

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Въртящият трансформатор (резолвер) е датчик за преместване или преобразувател, който измерва моментното ъглово положение на въртящия се вал, към който е прикрепен. При този преобразувател стойността на коефициента на взаимна индукция се променя вследствие на промяната на взаимното разположение на роторната и статорната намотки.

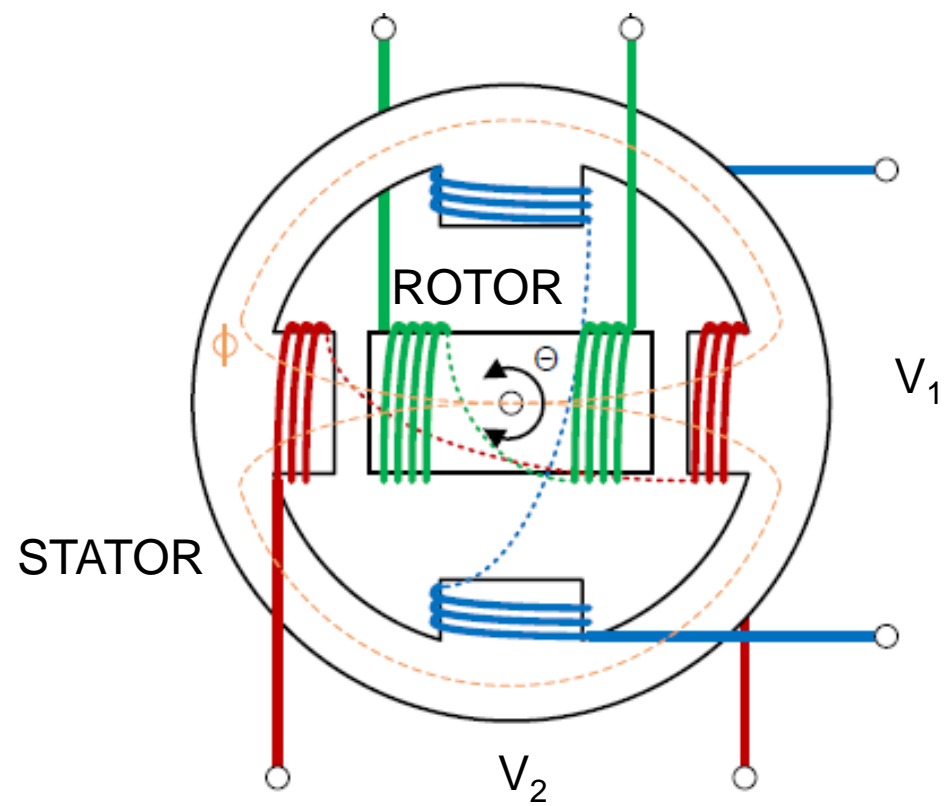
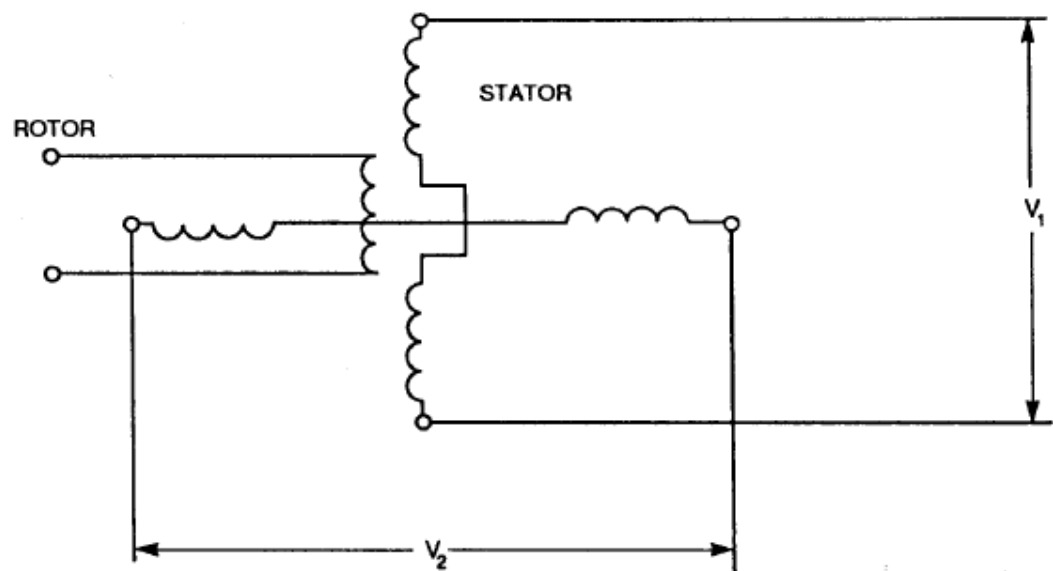
Думата резолвер, която е общ термин за такива устройства, произлиза от факта, че най-основното им предназначение е за разлагане на механичния ъгъл на ротора им на неговите правоъгълни (декартови X и Y) компоненти.

По принцип всички резолвери генерират сигнали, пропорционални на синуса и косинуса на ъгъла на завъртане на техния ротор.

Тъй като всеки ъгъл има уникална комбинация от стойности на синус и косинус, резолверът предоставя абсолютна информация за положението в рамките на един оборот (360°) на ротора си. Тази абсолютна (за разлика от инкременталната) стойност на позицията е едно от основните предимства на резолверите пред инкременталните енкодери.

