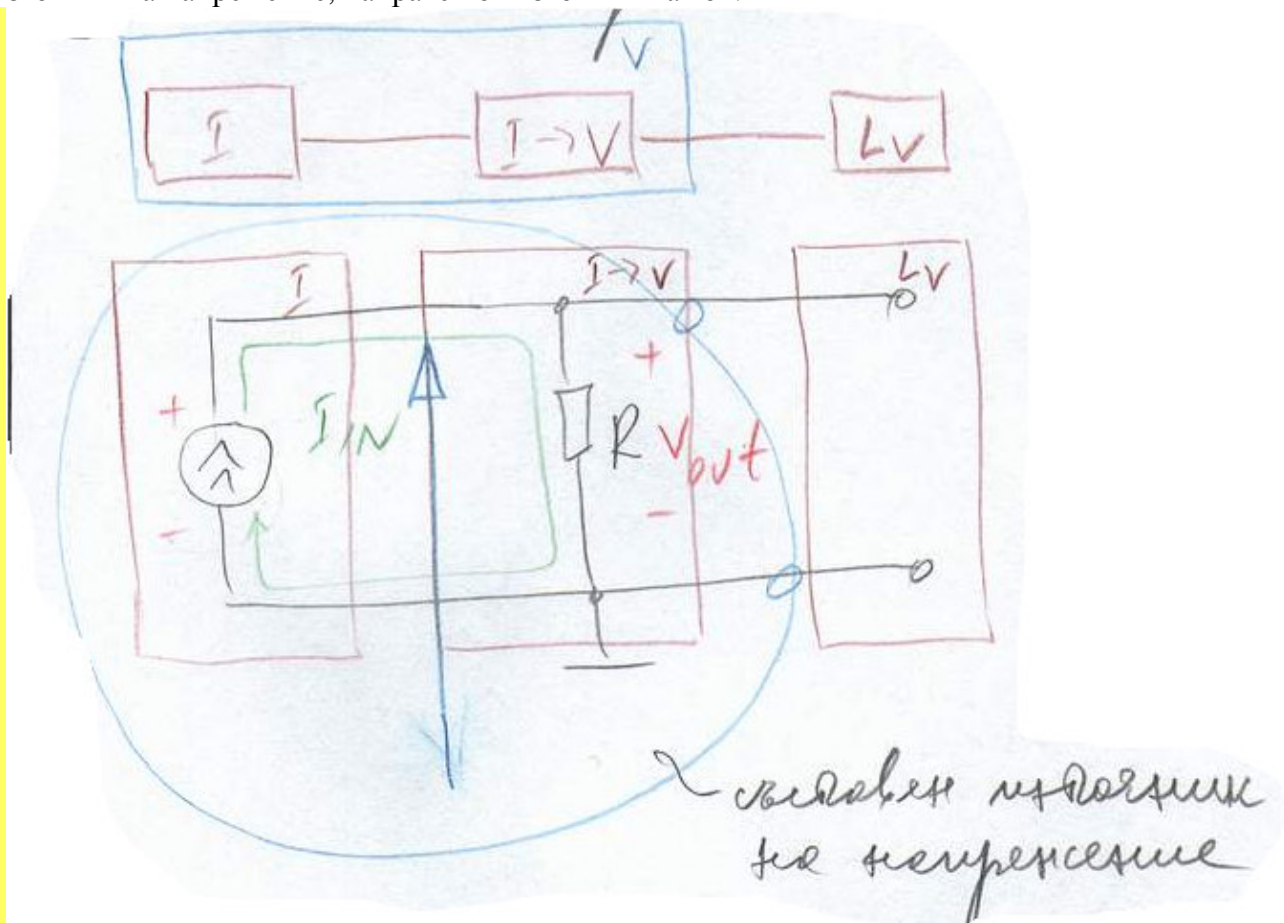


$$V_{out}=R \cdot I_{in}$$



Пример:

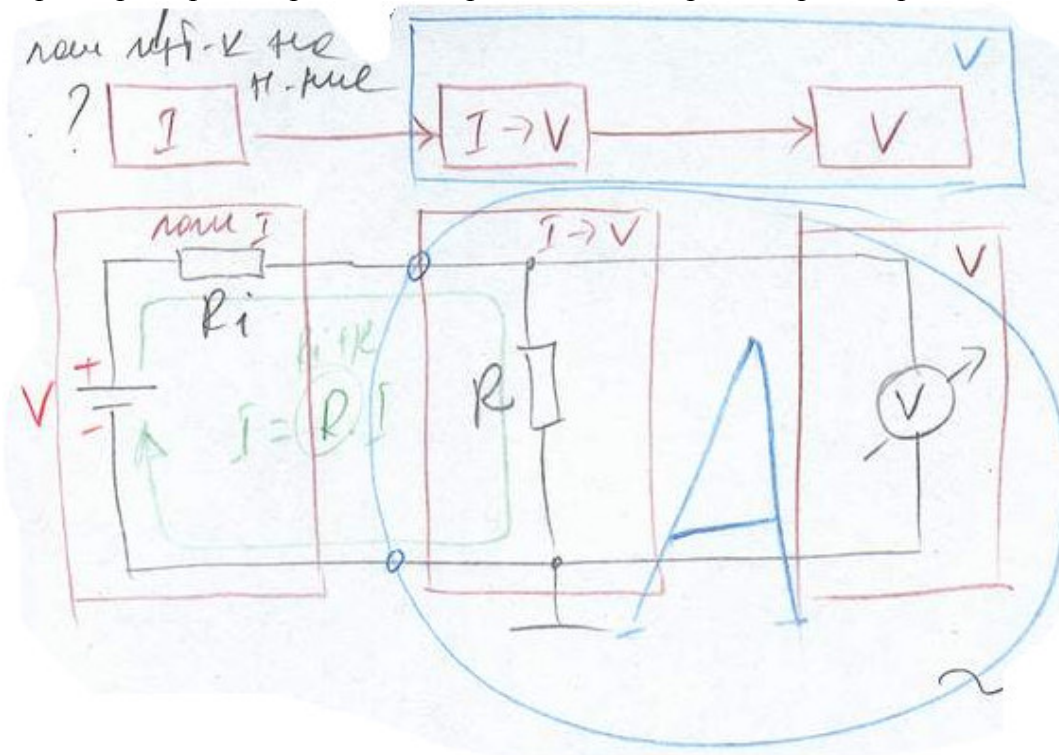
Източник на напрежение, направен от източник на ток.



Идеята на Нортън в електротехниката няма особена практическа стабилност, защото имаме удобни източници на напрежение (батерии) и няма нужда да се прави.

Пример2:

Амперметър направен чрез волтметър. Или как се мери ток чрез напрежение?



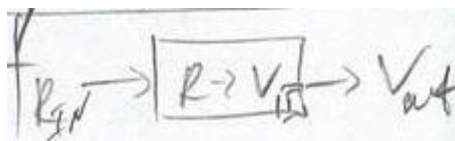
Практическа задача:

Да измерим тока на късо съединение на реален източник на напрежение (с R_i). За целта даваме на късо източника с един амперметър.

- Започваме да варираме със съпротивлението и да отчитаме тока. Така получаваме 5-то просто градивно блокче. $V=f(R)$ при $I=\text{const}$

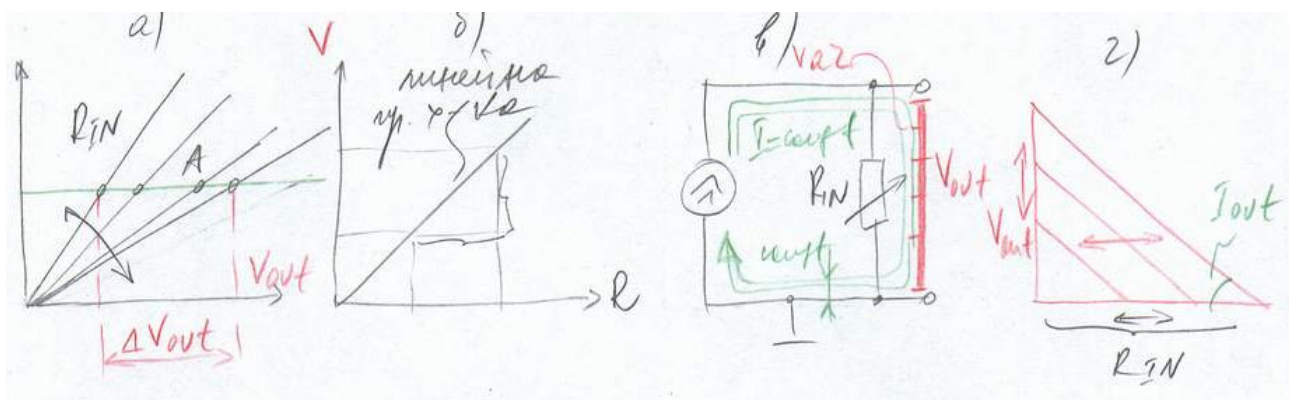
- блок **преобразувател съпротивление- ток**

1. графично представяне.



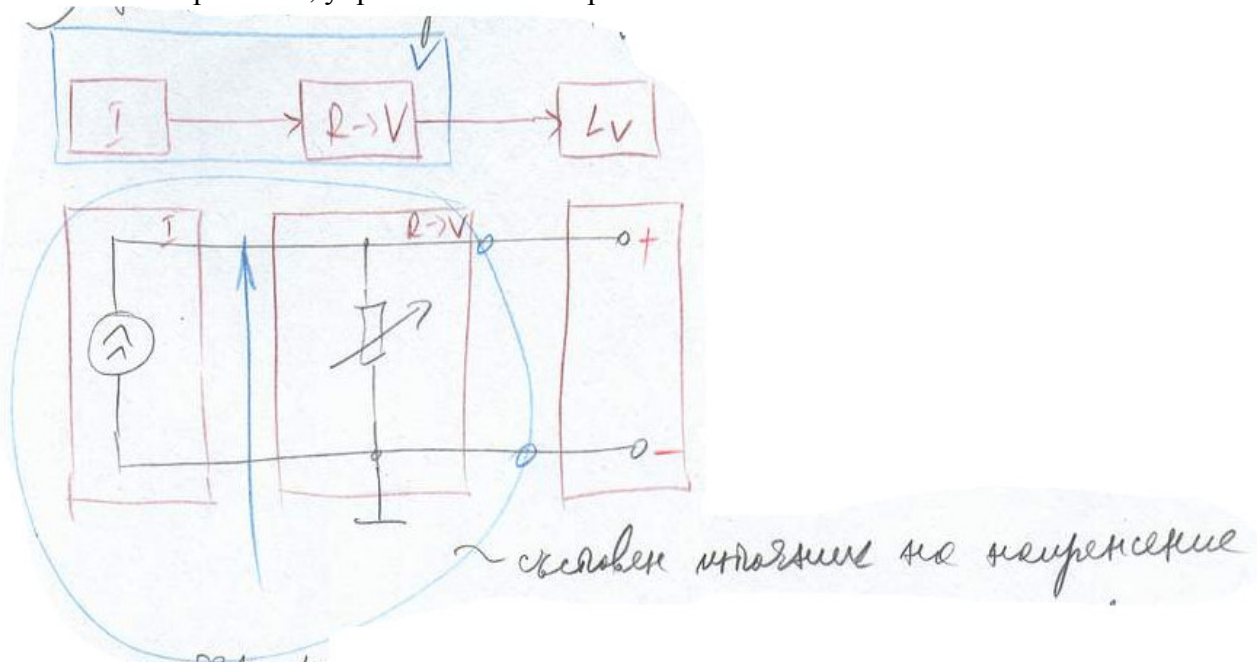
2. Аналитично представяне

$$V_{out} = I \cdot R_{in}$$



Пример1:

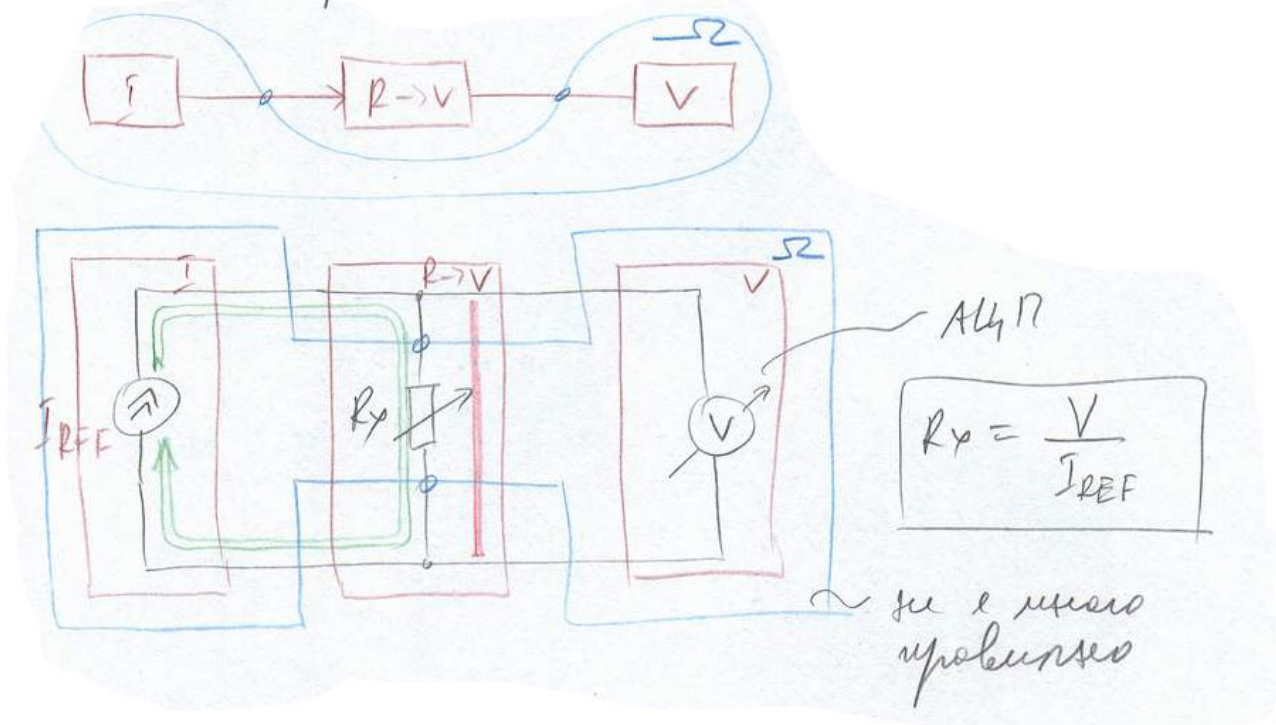
Източник на напрежение, управляван със съпротивление.

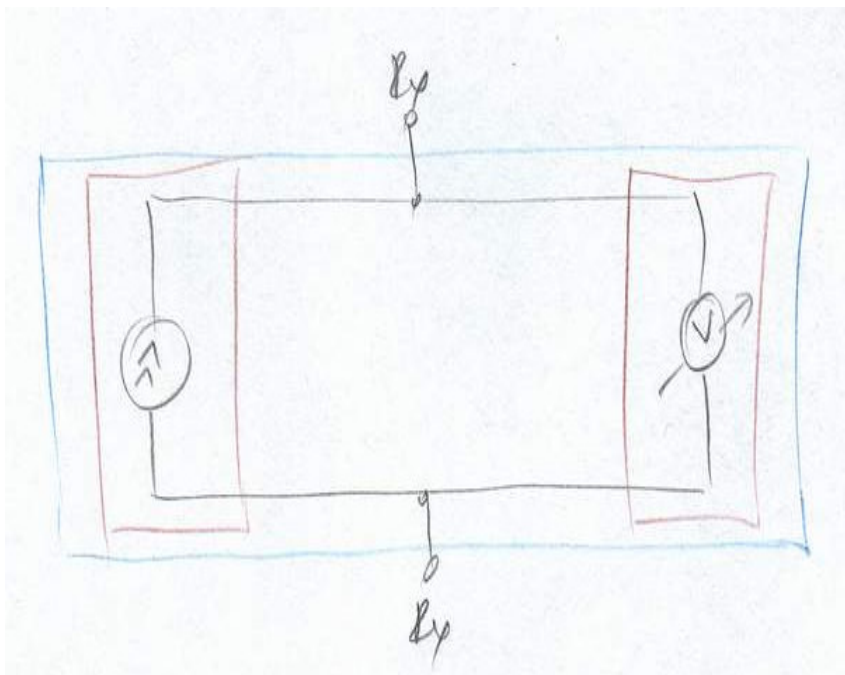


Няма особена практическа стойност за разлика от предишната схема $R \rightarrow I$
Разглеждаме го само за пълнота

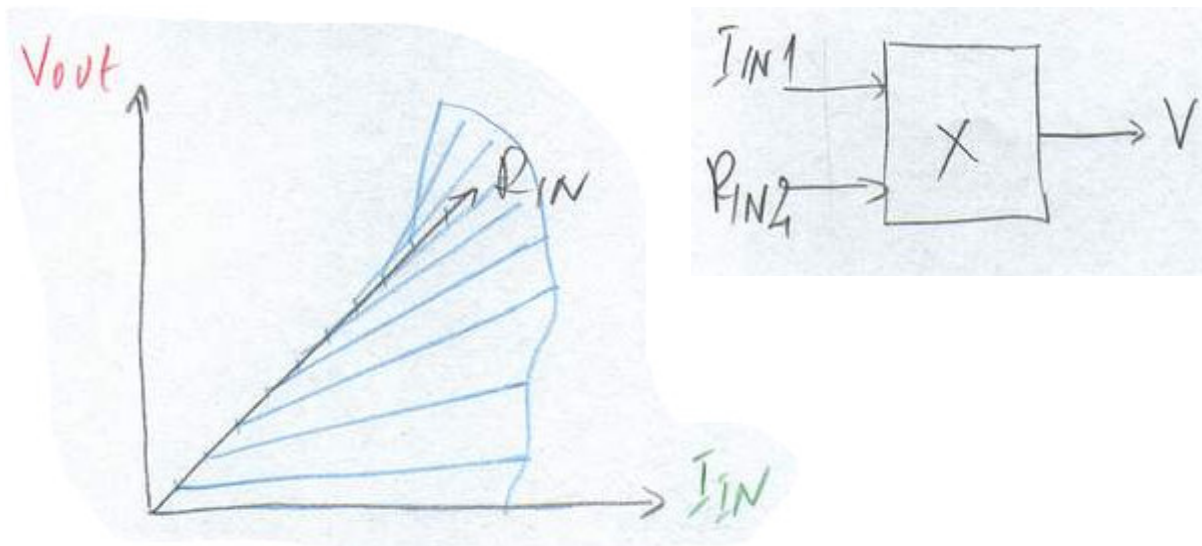
Пример2:

Омметър, направен с волтметър. Косвено измерване на съпротивление чрез преобразуване в напрежение. Това е "идеалният" омметър с линейна скала





- Накрая варираме едновременно I и R $V=f(I,R)$. така получаваме **аналогов умножител**.

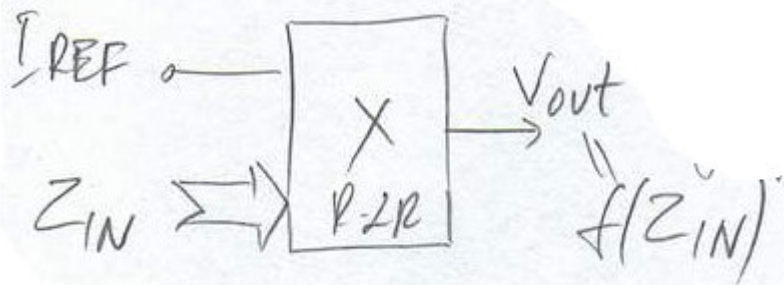


х-ката на умножителя е повърхнина, в началото легнала, след това стръмна. Пак я получаваме от отделни сечения които са характеристиките на елементарния преобразувател или

$$I \rightarrow V \text{ или } "R \rightarrow V"$$

Пример:

Управляющ ЦАП с матрица и напреженов изход



В най- общия случай този ЦАП е устройство с 2 входа (умножител)

ЛЕКЦИЯ 2

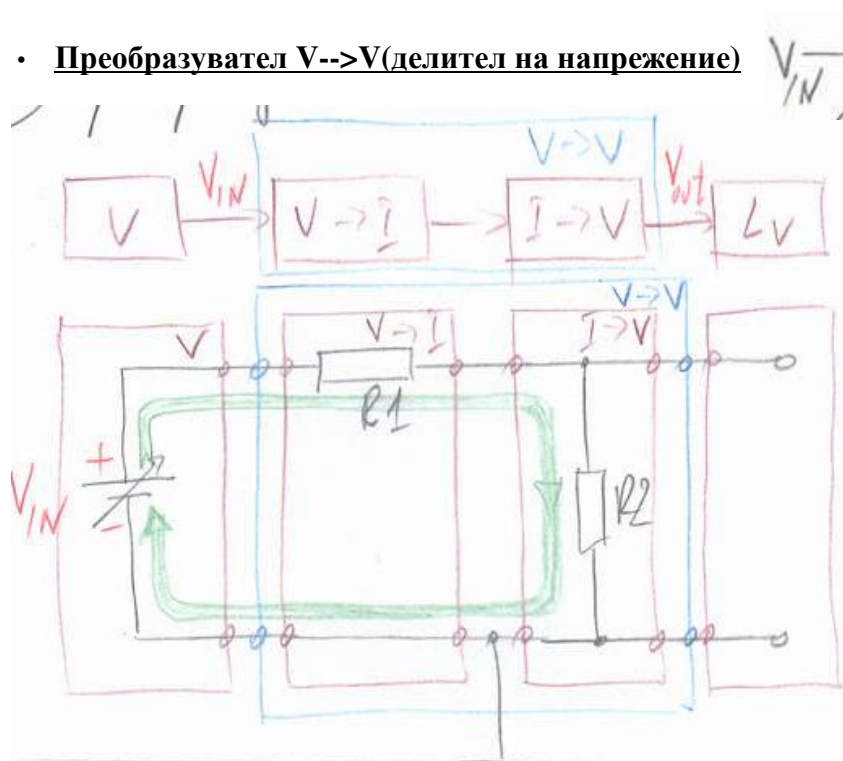
Съставни пасивни преобразуватели

На предишната лекция разгледахме най- елементарните двуполусни елементи с токов и напрежителен преход. Сега ще изследваме най- важният- преобразувателя.

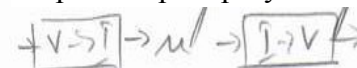


Какви по- сложни съставни блокове можем да построим от тези елементарни блокчета? Започваме с най- очевидното

• Преобразувател $V \rightarrow V$ (делител на напрежение)



изграждаме го от 2 последователно свързани преобразуватели



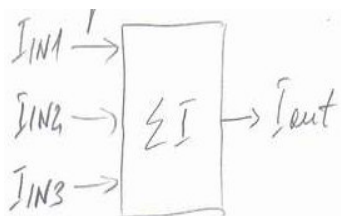
(един резистор само не е достатъчен да променим напрежението, както често правят студентите) за да има пад, трябва да тече ток и вторият резистор е за това.

