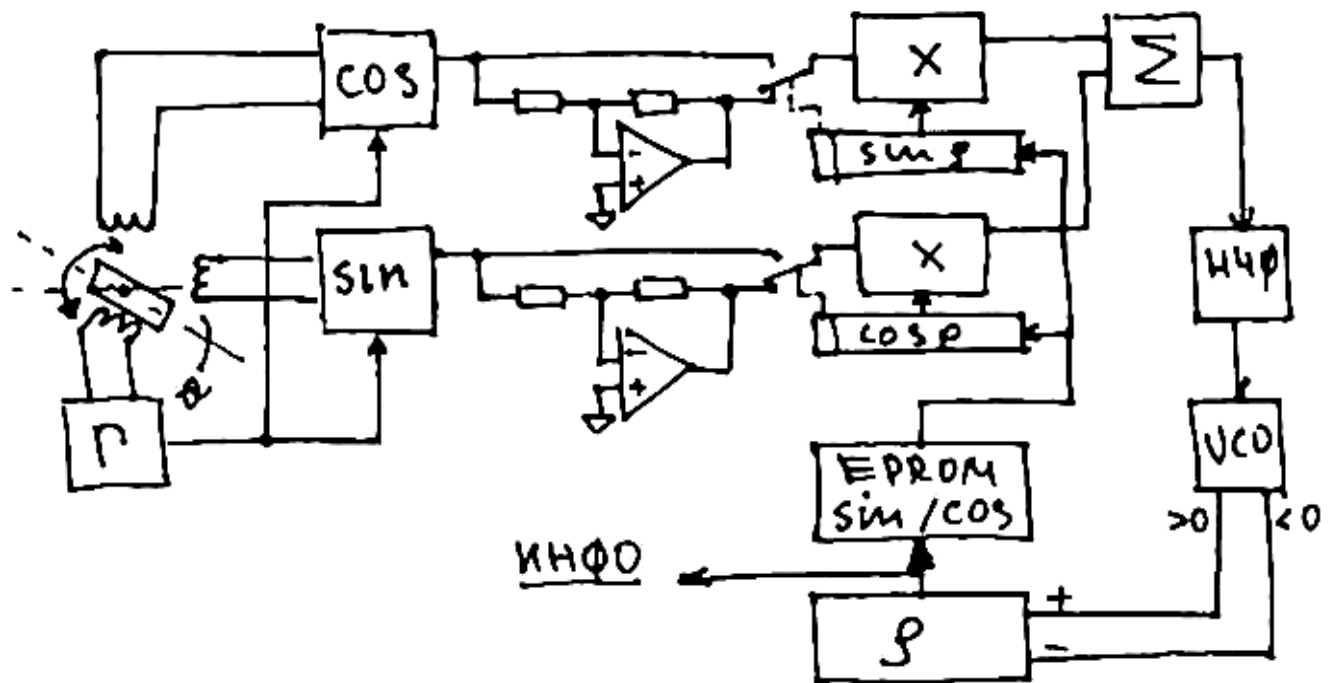


## Измерване на ъгли и обороти.

В промишлеността тези измервания се използват както при прецизните обработващи машини така и при роботизирани комплекси за точно определяне на местоположението (координатите) на изпълнителни механизми. Много често линейното движение се преобразува във въртливо. Така сензорите стават по-компактни. Пример за такова приложение са фоторастерните преобразуватели разглеждани по-горе – линейното преместване на принтери, плотери, различни машини се измерва като въртливо на фотомаската изпълнена като диск и поставена да двигателя или на винт, ремък чрез които се реализира движението.

В промишлеността се използват и специални сензори за измерване на ъгли (обороти) – **резолвери**. Поради по-голямата им механична здравина в някои случаи те са за предпочитане. Резолверът представлява електромеханично устройство оформено като двигател с три намотки – две статорни и една роторна. Всъщност това е “въртящ” се трансформатор на който първичната намотка се върти спрямо вторичните. Амплитудата на индуцираното напрежение от ротора в статорните (вторични) намотки зависи от ъгъла между ротора и статора. Конструктивно двете вторични намотки са така разположени, че когато индуцираното напрежение в едната е максимално в другата е минимално и се променя като функциите  $\cos$  и  $\sin$ . Затова и двете намотки се наричат косинусова и синусова.