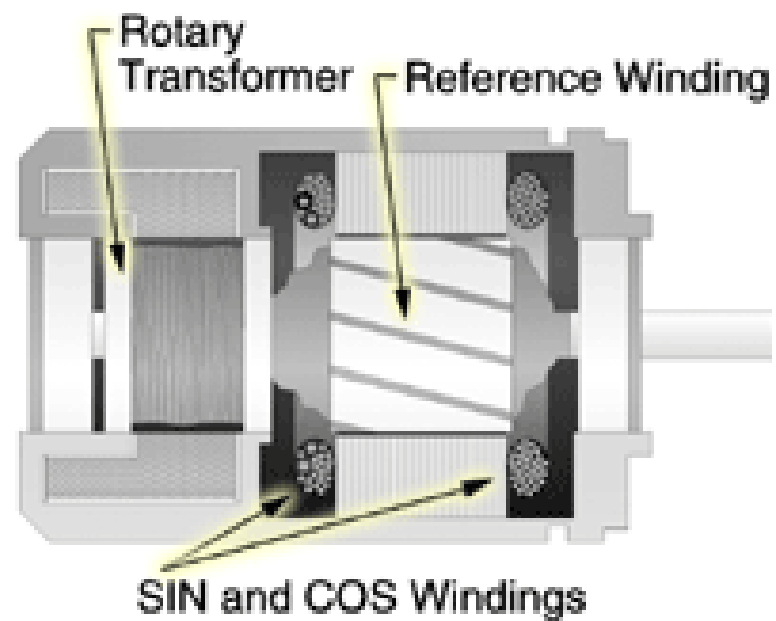
ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Въртящ трансформатор с една първична намотка и две вторични намотки



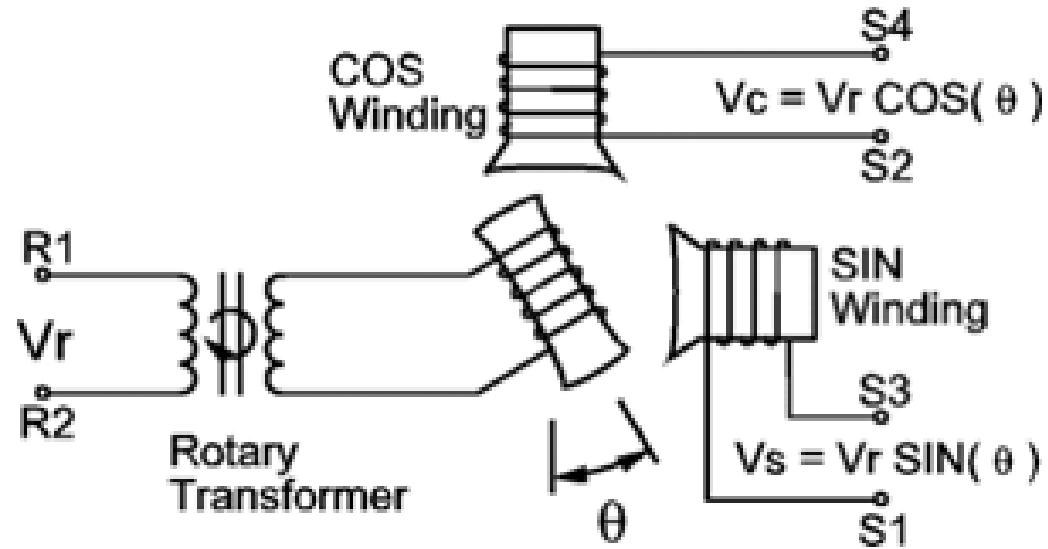
ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Въртящ трансформатор с една първична намотка и две вторични намотки



ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Въртящ трансформатор с една първична намотка и две вторични намотки



ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

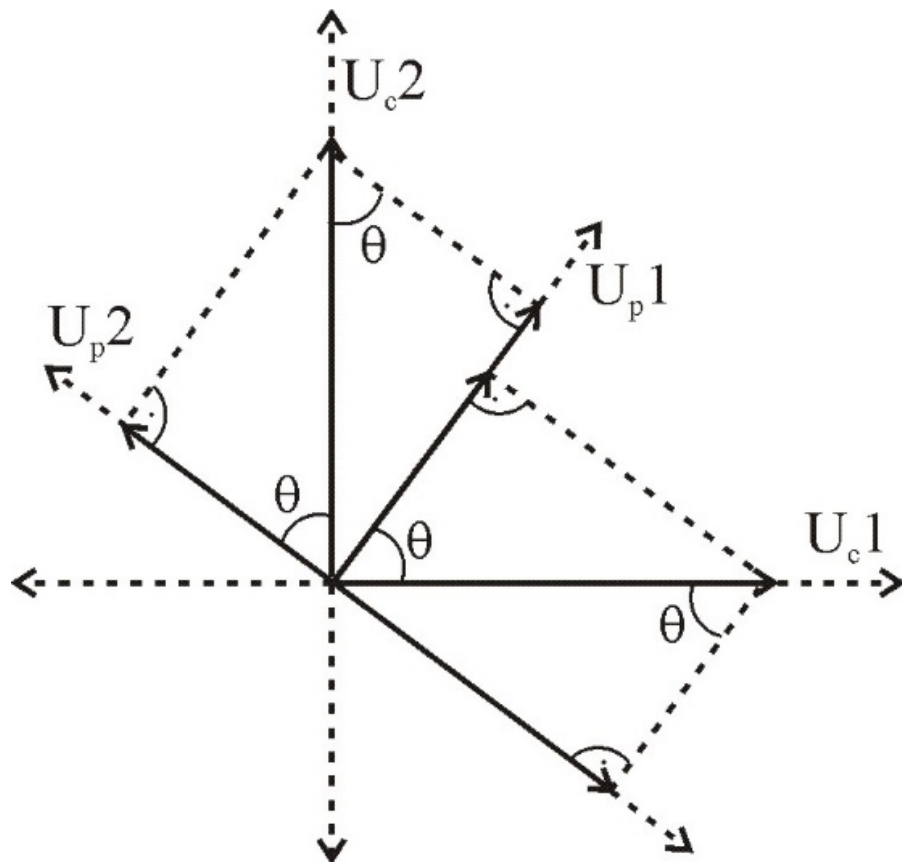
Индуктивните енкодери са проектирани именно за преодоляване на трудностите при инсталиране на резолверите. Вместо конвенционални намотки при тях има плоски елементи, литографски нанесени върху печатна платка. И трите намотки са на една и съща печатна платка и са монтирани към статора. Проводим диск, монтиран към ротора или вала, възбужда бобините.

Сред предимствата на този тип енкодери е много високата им резолюция. Те са устойчиви на замърсяване, попадане на течности, екстремни температури, удар и вибрации. По-лесни са за използване от резолверите и са по-компактни, особено т. нар. вихрови конструкции, които използват тънък филм без желязо.