Виж Приложения

• Съставен пол. преобразувател с повече от един вход

След като елем. ел. верига на Ом ни позволи да “изобретим” 15 елем. градивни блокчета с по 1 вход и/или изход, явно веригите(законите) на Кирхов ще ни позволят да “изобретим” и построим двувходови устройства (став в-с за едноредни входове- ток и напрежение).

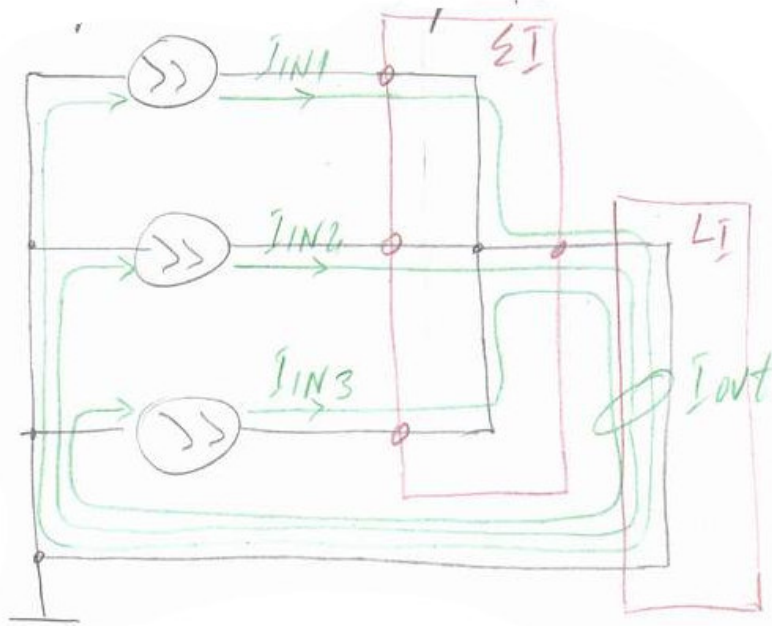
Кои са най-простите и най- популярни устройства с повече входове(няколко или повече от един входа)? Очевидно суматорите. Колко вида суматори можем да направим според Кирхов?- Два, колкото са и законите му. Първият му касае токовете, значи от него ще извлечем **токовия суматор**.



Кой е най- простият суматор по токове? Кое е най- простото “устройство”, което може да сумира токове? Просто един **възел**!(точка в пространството- обемен суматор)

Нека ги начертаем:

- Паралелен суматор по токове(токов суматор)



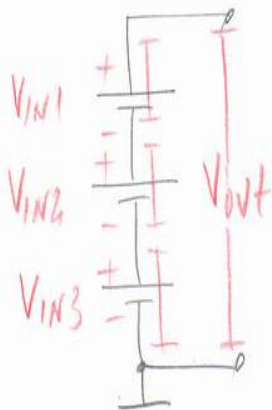
паралелен суматор по токове
защото входните източници на ток са включени паралелно към товара.

Има ли някъде напрежение в схемата? Да чертаем ли потенциални стълбчета?
Навсякъде нулев потенциал!

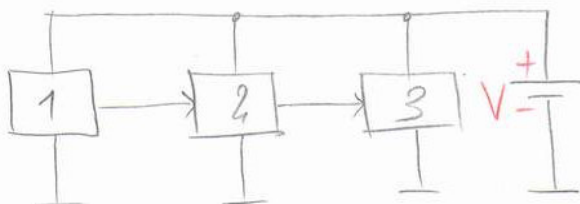
- Последователен суматор на напрежения.



След като първи закон на Кирхов ни даде токов суматор, вторият закон ще ни даде **последователния напрежителен суматор**. И така, кой е най-простият суматор на напрежение- това е просто един **контур**!(идеално устройство) *Виждали ли сте токов суматор($3 \cdot 1,5 = 4,5V$)? Може ли да си го купите от магазина?*
(например- батерия!)



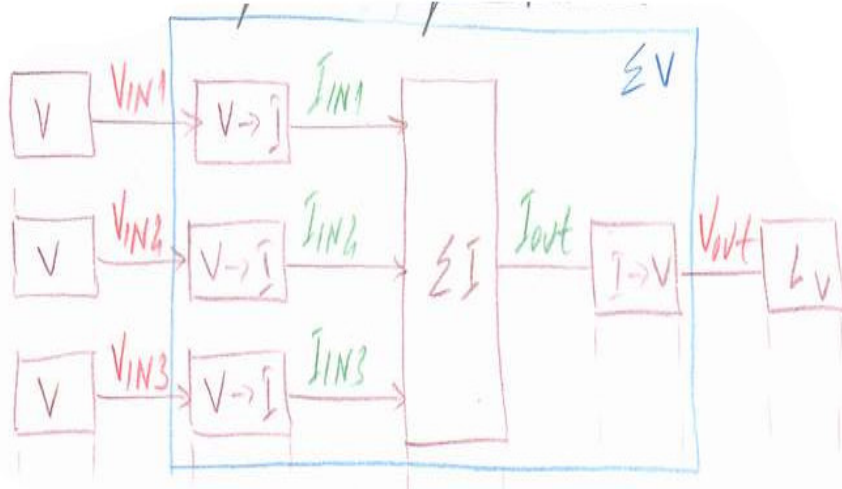
Какъв проблем обаче възниква при последователно сумиране на напрежения? Това е проблема на общата маса в схемотехниката



Обикновено захранваме отделните стъпала(преобразуватели, устройства) от един общ захранващ източник паралелно, като единия му край го даваме на маса. Така че те са предварително свързани към общата маса и ако ги свържем последователно се дават нахъсо(в случая само V_{in3} и товара са замасени).

Този проблем го няма при паралелния суматор, но той сумира токове. Тогава да се опитаме да направим паралелен суматор по напрежение.

-Паралелен суматор на напрежения.



Блокова схема построяване

①

вземем един токов суматор и включваме към него входно/изходните устройства

ΣI и $\gg$

②

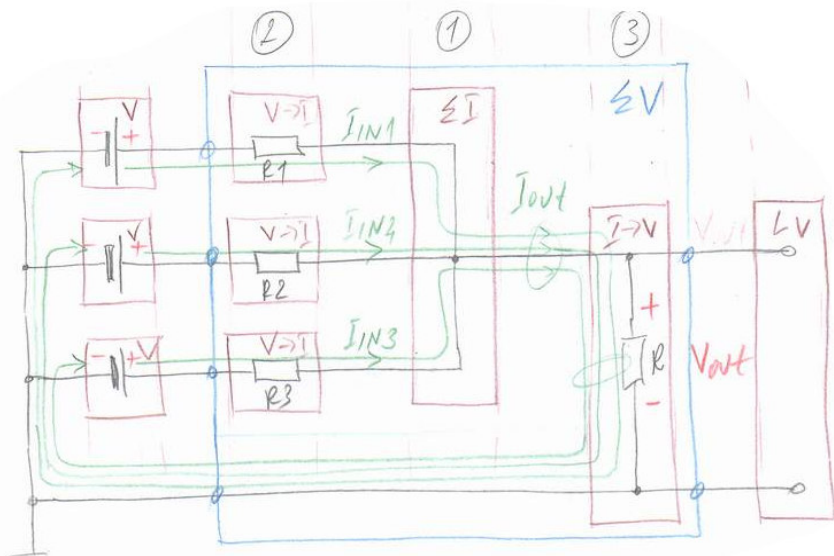
включваме на входовете

V и $V \rightarrow I$

③

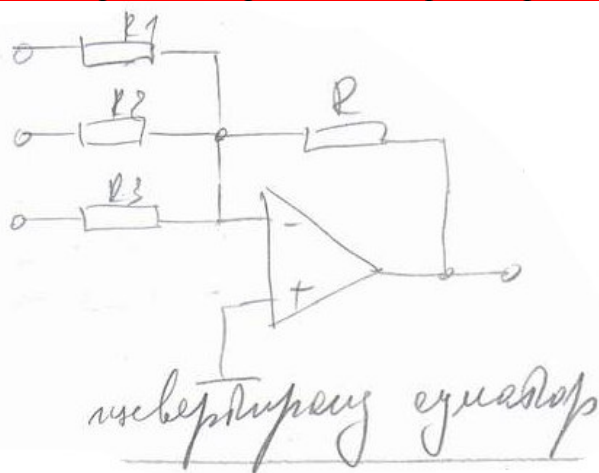
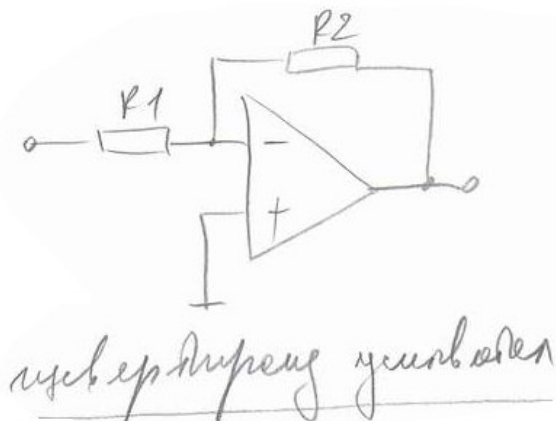
включваме в изхода

$I \rightarrow V$ и L_V

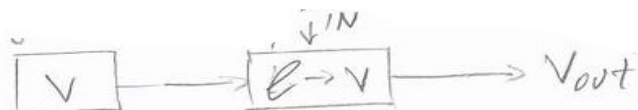


И пак си задаваме въпроса: *Защо ни е необходимо това толкова просто сумиращо устройство? Дали самостоятелно използвано то е полезно (например в лекция 13 ще го използваме за да превърнем един еднополярен ЦАП или АЦП в двуполярно или обратното)*

Най- основното му приложение обаче е при схемите с паралелна отрицателна обратна връзка.

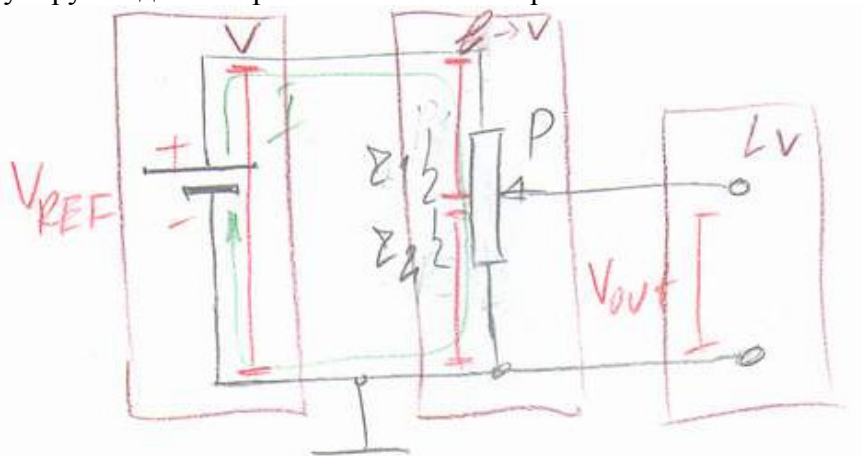


1. Преобразувател “преместване- напрежение”

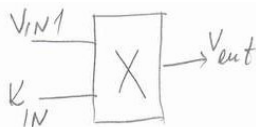


Пример:

Регулируем еднополярен източник на напрежение.



Аналогов умножител на напрежение
по коефициент K (напр. на плъзгане)

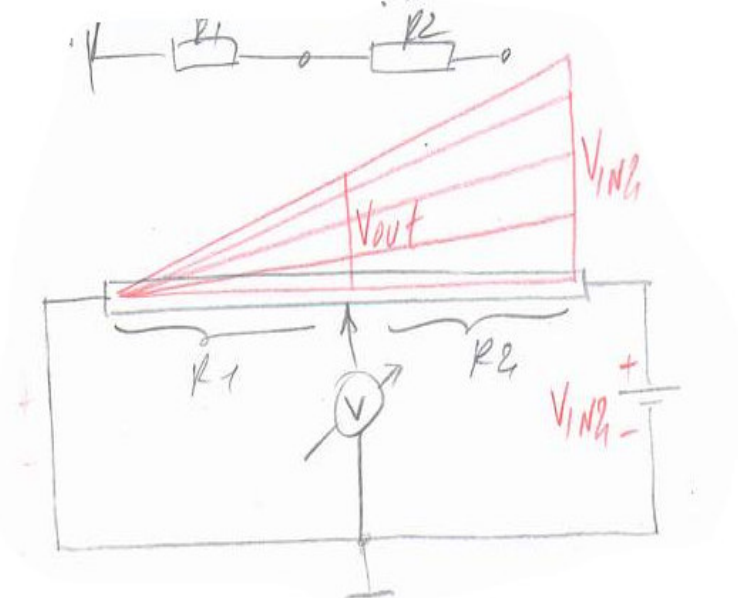


Меним едновременно входното напрежение на плъзгача

$$V_{out} = k * V_{in1}$$

$$\left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) = K$$

• Делител на напрежение, уравновесяван отдясно.

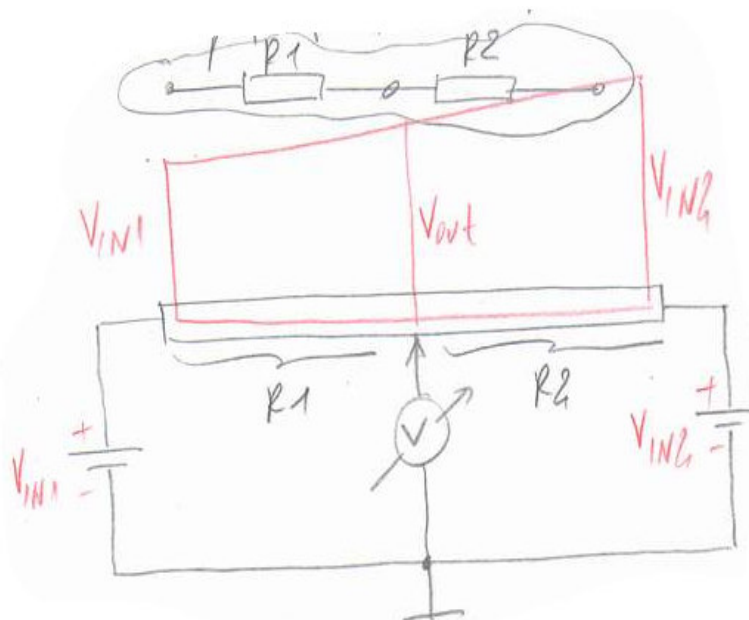


Отново получаваме делител на напрежение, но сега управляван отдясно.

$$\frac{V_{out}}{V_{in2}} = \frac{R1}{(R1 + R2)} \square$$

$$V_{out} = \frac{R1}{(R1 + R2)} V_{in2} \square$$

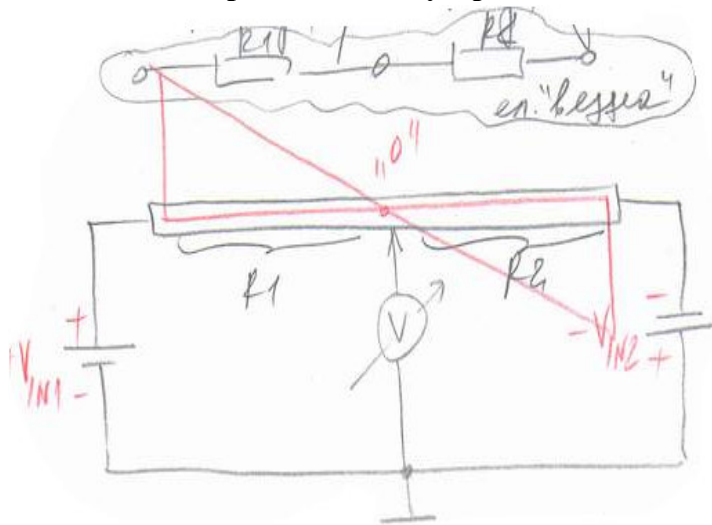
• Резистивен суматор на напрежения.



Сега започваме да меним напреженията(потенциалите) и от двете страни. Получаваме една чудесна илюстрация на принципа на наслагването(суперпозицията) от ел-та.

$$V_{out} = \frac{R1}{(R1 + R2)} V_{in2} + \frac{R2}{(R1 + R2)} V_{in1} \square \square$$

• Изваждащо(сравняващо) устройство.



Ако 2 напрежения са разнополярни, получаваме изваждащо устройство и в/у резисторния слой(вътре в резистора) се появява точка с нулев потенциал. Това е прочутата **виртуална точка**(не е маса, но се държи като такава)

Какво е условието за възникване на

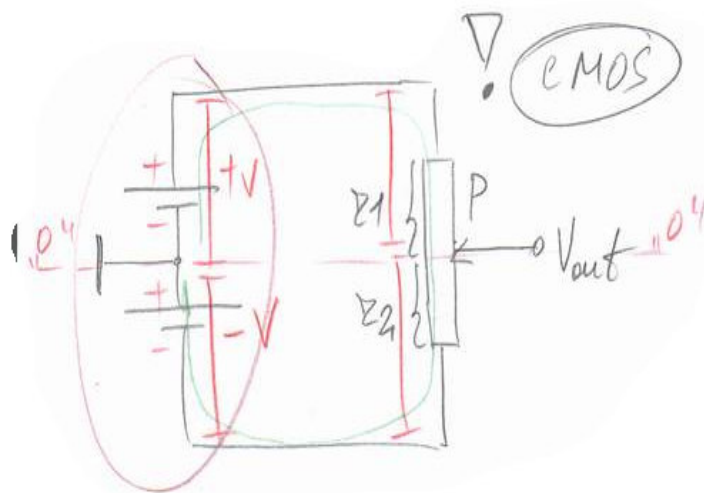
виртуална маса?

$$\frac{V_{in2}}{V_{in1}} = \frac{-R2}{R1} \quad \square \quad \text{От двата подобни външни триъгълника}$$

Върху тези феномени се градят всички схеми с паралелно отрицателна обратна връзка (лекция 7, 8)

Пример:

Двуполярен резисторен сензор

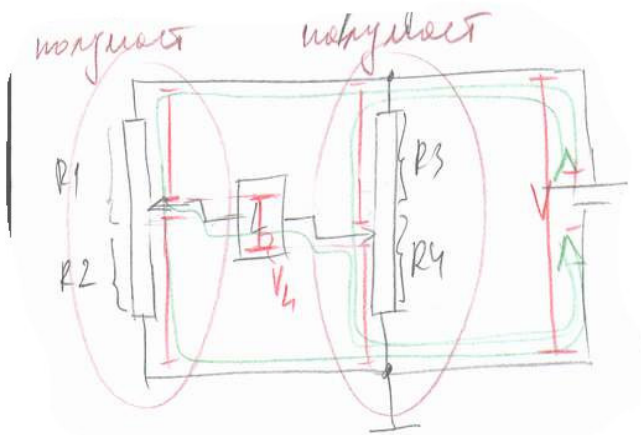


когато плъзгачът е в средата, изх. напрежение е нула. Преместим ли го нагоре- имаме +, надолу -.

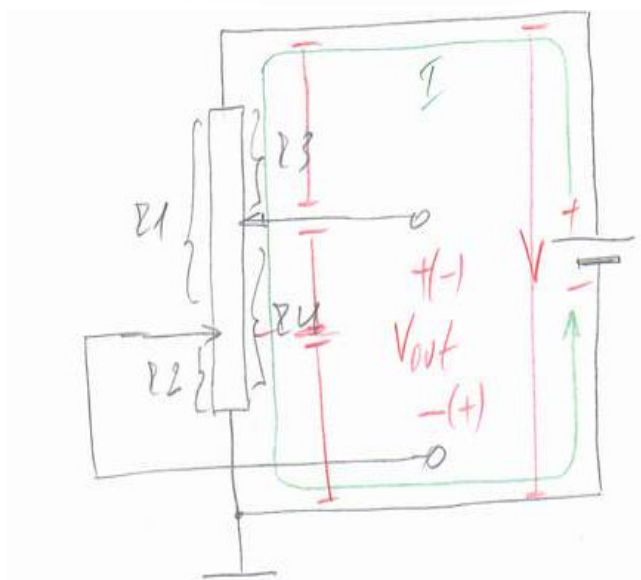
имаме излишък със средна точка(ще го използваме много при диор. усилватели и)

- **Мостови схеми.**

Сега вече можем да сглобим от 2 делителя на напрежение прочутия мост на Уитсън.
(Wheatstone bridge)



можем да меним положението на плъзгача еднопосочно(синфазно) или разнопосочно (диференциално). + получаваме пълен разход на изходното напрежение. Ще използваме тази схема на свързване при мостовите схеми.



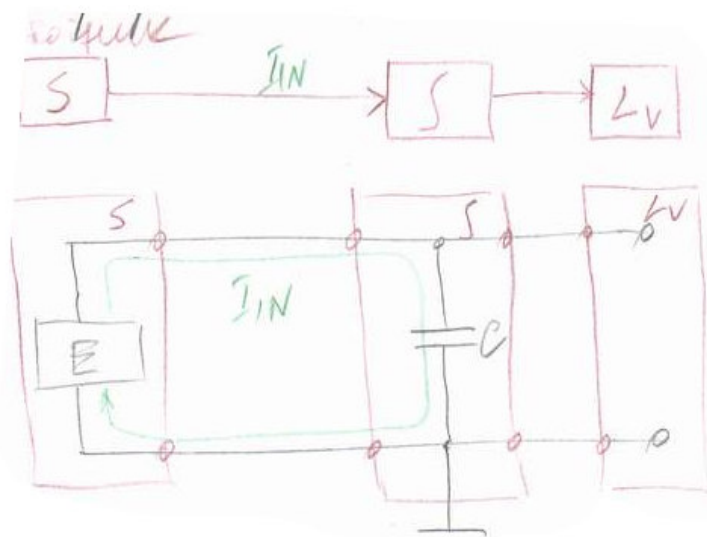
Една интересна “мостова” схема получаваме като “слепим” два потенциометъра. Тя има двуполярен преход с пълен размах $\pm V$

Схеми с реактивни елементи

До тук се занимавахме със схемни блокчета, изходния сигнал на които не зависи от времето (това бяха почти изключително резистивни схеми). Сега ще обогатим колекцията си със схемни блокчета, които вече реагират на времето. Започваме с най-елементарните.

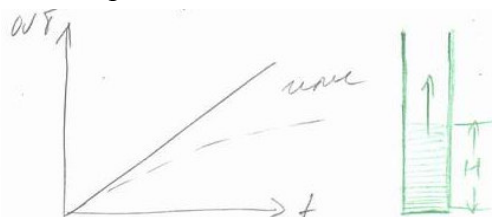
• Токов интегратор.

