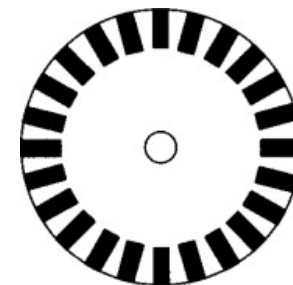
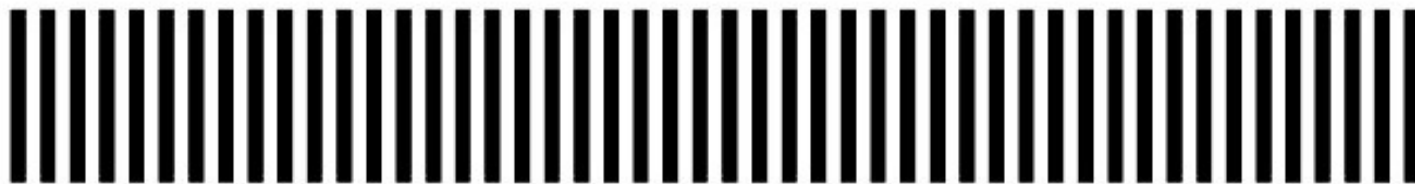


- **Електронни схеми за измерване и управление**

- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

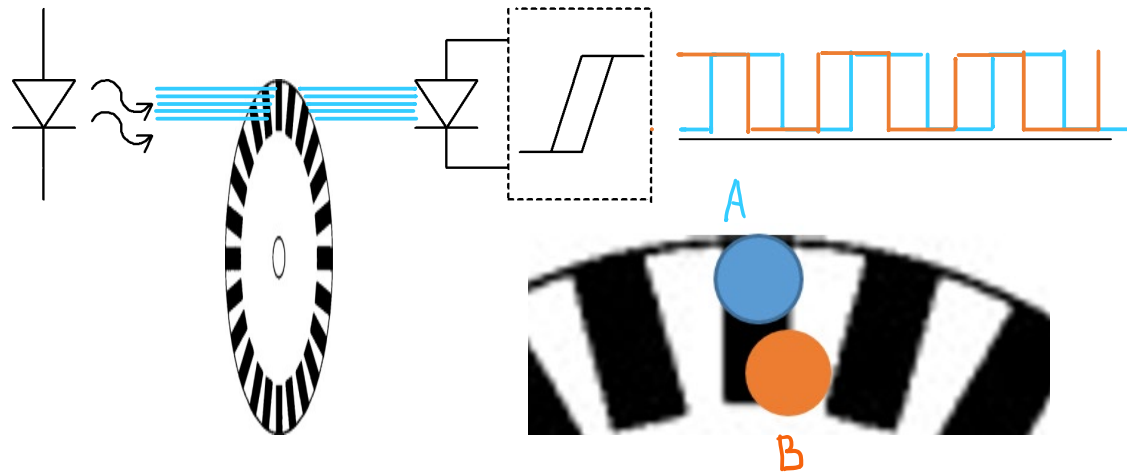
Някои от методите на измерване са приложими както за линейно, така и за въртливо движение. Например от типа на потенциометъра се определя дали се мери линейно или въртливо преместване. Електронната част е еднаква.

Един от принципите се основава на преместването на растер от светли и тъмни ивици (прозрачни или непрозрачни) и броенето на импулси. Формирането на импулси може да е чрез отражение или пропускане на светлината. Формата на растера определя дали сензорът ще е линеен или ротационен.



- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Светлинният поток преминава през растера, попада върху фотоприемника и



след формиране се получава показаният сигнал. По този начин може да се измерват обороти и преместване, но без да се знае посоката. Ако се добави втори

фотоприемник, отместен на $\frac{1}{4}$ отстъпката на растера ще се получи втори сигнал в квадратура спрямо първия. Така, от нивото на единия сигнал, при преход в другия, се определя посоката. Сигналът от фотоприемника, като функция на преместването (завъртането), преди формиране, е между псевдосинусоида и триъгълен, като това зависи от стъпката на растера.

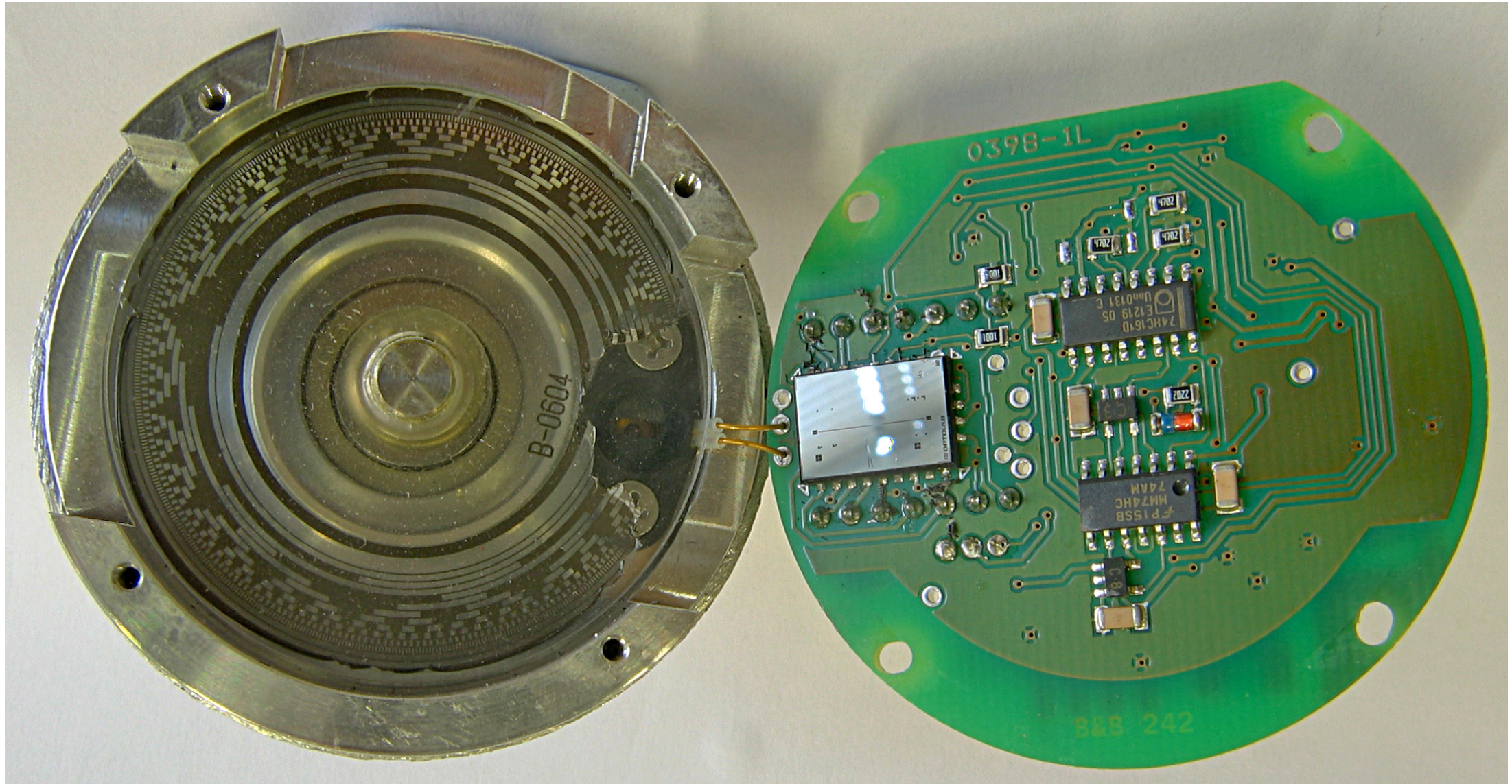
- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Ако получените поредици А и В се подадат на реверсивен брояч, съответно на броячния и на входа за посока, показанието на брояча ще показва какво движение е извършено и на каква позиция е сензора спрямо момента на нулиране на брояча (или включване на захранването). Този тип сензори се наричат **инкрементални**. Те показват нарастването (промяната) на позицията спрямо предишната. Сензорите които показват позицията на сензора спрямо избрана координатна система се наричат **абсолютни**. При включване на захранването тези сензори „знаят“ къде се намират, докато инкременталните – не.