Индуктивните преобразуватели имат и някои недостатъци. Въпреки че индукторите са здрави, проводимите дискове крият потенциални проблеми. Правилният избор на материал за диска е от съществено значение. В приложения с екстремни температури не е препоръчително да се използват дискове от меко желязо. Железните или феритни носещи материали могат да се използват при високомагнитни полета, но обикновено изискват защитно екраниране. Индуктивните енкодери са най-подходящи за приложения, при които е налице комбинация от агресивни условия на средата и изисквания за висока резолюция и прецизност.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Въртящ трансформатор с по две двойки полюси



Изходното напрежение на въртящия трансформатор се изменя с един период за изминаване на един оборот на входящия вал. С увеличаване на двойките полюси се увеличава чувствителността.

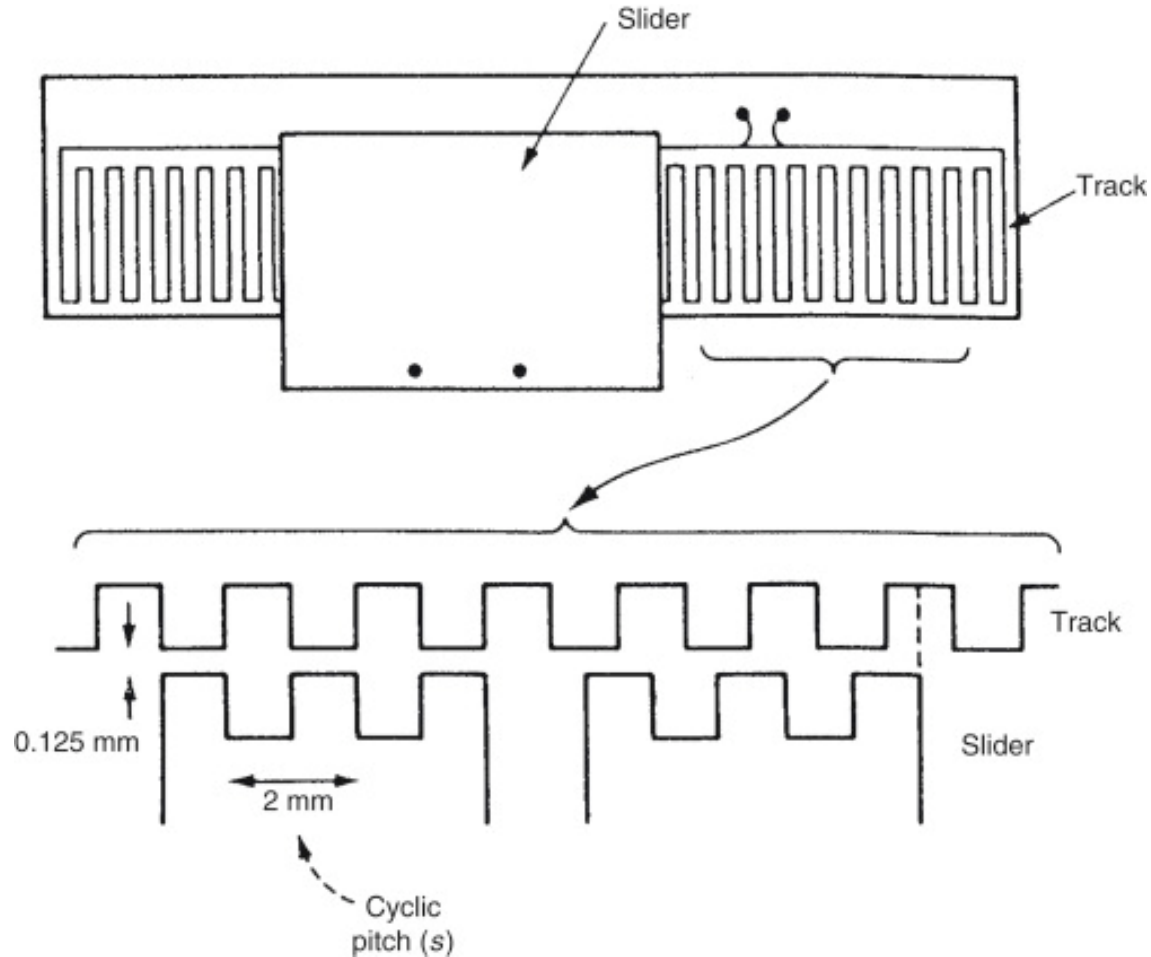
В случая статорните намотки се захранват с променливо напрежение, а в роторните намотки се индуцира напрежение в зависимост от ъгъла на завъртане θ .