Кой е най-елементарния интегратор? Търсим елемент, който има свойството да тагруппва, акумулира, инвертира. Най-удобния елемент е кондензаторът.



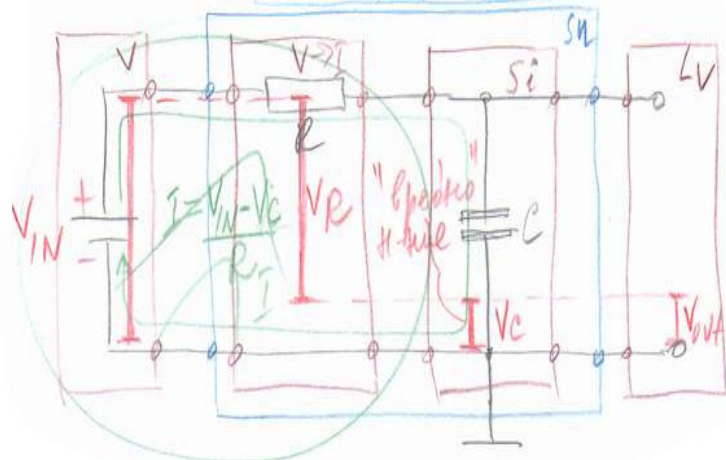
Идеален ли е този кондензатор?

т.е. линейна ли е характеристиката му във времето (или експоненциална)



Да, абсолютно линейна е във времето при условие, че захранваме кондензатора от източник на неизменен ток. (захранване, източник на ток). Така неусетно “изобразяваме” най-елементарния инвертор на ток в напрежение (**токов инвертор**).

- Но ние се нуждаем от **интегратор на напрежение**. Тогава да си го построим! За целта свързваме един $V \rightarrow I$ на входа на $I \rightarrow V$ и получаваме S_{ii}



започваме да разсъждаваме върху грешките. Какво е “напрежението” на входния източник? А на товара L_V ? Техническо противоречие - V_C трябва едновременно да го има и да го няма?!? Как го решаваме?

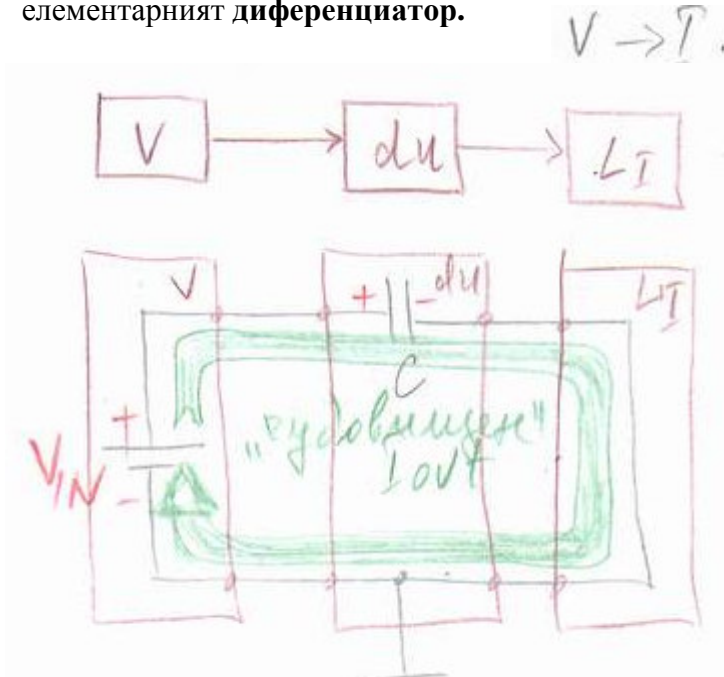
1. Чрез компромис $V_C \ll V_{in}$
2. идеално решение - чрез гениална идея.

$$U_C = \frac{1}{C} \int I_C dt \approx \frac{1}{C} \int \left(\frac{U_{in}}{R} \right) dt = \frac{1}{RC} \int U_{in} dt$$

$$U_{out} = \frac{1}{RC} \int U_{in} dt - \frac{1}{RC} \int U_{out} dt \quad \text{--грешката}$$

• Диференциаторна напрежение в ток.

Преди малко пропускахме ток през един кондензатор и отчитяхме напрежението в него. Сега да направим обратното- прилагаме напрежение и отчитаме колко ток получаваме. Най-елементарният диференциатор.



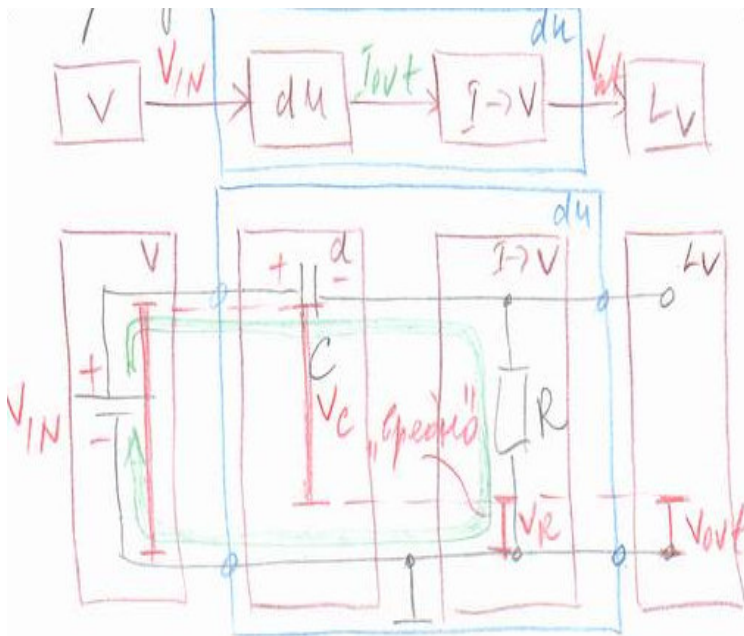
Коректна ли е тази схема? Не, защото не се опитваме да променим със скок напрежението в/у един кондензатор. (пример- нивото на язовир Искър) В резултат протича чудовищен ток (ако източникът може да го даде). Настъпва конфликт, все едно че даваме накъсо източника.

$$I_c = C \frac{dU_c}{dt}$$

схемата е идеална, въпреки че е пасивна

• Диференциатор V-->V.

Ние обаче продължаваме да се нуждаем от диференциатор с напрежителен изход. Тогава да го построим като свържем в изхода на схемата преобразувател



Пак разсъждаваме в/у грешката на схемата. Тя беше идеална.

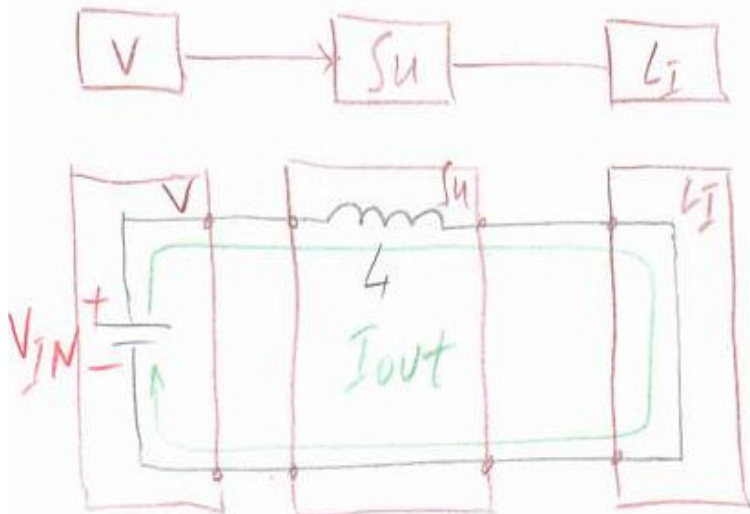
Противоречие- кондензаторът “иска” той само да определя тока (т.е. R да е малко или да го няма), докато товара пък иска да го има (ние сме го включили точно за да дава голямо напрежение). Как да направим така, че R хем да го има, хем да го няма.

$$U_{out} = RI_c = RC \frac{dU_c}{dt} \approx RC \frac{dU_{in}}{dt}$$

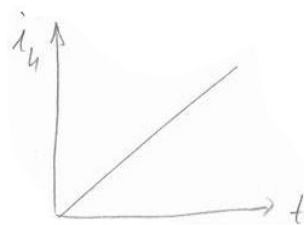
$$U_{out} = RC \frac{dU_{in}}{dt} - RC \frac{dU_{out}}{dt} \quad \text{--грешката}$$

• Индуктивен интегратор на напрежение в ток

Нека сега да използваме обратния на кондензатора елемент- бобина. Да се опитаме да направим **интегратор**. Индуктивната представа за бобината(или величината, атрибута индуктивност) е свързана с представата за кинетична енергия(свойството инертност) И така кой е най- простия индуктивен инвертор.



И на този елементарен пасивен интерпретатор характеристиката е абсолютно линейна. *Индуктивността представлява- засилваме кола с постоянен натиск- ускорява се линейно във времето*

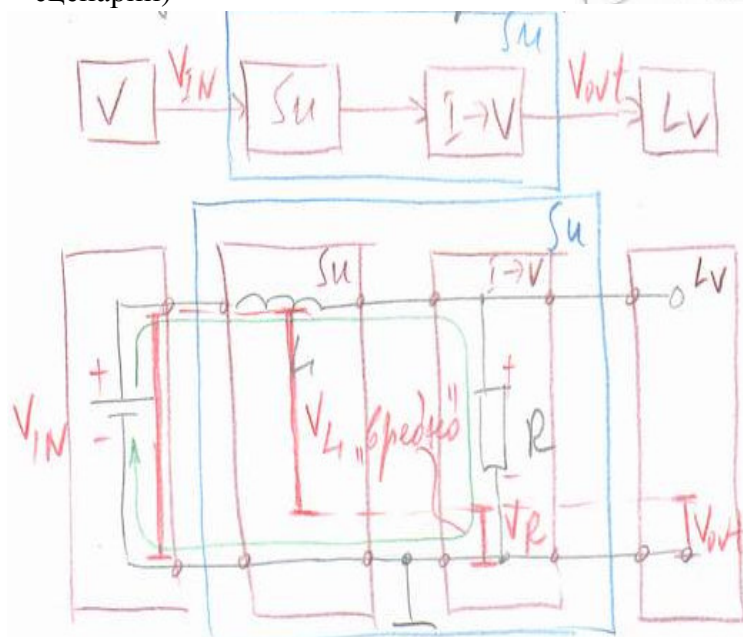


$$i_L = \frac{1}{L} \int U_L dt$$

Обаче ние се нуждаем(както обикновено) от интегратор с напрежителен изход (и вход естествено), защото нашите консуматори, обикновено са напрежителни. Тогава да си го построим.

• Индуктивен интегратор V-->V

За целта свързваме в изхода на схемата $I \rightarrow V$ (следвайки до болка понатият ни сценарии)



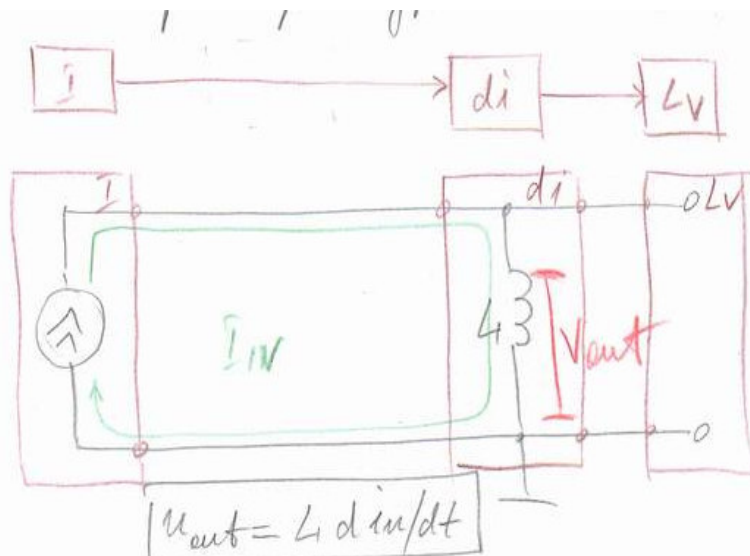
Разсъждаваме има ли грешка? Отново напрежението Vr е вредно. Трябва(R) едновременно да го има и да го няма! Кой да реши това противоречие? Предлагаме хитра пубертетска идея!

$$U_{out} = \frac{R}{L} \int U_L dt \approx \frac{R}{L} \int U_{ind} dt$$

$$U_{out} = \frac{R}{L} \int V_{in} dt - \frac{R}{L} \int V_{out} dt \quad \text{-- грешката}$$

• Индуктивен диференциатор на ток в напрежение

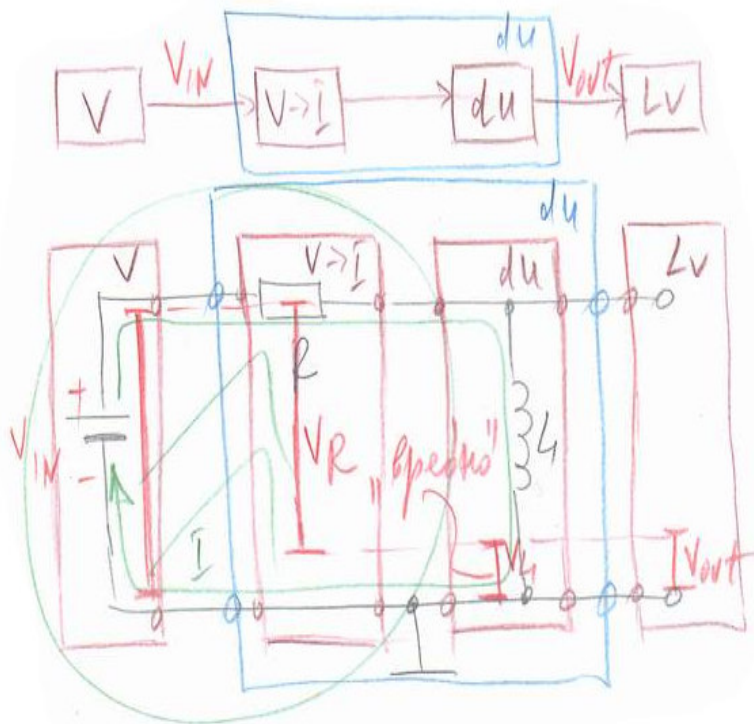
Какво става, ако се опитаме да пропуснем ток с определена стойност (да го променим рязко) през една бобина? Получава се конфликт м/у 2 “токово-стабилни” елементи (двуполусника). Бобината реагира бурно като рязко и силно променя напрежението.



Така получаваме най-елементарния индуктивен диференциатор. И тази схема я наричаме... пример: една кола се движи с някаква скорост, а ние се опитваме да и предадем друга. Или студент се движи с някаква “скорост” в следването а преподавателите се опитват да му я променят- **конфликт**

• Индуктивен диференциатор на напрежение в напрежение.

Накрая! Тъй като нашите източници най-често (най-удобно) са източници на напрежение, включваме на входа на горната схема един преобразувател и получаваме **индуктивен диференциатор V-->V**.



За последен път в края на днешната лекция разсъждаваме в/у грешката, предизвикана от включването на бобината (доста странно звучи, нали?). За да работи добре преобр... или входния източник на ток. Трябва V_L да е малко, дори да го няма. Товара обаче иска голямо V_L . Получава се противоречие. Решението?

$$U_{out} = \frac{L}{R} \frac{dU_R}{dt} \approx \frac{L}{R} \frac{dV_{in}}{dt}$$

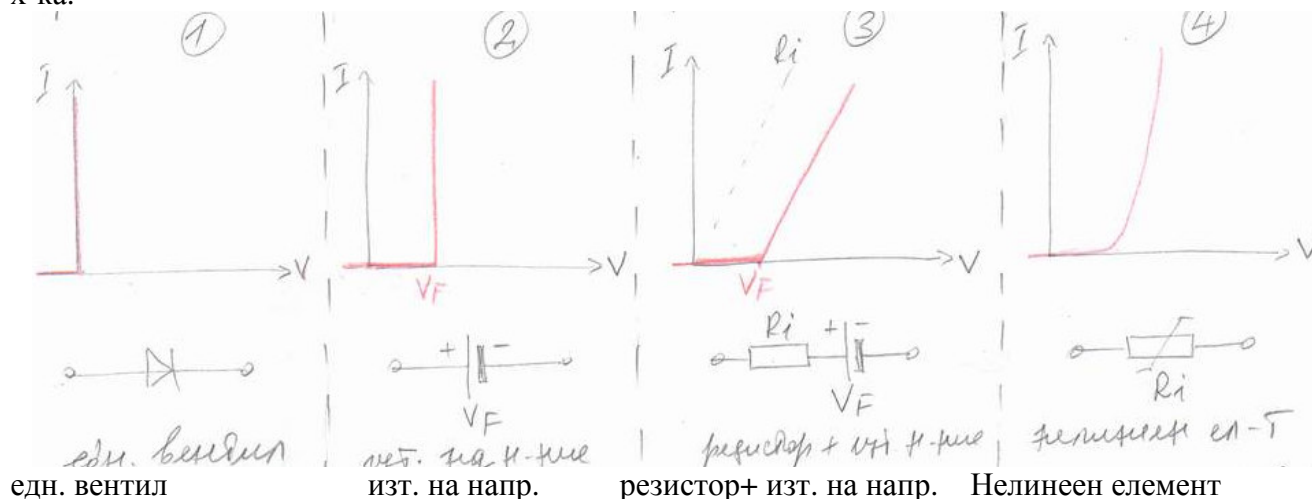
$$U_{out} = \frac{L}{R} \frac{dU_{in}}{dt} - \frac{L}{R} \frac{dU_{out}}{dt} \quad \text{--грешката!}$$

ЛЕКЦИЯ 3

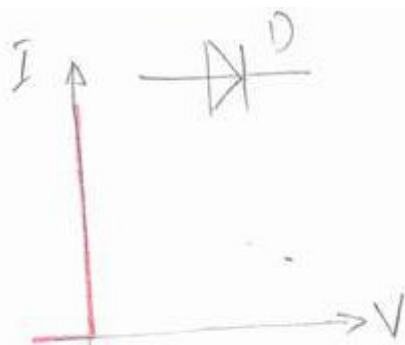
Диодни схеми

• Функционална представа за диода.

Какво представлява един диод? Да изследваме всички възможни варианти на представяне на VA х-ка.



• Диодът като еднопосочен вентил.

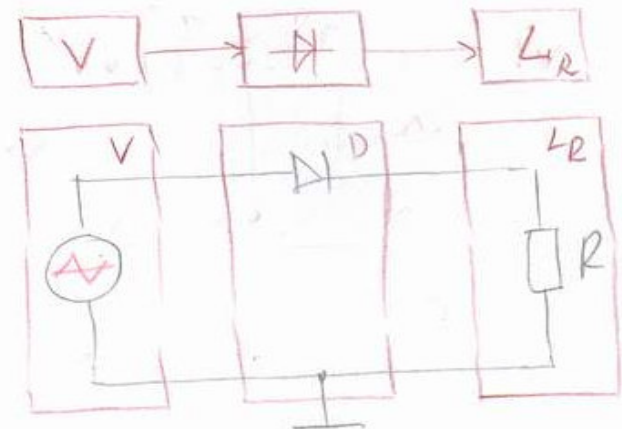


Функционална представа за еднопосочен вентил: флюидна, механическа...

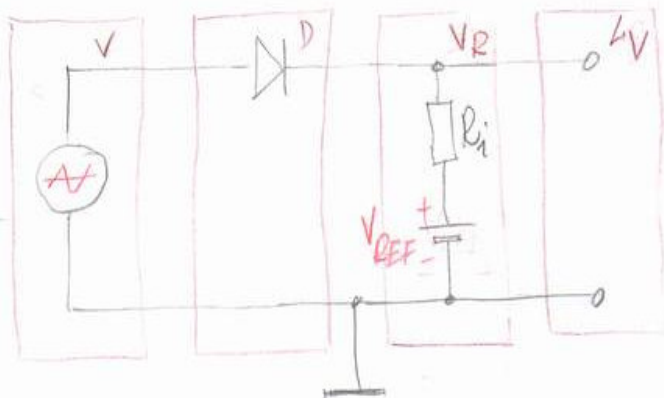
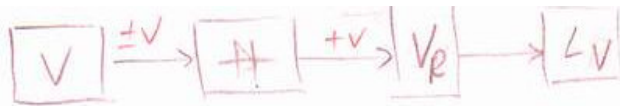
Характеристиката на идеалния вентил- начин на свързване по отношение на товара- последователно, паралелно. Понеже диода в ролята на вентил срязва(ограничава) част от сигнала- ограничител.

-Последователен диоден ограничител. Приложения.

-(еднополупериоден) изправител

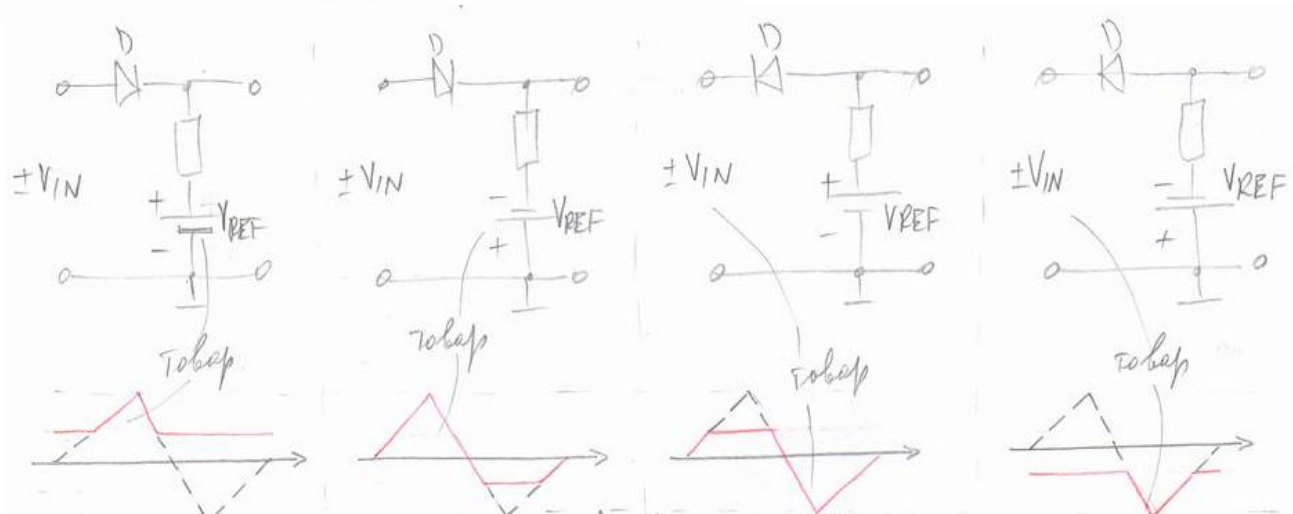


-**диоден ограничител**. За произволен праг на ограничение трябва да въведем и втори, опорен източник на, който да дава прага на ограничение.