Пример за абсолютни оптически сензори са такива при които растерът е изработен като двоичен код. При четири ивици се получават 16 позиции.

Електронни устройства за измерване и управление

- Пример с 13-разряден оптически енкодер с код на Грей (Frank Gray в 1947г)

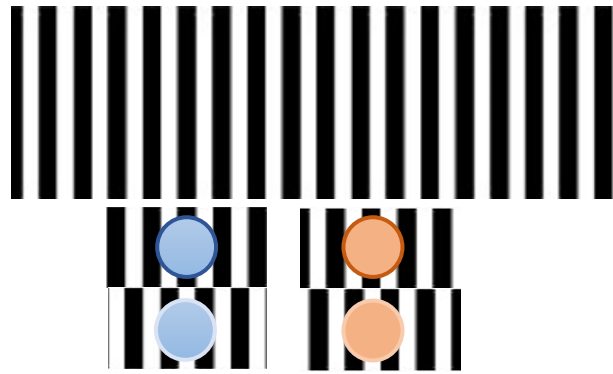


- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

В показаните примери разрешаващата способност на сензора зависи както от стъпката на растера, така и от размера на фотоприемника. Растерът може да се направи с много малка стъпка като ограниченията идват от дължината на вълната и дифракцията на светлината. Затова стъпката на растера обикновено е 10-20 μm . За да не се влияе разрешаващата способност от размерите на фотоприемника пред него се поставя неподвижна маска със същия растер. Тогава фотоприемникът може да е много по-голям от стъпката на растера, а по-големите размери дават по-голяма чувствителност. Втора маска, отместена на $\frac{1}{4}$ растер от първата се поставя пред фотоприемника формиращ поредица В. Маските се изработват заедно и затова няма нужда от настройка. Общо, маските са шест.

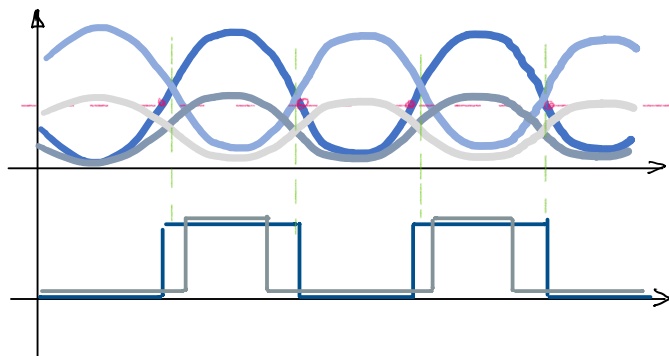
- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Всяка поредица се формира не от един, а от два фотоприемника. Светлината от източника променя интензивността си поради стареене, толеранс в захранването и др.



Променя се амплитудата на сигнала към компаратора, а от това и коефициентът на запълване.

Ако на другия вход на компаратора се подаде не постоянно напрежение, а сигнал от друг фотоприемник, формиран при същите условия, но в противофаза...?



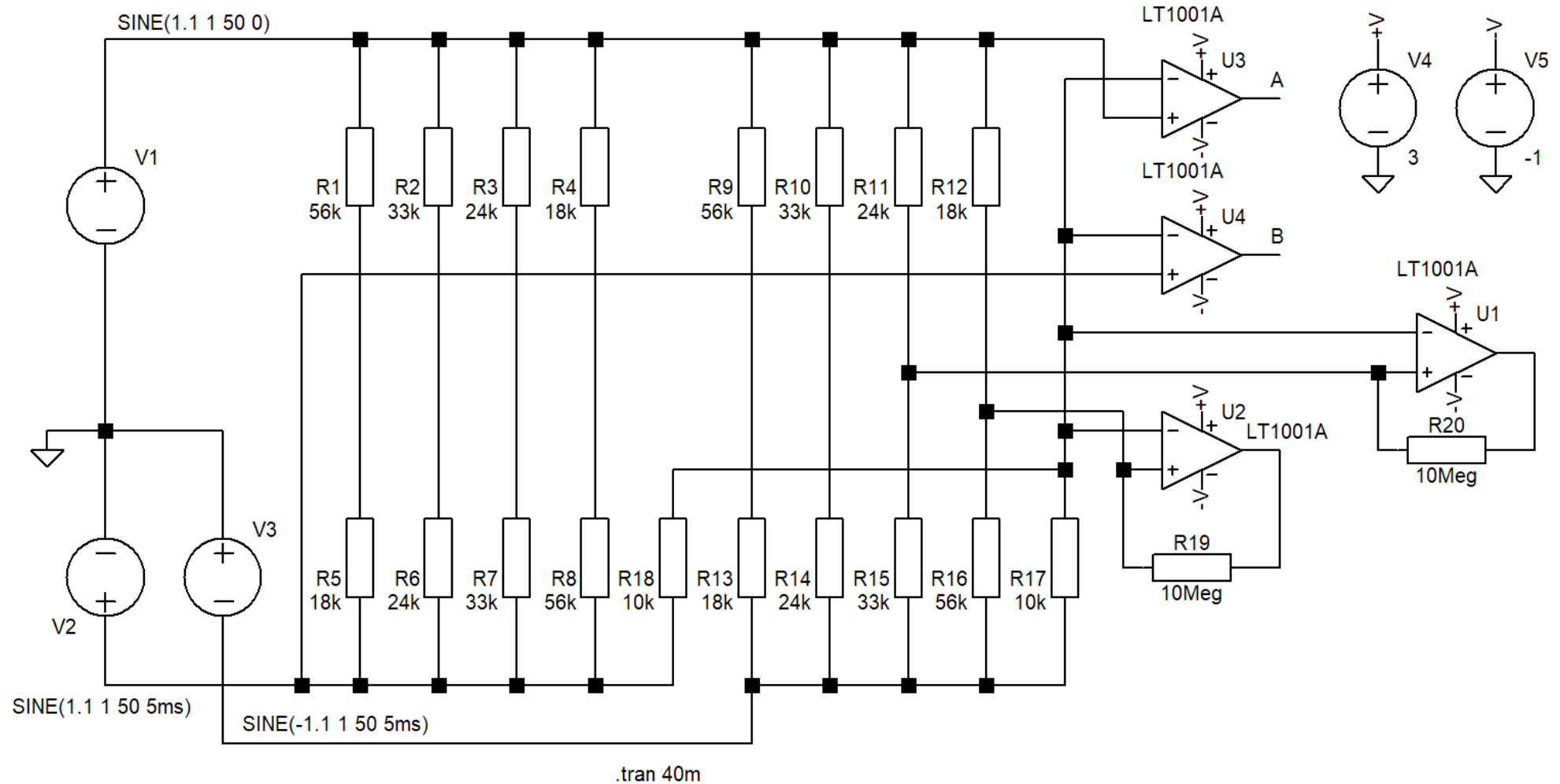
Повечето оптически сензори за преместване, имат три изхода А, В и С. Третият, С служи за синхронизиране на позицията. За кръговите сензори на всяко завъртане се формира един "С" импулс, а на линейните през определен брой ивици (1000). "С" изходът формира сигнал по същия начин както А и В.

- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

При качествени растери **изходният сигнал от фотоприемниците** може да използва за увеличаване на разрешаващата способност. Ако стъпката на растера е $20\ \mu\text{m}$, се получава по $10\ \mu\text{m}$ прозрачна и непрозрачна част. Втората поредица е отместена на $\frac{1}{4}$ т.е. на $5\ \mu\text{m}$. Ако на всеки преход на поредиците А и В се отчита преместване, се получава разрешаваща способност $5\ \mu\text{m}$. Това става при качествен растер и прецизна електроника. Формата на сигнала е **подобна** на синусоида и ако се обработи може да увеличи разрешаващата способност. С подходящо подобрени компаратори се достига стъпка $1\ \mu\text{m}$.

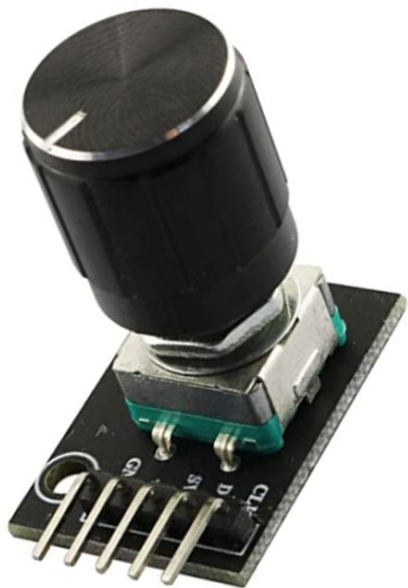
На следващата схема е показан един вариант на решение. Използвани са директно изходите от фотоприемниците А, -А и В (синусоиди). В резултат, при подходящо подобрени резистори, се получава отместване на $1\ \mu\text{m}$. От логическите сигнали (след формиране) трябва да се получат нови А* и В* поредици през $1\ \mu\text{m}$. На куплунга А и В си остават.

- Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)



- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

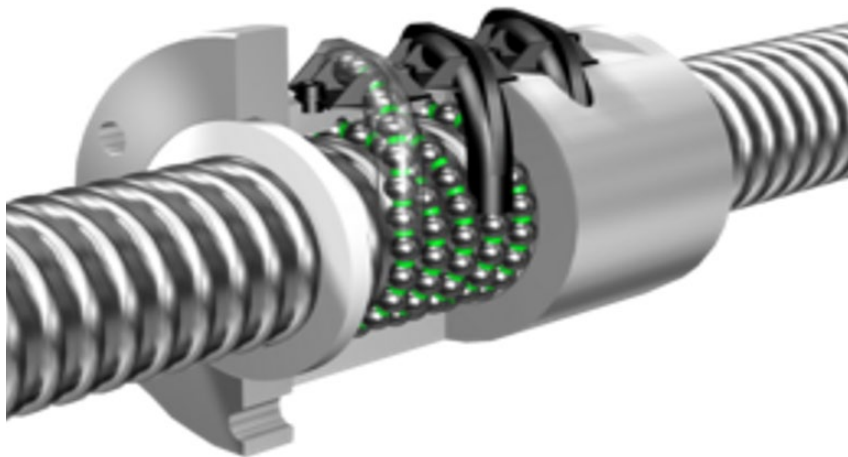
В практиката устройствата за измерване на линейни и въртеливи движения (премествания) се наричат **енкодери** или **пулскодери**. Обикновено изходният сигнал са три поредици А, В и С. В индустрията, за шумоустойчивост, се използват диференциални интерфейси (RS-485, RS-422) затова всеки от сигналите има и инверсен –А, –В и –С.



Има енкодери които работят, освен с оптически и с други сензори. Пример за това са компютърните мишки или копчетата за смяна на обхватите на осцилоскопите, за задаване на режими (меню) в битовата електроника и много други. Повечето от тях са ротационни енкодери само с няколко позиции на оборот. Поредиците А и В се задават с механични контакти. Има 3 извода – А, В и общ. Обикновено има още два извода – ключ за натиснат бутон.

- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Когато трябва да се задават (или измерват) **големи линейни** премествания, е много скъпо и трудно да се направят енкодери за 2, 3 и повече метра с разрешаваща способност няколко микрона, а с такива размери са работните маси на повечето металообработващи машини. Тогава се ползват ротационни енкодери и въртенето се преобразува в линейно преместване. Това става с винт и гайка – двигателят върти винта (и енкодера), а гайката се премества. Точността на позициониране зависи от точността на енкодера и от **качеството**



на механиката. За такива цели като винт и гайка се ползват съчмено-винтови двойки. Разрешаващата способност се определя от импулсите на енкодера и стъпката на винта за един оборот.

- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Някои микроконтролери имат специализиран вход за обработка на поредиците А, В, С **Quadrature Encoder Interface (QEI)**. Обработката е схемна (хардуерна) защото програмно не може да се обработят поредици с висока честота – при високи скорости или обороти на машините се получават повече от 100 kHz (2,5 μ s за регистриране на нова позиция).

Абсолютни енкодери с инкрементални сензори. Абсолютните сензори са по-сложни, скъпи и с по-малка разрешаваща способност. Проблем при сензорите на инкрементален принцип е, „че не си знаят“ началото. Съвременната електроника позволява в енкодера с инкрементален сензор, при спиране на захранването, да се помни текущата позиция и дори без захранване, да се отчита движение.

По-подробно измервателните преобразуватели на преместване се разглеждат в курса от 8-ми семестър по **АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ В ИНДУСТРИЯТА.**

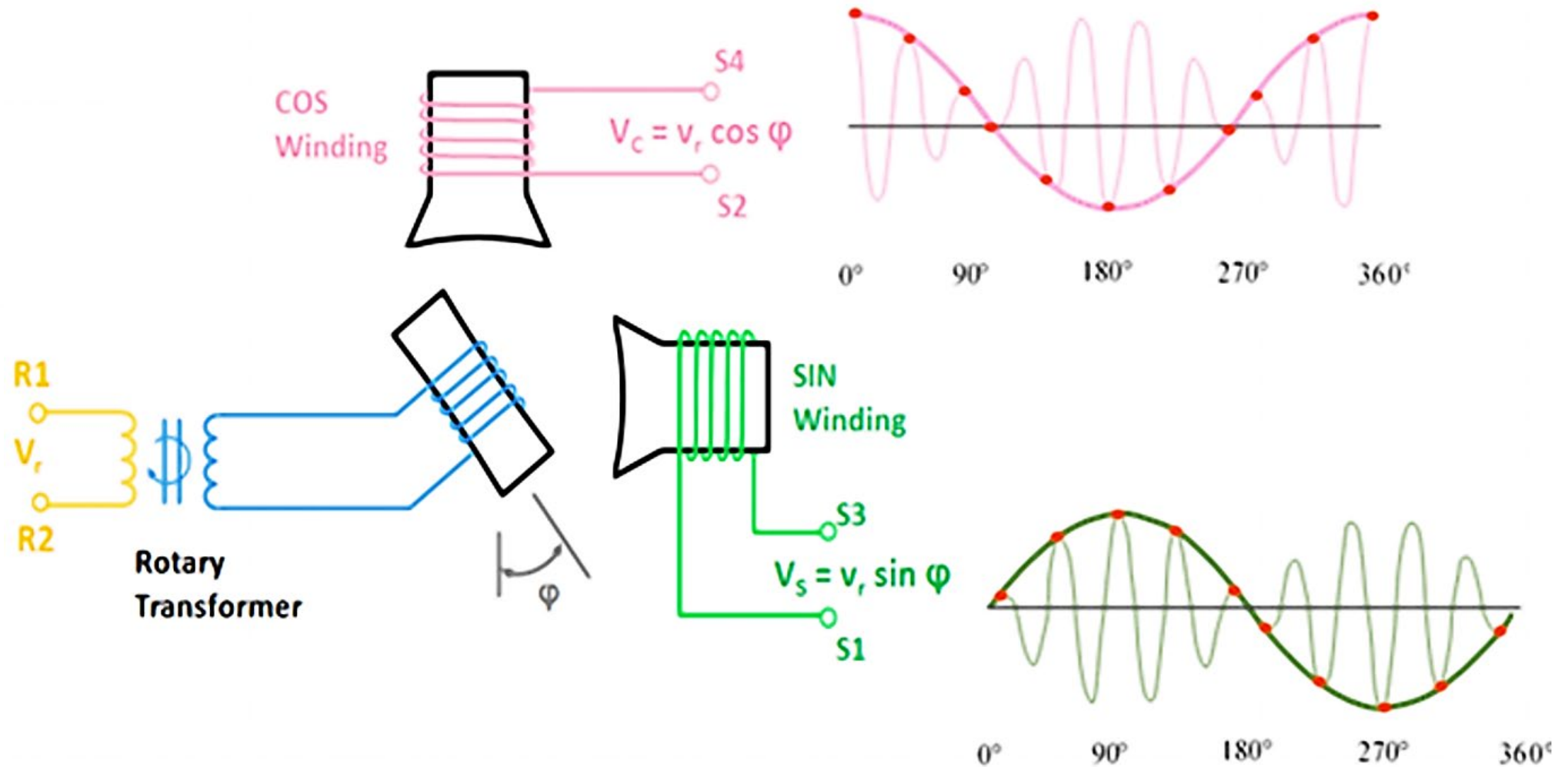
- **Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)**