На фигурата е показано примерно решение на измерител на ъгли (обороти) с резолвер. На изходите на блокове **SIN** и **COS** се получава постоянно (ако роторът не се върти) напрежение, функция на ъгъла между ротора и статора. То се получава със синхронен изправител за да се отчете и фазата –  $\sin$  и  $\cos$  се променят от -1 до +1.



Като ползваме формулата от тригонометрията  $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$  и сигнала от **синусовата** намотка умножим по **косинуса** от ъгъл  $\rho$ , а този от **косинусовата** по **синуса** от същия ъгъл и извадим двата резултата, на изхода на суматора  $\Sigma$  ще получим синус от разликата между двата ъгъла (единият е между ротора и статора  $\alpha$ , а другия  $\rho$ ).

Като променяме ъгъла  $\rho$ , резултат нула ще се получи само при равенство на двата ъгъла  $\sin(0)$ . Тогава ъгъл  $\rho$ , ще е равен на ъгъла между ротора и статора.

Схемата по-горе изпълнява тази задача – след умноженията и сумирането сигналът управлява VCO (генератор управляван от напрежение). От изходите на този генератор се подават

импулси към реверсивен брояч. Когато на изхода на суматора напрежението стане нула импулсите спират, а в реверсивния брояч е стойността на търсения ъгъл.

В схемата, след синхронните изправители, в блокове SIN и COS, за умножители се ползват ЦАП. Стойностите за  $\sin$  и  $\cos$  се намират в EPROM (като таблици). Тъй като тези ЦАП не могат да умножават по отрицателно число (а  $\sin$  и  $\cos$  се изменят от -1 до 1), когато  $\sin$  или  $\cos$  е отрицателно число, на цифровия вход се подава абсолютната стойност но се сменя поляритетът на входния сигнал – с инвертиращ ОУ. Блокът за умножение X освен ЦАП включва и операционен усилвател (ОУ не е показан на схемата). Характерно за тези ЦАП е сравнително лошия (голям) температурен коефициент на резисторите от R-2R матрицата. Затова на кристала на матрицата се изработват допълнително резистори които се използват в обратните връзки на ОУ. Те имат същия температурен коефициент като R-2R матрицата и така се компенсират температурните грешки.

Резолверите и фоторастерните преобразуватели са със сравнително висока точност. Освен тях за измерване на ъгли и обороти се използват и по-прости устройства, със съответно по-малка точност (до няколко процента). Повечето от тях всъщност измерват само обороти, т.е не могат да установяват местоположение (ъгъл). Сензорите за такива цели работят на няколко принципа:

**-Тахогенератори:** това са електрически генератори с постояннотоков или променливотоков изход. Постояннотоковите са с четки и колектор (динамо) и дават изходно напрежение което е пропорционално на оборотите. Техни недостатъци са електрическите смущения които се предизвикват от работата на четките, износването на колектора и четките, ниското ниво на сигнала при малки обороти.

Променливотоковите са по-евтини. Изходното им напрежение е с честота и амплитуда пропорционални на оборотите. Те нямат проблемите предизвиквани от наличието на колектор и четки. Ако се използват с обикновен изправител те имат по-лоша чувствителност при ниски обороти (малък сигнал). По-добър резултат се получава когато те се използват като източник на честота пропорционална на оборотите. И при тях измерването на ниски обороти е затруднено поради малката амплитуда на сигнала.

**-Импулсни сензори:** така може да се обобщят всички сензори които генерират честота пропорционална на оборотите. Оптическите използват различни растери (маркери) нанесени върху въртящия се обект или дискове с прорези и др. Общото е, че имат излъчвател и фотоприемник който работи на отражение или директно. В изхода се получава честота пропорционална на броя на дупките (марките) за едно завъртане и на оборотите. При по-ниски обороти, за по-голяма чувствителност се използват дискове с повече прорези (дупки).