Последния диоден ограничител, можем да си го представим като изграден от 2 паралелно свързани чрез кумотиращия елемент (диод) източници на напрежение: **идеален** (входното променливо) и **реален** (опорно-постоянно).

СЦЕНАРИИ ЗА ПОСТРОЯВАНЕ:



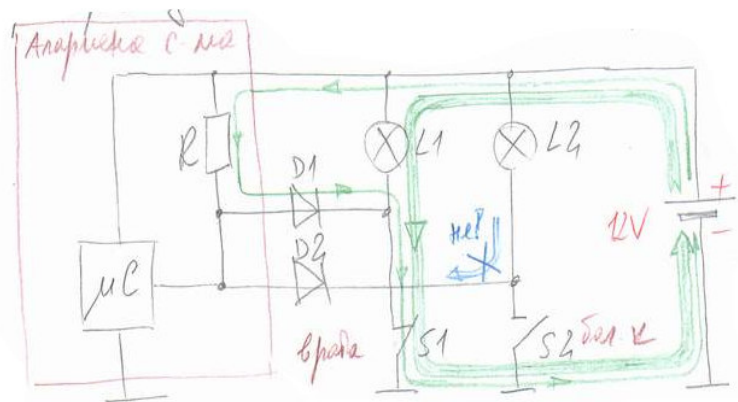
Действие:

В зоната на ограничение диодът е запушен и източникът на опорно напрежение задава изходното напрежение. В зоната на пропускане диодът се отпушва и включва идеалният, входен източник паралелно на опорния източник. Сега входното напрежение доминира над опорното и определя изходното напрежение на системата.

Идеята:

неравностоен конфликт м/у 2 източника на напрежение(идеален и реален), в който естествено надделява идеалният

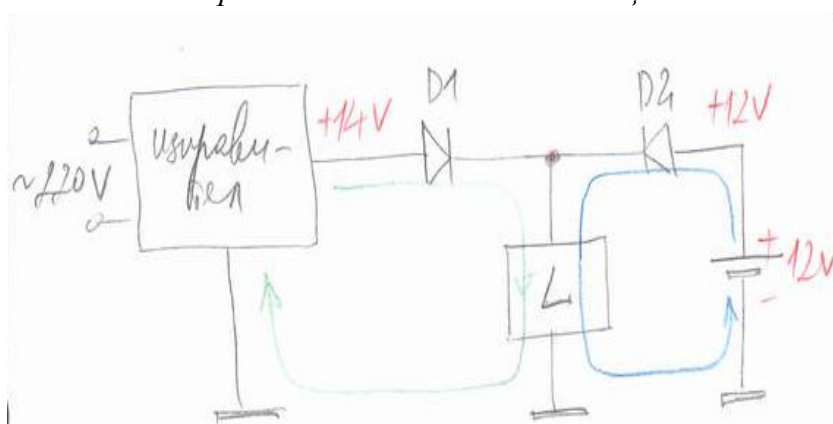
-развързващ елемент(приложение в алармените системи)



логическа система ИЛИ

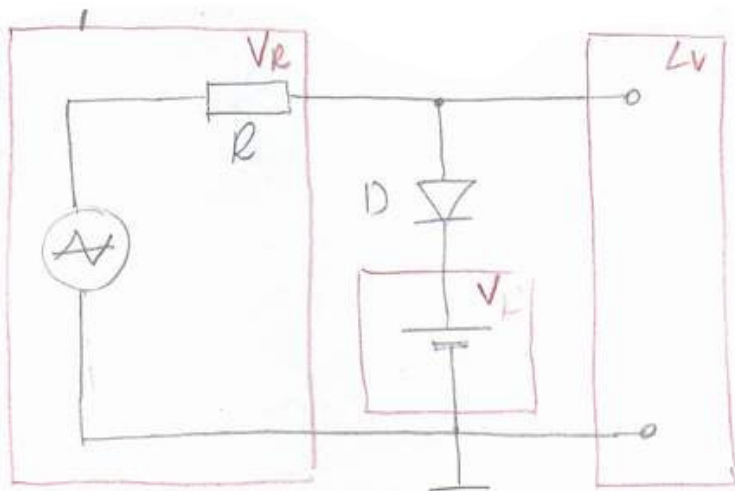
в примера диода D2 не позволява да протече ток през L2-D1-S1. Когато пък S2 е затворен, D1 няма да позволи ток през L1-D2-S2

-автоматично превключване на токоизточници.



Нормално D1 е отпушен D2-запушен и товарът се захранва. Когато отпадне 220V батерията 12V започва да захранва през D2 товара.

-паралелен диоден ограничител.



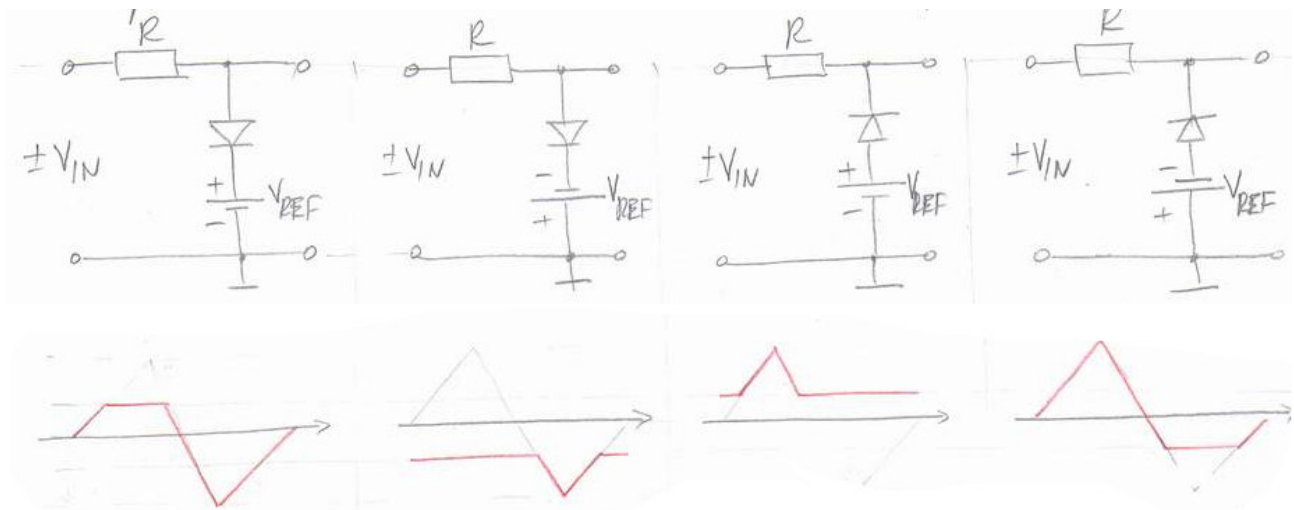
Можем да го представим като изграден от 2 паралелно свързани ч/з комутиращ елемент(диод) източници на напрежение: **реален**(входно- променливо напр.) и **идеален** (опорно постоянно напр.)

СЦЕНАРИИ ЗА ПОСТРОЯВАНЕ:

1. превръщаме идеалния вх. изт. в реален (влушаваме го чрез R) и го свързваме като изход на схемата.
2. Паралелно на него, през един

комутиращ елемент(диод) свързваме източника на опорно напрежение.

Действие:

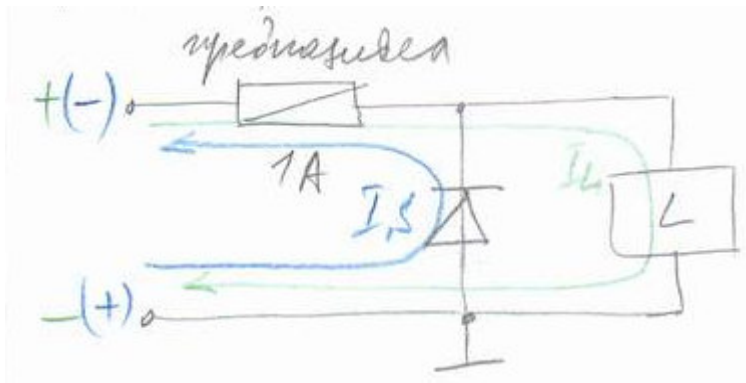


В зоната на пропускане диода е запушен и реалният източник на входно напрежение задава изходното напрежение. В зоната на ограничение диодът се отпушва и включва идеаленият източник на опорно напрежение паралелно на реалния външен източник. Сега опорното напрежение доминира над входното и определя изходното напрежение на системата.

Идеята: е същата - равностоеен конфликт м/у идеален и реален източник на напрежение.

Пример:

защита от обратно включване:

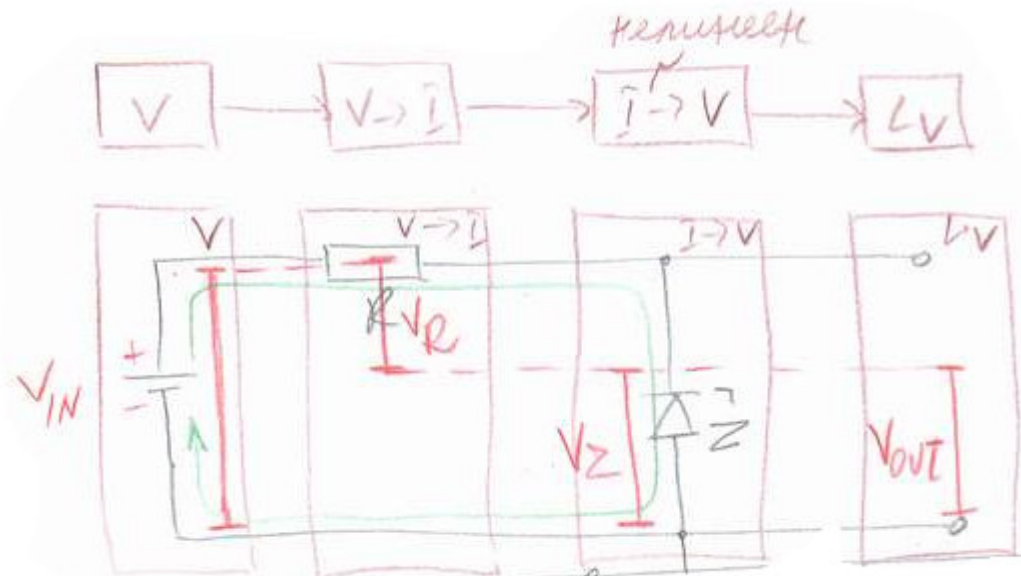


нормално токът тече през товара.

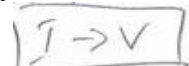
При обратно включване диодът дава "накъсо" входния източник, предпазителя изгаря, и товара е защитен.

• Диодът в ролята на стабилизиращ напрежението двуполусник.

С помощта на диод(обикновен, ценовер, светодиоид...) можем да направим много добър източник на напрежение(стабилизатор на напрежение)



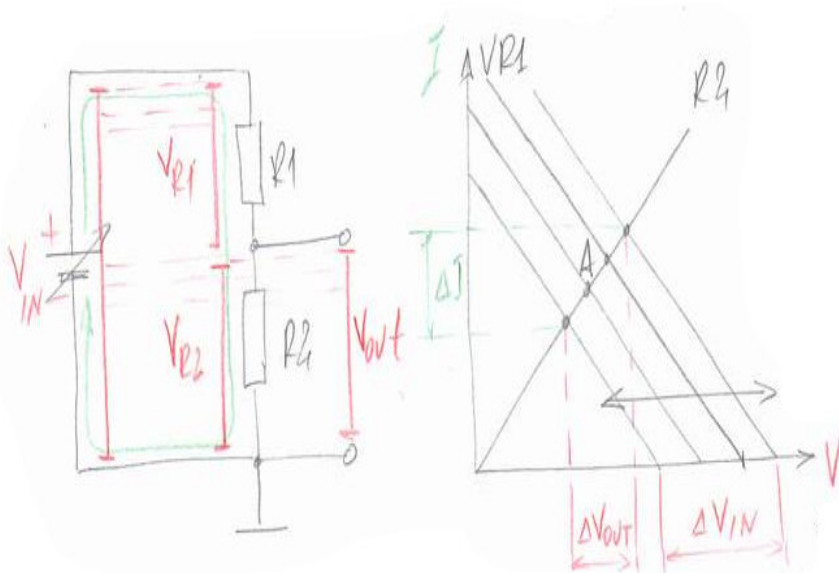
Можем да го построим формално от по- елементарен източник на напрежение V , преобразувател $V \rightarrow I$ (линеен, резистивен) и новия нелинеен преобразувател(диод)

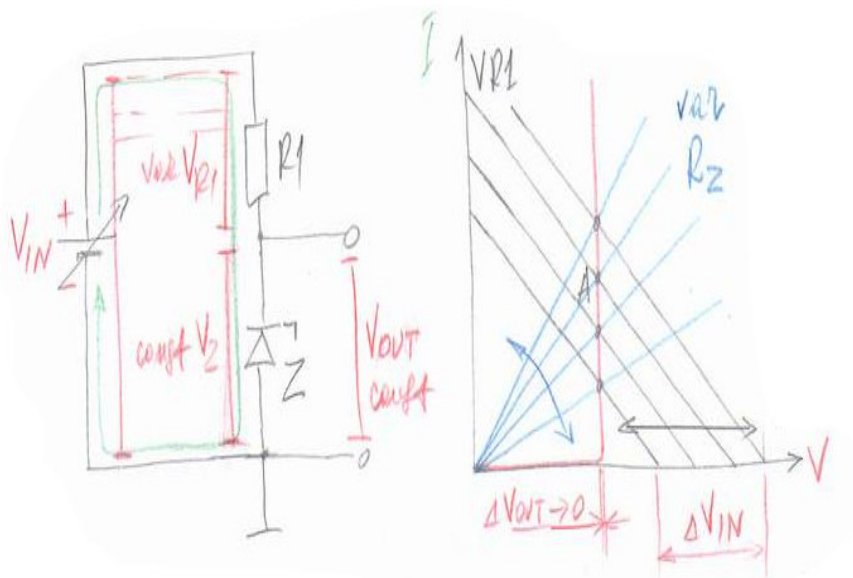


-представяне на схемите чрез гледната точка "делител на напрежение"

Задачата, която решаваме във всички устройства с напрежителен преход(а това са почти всички устройства в схемотехниката) е "генериране на напрежение с определена стойност" или "получаване на изходно напрежение от по- високо входно напрежение".

В електротехниката решихме тази задача с два последователно свързани омични резистора. В схемите на **делител на напрежението**.





Графично представяне:

когато входното напрежение се променя V_{R1} х-ката се движи в хоризонтална посока, работната точка също. Изходното напрежение се променя пропорционално на входното.

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_{in}$$

Как да го накараме да се сменя?

Едновременно с промяната на

V_{in} , променяме и R_2 в съответната посока т.е. заменяме го с един динамичен резистор(диод) с това поведение. *Какво прави диодът в това време?*

Когато входното напрежение се мени (ценеровия) диод “усеща”. Тогава се започва да се мени текущото съпротивление в съответствие с посоката като променя коефициента на затихване на делителя на напрежение, така че необходимото напрежение остава непроменено. Например ако V_{in} се увеличи, R_2 намалява, съответно $K = R_2 / (R_1 + R_2)$ намалява и обратно. Или нелинейният елемент(диодът) се противопоставя на опитите за промяна на изходното напрежение.

Пример:

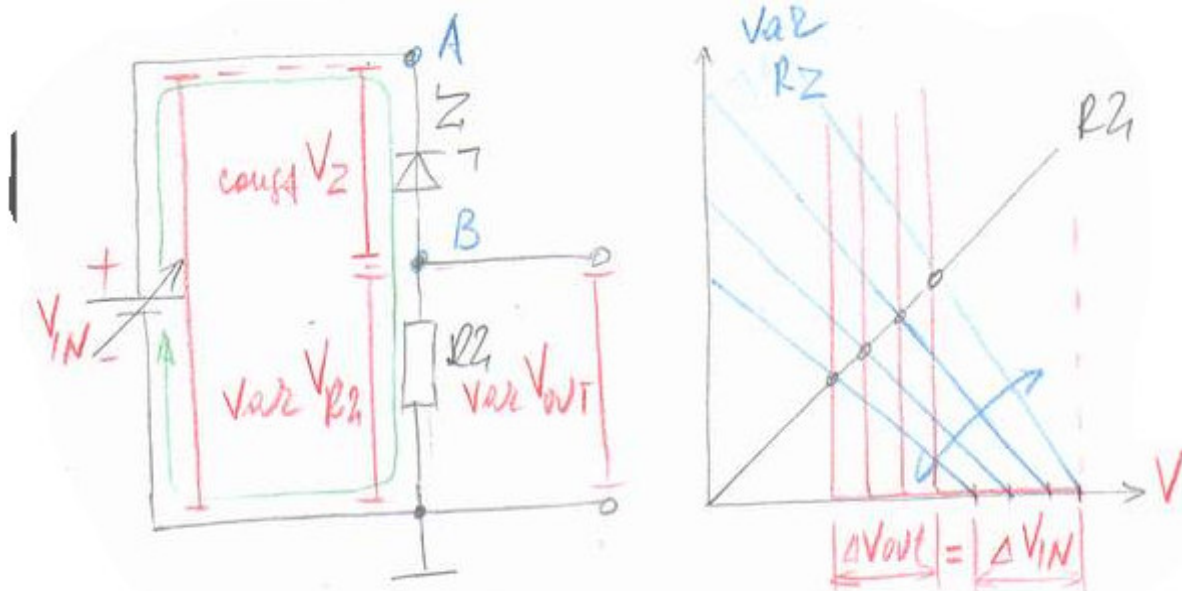
Стабилизатор на напрежение, защита от свръхнапрежение.

-Паралелно свързване на R_v нелинейни елементи.

Резултатът: елементът с по- ниското прагово напрежение отклонява целия ток през себе си и тъй определя напрежението.

-Схеми с последователно свързани Rv елементи

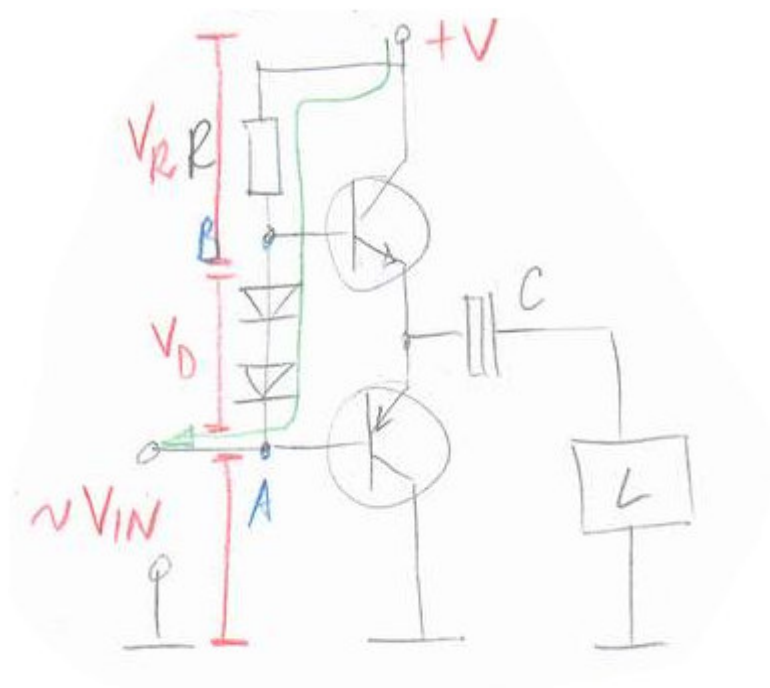
Докато предната схема “умъртвяваше” потенциалните промени (“привързване” потенциала на изхода към потенциала на масата), има един нелинеен елемент, който ще премества потенциалните промени.



Когато входното напрежение се мени ценеровият диод си мени текущото съпротивление по същия начин, така че напрежението върху наго да стои неизменно. В резултата на това потенциала на точка В следи потенциала на точка А.

Пример:

“преместване” на потенциални промени в транзисторни стъпала



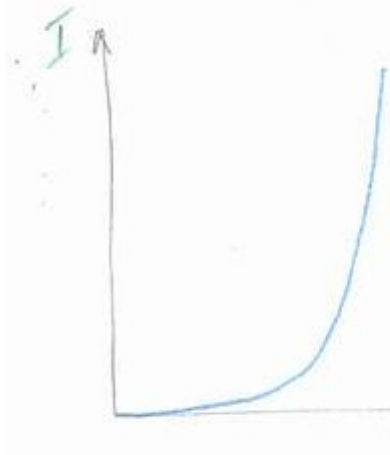
Двата диода “повдигат” потенциалните промени в точка А с $2V_f$. Точка В, следи потенциала на точка А, но повдигнат с V_f .

По същия начин могат да се “спускат” потенциални промени.

• Диодът като нелинеен елемент логаритмична характеристика.

Сега ще използваме истинската x-ка на диода за да направим нови нелинейни схемни градивни блокчета.

Връзката м/у V и I на диода

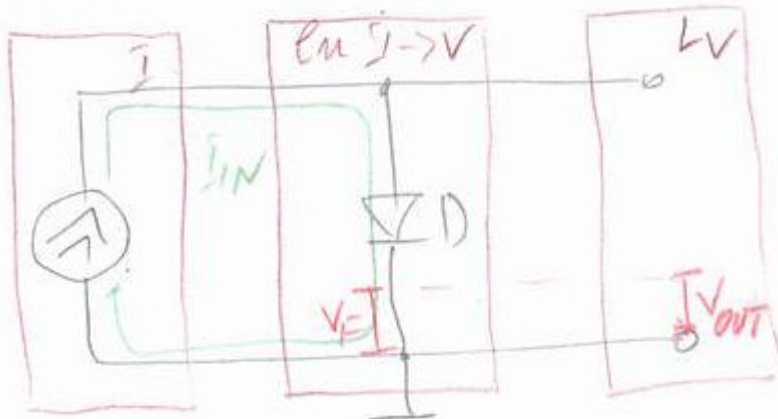


$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad \left| V_T = \frac{kT}{q} \approx 26 \text{ mV при } 25^\circ \text{C} \right|$$

$$I = I_0 e^{\frac{V}{V_T}}$$

$$V = V_T \ln \frac{I}{I_0}$$

– диоден логаритматор с токов вход и напрежителен изход.