Резолвери. Използват се за измерване на ъгъл на завъртане. Абсолютната позиция е известна в границите на 360° . За по-големи ъгли са като инкрементални преобразуватели. Резолверът се нарича още и „**Въртящ трансформатор**“. Понякога се налага част от устройство да се върти спрямо останалата част – например разположено на колелото на автомобил. Тогава, за захранване се използва въртящ се трансформатор.

Въртящ се трансформатор използван за предаване на енергия не е резолвер!!!

Резолверите са трансформатори които имат една въртяща се намотка (роторна) и две неподвижни (статорни). В зависимост от **ъгъла** на завъртане φ на ротора, се променя коефициентът на трансформация – по синусоидален закон, като в едната намотка по **$\sin\varphi$** , а в другата – **$\cos\varphi$** . Това се получава от конструкцията (90°).

- Измерване на линейни и въртеливи движения (премествания)



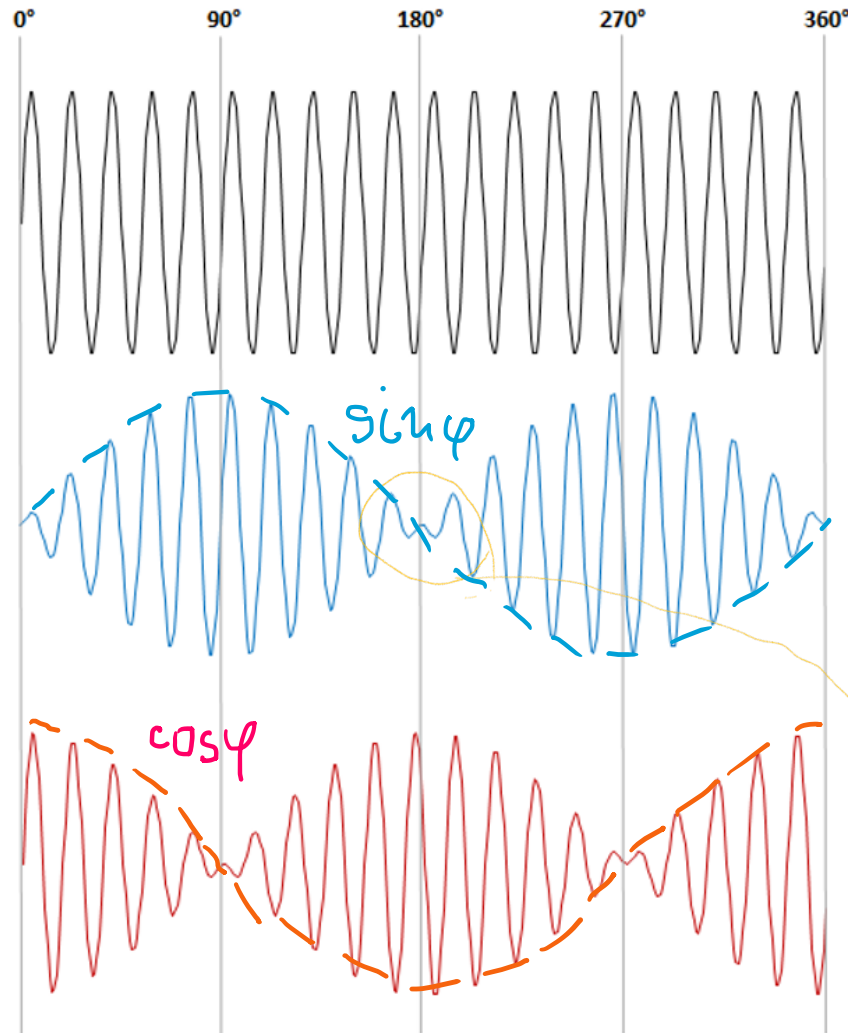
- **Измерване на ъгли и обороти**

В зависимост от целите на измерването има различни начини на захранване на резолвера. Подробно това ще се изучава в 8-ми семестър.

Тук се разглежда вариант при който се захранва роторната намотка и се измерват напреженията в статорните. Честотата на захранващия сигнал трябва да е по-висока от ъгловата честота която би се получила при въртене на ротора.

Със сигнала който се подава на роторната намотка се измерва коефициентът на трансформация (функция на φ) и така се измерва ъгъл φ . Индуцираният сигнал в двете намотки е U_{\sin} , U_{\cos} , а подаденото на роторната намотка $U_r = U_A \cdot \sin(\omega t)$; $U_{\sin} = U_r \cdot \sin\varphi$, $U_{\cos} = U_r \cdot \cos\varphi$ където ω ($2\pi f$) е честотата на генератора, а φ е ъгълът между ротора и статора на резолвера. U_r , U_{\sin} и U_{\cos} са показани на фигурата.

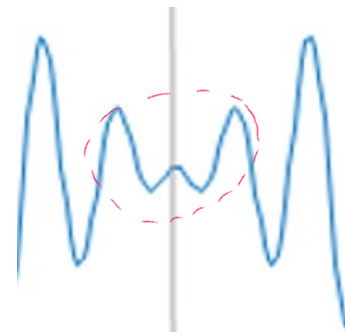
- Измерване на ъгли и обороти



Графиките не са съвсем точни, но е показан принципът на работа. По X координата са и времето и ъгъла, а те са независими.

Графиката ще е вярна само когато роторът се върти и прави едно завъртане за 20 периода на честотата на генератора. При въртене на ротора се променя амплитудата, а при нулата се сменя фазата. Ако сигналите от U_{sin} и U_{cos}

се подадат на синхронен изправител ще се получи \sin и \cos на ъгъла. От тези два сигнала се изчислява φ .



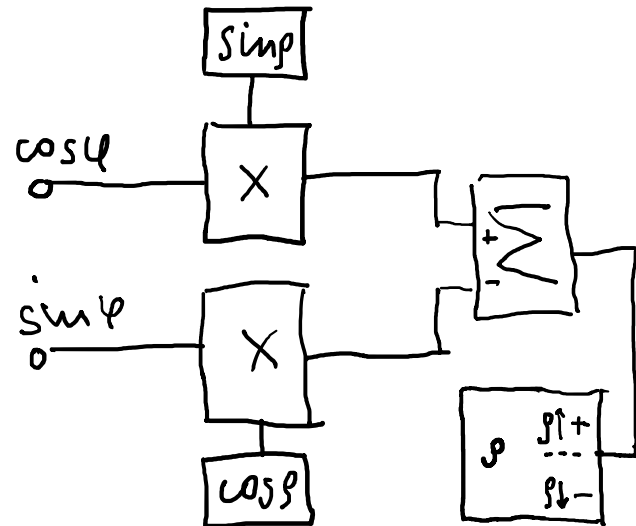
- **Измерване на ъгли и обороти**

Ако измерим сигналите, може да изчислим ъгъла. Трябва да се нормализират защото са със знак (\sin и \cos са в границите ± 1) и да се измери напрежението което съответства на $\sin 90^\circ$. Това ще изисква не малък ресурс от микроконтролера когато оборотите на ротора са високи.