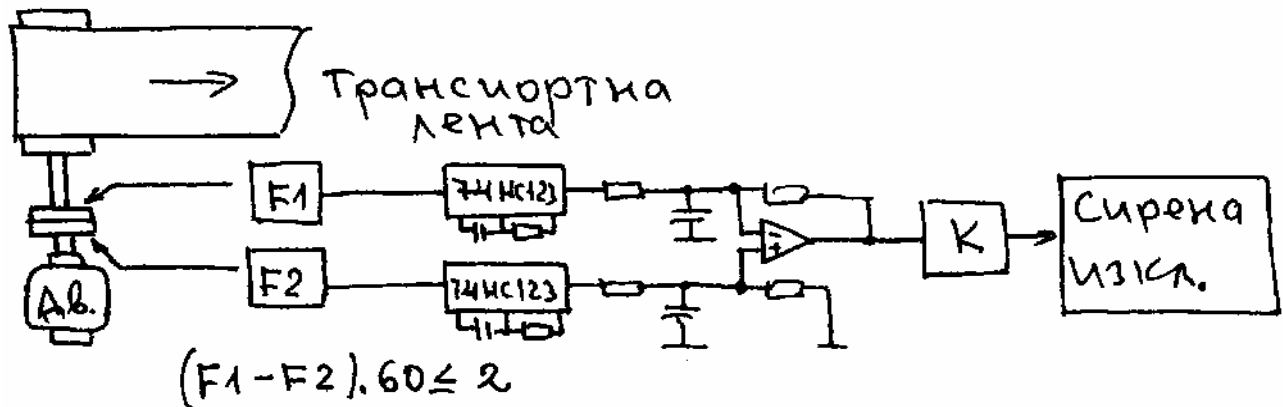
Индуктивните сензори ползват постоянен магнит който преминава покрай намотка или датчик на Хол. Предимство на сензорите с намотка (от генераторен тип) е, че изходният сигнал е с достатъчна амплитуда и не се налага допълнителна обработка. Освен това механично те са по-здрави. Проблем са ниските обороти защото амплитудата на сигнала зависи от оборотите. Преобразувателите на Хол изискват допълнително захранване и отделен преобразувател. За сметка на това изходният им сигнал не зависи от оборотите и те могат да се използват при много ниски обороти (вкл. 0).

Когато импулсни сензори ще се използват при измерване на обороти, които се променят в широки граници (вкл. 0), се препоръчват оптически или сензори на Хол, когато измененията не са големи – индуктивни от генераторен тип. Последните се различават от тахогенераторите по това, че при тях **не са гарантира** пропорционалност между генерираното напрежение и оборотите.

Интересен метод се ползва за измерване на много ниски обороти, вкл. и 0. Сензорът се разполага на двигател (напр. синхронен) който се върти с точно определени обороти. Измерените обороти ще са сума от неизвестните обороти и стандартните  $N_{st}$ . Ако неизвестните обороти са 0 ще се получи резултат  $N_{st}$ . Честотата ще е достатъчно висока и може да се измери с висока точност.

Сигналите от преобразувателите за ъгли и обороти може да се използват директно за измерване на обороти или като обратни връзки в различни системи за регулиране. За работа в

аналогови системи най-удобни са постояннотоковите тахогенератори – те директно дават сигнал за сравнение. Използват се в по-стари системи. В по-новите се предпочита използването на повечините импулсни сензори или променливотоковите тахогенератори, като сигналът от тях се преобразува (честота-напрежение) в постояннотоков. При използване на цифрови системи (микроконтролери) честотата от сензорите директно се ползва като информация за оборотите.



Пример за типично приложение на прост измерител с преобразуване F-U е даден на фигурата по-горе. Използва се за контрол на работата на транспортна лента. При претоварване на лентата съединителят може да започва да приплъзва.

Има два сензора на обороти от двете страни на съединителя които дават импулси с честота пропорционална на оборотите. Когато оборотите от двете страни на съединителя се различават с повече от 2 (в минута) се задейства система за предупреждение и аварийно изключване.

Всеки един от двата преобразуватели на честота в напрежение е изпълнен с чакан мултивибратор 74HC123 (в един корпус са два). Точността на преобразуване се определя от амплитудата и продължителност на импулсите. Средната стойност на напрежението на изхода на всеки мултивибратор е  $U_o = (V_{cc} \cdot t) / T$ . За схеми от сериите HC и HCT може да се приеме, че амплитудата на импулса е равна на захранващото напрежение  $V_c$ . Продължителността на импулса е  $t$  и зависи от RC групата. Ако  $V_c$  и  $RC$  не се променят, изходното напрежение ще е пропорционално на  $1/T$  т.е на честотата. Точността на преобразуване зависи от  $V_c$ ,  $R$  и  $C$ .