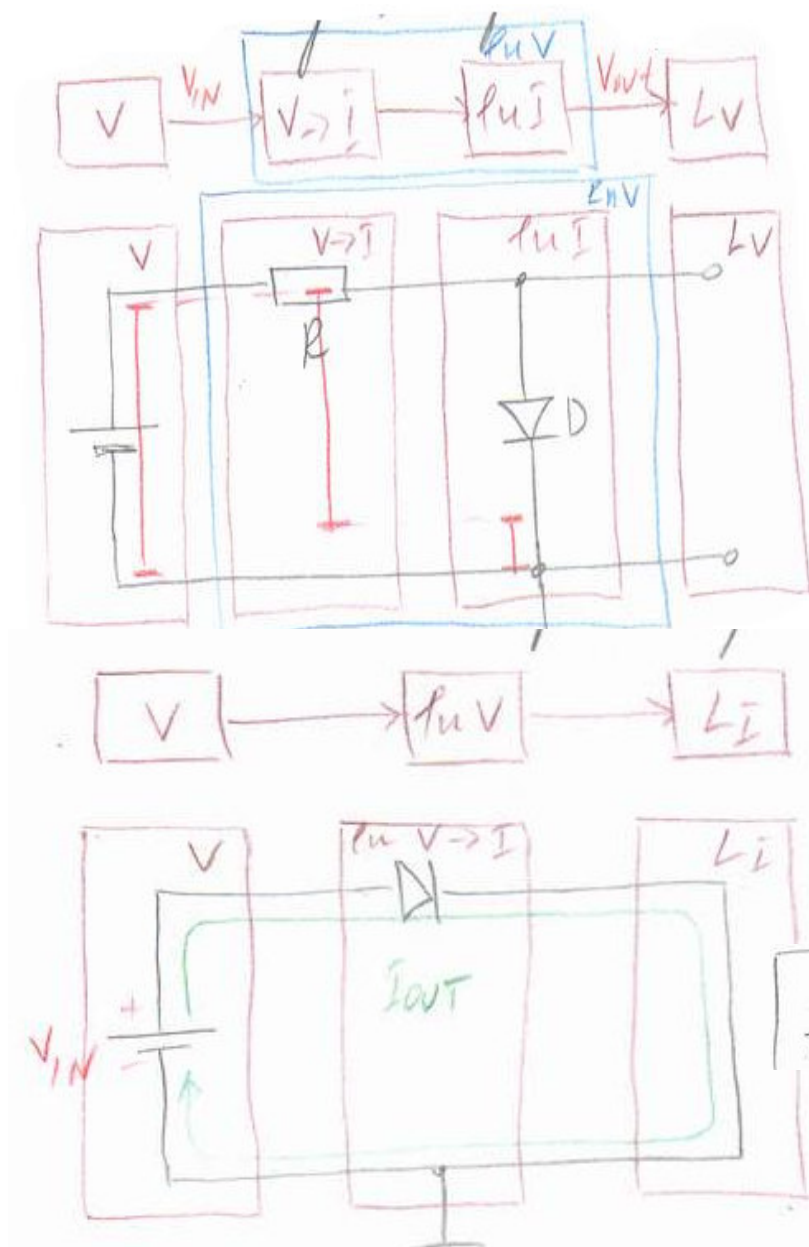


Диодът е най- добрия логаритматор с такъв вход и изход. Изходното напрежение отговаря точно на това от VI x-ка, няма грешка от допълнителни елементи.

$$V = V_T \ln \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

-диоден логаритматор с напрежителни вход и изход.

Но както обикновено , ние се нуждаем от логаритматор с напрежителни вход и изход. Сега ще построим по познатия сценарии:



Включваме на входа преобразувател $V \rightarrow I$. Това е добре, но веднага въвеждаме грешка.

$$V_{out} = V_T \ln \frac{V_{in}}{R I_0}$$

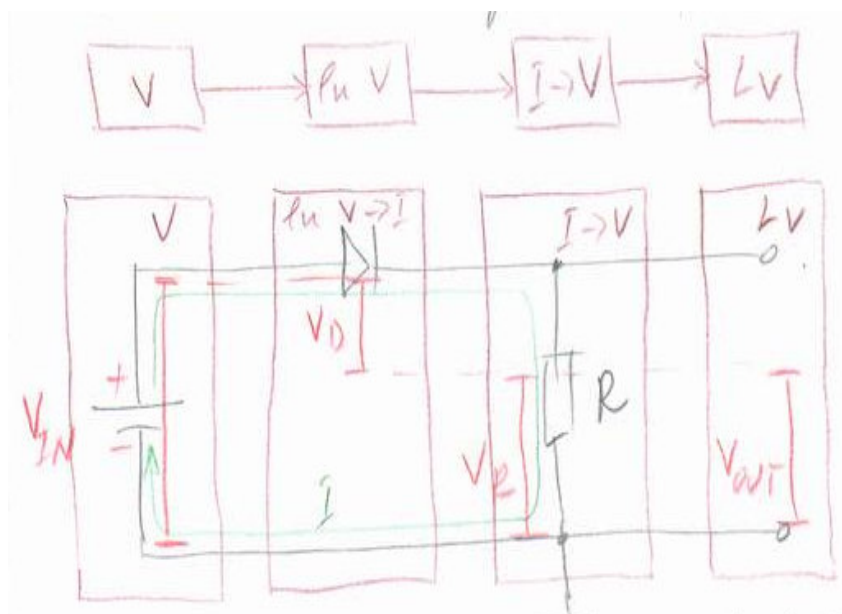
как да намалим грешката от включването на резистора R или въобще да я отстраним? Търсим спасителна идея, която да реши проблема!

-Диоден антилогаритматор с напрежителен вход и токов изход.

Сега да обърнем причинно следствията връзки като приемем, че напрежението обуславя тока. Диодът ще изпълнява обратна ф-я. - на един прост антилогаритмичен преобразувател. Няма грешка, защото работи при идеални условия.

-Диоден антилогаритматор с напрежителен вход и изход.

Трябва ни обаче антилогаритматор с напрежителни вход и изход. Трябва да го построим:



включваме в изхода
преобразувател $I \rightarrow V$

$$V_{out} = R \cdot I_0 \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

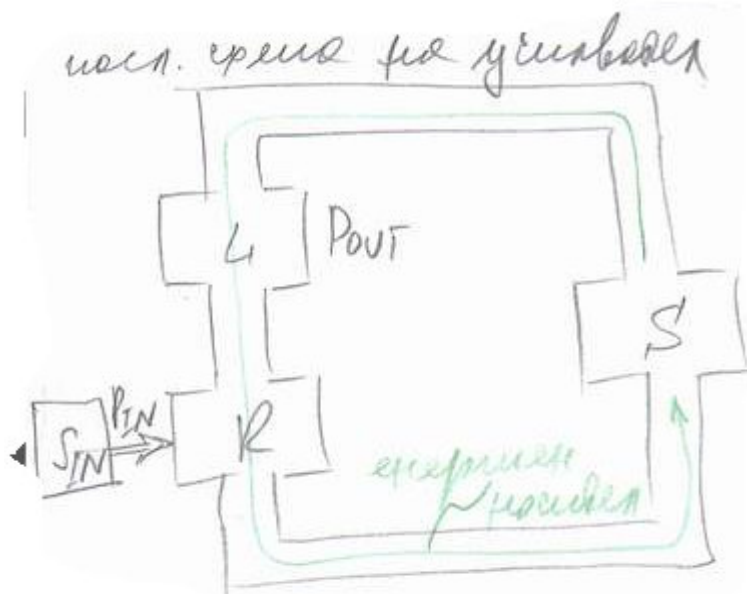
отново се появява грешка от
включването на резистора R (в/у
диода се прилага не цялото входно
напрежение, а разликата между
него и изходното)

Търсим начин да я намалим (чрез
компромис) или да я премахнем
въобще (чрез гениална идея!)

ЛЕКЦИЯ 4

• Какво е усиление и усилвател.

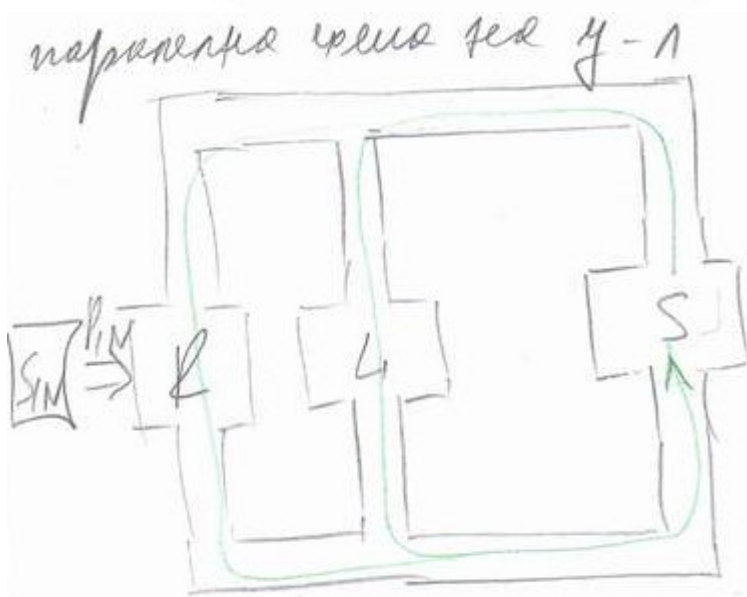
И двете са абсурдни и невъзможни- не можеш да усилиш енергия(мощност) в този свят. Можем само да я регулируем. Така, че под усиление всъщност разбираме регулиране на енергията. А това го правим по един странен начин- просто прехвърляме в излишната енергия (е, можем да кажем пренасочваме). Аналогии: пневматически, хидравлически...



За целта захранваме товара от отделен източник на енергия (не от входния източник, както беше при пасивните схеми) и включваме по пътя на енергияния поток един регулиращ елемент(нека първо го включим *последователно*), управляван от маломощен източник на енергия.

Какво прави регулиращия елемент?

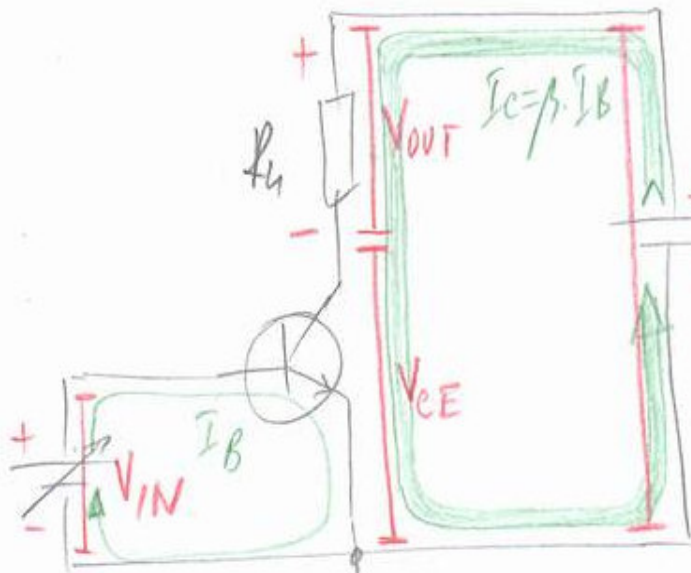
Той внася(управлявано от входния източник) съпротивление по пътя на енергияния поток и така поглъща (консумира, преобразува в друг вид, част от енергията на захранващия източник S). Така регулируемият елемент превръща постоянният захранващ източник S в регулируем, управляван източник



• Построяване електрически усилвател.

Като регулиращи елементи можем да използваме различни елементи (лампи, транзистори..), които всъщност представляват електрически управляеми резистори. Нека да вземем най-популярният- транзисторът(n-p-n, по късно за разнообразие ще вземем и p-n-p) и да построим (съгласно 1-вата блокова схема) най- елементарният транзисторен усилвател.

Свързваме транзистора по- най- естествения начин. Управляваме базата, а емитера е твърдо свързан с масата.



Входният източник управлява транзистора като го принуждава да си мени текущото съпротивление и така да регулира тока и напрежението в/у товара.

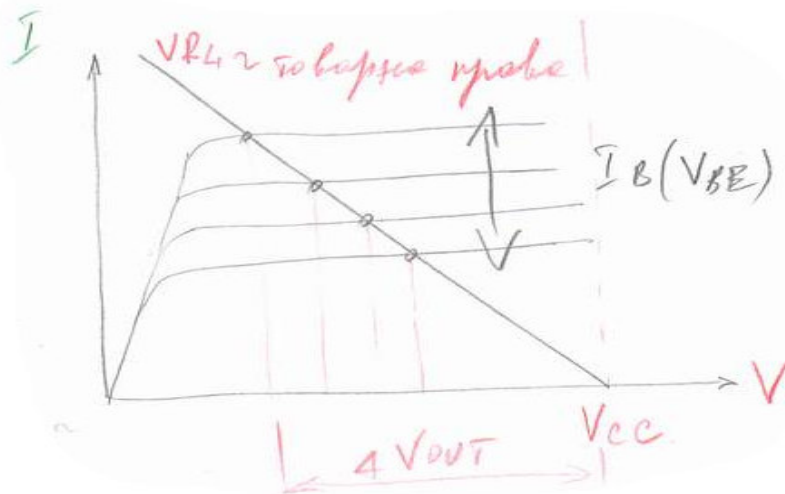
$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$$

Стръмност

$$\Delta V_{out} = \Delta I_C R_L = s \Delta V_{in} R_L$$

$$K = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = S R_L$$

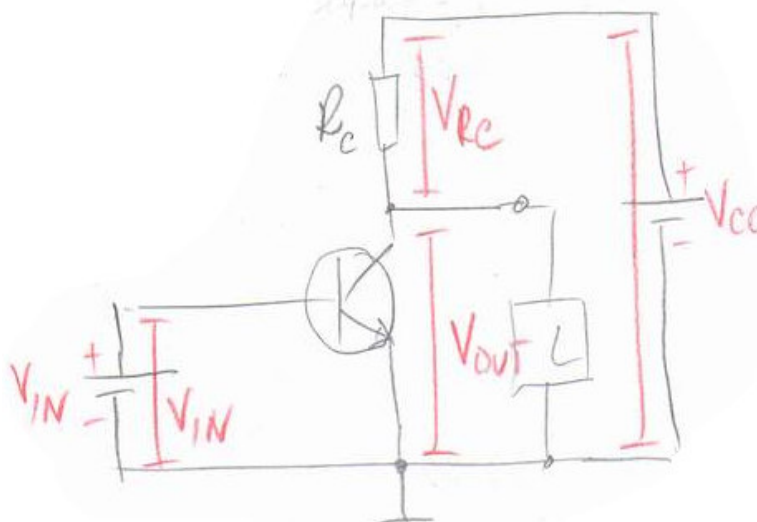
коэф на напрежение



графоаналитично представяне
върху обща координатна система нанасяме V_A х-ка на транзистора (започвам от началото на координатната система защото е свързан към маса) и на реалният източник на напрежение V_{CC} с вътрешно съпротивление R_L .

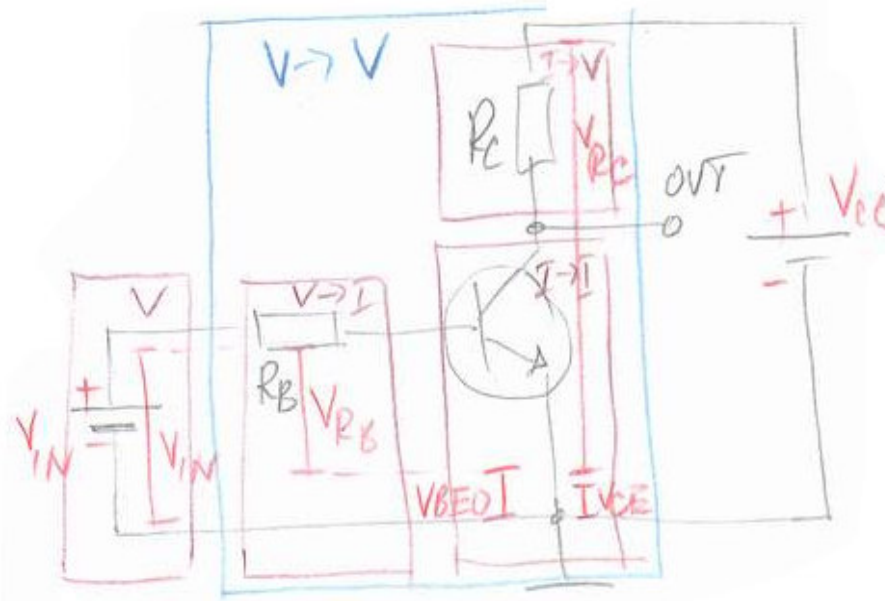
Недостатък е проблемът с общата маса. Товара обаче е “плаващ”, няма връзка с общата маса, а ние искаме да бъде свързан с нея. (например, товар може да бъде същото усилвателно стъпало, което е свързано с масата)

Решението: вместо напрежението V_{RL} вземаме неговото допълнение до захранващото (което е постоянно, константно). Това всъщност означава да реализираме паралелната схема на усилвател, защото транзистора е включен паралелно на товара.



Пример:

Транзисторен ключ.



преобразувател

V-->V(усилвател)

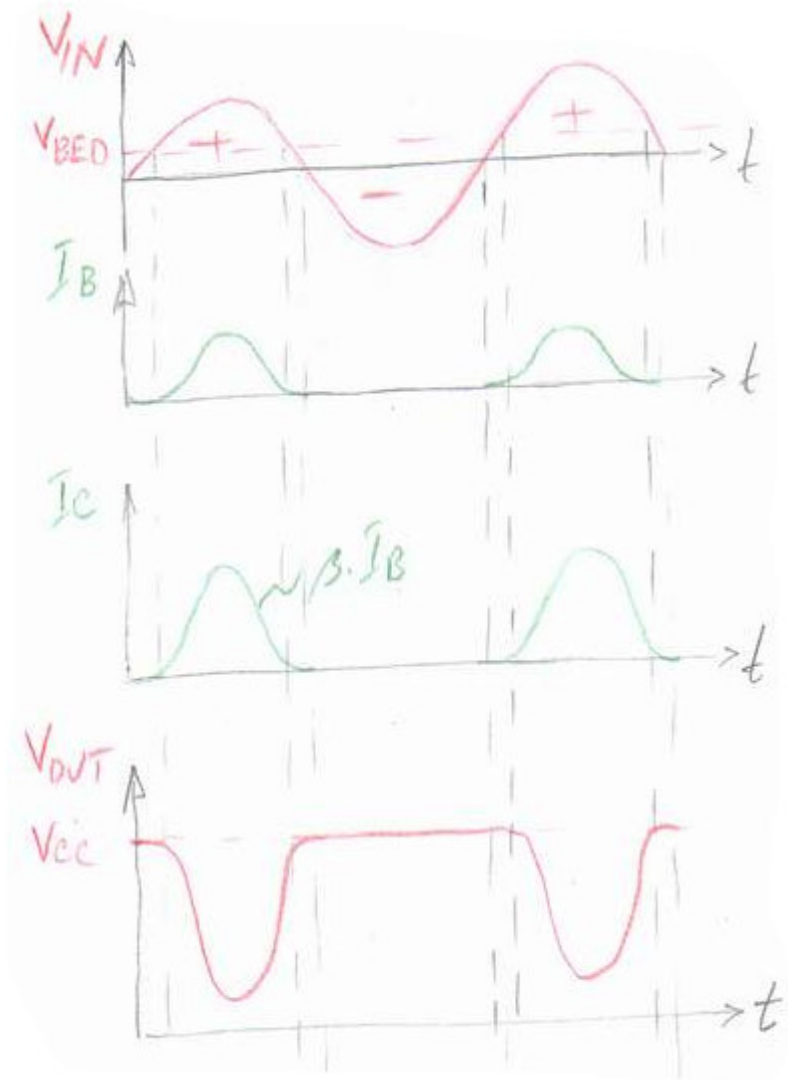
$$I_B \approx \frac{V_{IN}}{R_B} \quad I_C = \beta \cdot I_B \approx \frac{\beta \cdot V_{IN}}{R_B} \quad \Delta V_{OUT} = \Delta I_C \cdot R_C \approx \beta \frac{\Delta V_{IN}}{R_B} \cdot R_C$$

$$K = \beta \frac{R_C}{R_B}$$

получаваме един усилвател на напрежение, който принуждаваме да работи крайните участъци и така го превръщаме в цифрово устройство.

Досега управлявахме транзистора директно с източници на напрежение. Но има тесен работен диапазон, защото има нещо некоректно в този източник на напрежение да захранва Rv елемент(поддържащ постоянно напрежение). Всъщност входната верига на транзистора с токов товар, който дава "накъсо" входния източник. За да разширим обхвата, включваме резистор Rb, като преобразувател V-->I В изхода- обратният преобразувател I-->V и така сглобяваме целия

• Въвеждане на преднапрежение.