Ще разгледаме друг начин на измерване – чрез уравнивяване. Неизвестната величина се компенсира с аналогична докато се получи уравнивяване. Подобни методи се разглеждат при мостови схеми. Ще уравнивяваме ъгли. Уравнението

$\sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha \cdot \cos\beta - \cos\alpha \cdot \sin\beta$ е известно от тригонометрията и се вижда, че $\sin(\alpha - \beta) = 0$ когато $\alpha = \beta$. По този начин, променяйки β , може да измерим α . Трябва в уреда да умножим сигналите от резолвера по $\cos\beta$ и $\sin\beta$ и да ги извадим.

- **Измерване на ъгли и обороти**



Напреженията получени **след изправяне** и които съответстват на \sin и \cos на ъгъла между ротора и статора на резолвера φ , ще умножим по \cos и \sin на ъгъл ρ с който ще уравниваме. Изваждаме двете произведения и ако резултатът не е нула ще променяме ρ докато стане нула.

Ако φ се промени, ρ ще го следва. Бързодействието е високо и се определя от синхронните изправители с които се формират сигналите от резолвера.

От какъв вид е структурната схема – статична или астатична?

Задачата при проектиране на схемата е умножение, получаване на $\sin \rho$ от ρ и . .

- **Измерване на ъгли и обороти**

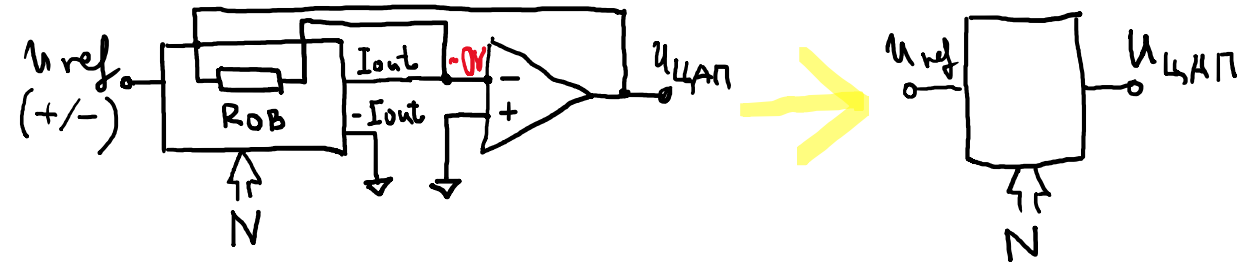
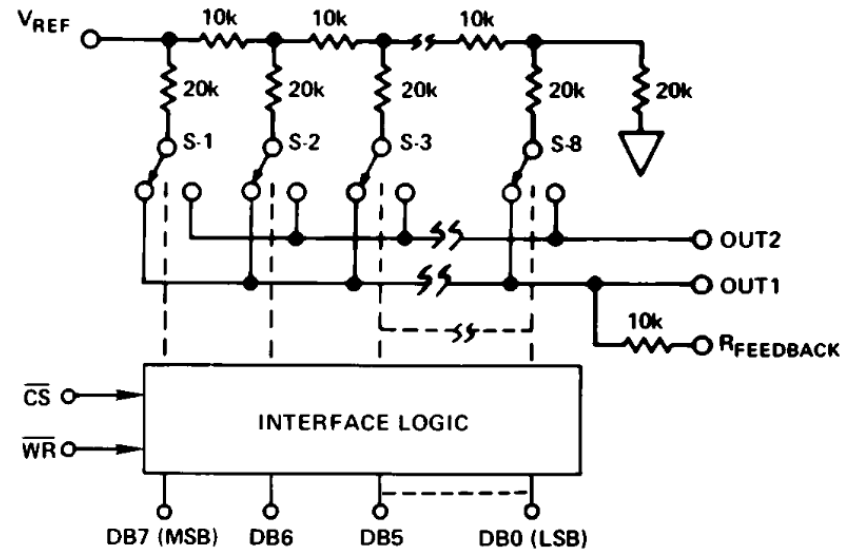
Ъгълът ρ с който компенсирате може да бъде и в аналогов вид – напрежение.

Трудности – преобразуване на аналогова величина в $\sin\rho$, аналогово умножение и др. И накрая аналоговата величина ρ трябва да се измери и подаде за индикация и обработка. . .

Ако ρ е в цифров вид стойността директно ще се предава към следващите блокове на системата за измерване и позициониране, по-лесно се получава $\sin\rho$, умножението на цифрова по аналогова величина е по-точно.

За умножение се ползват специална група ЦАП (умножителни). Всъщност всички ЦАП са умножителни защото $U_{\text{цап}} = U_{\text{ref}} \cdot N / 2^n$, т.е. опорното се умножава по числото записано в регистъра на ЦАП. За тези с напрежителен изход, обаче, U_{ref} трябва да е положително, а при умножителните ЦАП може да е двуполярно.