$$u_{p1} = u_{c1} \cos\theta + u_{c2} \sin\theta$$

$$u_{p2} = -u_{c1} \sin\theta + u_{c2} \cos\theta$$

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

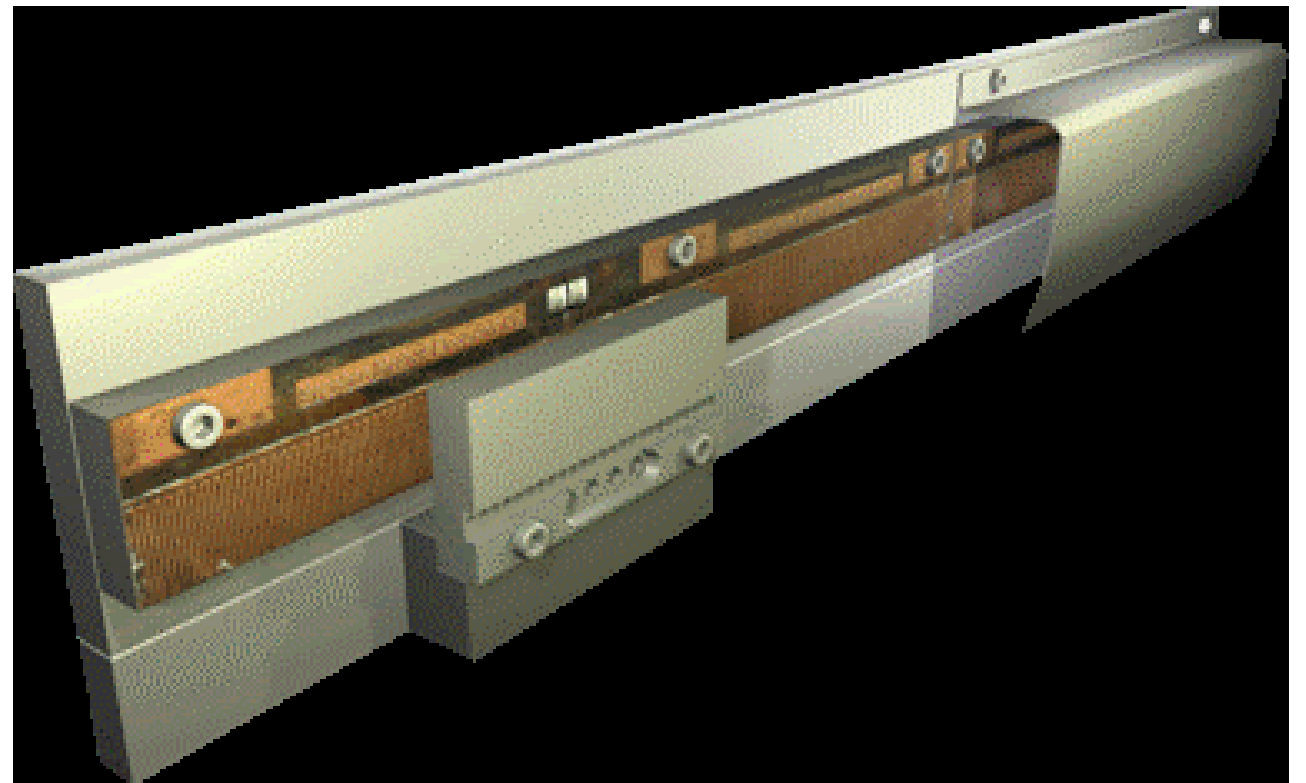
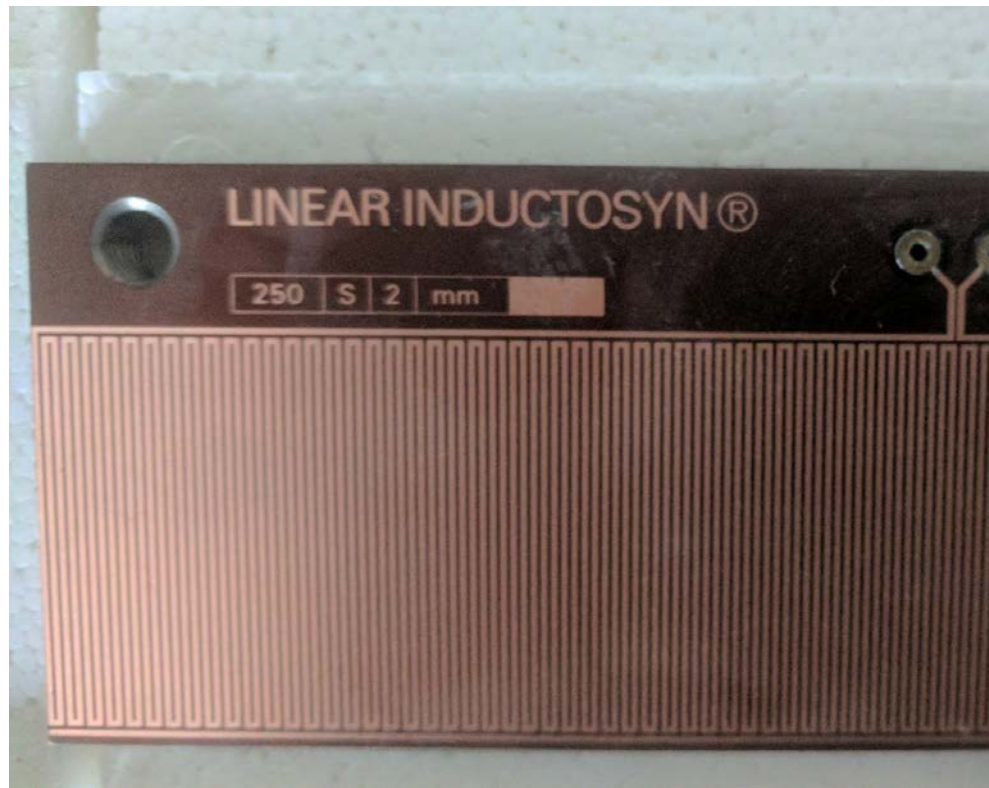
Индуктосин



Друг тип трансформаторни преобразуватели на преместване са индуктосините, които биват линейни и кръгови. Състоят се от неподвижна част (статор) – рейка и подвижна част – плъзгач. Те са изработени от немагнитен материал, върху който са нанесени печатни проводници. Върху рейката е нанесена една намотка със стъпка 2 mm, а върху плъзгача – две. Стъпката на проводниците на плъзгача е същата, но двете намотки а отместени една спрямо друга на $\frac{1}{4}$ от стъпката. Разстоянието между плъзгача и рейката е 0,1-0,2 mm. Обикновено линейките имат дължина 250 mm и могат да се наставят.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Индуктосин



ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

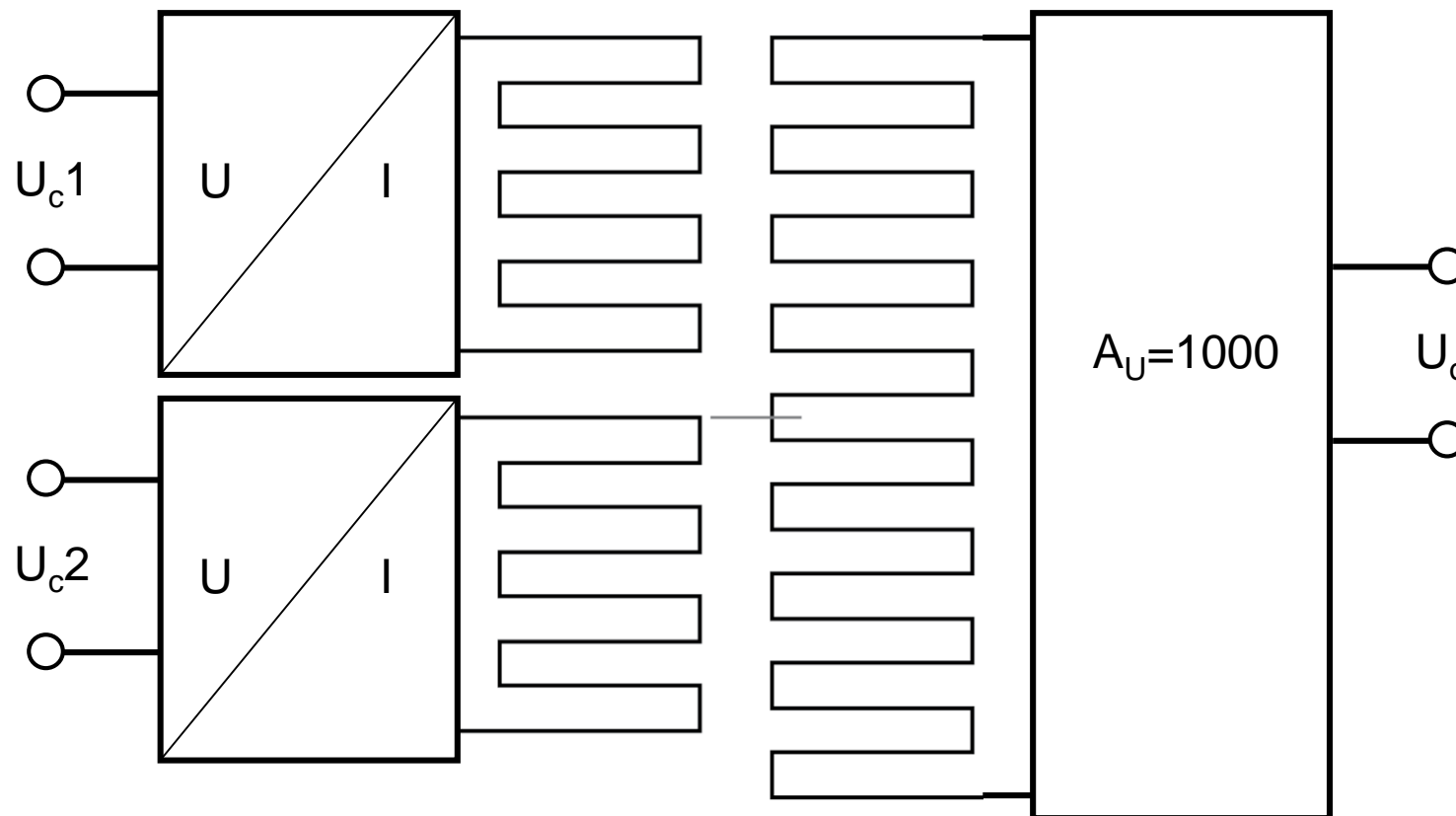
Индуктосин

Захранването на индуктосина може да бъде подадено както към рейката, така и към плъзгача. Активното съпротивление на намотките на индуктосина е малко ($1-8\Omega$), а тяхната индуктивност също не е голяма. Затова те се захранват с ток с честота от 2 до 20kHz, най-често 10kHz като се използват преобразуватели напрежение-ток (U-I). Тъй като коефициентът на трансформация е много малък, индуцираното във вторичната намотка напрежение е около 1000 пъти по-малко от входното и е в границите от 1 до 10 mV. За усилване на изходното напрежение се поставя променливотоков усилвател с коефициент на усилване 1000.

При този начин на захранване и на снемане на изходното напрежение на индуктосина са валидни всички режими на работа на въртящия трансформатор.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Индуктосин



Индуктосин - захранване

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режими на работа

Измервателните преобразуватели от типа на въртящия трансформатор имат два вида режими на работа – фазови и амплитудни.

При фазовите режими статорните намотки се захранват с две синусоидални напрежения с една и съща амплитуда и честота, които са дефазирани на 90° . Тези режими са фазоиндикаторен режим и режим на фазовите разлики. При тях се генерира въртящо магнитно поле.

При амплитудните режими се генерира пулсиращо магнитно поле. При тях статорните намотки се захранват с променливо напрежение с една и съща честота и фаза, а амплитудата им се управлява. Тези режими на работа са режим на амплитудните разлики и амплитудноиндикаторен режим.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Фазоиндикаторен режим

При този режим двете статорни намотки се захранват със синусоидални напрежения с една и съща честота и амплитуда и отместени на 90° по фаза:

$$\begin{aligned}u_{c1} &= E_m \sin \omega t \\ u_{c2} &= E_m \cos \omega t\end{aligned}$$

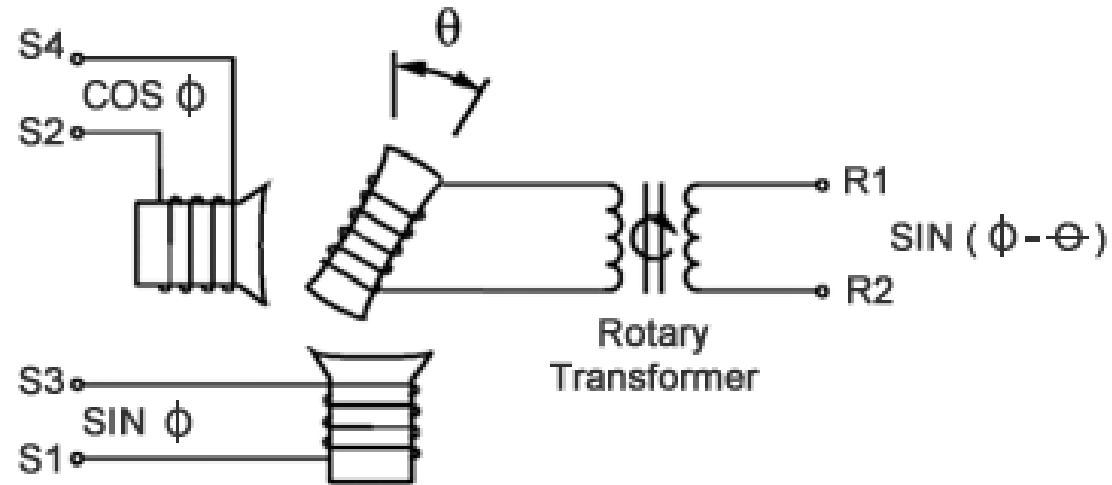
След заместване в израза за напрежението на ротора се получава:

$$\begin{aligned}u_{p1} &= E_m \sin \omega t \cos \theta + E_m \cos \omega t \sin \theta \quad \text{или} \\ u_{p1} &= E_m \sin(\omega t + \theta)\end{aligned}$$