Транзисторът обаче е “калпав” елемент

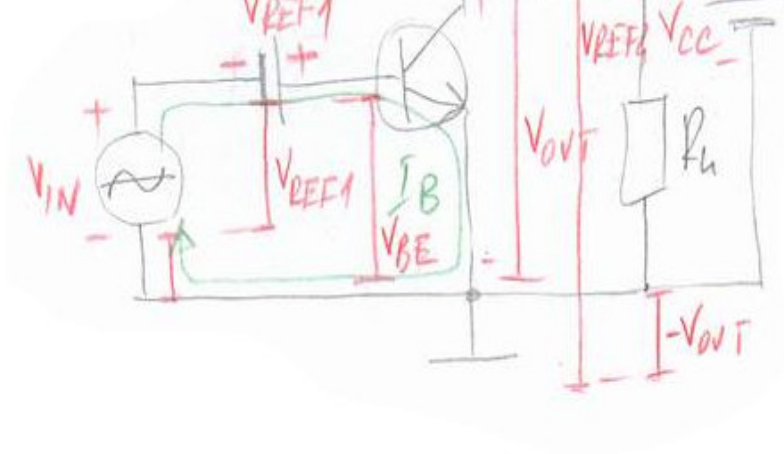
- еднополярен елемент
- отпущва се едва при 0,3V

Проблеми:

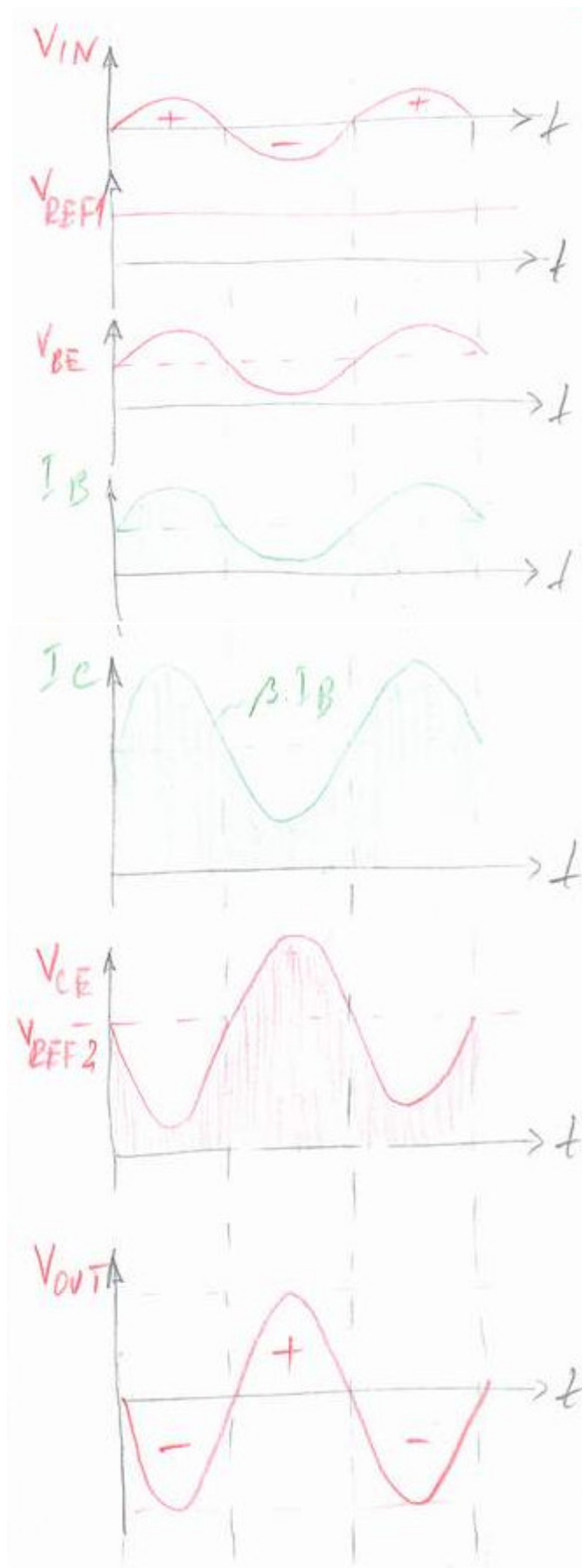
как да превърнем устройство с едиполярен вход в такова с дву полярен?

Изхода:

трябва да повдигнем входния сигнал, който се движи около нулите на нивото, необходимо за нормална работа на транзистора. “Повдигане”, “отместване” означава “сумиране” т.е. нуждаем се от суматор на входното и отместващото напрежение.



Най- простият суматорна
напрежения е последователният (2-
ри закон на Кирхов). Включваме
последователно на входния източник
“повдигащ”, “отместващ” източник
на постоянно напрежение. В
състояние на покой токът отпуска
леко транзистора така, че в изхода да
има напрежение $1/2 V_{cc}$. В изхода
пък включваме, спускащ, отместващ
надолу източник V_{refL} .



Действие на схемата:

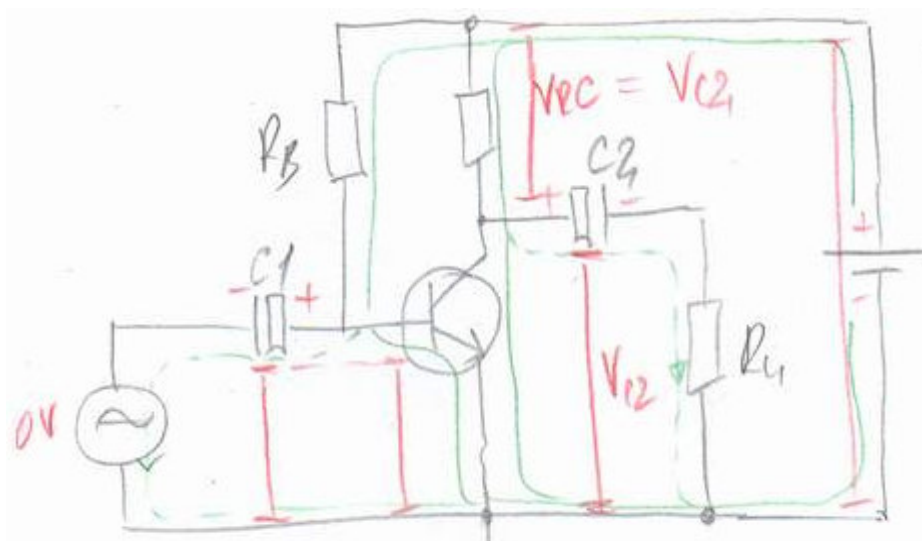
входното напрежение V_{in} се “движи” около нулата. Към него се прибавя V_{ref1} и входното напрежение на транзистора V_{be} вече се движи около вх. раб. Точка на покой.

В изхода напрежението V_{ce} се движи около изх. раб. точка на покой (обикновено избираме $1/2 V_{cc}$), само че е дефазирано на 180 градуса (инверсно). От него се вади V_{ref2} и изходното напрежение в/у товара V_{out} вече се движи отново около нулата.

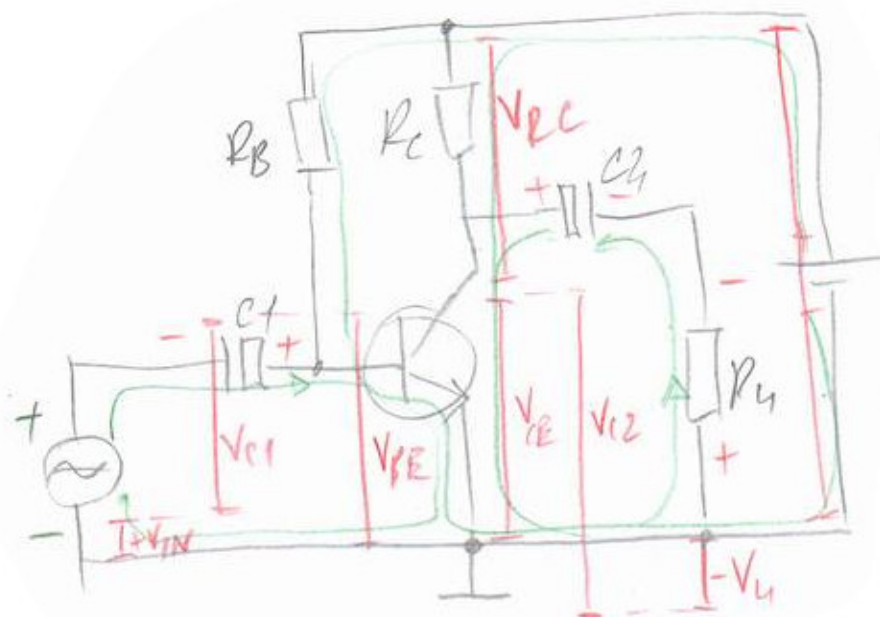
С последователно “повдигане”, мащабиране и “спускане” правим истинско променливо токово усилване.

Недостатък:

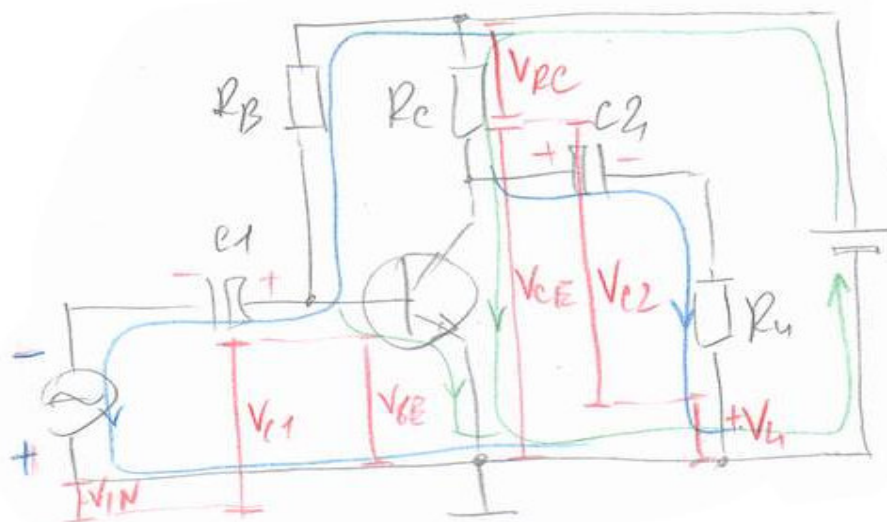
Бихме искали тези “отместващи” напрежения да ги получим от общото захранващо напрежение, например с делител на напрежение. Но как да решим проблема с обща маса? Един начин е паралелно сумиране. Но пък сумира с тегл. коефициенти и ще затихва входния сигнал.



1. зареждане на батериите.
При включване на захранването са напълно зареждаеми и започват да се зареждат до напреженията на покой. Схемата е готова да работи.



2. **Разряждане на батериите.** Когато входното напрежение “повдигне” над нулата, вх. източник прокарва ток през C1 и леко го разрежда. Транзистора се отпуска повече, Vce се понижава. Сега C2 играе ролята на източник(спомнете си диф. верига), който прокарва ток през RL в обратна посока и VL спада под нулата.

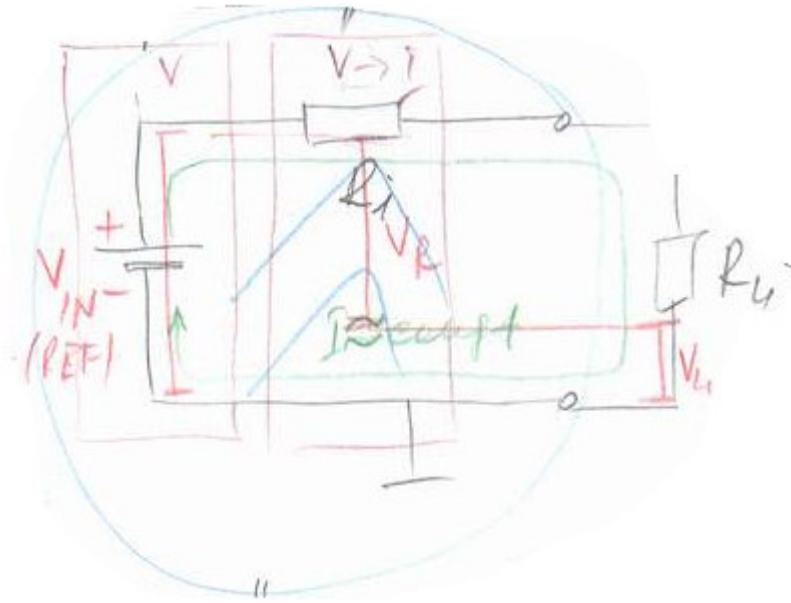


3. **Дозареждане на батериите.** Когато входното напрежение се “спусне” под нулата, вх. източник “издърпва” ток през C1 и така го дозарежда малко. Транзистора се запушва повече, Vce се повишава C2 прехвърля тази промяна в изхода и напр. VL в/у товара се повишава.(

Извод: кондензаторите C1 и C2 се зареждат/разреждат периодично, като средната им стойност стои постоянна.

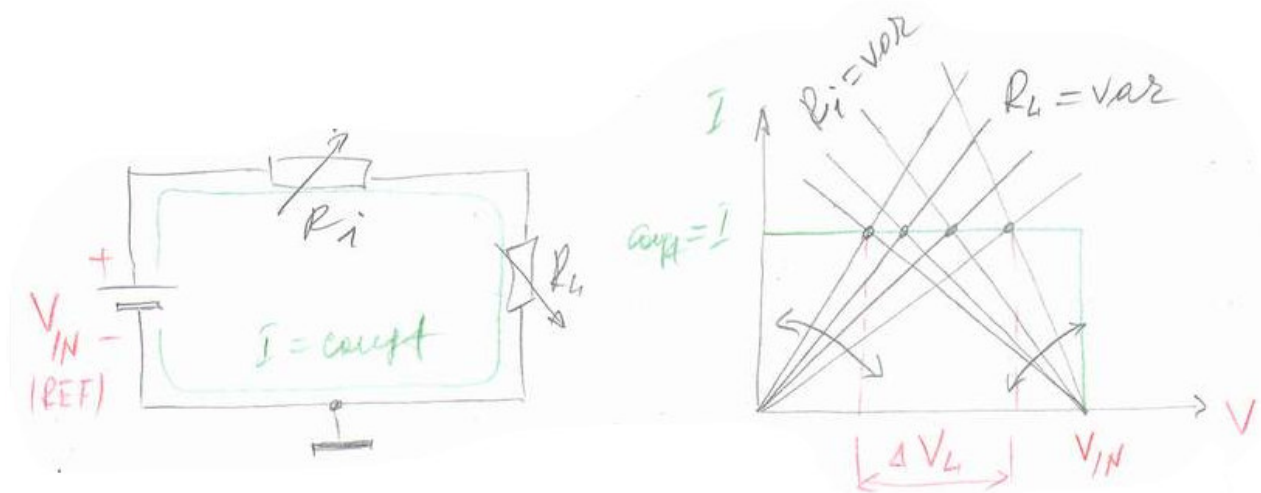
Пример:

транзисторен източник на ток.



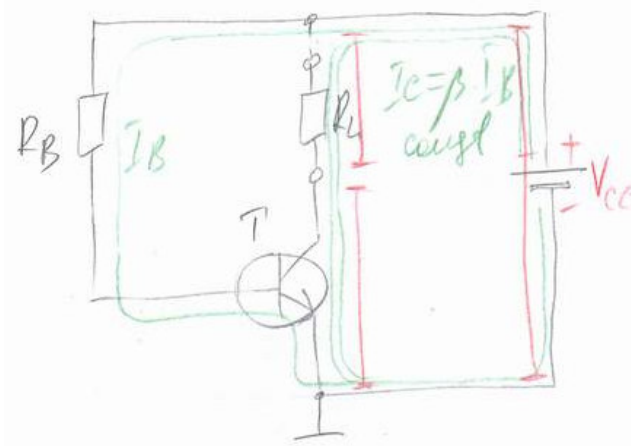
Как правим най-простия източник на ток (Л1)? С помощта на източник на напрежение и пр-л $V \rightarrow I$ (резистор). И източникът и резисторът са постоянни, неизменни по стойност. Избираме ги достатъчно големи за да потиснем влиянието на товара R_L

търсим по хитра идея:



- суматора на R_i

Ако едновременно с промяната на R_L меням в противоположната посока R_i сумата ще стои постоянна и токът също. т.е. резисторът R_i да бъде динамичен, нелинеен резистор от вида R_i , например транзистор.



Сега транзистора си мени текущото съпротивление $R_t(R_{ce})$ така, че сумата му с R_L да е постоянна.

Това е регулирана без обратна връзка, няма контрол върху изходния ток.

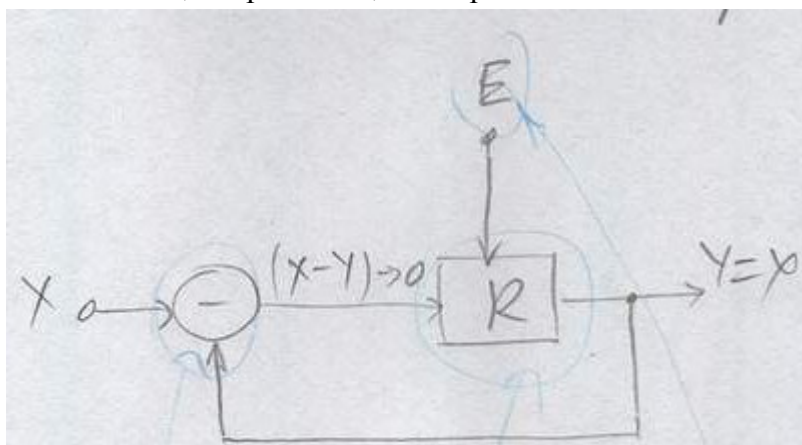
В следващата лекция ще усъвършенстваме схемата като добавим ООВ.

ЛЕКЦИЯ 5

транзисторни схеми с отрицателна обратна връзка

- Система повторител с ООВ(активен повторител)

Феноменът “активно копиране”- аналогии от ежедневието ни: поддържане на скорост, дистанция, направление; поддържане положението на тяло, тегло, състояние на духа и т.н.



Елементи:

източник на енергия, регулиращ елемент и сравняващо (“чувстващо”) устройство.

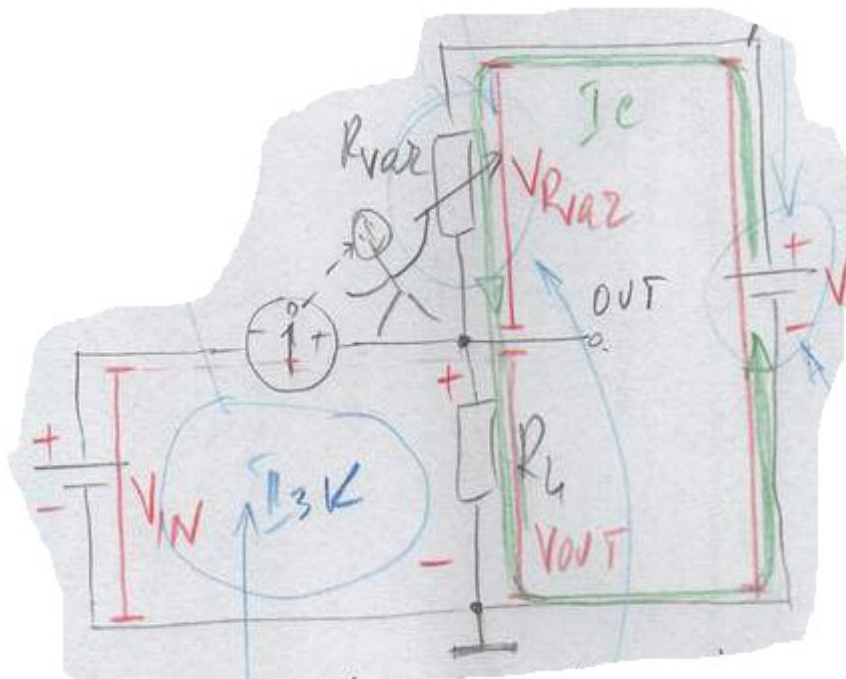
Алгоритъм на действие

регулиращият елемент непрекъснато сравнява изходната си величината Y с входната X и я променя в съответната посока. Така, че разликата между тях да бъде нула.

Какмо се печели от този косвен начин на повтаряне? Товарът се

захранва от отделен източник, изходната величина зависи само от входната(компенсират се смущения от всякакъв род)

-”Възел”електрически повторител на напрежение.

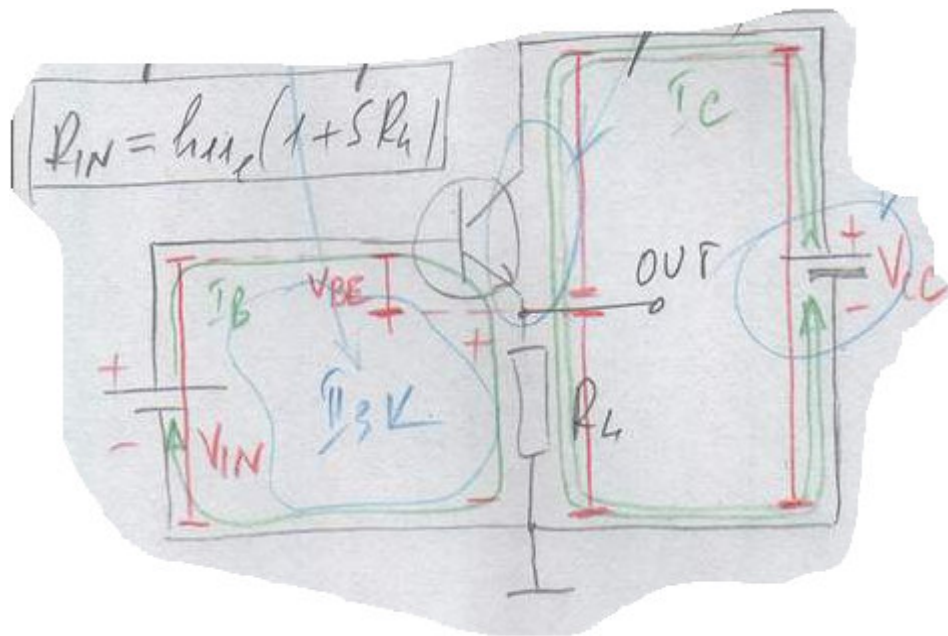


С помощта на захранващ източник, променлив резистор(реостат) и нулев индикатор сглобяваме най-простия повторител на напрежение

Действие:

изработваме изх. напрежение Vout, сравняваме го с входното Vin и го изменяме в съответната посока, така че Vin-Vout=0. Сравняването е последователно, затова схемата се нарича с **последователна обратна връзка** по напрежение.

-транзисторен(емитерен) повторител на напрежение:



след това използваме този рутинна работа на един транзистор. Сега той напрекъснато сравнява входното и изходното напрежение(потенциала на базата и емитера) и регулира енергията на захранващия източник като променя текущото си съпротивление м/у колектора и емитера.