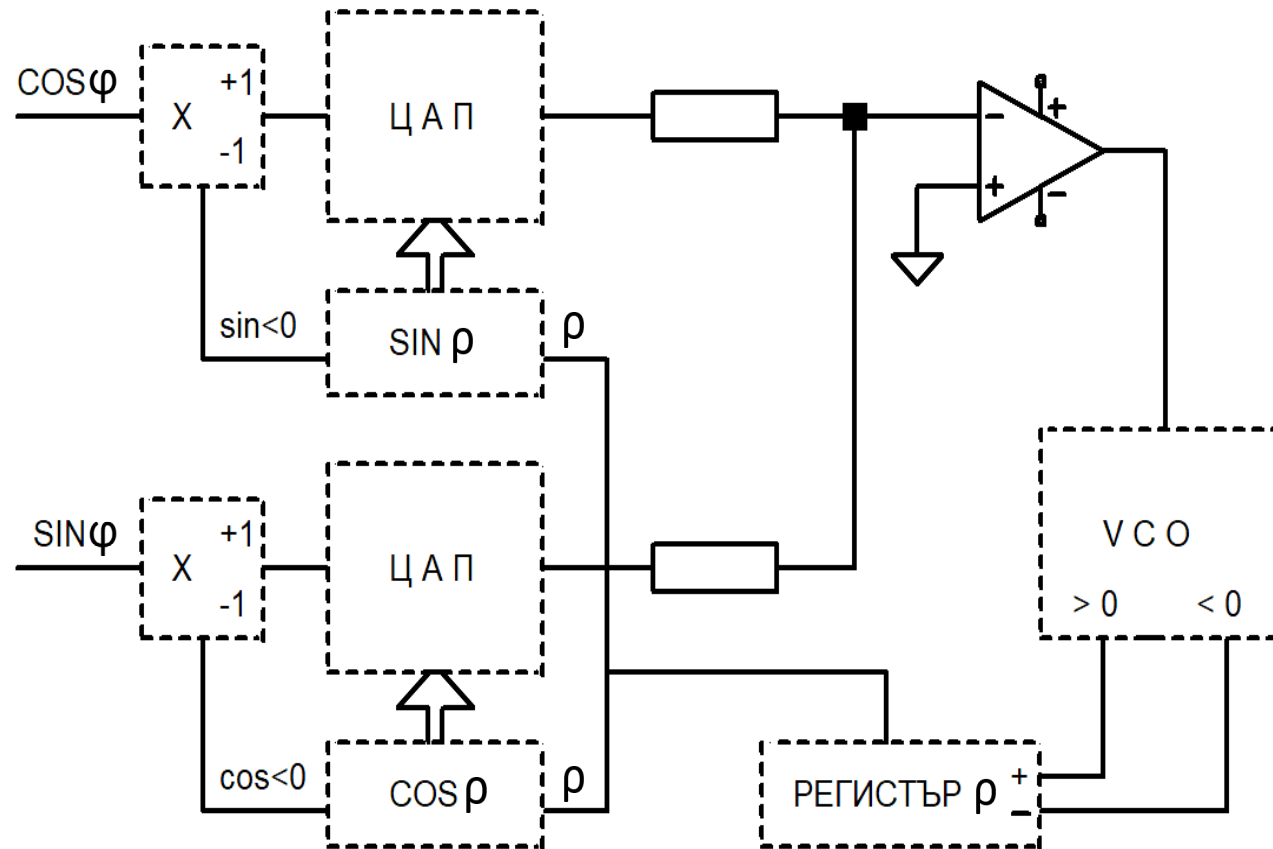
• Измерване на ъгли и обороти



Изходът на тези ЦАП е ток и за да работят правилно напрежението в изхода трябва да е около $0V$.

Формирането на изходния ток става с R-2R матрица. В ЦАП съотношенията между резисторите са много точни, за разлика от абсолютните стойности, които се влияят от температурата. Това означава, че изходният ток не може да се ползва директно, тъй като зависи от стойността на резисторите в матрицата. Ако се направи преобразувател ток – напрежение с резистор от същата матрица неточностите ще се компенсират. В ЦАП от този вид (умножителни) са предвидени такива резистори.

- Измерване на ъгли и обороти



Умножението се извършва в ЦАП, като $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ са аналогови, а $\sin \rho$ и $\cos \rho$ са цифрови. На ЦАП не може да се подават отрицателни числа. Когато $\sin \rho$ и $\cos \rho$ са отрицателни се обръща знакът на аналоговия сигнал. VCO е с два изхода. Когато входното напрежение е > 0

в единия изход се появяват импулси, при отрицателно – в другия.

- **Измерване на ъгли и обороти**

Методи за измерване на обороти:

- генериране на напрежение, електромагнитна индукция, тахогенератори;
- формиране на импулси, оптически, електромагнитни, ефект на Хол;
- с отместване на скалата, насрещен двигател;
- стробоскопичен ефект;

В повечето случаи сензорите са готови устройства и за да се ползват трябва да се познават параметрите им. Затова няма да се разглежда в детайли устройството на всички – само дотолкова, че да може да се ползват правилно и да се изберат подходящите методи и схемни решения.

- **Измерване на ъгли и обороти**

Тахогенератори (постояннотокови и променливотокови) – устройства които генерират напрежение пропорционално на скоростта на въртене. Често са вградени в двигателя който мерят.

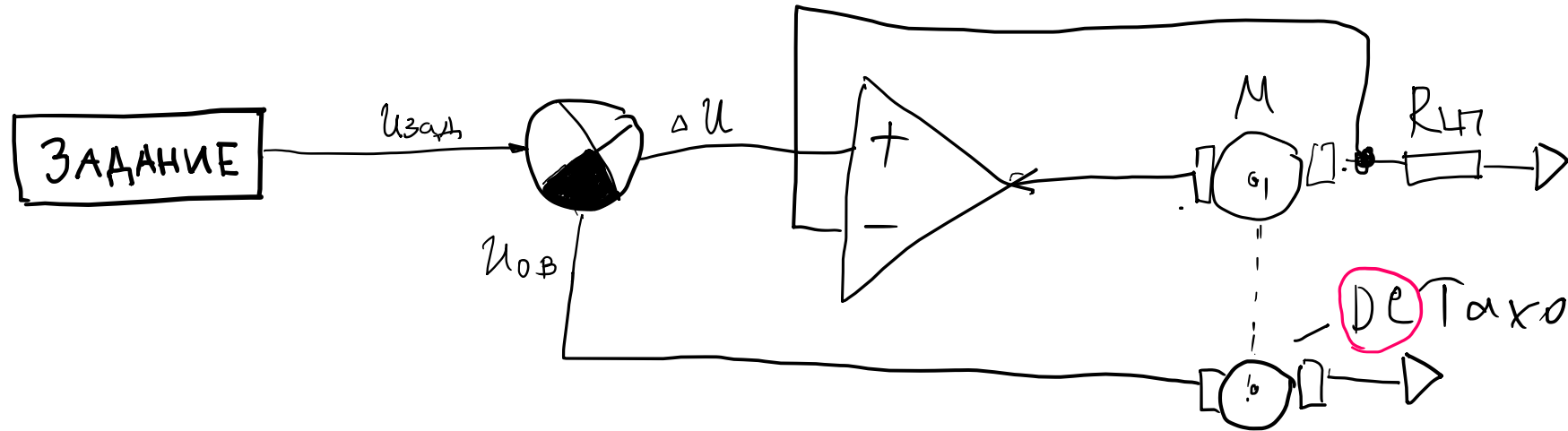
- Постояннотокови. Разликата (няма разлика) между постояннотоков тахогенератор, динамо и постояннотоков двигател е в предназначението. Принципът на работа е във взаимодействието между намотка (котва) и магнитно поле (магнит). **Имат колектор и четки.** Изходният сигнал е напрежение.

Предимства – дават и посоката на въртене, изходното напрежение може директно да се включи в схема на регулатор.

Недостатъци – шумове, износване на четки и колектор, слаб сигнал при ниски обороти.

- Регулиране на обороти

Пример на регулатор с постояннотоков тахогенератор.



Каква е структурната схема на този регулатор ?

- **Измерване на ъгли и обороти**

- Променливотокови. Изходното напрежение е променливо, но за измерване може да се ползва и честотата.

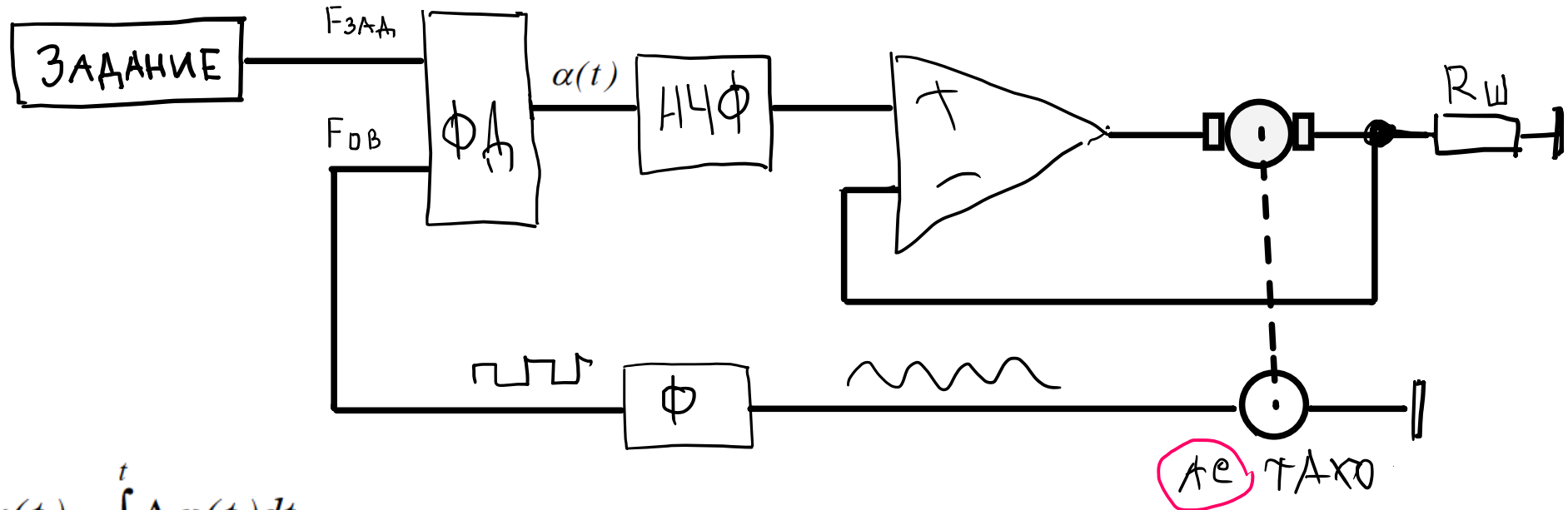
Напрежението което се генерира в намотката на постояннотоков генератор всъщност е променливо и се „изправя“ от колектора, който разменя двата края на намотката на всеки 180° . За да се избягнат четките се сменят местата на намотката и магнита, така конструкцията на променливотоков тахогенератор обикновено е постоянен магнит за ротор и намотка като статор.