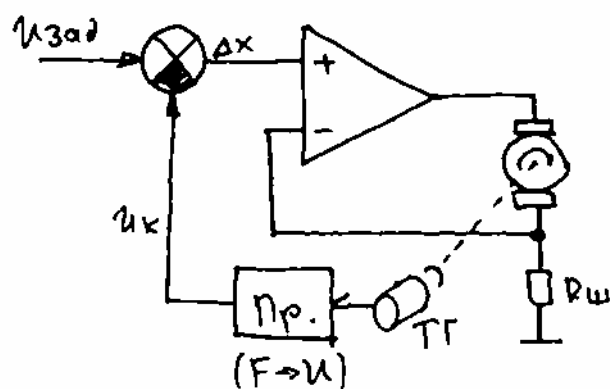
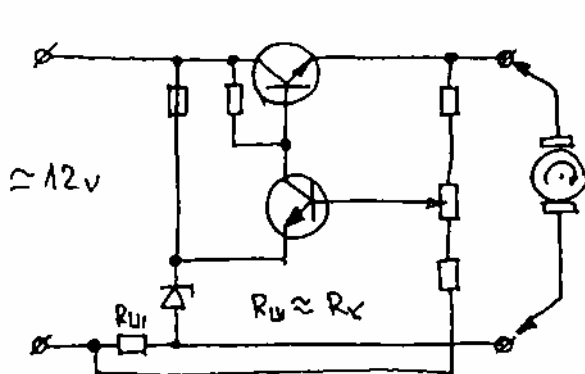
Двете изходни напрежения, след филтриране се сравняват в компаратор.

По-съвременно изпълнение би могло да се направи с контролер който измерва двете честоти ( $F1$ ,  $F2$ ) и взема решение за сигнализация и евентуално спиране на лентата.

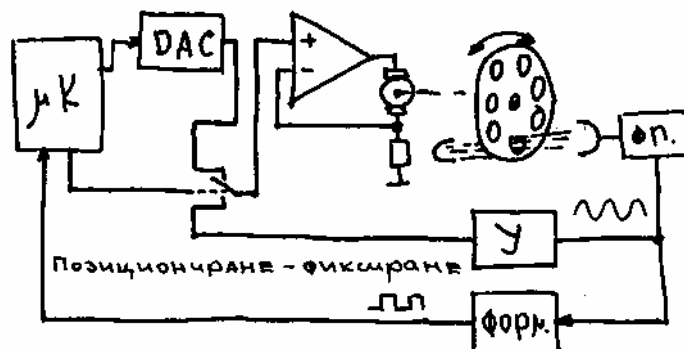
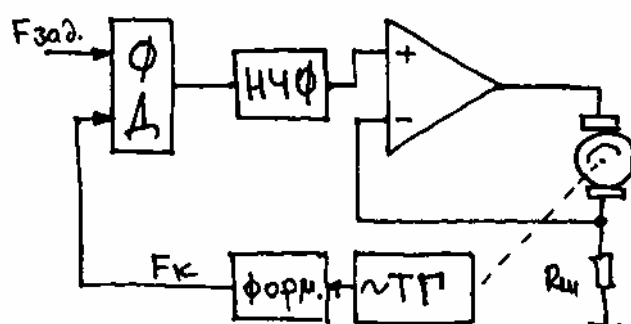
### Регулиране на обороти – примери:

Примери на прости регулатори са дадени по-долу. Най-лесен за управление е постояннотоковият двигател – той се върти с обороти пропорционални на подаденото напрежение. При натоварване, поради увеличения консумиран ток, подаваното напрежение спада вследствие на напрежителния пад в намотката му (котва). Ако регулаторът на напрежение с което се управлява двигателят има отрицателно изходно съпротивление, равно по абсолютна стойност на съпротивлението на котвата оборотите ще са стабилни независимо от натоварването. Отрицателното съпротивление може да предизвика самовъзбуждане (генерации) на регулатора. За да не става това обикновено не се прави пълна компенсация на съпротивлението на котвата.

На схемата по-долу, вляво е показана такава схема. Отрицателното съпротивление се получава от положителната обратна връзка през  $R_{sh}$ . Когато е необходима по-голяма точност се използват схеми с обратна връзка. На фигурата вдясно е показано как се използва постояннотоков тахогенератор. В този случай регулаторът е със статична характеристика – в установен режим винаги остава грешка в оборотите  $\Delta X$  необходима за да се поддържат оборотите. Освен това е въведена и обратна връзка по тока на двигателя – така се получава по-плавно управление и двигателят се предпазва от размагнитване (повреда) на постоянните магнити.