Коефициент на усилване по напрежение:

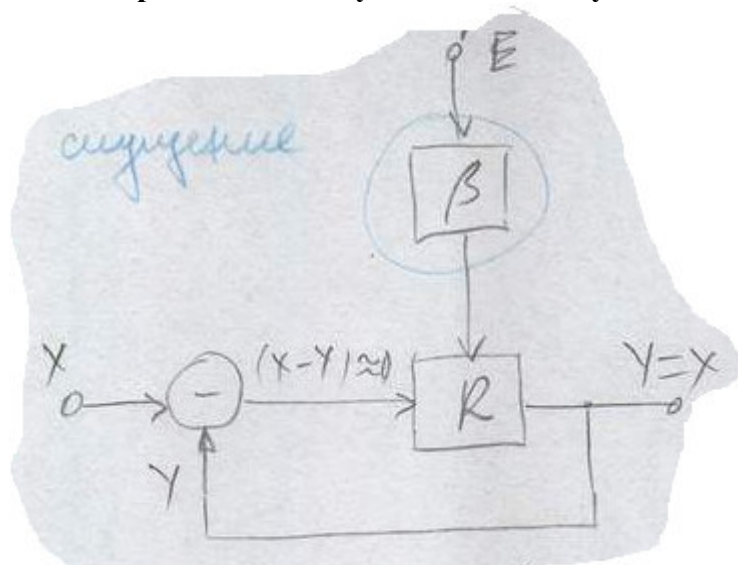
$$(\Delta V_{in} - \Delta V_{out}) S = \Delta I_c \quad \Delta U_{out} = \Delta I_c R_L = (\Delta V_{in} - \Delta V_{out}) S R_L$$

$$K_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{S R_L}{(1 + S R_L)} = \frac{1}{(\frac{1}{S R_L} + 1)} \approx 1 \quad \Delta V_{out}(1 + S R_L) = \Delta V_{in} S R_L$$

Коефициент на усилване по ток

$K_i = \beta$, по мощност $R_p = \beta$

• **Повторител с ООВ в условията на смущения**

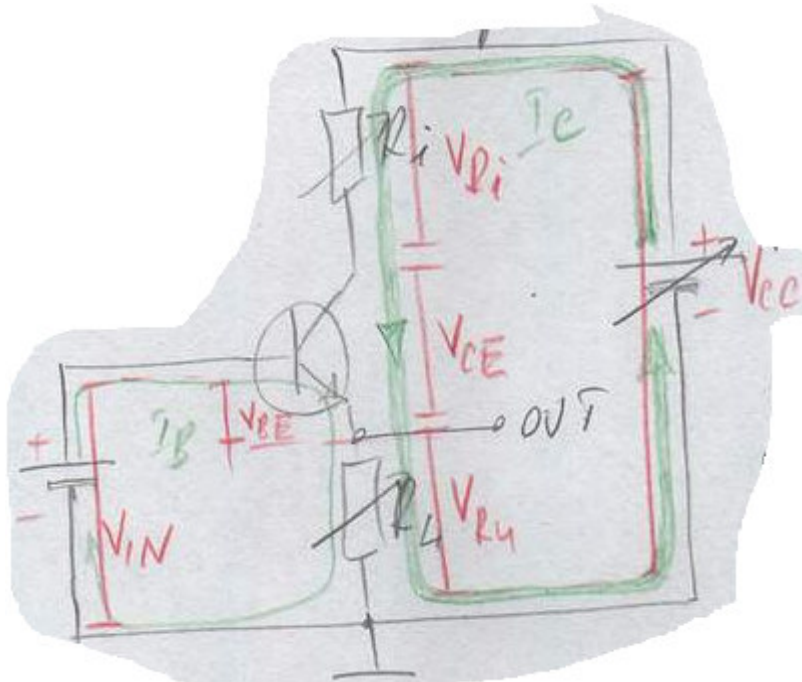


нека сега да подложим активните повторители на смущения.

Пример: появата на насрещен вятър, скоростта на автомобила пада и шофьорът започва да натиска “по яко” газта

Извод: с цената на допълнителни усилия активните повторители компенсират загубите, причинени от смущения.

-Емитерни повторители в условията на смущение.



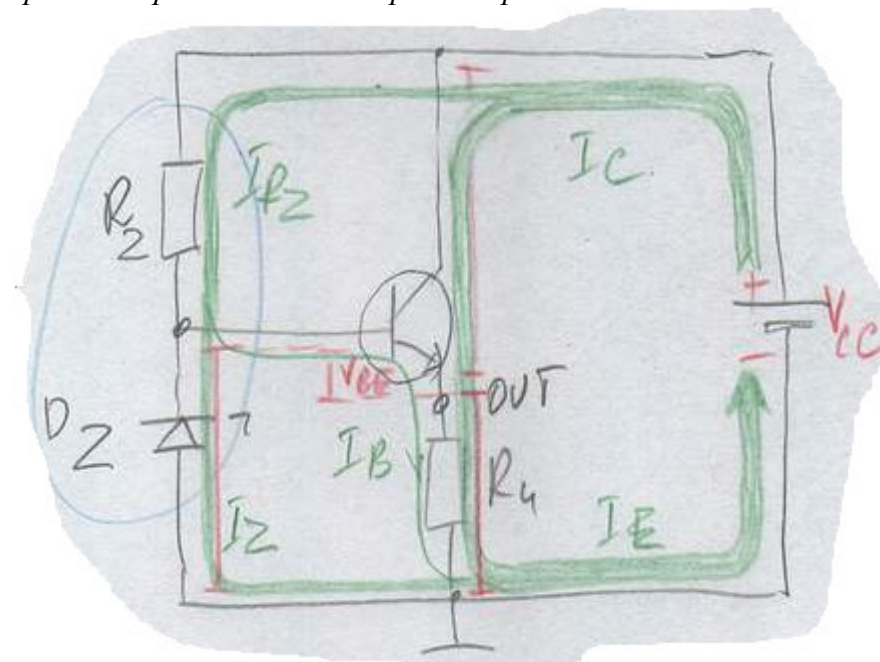
Сега да започнем да смущаваме емитерния повторител като меним R_i (вътр. с-ние на захранителен източник), R_L или V_{CC} . Транзисторът ще реагира на това като ще мени текущото си съпротивление, съответно напрежението си V_{CE} , така че да компенсира промяната на V_{OUT} . Всъщност, транзистора не се "интересува" откъде идва смущението. Той само "наблюдава" разликата $V_{BE} = V_{IN} - V_{OUT}$ и се стреми да я поддържа нула (ако беше идеален разбирате се!).

Запас(излишък) регулирана величина(напрежение)

Ако имаме дори минимален запас от текущото съпротивление R_t на транзистора, напрежение V_{CE} , изходното напрежение V_{OUT} стои неизменно. Когато обаче този излишък се стопи, транзисторът изчерпва възможностите си да регулира изходното напрежение и то започва да се изменя, в зависимост от смущението. "Магията" на антивното копиране изчезва.

Пример:

транзисторен стабилизатор на напрежение



Получаваме го от един параметричен стабилизатор с ценов диод и емитерен повторител като буфер. Съпротивлението на резистора R_2 избираме достатъчно малко, така че през D_Z да тече минималния му ток при максимален товар $I_B = I_C / \beta$

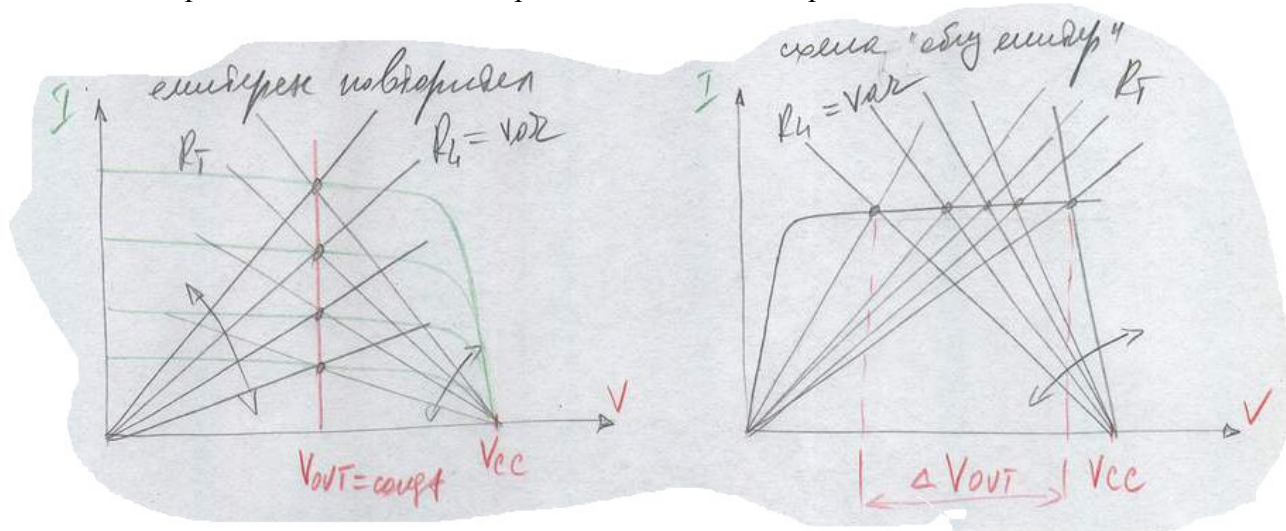
$$I_{R2} = I_{Zmin} + I_{Bmax} = I_{Zmin} + I_{Cmax} / \beta$$

$$R_2 \leq \frac{(V_{CC} - V_Z)}{(I_{Zmin} + \frac{I_{Cmax}}{\beta})}$$

Парадокс: транзистора е нелинеен елемент от типа R_i (поддържа тока постоянен)

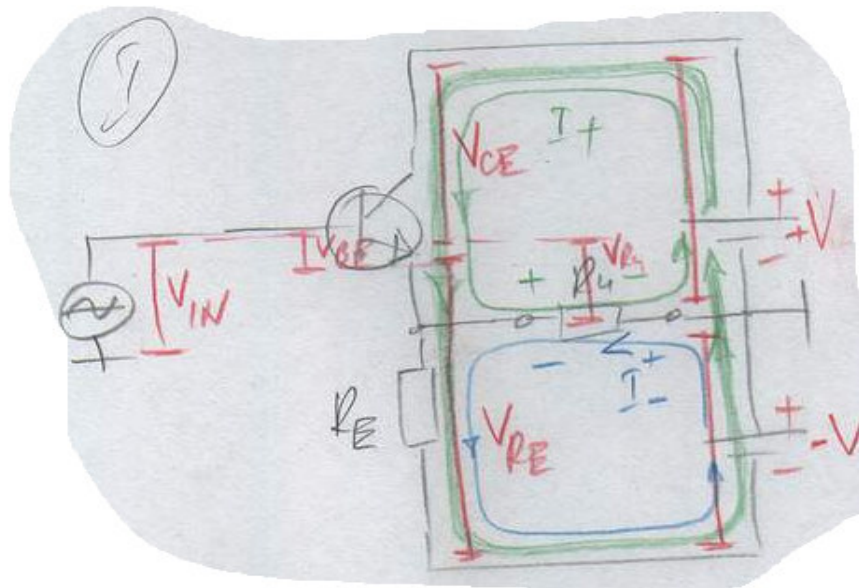
- Тук сме го принудили да поддържа напрежението постоянно

Схемата се държи като много добър източник на напрежение. Сравнете с усилвателното стъпало “общ емитер”, където транзисторът се държеше като стабилизатор на ток и в резултат на това изходното напрежение се влияе от съпротивлението на товара.

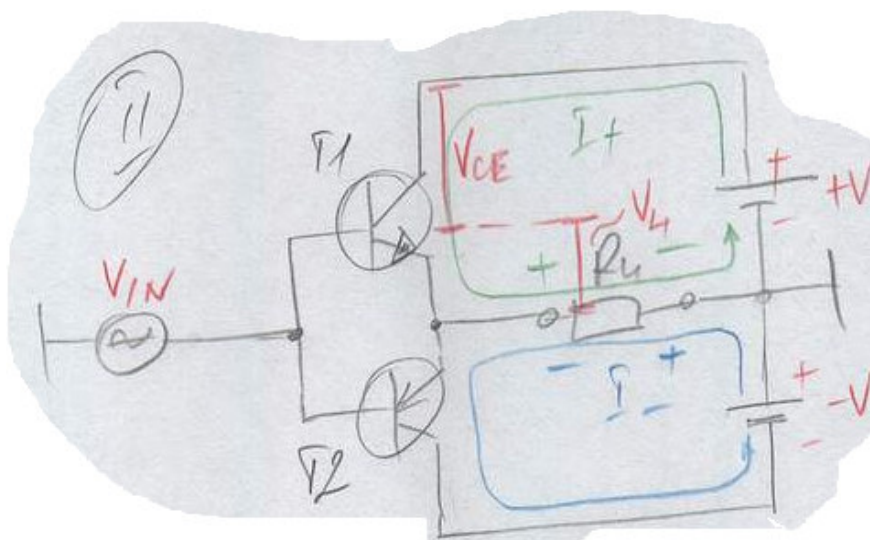


Пример:

Емитерен повторител с двуполярно захранване



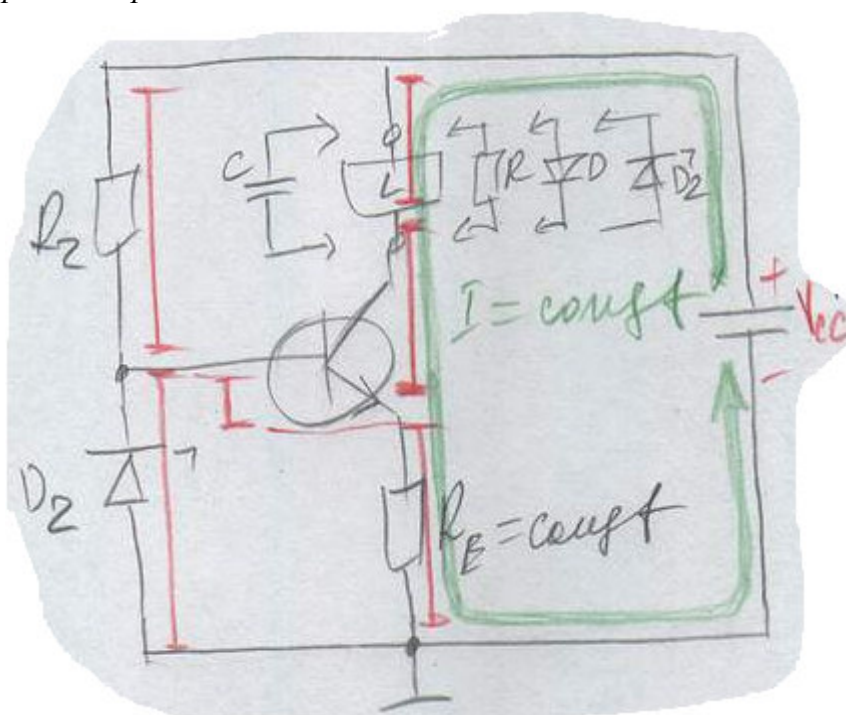
Ако входния сигнал е двуполярен трябва да “повдигнем” потенциала на базата (да въведем преднапрежение) или да сменим потенциала на емитера под нулата т.е. да въведем втори, отрицателен токов източник свързваме единя “pull down” резистор R_E , който да “държи” потенциала на емитера надолу към отрицателния полюс на $-V$. Недостатък: трябва $R_E \ll R_L$ за да не се запуши транзистора при “н-ния”.



Или прилагаме принципа на дапълването (спомнете си CMOS). През “+” полувърла работи T1(m-p-n), а през “-”, T2(p-n-p). Само че трябва отместим базите на транзисторите.

Пример:

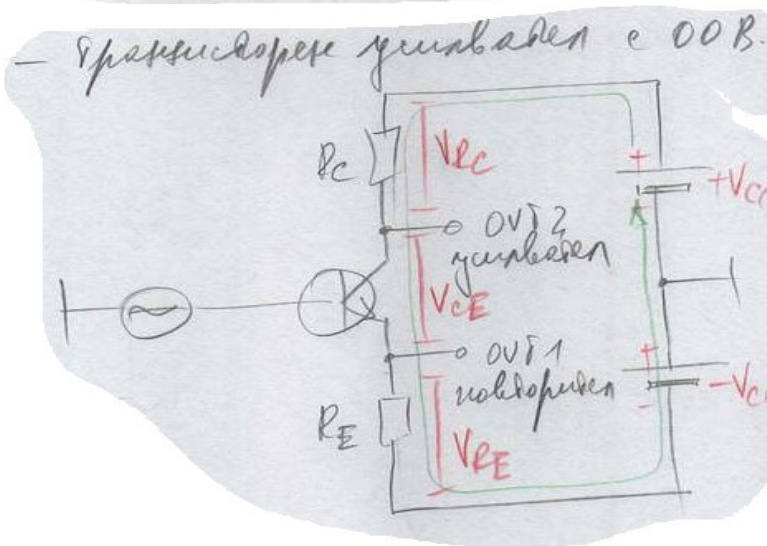
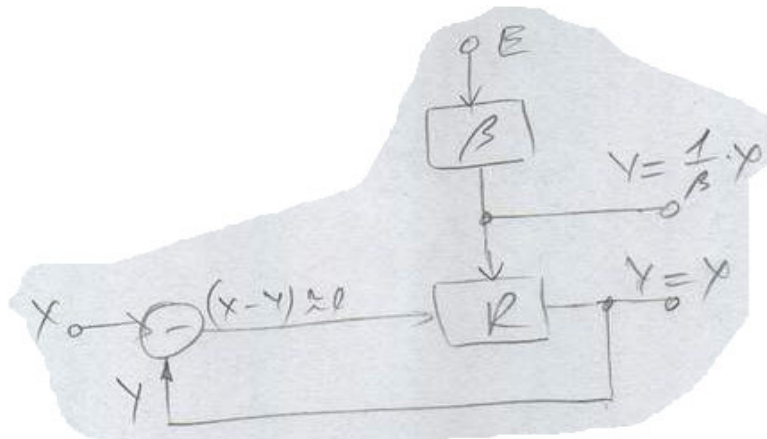
Транзисторен източник на ток с ООВ.



Едно от най- интересните свойства на системите с ООВ е обрънат причинно- следствени връзки. (т.е. да разменят вход и изход). Нека да разгледаме отново стабилизатора на напрежение, захранващ единя постоянен резистор. В тази схема транзисторът настройва тока си така, че напрежението в/у R_E да бъде равно на входното. Тогава напрежението се превръща във входна величина- получаваме **източник на неизменен ток**. Смуцаваме го с различни товари, но транзисторът компенсира това като поддържа неизменно общото съпротивление във веригата(малко си текущото

съпротивление).

• Система усилвател с ООВ.

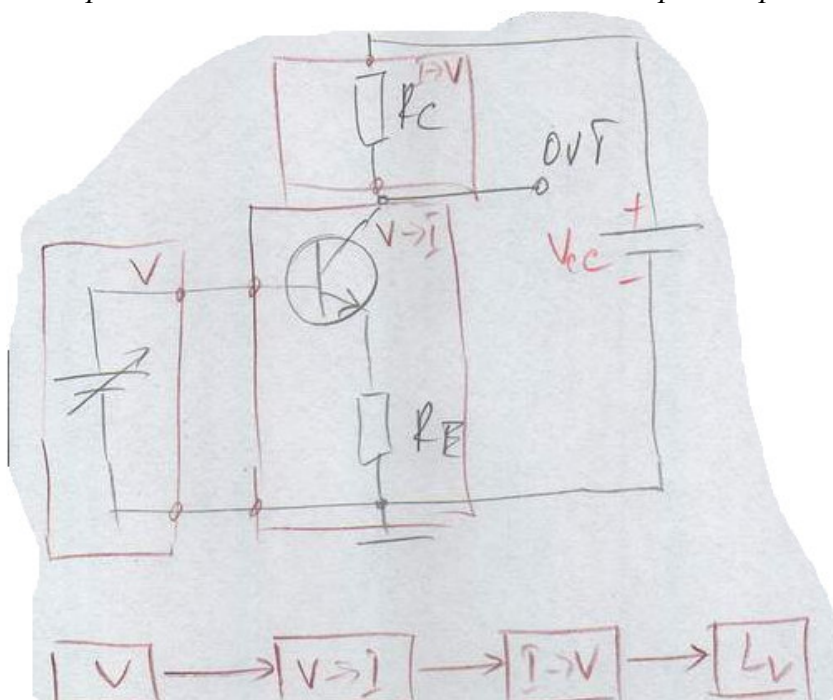


Ако анализираме налясяйки смущения, в които действа феномена “активно копиране”(ООВ) ще стигнем до извода, че в стремежа си да компенсират смущенията системните повторители се превръщат в .. **усилватели**. Ето я рецептата за превръщане на повторител в усилвател- смущаваме го с пропорционално, неизменно по стойност смущение B и вземаме като изходен сигнал реакцията му на това смущение. Като следваме тази рецепта, включваме един смущаващ резистор R_c последователно на транзистора и го принуждаваме “да се напруга” повече от необходимото.

$$\frac{V_{rc}}{R_c} = \frac{V_{re}}{R_e} \approx \frac{V_{in}}{R_e}$$

$$K = \frac{\Delta V_{rc}}{\Delta V_{in}} = \frac{R_c}{R_e}$$

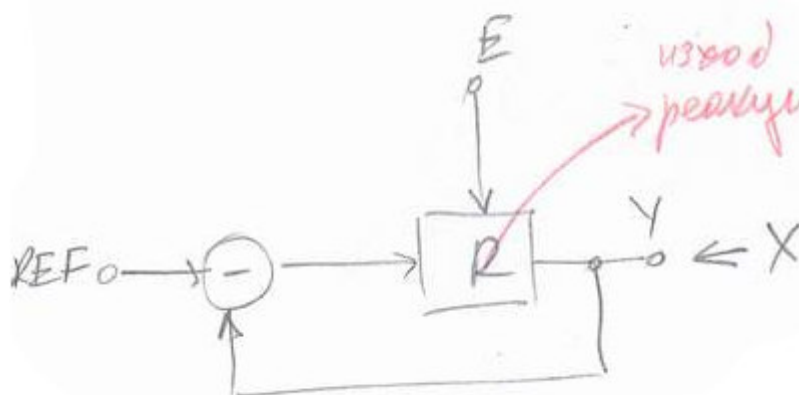
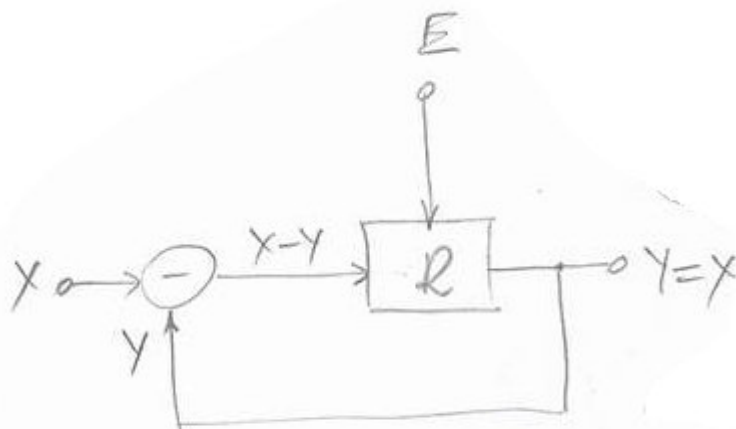
-Построяване на изхода от последователно свързани пр-ли



преобразувател”напрежение-ток”(активен) и “ток-напрежение”(Rc). Общият коефициент на усилване е произведение от двата коефициента на преобразувателите.

$$K=K_1K_2= \frac{1}{R_e} R_c$$

– Смуцвана в изхода система- повторител.