Предимства – няма четки и е по-евтин.

Недостатъци – не може да се определи посоката на въртене, слаб сигнал при ниски обороти.

- Регулиране на обороти

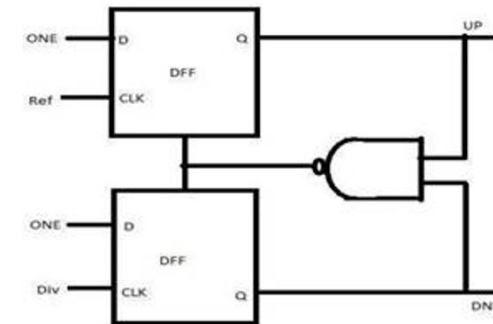
Пример на регулатор с променливотоков тахогенератор.



$$\alpha(t) = \int_0^t \Delta\omega(t) dt$$

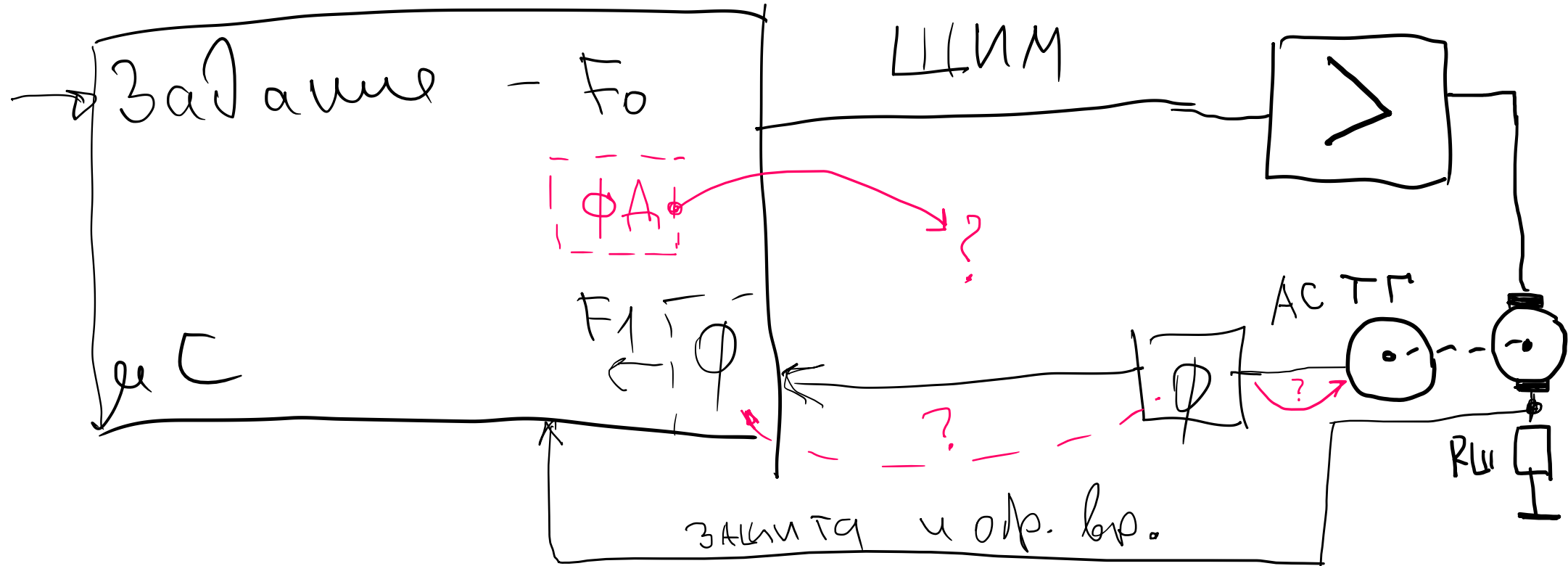
Структурна схема, статична или астатична?

Фазо-честотен детектор



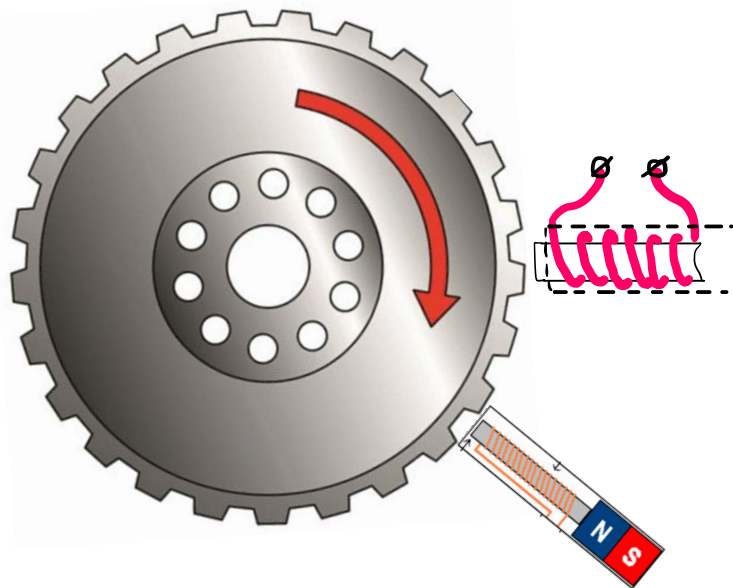
- Измерване на ъгли и обороти

Как би се реализирала тази структурна схема с микроконтролер?



- **Измерване на ъгли и обороти**

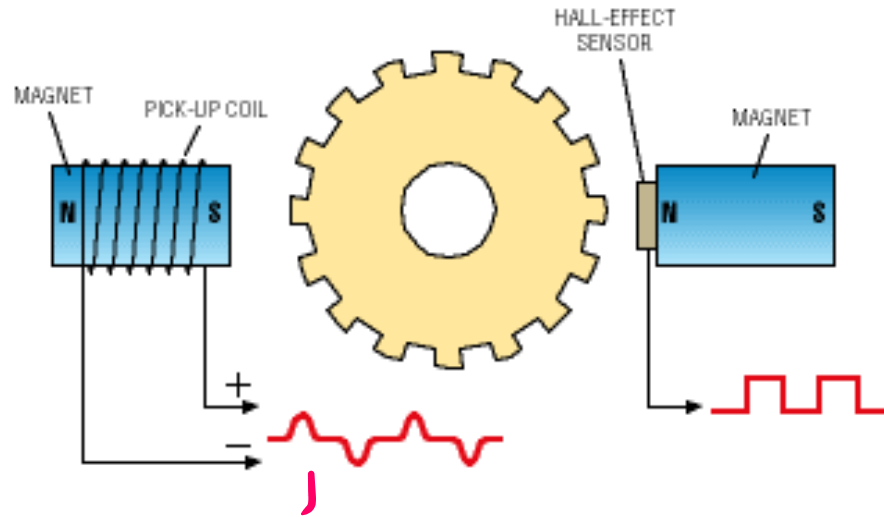
Методът включва зъбен гребен от феромагнитен материал (може да измерва и