От този израз се вижда, че фазата на напрежението, индуцирано в първата роторна намотка е равна на ъгъла на завъртане θ на ротора на въртящия трансформатор спрямо статора.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Фазоиндикаторен режим



$$\phi = \omega t$$

Схема на свързване на въртящ трансформатор във фазоиндикаторен режим

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Фазоиндикаторен режим

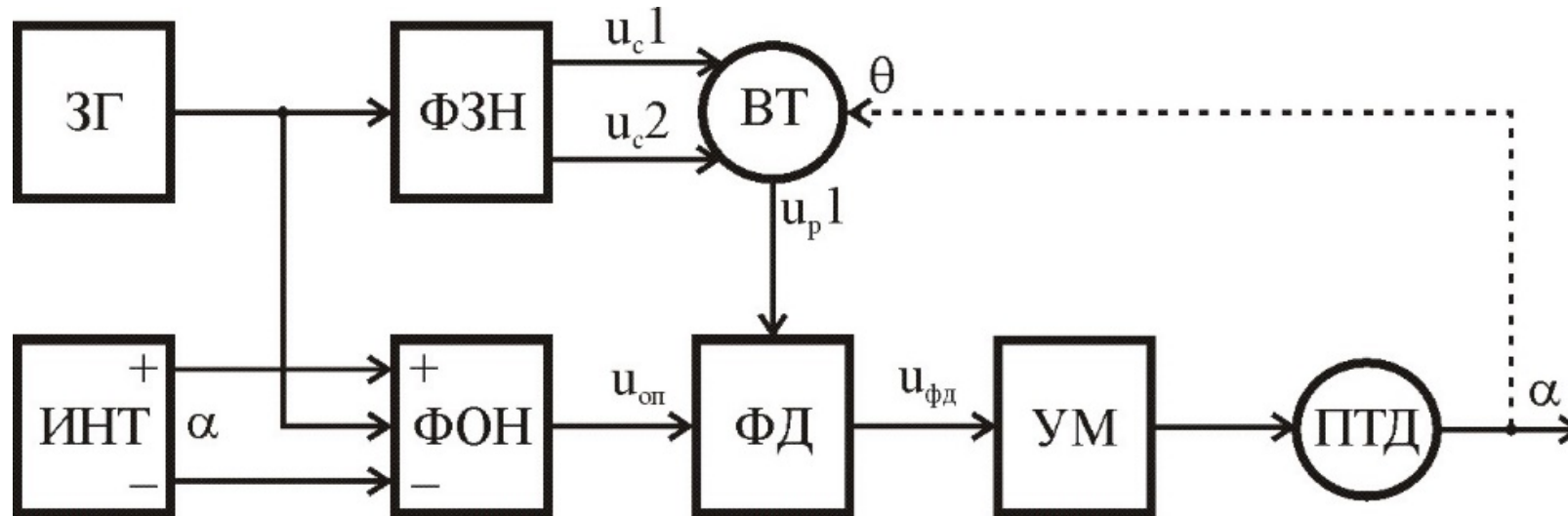


Схема за управление на следящо задвижване с използване на въртящ трансформатор във фазоиндикаторен режим

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Фазоиндикаторен режим

В блоковата схема са включени задаващ генератор (ЗГ), формирова̀тел на захранва̀що напрежение (ФЗН), интерполатор (ИНТ), формирова̀тел на опорно напрежение (ФОН), фазов детектор (ФД), усилва̀тел на мощност (УМ), постоя̀ннотоков двигател (ПТД) и въртя̀щ трансформатор (ВТ). Целта на схемата е да се извър̀ши преместване на ъ̀гъл α при подаване на един импу̀лс от интерполатора.

ЗГ генерира импу̀лсна поредица със ста̀билна честота за формиране на синусоидални напрежения с ъ̀глова честота ω . Под действието на тази импу̀лсна поредица ФЗН формира статорните напрежения u_{c1} и u_{c2} , а ФОН генерира синусоидално напрежение със съ̀щата честота, но фазата му се управлява от интерполатора и е равна на α . Опорното напрежение и напрежението на първата роторна намотка постъ̀пват към ФД. Изходното напрежение на ФД постъ̀пва към УМ и той захранва ПТД до извър̀шване на преместването.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Фазоиндикаторен режим

Опорното напрежение е $u_{оп} = E_0 \cos(\omega t + \alpha)$.

Напрежението в изхода на ФД е:

$$u_{фд} = u_{p1} u_{оп} = E_m \sin(\omega t + \theta) E_0 \cos(\omega t + \alpha).$$

След преобразуване на това уравнение се получава:

$$u_{фд} = \frac{1}{2} E_m E_0 [\sin(2\omega t + \theta + \alpha) + \sin(\alpha - \theta)].$$

Това напрежение може да се представи като сума от две компоненти:

$$u_{фд1} = E_{фд} \sin(2\omega t + \theta + \alpha) \text{ и}$$

$$u_{фд2} = E_{фд} \sin(\alpha - \theta).$$

Първата компонента е високочестотна, а втората е постояннотокова. Високочестотната компонента се потиска, а постояннотоковата се подава към УМ. Той захранва ПТД и започва преместване на ъгъл θ , което продължава докато се изпълни $\alpha = \theta$. Тогава напрежението в изхода на ФД става равно на нула и двигателят спира.