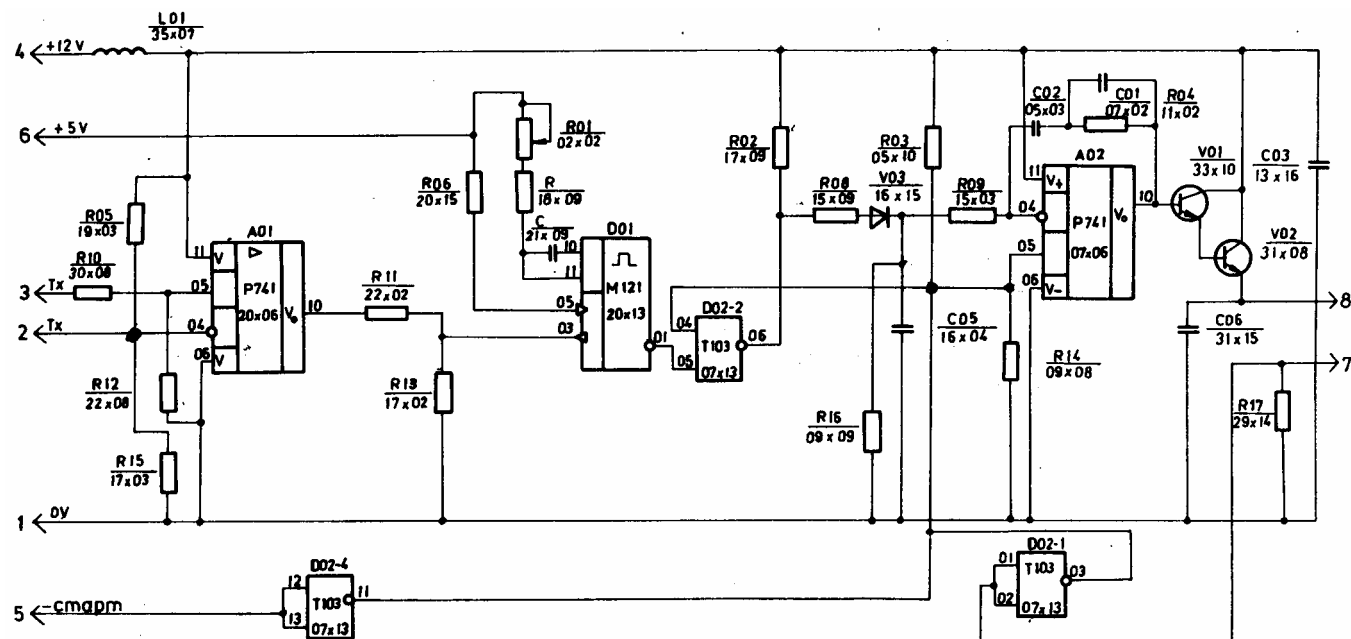
При използване на променливотокови тахогенератори по-просто е управлението да не минава през междинно преобразуване в напрежение. На фигурата по-долу е показана схема на регулатор в която оборотите се задават с честота, обратната връзка е с променливотоков тахогенератор (импулсен сензор), а сравнението се извършва с фазов детектор. Използването на фазов детектор внася интегриращо звено в структурната схема. По този начин регулаторът става с астатична характеристика, т.е. теоретично няма грешка между зададените и получени обороти. На същата фигура е показана по-сложна схема на регулатор. Той служи за позициониране, като алгоритъмът на работа включва преместване между две точки и удържане в избраното положение. Позиционирането е разделено на две части – преместване и фиксиране. Преместването се отчита с импулсен сензор. При достигане на зададеното положение се включва аналогова следяща система която държи двигателя неподвижен. Обратната връзка поддържа фотоприемника полу-осветен,



като и най-малкото движение променя фототока, при което се изработва компенсиращ сигнал и се възстановява зададеното положение.

На следващата фигура е показана електрическата схема на регулатор на обороти за постояннотоков двигател. Сензор е променливотоков тахогенератор – намотка покрай която преминава магнит. Честотата на генерираното напрежение е пропорционална на оборотите.