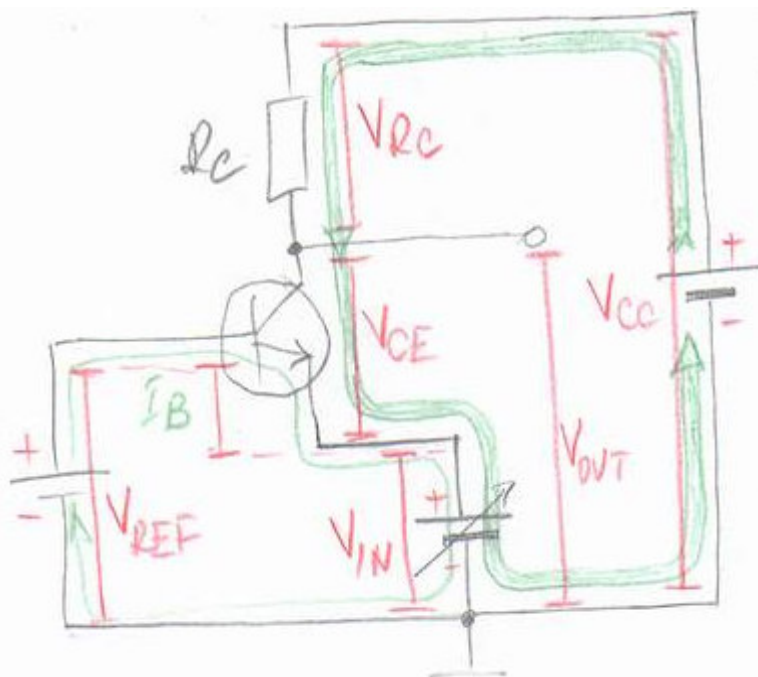


Нормално, в една система с ООВ ние управляваме изходната величина Y чрез входната X . Например, ако един човек прави нещо Y , а на нас това не ни се прави, ние се опитваме да го обединим X той сам да промени поведението си.

Какво ще стане обаче, ако се опитахме не така елементарно, а директно да променим изхода Y , като го атакуваме “силово” с величината X при постоянно задание на входа REF на системата?

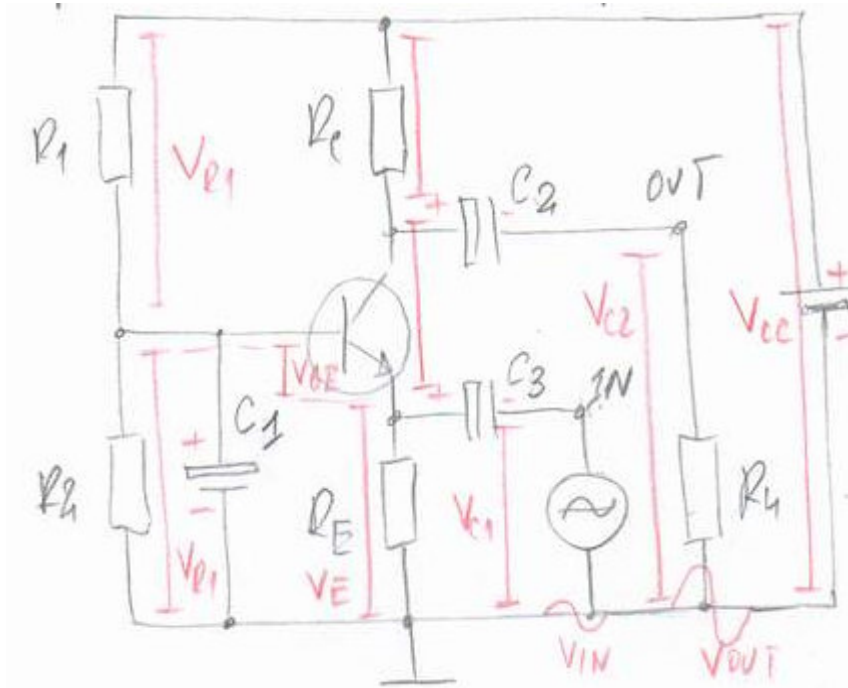
Тя ще реагира на това и ние можем да получаваме реакцията и като изходен сигнал.

-Усилвателна схема “обща” база.



Тази идея можем да приложим за да “изобретим” странната схема наречена “обща база”. За целта взимаме един емитерен повторител и му подаваме постоянно входно напрежение.(т.е. правим стабилизатор на напрежение). В изхода му свързваме входният източник. Възниква конфликт м/у два източника на напрежение-транзисторът реагира на интервенцията като променя текущото си съпротивление, съответно тока в изходната верига, с което се опитва да възстанови предишната стойност на тока. Тази токова енергия се преобразува от резистора R_c в потенциална, което е и външната величина на изхода V_{out} .

-Практическа схема “обща база”



Делителят R1-R2 задава опорно напрежение на базата и транзисторът “изкопирва” в емитера. Входният източник “смущава” през кондензатора C3 това изходно напрежение. Транзисторът реагира на тока като променя текущото си съпротивление, колекторния ток и колекторното си напрежение като реакция на входния сигнал. Това е и изходния сигнал към товара (“преместен” от C2).

Коефициент на усилване по напрежение.- същият като при

схема “общ емитер”

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{be}} \left[\frac{mA}{V} \right] \text{ стръмност}$$

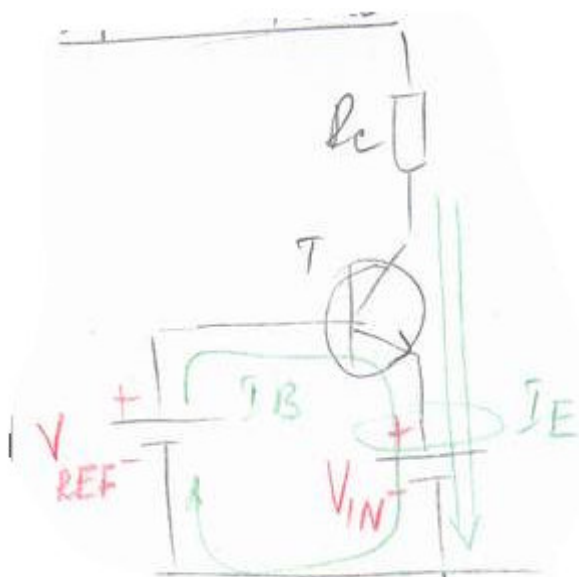
$$\Delta V_{out} = \Delta I_c R_c = S \Delta V_{in} R_c$$

$$K_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = S R_c$$

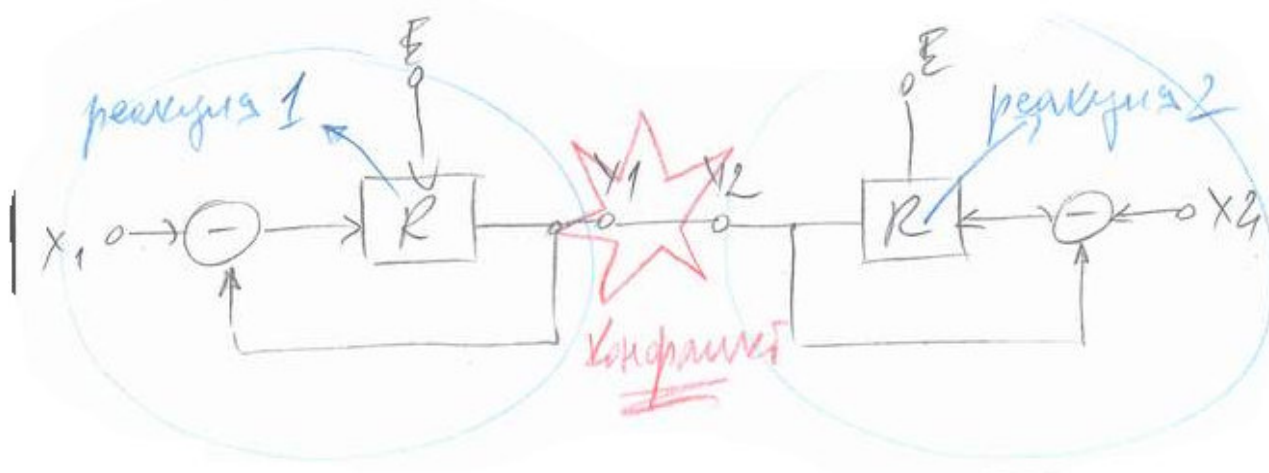
ЛЕКЦИЯ 6

транзисторен диференциален усилвател

- Основна схема.



Когато атакуваме един активен повторител в изхода, ние сме принудени да търпим неговата реакция. Така например, опорния източник V_{ref} на схема обща база тече малък базов ток I_b , а през входния източник V_{in} целият изходен емитерен ток I_e . Съвсем естествено се ражда идеята да буферираме входния източник с един емитерен повторител. Тогава двата източника стават равноправни. Така получаваме блоковата схема на еднодвоена диференциална система от 2 активни повторителя изходите на които са свързани заедно. В зависимост от това как се променя U_1 и U_2 имаме “конфликт” или “взаимопомощ”.



Следвайки рецепта, свързваме изходите на 2 повторителя заедно.

1. Синфазни сигнали

Ако променяме едновременно и едновременно двете входни напрежения- двата повторителя си “помагат”, местят едновременно общата точка А. Изходите също, затова разликата между тях е нула. (т.е при синфазен входен сигнал няма диференциален изходен с-л)

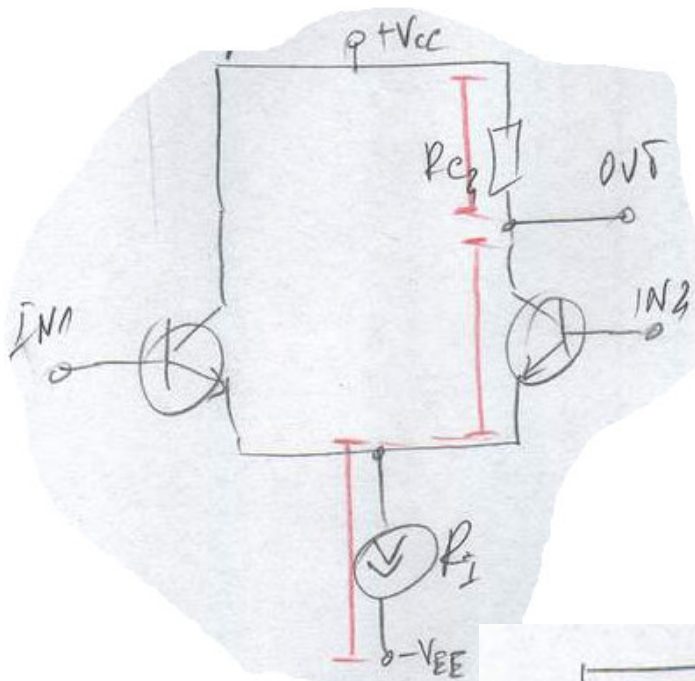
2. Диференциални сигнали.

Ако едното напрежение е неизменно, а мените другото, възниква конфликт м/у двата изхода (емитера). Двата повторителя реагират като променят рязко изходните си токове, съответно напрежения. **Приложения:** емитерно свързани схеми.

Конфликтът се задълбочава, ако променяме едновременно и противоположно двете входни напрежения. (истински диференциални сигнали). Примери: теглене на въже, канадска борба.

Двата транзистора действат с еднаква сила върху общата точка А, която остава неизменен “твърд” потенциал.

• Усъвършенстване на схемите чрез включване на източник на ток в емитера на транзисторите.



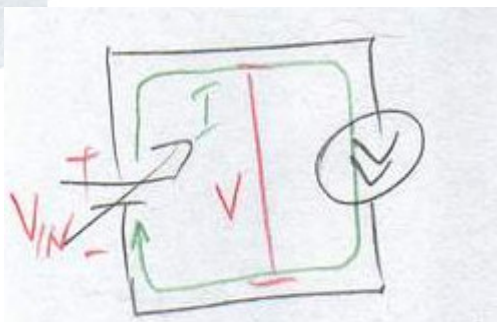
Ако решим да вземем несиметричен изход от суматора, възниква проблем при синфазни входни сигнали (изходното напрежение ще се мени).

$$V_{out} = \frac{R_{C2}}{R_E} V_{in}$$

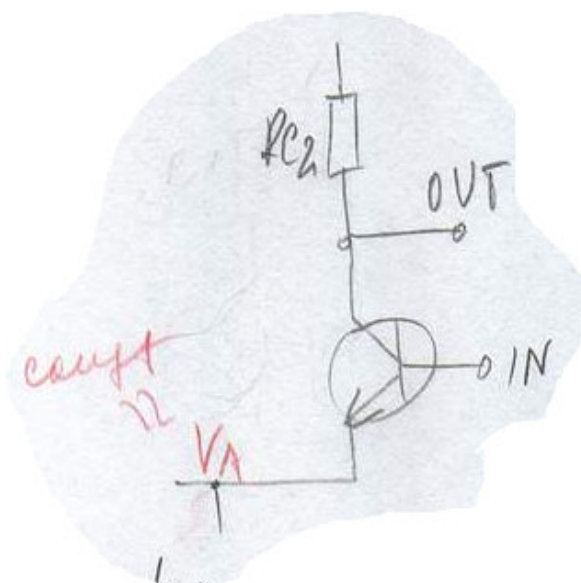
трябва R_E да е с много голямо диференциално съпротивление, най- добре е да е токостабилизиращ двуполюсник.

Действие: Когато V_{in1} и V_{in2} се сменят едновременно, R_E си мени също съпротивлението така, че поддържа такъв неизменен. На практика имаме 2 свързани един към друг източници на напрежение и ток, които си “помагат” взаимно.

Резултатът: при синфазен входен сигнал V_{out} не се мени.

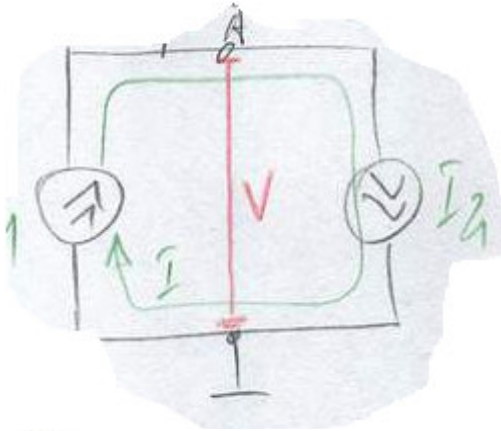


• Усъвършенстване на схемата чрез включване на източници на ток в колекторите на транзисторите.



За да получим по- голямо усилване на диференциалния сигнал трябва да увеличаваме R_{C2} . Но от друга страна трябва да зададем определен определен , достатъчно голям ток на покой. Трябва R_{C2} да има голямо диференциално съпротивление(т.е при промяна само). Така стигаме до идеята за **динамичен товар**.

-Коефициент м/у източници на ток.

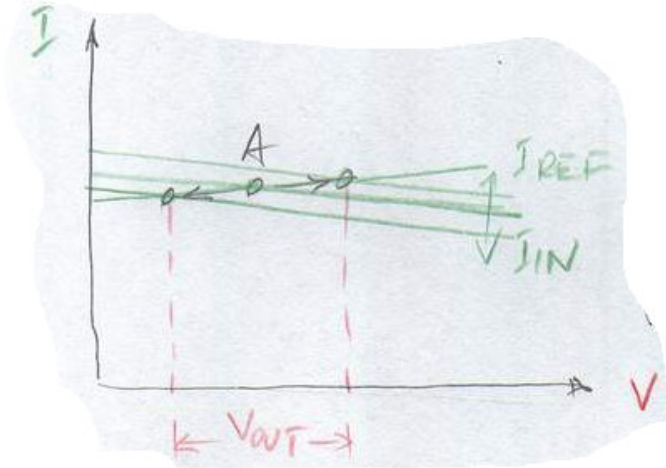


Какво ще стане, ако свържем 2 източника на ток един към друг и започнем да меним тока на едну от тях?

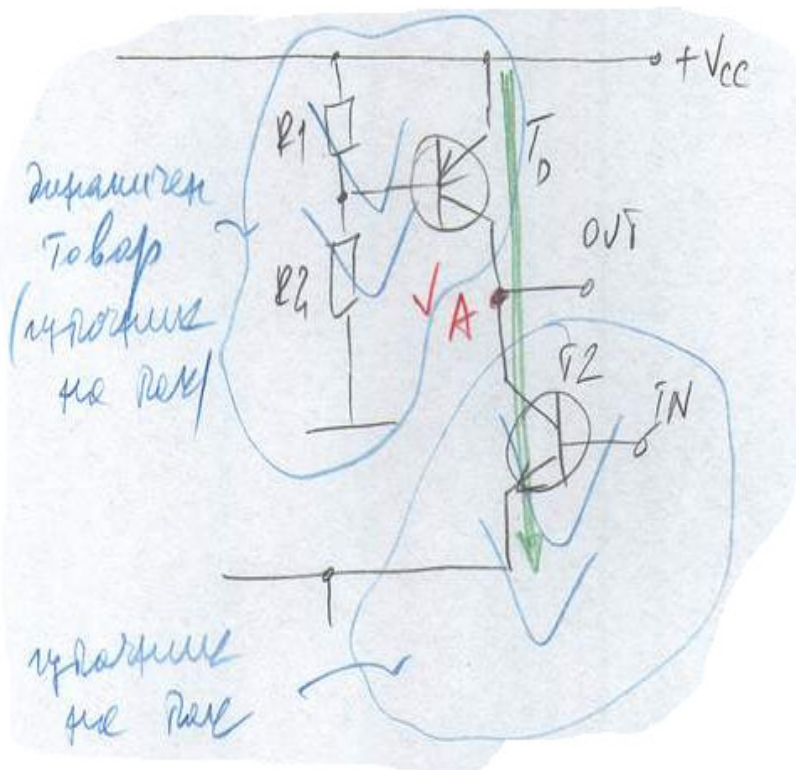
Възниква конфликт между тях, защото единият източник се опитва да промени тока, а другия – да го запази. В резултат потенциалът на точка A се изменя стръмно.

Геометрична интерпретация

имаме геометричен ефект- две прави са почти успоредни една на друга. Когато едната от тях се движи успоредно само на себе си, пресечните им точки се движат много бързо, в перпендикулярна посока.

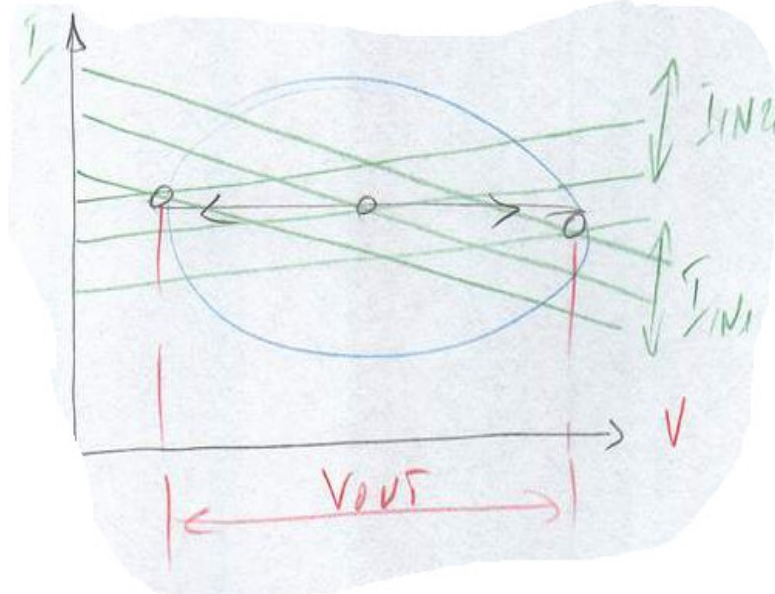


-Практическа схема на ДУ с динамичен товар.



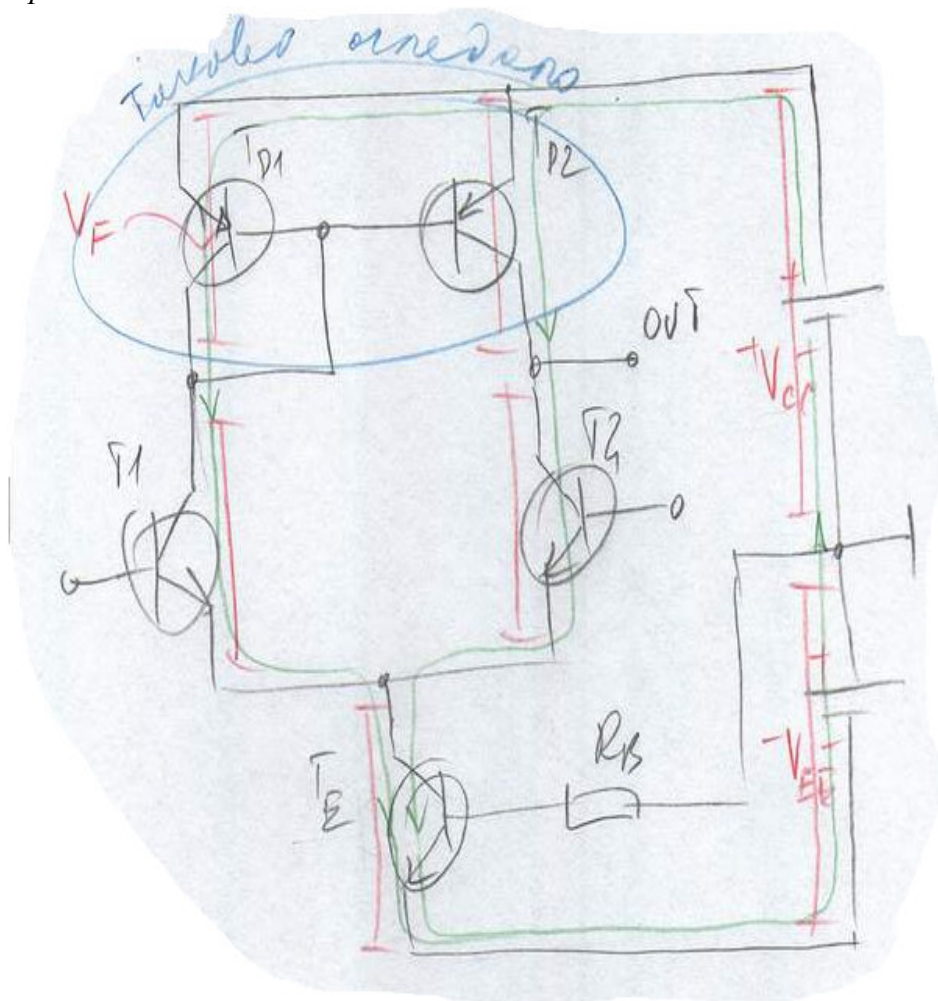
Заменяме резистора R_{c2} с един транзисторен източник на ток (по точно токостабилизиращ двуполусник), реализиран с транзистора T_d .

-Драматичен конфликт м/у два източника на ток.



Ако започнем да променяме едновременно и противоположно заданията на двата източника на ток, се получава “драматичен конфликт” м/у тях- потенциалът на точката А се изменя много стръмно (свърх голям коефициент на усилване)

-Практическа схема.



С транзисторите Тд1 и Тд2 сглобяваме т.нар. “**тактово огледало**”. С което се “копира” тока зададен от Т1 и се “пренася” в десния клон. Там се получава ”драматичния конфликт” м/у Т1 и Т2.
Резултат: потенциалът на точката се мени стръмно.