Предимства на метода са възможността за захранване на няколко ВТ от един ЗГ и линейността между ъгъла на завъртане и фазата на изходното напрежение на ВТ. Недостатък е трудността за задаване на стабилни напрежения.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на фазовите разлики

При режима на фазовите разлики двете статорни намотки се захранват със синусоидални напрежения с една и съща честота и амплитуда и отместени на 90° , а фазовият им ъгъл α се управлява:

$$\begin{aligned}u_{c1} &= E_m \sin(\omega t + \alpha) \\ u_{c2} &= -E_m \cos(\omega t + \alpha)\end{aligned}$$

След заместване в израза за напрежението на ротора се получава:

$$\begin{aligned}u_{p1} &= E_m \sin(\omega t + \alpha) \cos\theta - E_m \cos(\omega t + \alpha) \sin\theta && \text{или} \\ u_{p1} &= E_m \sin(\omega t + \alpha - \theta)\end{aligned}$$

От този израз се вижда, че фазата на напрежението, индуцирано в първата роторна намотка е равна на разликата между зададената фаза α и ъгъла на завъртане на ротора на въртящия трансформатор спрямо статора θ .

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на фазовите разлики

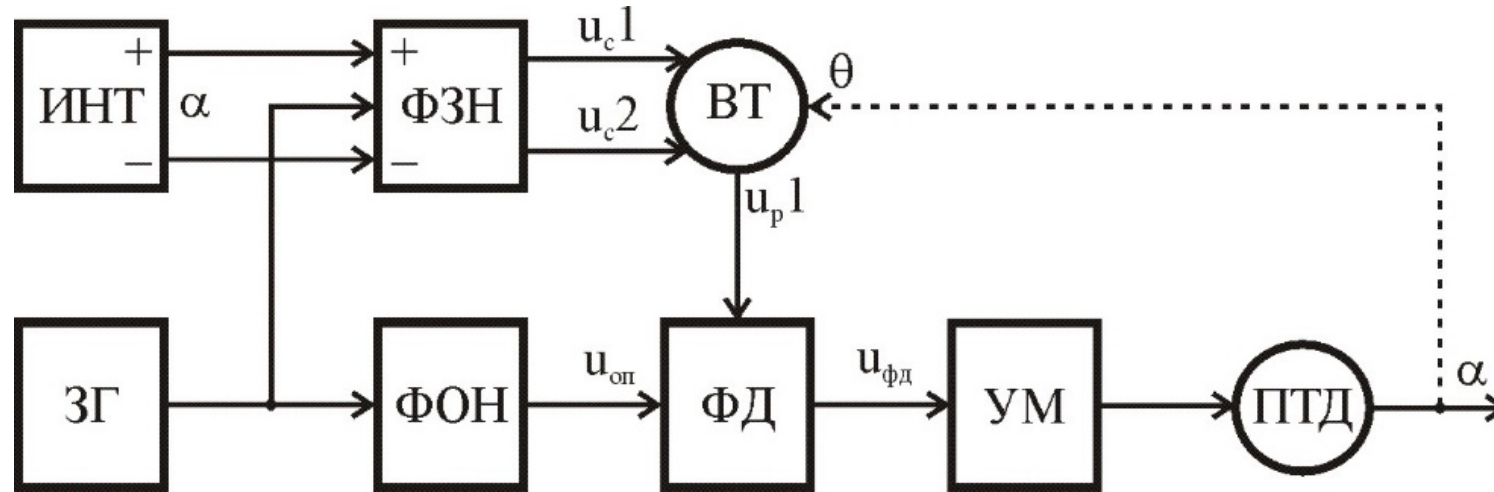


Схема за управление на следящо задвижване с използване на въртящ трансформатор в режим на фазовите разлики

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на фазовите разлики

В блоковата схема са включени задаващ генератор (ЗГ), формирова̀тел на захранва̀що напрежение (ФЗН), интерполатор (ИНТ), формирова̀тел на опорно напрежение (ФОН), фазов детектор (ФД), усилва̀тел на мощност (УМ), постоя̀ннотоков двигател (ПТД) и въртя̀щ трансформатор (ВТ). Целта на схемата е да се извър̀ши преместване на ъ̀гъл α при подаване на един импу̀лс от интерполатора.

ЗГ генерира импу̀лсна поредица със ста̀билна честота за формиране на синусоидални напрежения с ъ̀глова честота ω . Под действието на тази импу̀лсна поредица и импу̀лсите от интерполатора α ФЗН формира статорните напрежения u_{c1} и u_{c2} , а ФОН генерира синусоидално напрежение със съ̀щата честота и нулева фаза. Опорното напрежение и напрежението на първата роторна намотка постъ̀пват към ФД. Изходното напрежение на ФД постъ̀пва към УМ и той захранва ПТД до извър̀шване на преместването.

Спря̀мо схемата за управление с използване на фазоиндикаторен режим са разменени местата на ФЗН и ФОН.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на фазовите разлики

Опорното напрежение е $u_{оп} = -E_0 \cos \omega t$.

Напрежението в изхода на ФД е:

$$u_{фд} = u_{р1} u_{оп} = -E_m \sin(\omega t + \alpha - \theta) E_0 \cos \omega t.$$

След преобразуване на това уравнение се получава:

$$u_{фд} = -\frac{1}{2} E_m E_0 [\sin(2\omega t + \alpha - \theta) + \sin(\theta - \alpha)].$$