линейно преместване). Ако зъбите са намагнитени последователно – N, S, N, S, ... в намотката срещу тях ще се индуцират импулси пропорционални на оборотите. Ако зъбите не са намагнитени намотката трябва да е върху магнит. И в двата случая амплитудата на получения сигнал ще зависи от скоростта на въртене. Независимо от конкретния

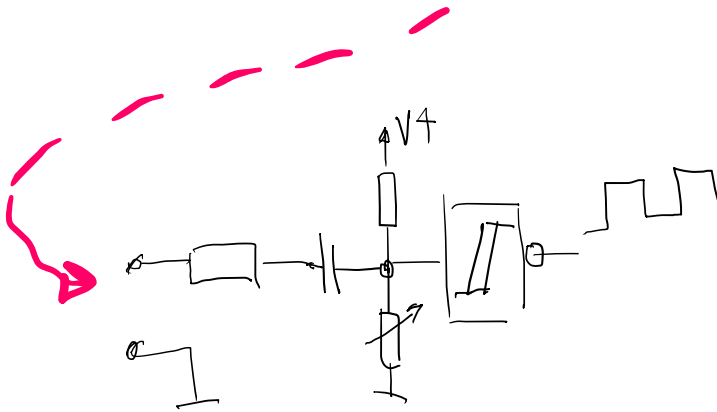
сензор сигналът от него се обработва като се формират правоъгълни импулси чиято честота е пропорционална на оборотите. Амплитудата на сигнала зависи от скоростта на въртене. При ниски обороти не може да се получат импулси.

- Измерване на ъгли и обороти



Импулсите от индуктивния датчик, които са двуполярни, се подават в средата на хистерезиса на формирателя. Така ще се увеличи около два пъти чувствителността и разшири обхватът към ниските обороти.

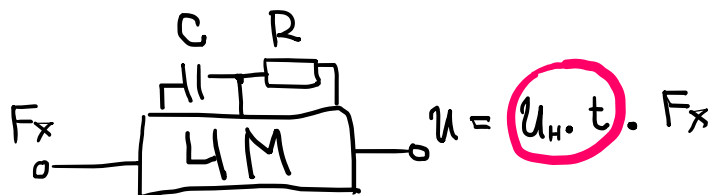
За по-ниски и дори нулеви обороти е по-добре да се ползват сензори с ефект на Хол или сензори с вихрови токове. Последните може да се ползват и с немагнитни, но проводими материали.



- **Измерване на ъгли и обороти**

От импулсите може да се измерят периода и честотата, да се изчислят всички параметри на движението. Обикновено получената честота е ниска и за по-голяма точност се мери период.

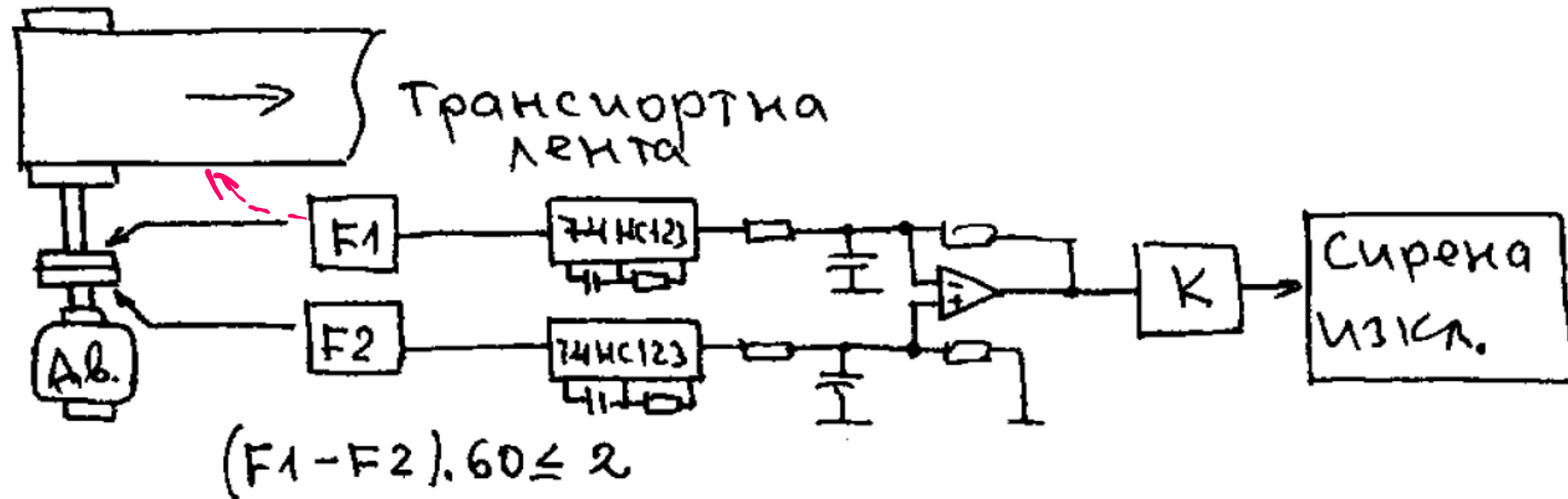
За прости приложения се използва преобразуване на честота в напрежение. Схемата включва чакащ мултивибратор и филтър. Средната стойност U в изхода на мултивибратора е $U_H \cdot t / T_x$ където t е продължителност на импулса на ЧМ, а T_x е периодът на входната честота, а U_H амплитудата на импулсите. Като се знае, че



$F_x = 1/T_x$ се получава линейна връзка между U и оборотите. Точността зависи от константата $U_H \cdot t - R, C$ и качествата на мултивибратора. При CMOS

U_H е равно на захранващото, но при стандартен TTL не е.

- Измерване на ъгли и обороти



Пример с използване на чакащи мултивибратори е показан на фигурата. Двигател, през съединител, движи транспортна лента. Ако транспортната лента се претовари съединителят буксува оборотите започват да се различават. При по-голяма разлика от зададената се сигнализира. Може да се спира двигателят. Двоен чакан мултивибратор преобразува F1 и F2 в напрежения които се сравняват. F1 може да се получава от лентата.

- **Измерване на ъгли и обороти**

Центробежен регулатор

Регулатор за постояннотоков двигател.

Постояннотоковият двигател е много добър за управление. Ако се подаде напрежение (DC) на двигателя той се завърта, ако се смени поляритета – ще се върти на обратно. А ако се завърти от друг двигател – ще генерира напрежение. Това означава, че когато го захраните той ще увеличава оборотите си докато подаденото напрежение и това което генерира двигателят се изравнят. И токът ще стане нула. . .? Само че има загуби и токът не става нула. Съпротивлението на котвата и падът в него не позволява двете напрежения да се изравнят, а значи и оборотите да не са като зададените с подаденото напрежение.

Ако напрежението с което се захранва двигателят се подаде от стабилизатор с **отрицателно изходно съпротивление** равно на това на котвата . . .

- **Измерване на ъгли и обороти**

За да се получи **отрицателно** изходно съпротивление трябва да се въведе **положителна** обратна връзка. Всяка система с положителна обратна връзка е склонна към нестабилност – може да започне да генерира (да се самовъзбужда). Затова трябва да се предвиди настройка на обратната връзка – отрицателното съпротивление да не достига съпротивлението на котвата.

Регулатори на обороти за електродомакински уреди и електроинструменти – миксери, бормашини и др.

- **Измерване на ъгли и обороти**

Управление на стъпкови двигатели.

- принцип на работа на стъпков двигател;
- двигатели с еднополярно или двуполярно управление;
- управление на стъпков двигател;
- захранване с повишено напрежение;
- многостъпков режим.