Сигналът от тахогенератора се формира от А01(ОУ 741), който е включен като компаратор. Схемата работи като преобразувател честота-напрежение. Точността на задаване на оборотите зависи от ЧМ 74121. Този мултивибратор има много добри параметри по отношение на стабилността на генерирания импулс. За да се получи и стабилна амплитуда сигналът от изхода на чакащия мултивибратор преминава през схема с отворен колектор 7403. Така амплитудата се определя от захранващото напрежение 12V. Средната стойност получена върху кондензатора С05, която е пропорционална на оборотите се сравнява с напрежението на делителя R03, R14. Сравнението се извършва от операционен усилвател А02 – 741, който чрез транзисторите V01, V02



К 53.089.003.201		
НМГМД ИЗОТ 5050 Е, ЕС 5088	ЛИСТ	ВС. ЛИСТОВ
РЕГУЛЯТОР /РЕГП/	1	1
СХЕМА ПРИНЦИПИАЛНА		

управлява двигателя свързан към изводи 7 и 8. Предимство на схемата е, че точността на работа не зависи от стабилността на напрежението 12V. Това е така защото и двете напрежения (пропорционалното на оборотите и зададеното с R01,R14) се получават от 12V, а ОУ следи двете да са равни независимо каква е стойността им. Ако двата резистора са равни на единия вход на ОУ ще има  $\frac{1}{2}$  от 12V и регулаторът ще работи така, че коефициентът на запълване в изхода на чакащия мултивибратор да е  $\frac{1}{2}$ . В схемата, посредством R17, е въведена защита по ток – когато токът достигне определена стойност (1,5V) логическият елемент D02-1 се задейства и намалява задаващото напрежение на входа на ОУ, като не позволява по-нататъшно увеличаване на тока.

Когато се налага измерване на много ниски обороти, вкл. 0, стандартните прости решения са неприложими. Трябва да се използват фоторастерни преобразуватели или резолвери. Тогава се изисква много сложна управляваща (микроконтролерна) система. Има по-просто решение, както бе споменато по-горе, като се използва еталонен двигател. Тогава оборотите се измерват не спрямо неподвижната основа, а спрямо еталонния двигател. Така, ако еталонният двигател се върти с 2000 оборота, а се измерят 2000,1 или 1999,9 това означава, че измервания двигател се върти с 0,1 оборота в едната или в другата посока.

В този случай има проблем с предаването на захранване и информация между движещи се части. Този въпрос е разгледан в – eusku01.pdf.

### Управление на стъпкови двигатели:

Стъпковите двигатели като изпълнителни механизми имат едно голямо предимство – не е нужен сензор за определяне на местоположението им. Те имат две или повече намотки, като изпълняват стъпка (завъртане на определен ъгъл) при промяна на тока в коя да е намотка. Промяната става с превключване на напрежението към намотките. При по-малка промяна на номиналната стойност на напрежението може да се изпълняват микро-стъпки което позволява по-плавно управление, но с по-малък въртящ момент.

За да се получи по-голямо бързодействие на стъпковите двигатели се прилага краткотрайно повишаване на напрежението в момента на превключване (при завъртането трябва да се свърши повече работа и е необходима по-голяма енергия), а през другото време се подава номиналното напрежение което е необходимо за удържане на положението на двигателя. Това значително

увеличава скоростта на работа на двигателя, особено при старт/стопен режим, например при принтери.

Значително по-голямо увеличаване на скоростта на стъпковите двигатели се получава като се следи реакцията на намотката която се превключва. Задният фронт дава информация дали дадена стъпка е изпълнена или не. Така без да се използва сензор се следи въртенето на двигателя. По-голямото бързодействие се дължи на това, че при изчисление на скоростта при “класическото” управление се вземат предвид най-тежките условия на работа – промени на захранването, съпротивление на обекта, сгъстяване на смазката и др. Това е задължително за да не се получават грешки. Когато обаче се отчете дали стъпката е изпълнена, може да се работи със средно натоварване, а ако възникнат грешки, които след това се коригират с повторение на стъпката. Доколкото реалните условия са значително по-благоприятни и скоростта се увеличава.

**Въпроси:**

1. Какво представлява тахогенераторът? Видове.
2. Какъв е изходният сигнал от тахогенераторите?
3. Какво представлява резолверът?
4. Начертайте блокова схема на преобразувател за резолвер.
5. Какво представлява блокът с който се преобразува сигнала от SIN намотка?
6. Какво представлява умножителят в преобразувателя за резолвер?
7. Кога се използват сензори на Хол и кога индуктивни сензори?
8. От какво се определя точността при измерване с преобразуване  $f \rightarrow U$ ?
9. Как се увеличава бързодействието на стъпкови двигатели?
10. Как се измерват много ниски обороти?