Това напрежение може да се представи като сума от две компоненти:

$$u_{фд1} = -E_{фд} \sin(2\omega t + \alpha - \theta) \text{ и}$$

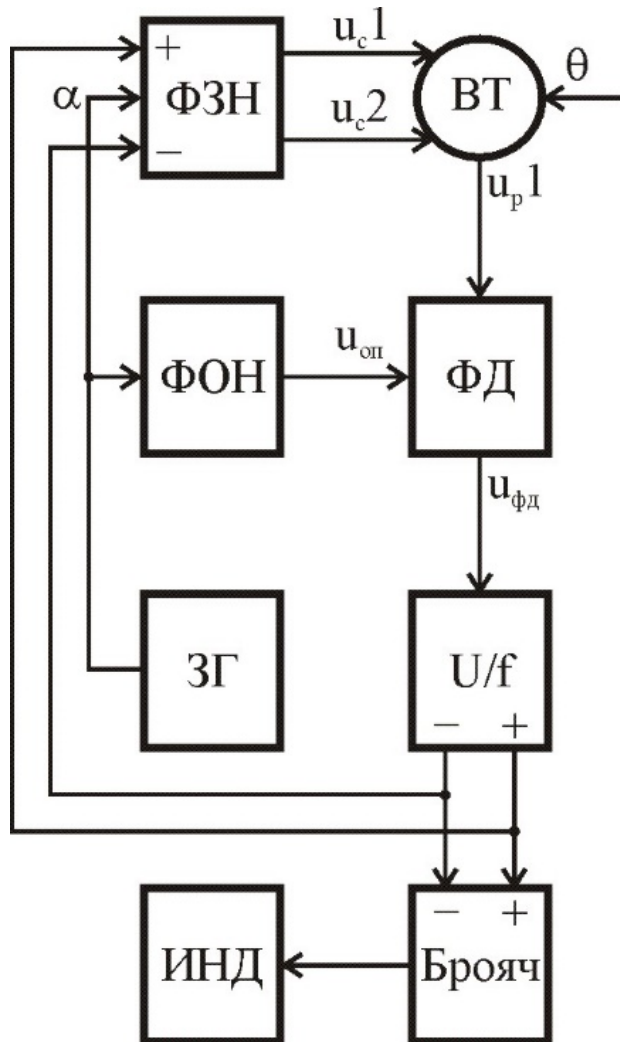
$$u_{фд2} = E_{фд} \sin(\alpha - \theta).$$

Първата компонента е високочестотна, а втората е постояннотокова. Високочестотната компонента се потиска, а постояннотоковата се подава към УМ. Той захранва ПТД и започва преместване на ъгъл θ , което продължава докато се изпълни $\alpha = \theta$. Тогава напрежението в изхода на ФД става равно на нула и двигателят спира.

Предимства на метода са възможностите ВТ да се захранва с правоъгълни импулси и ФД да работи като нулев индикатор. Недостатък е трудността за задаване на захранващите напрежения.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на фазовите разлики



Режимът на фазовите разлики може да се използва и за измерване на ъглово преместване. В блоковата схема участват въртящ трансформатор (ВТ), формирова̀тел на захранва̀що напрежение (ФЗН), задава̀щ генератор (ЗГ), формирова̀тел на опорно напрежение (ФОН), фазов детектор (ФД), преобразува̀тел напрежение-честота (U/f), брояч и индикация.

Изходното напрежение на ФД постъпва към преобразува̀тел напрежение-честота (U/f). Броя̀чът съдържа стойността на позицията в момента. Той получава импулси, отговарящи на моментната позиция α и така се променя фазата на статорните напрежения. Импулси се изработват докато фазата α стане равна на ъгъла на завъртане θ .

Недостатък на схемата е наличието на скоростна грешка, която се появява когато обектът се движи с постоянна скорост. Тогава показанието на индикацията се различава от действителната стойност на θ . Причината е, че за да се променя α е необходимо да има напрежение в изхода на ФД, а това е възможно само при разлика между α и θ .

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на амплитудните разлики

При режима на амплитудните разлики двете статорни намотки се захранват със синусоидални напрежения с една и съща честота и фаза, а амплитудата им се управлява:

$$u_{c1} = E_m \sin \alpha \sin \omega t$$
$$u_{c2} = -E_m \cos \alpha \sin \omega t$$

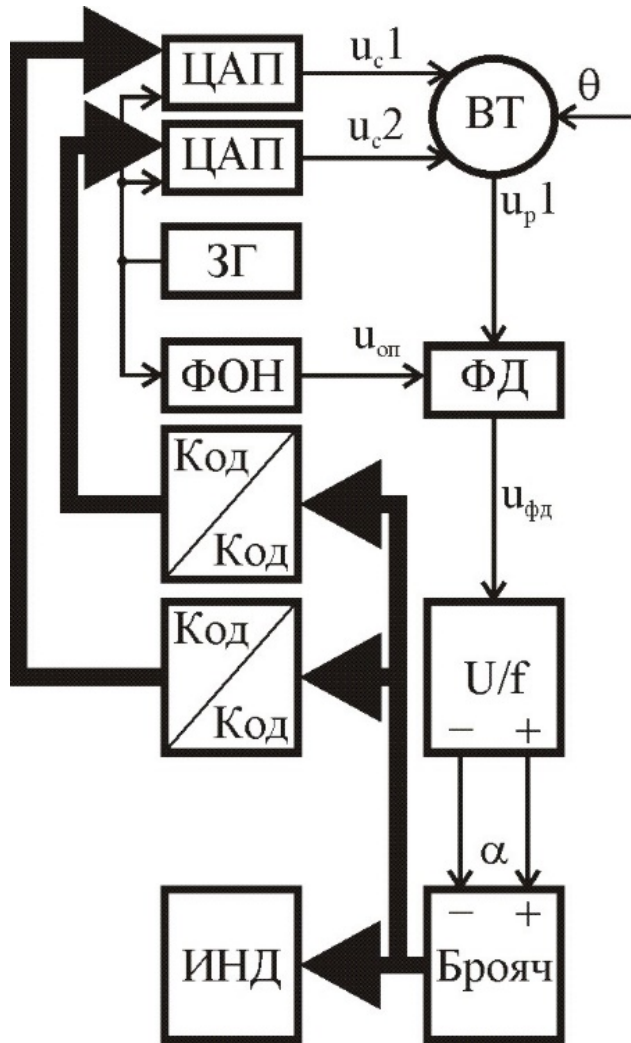
След заместване в израза за напрежението на ротора се получава:

$$u_{p1} = E_m \sin \alpha \sin \omega t \cos \theta - E_m \cos \alpha \sin \omega t \sin \theta \quad \text{или}$$
$$u_{p1} = E_m \sin(\alpha - \theta) \sin \omega t$$

От този израз се вижда, че амплитудата на напрежението, индуцирано в първата роторна намотка се определя от разликата между зададената фаза α и ъгъла на завъртане на ротора на въртящия трансформатор спрямо статора θ .

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на амплитудните разлики



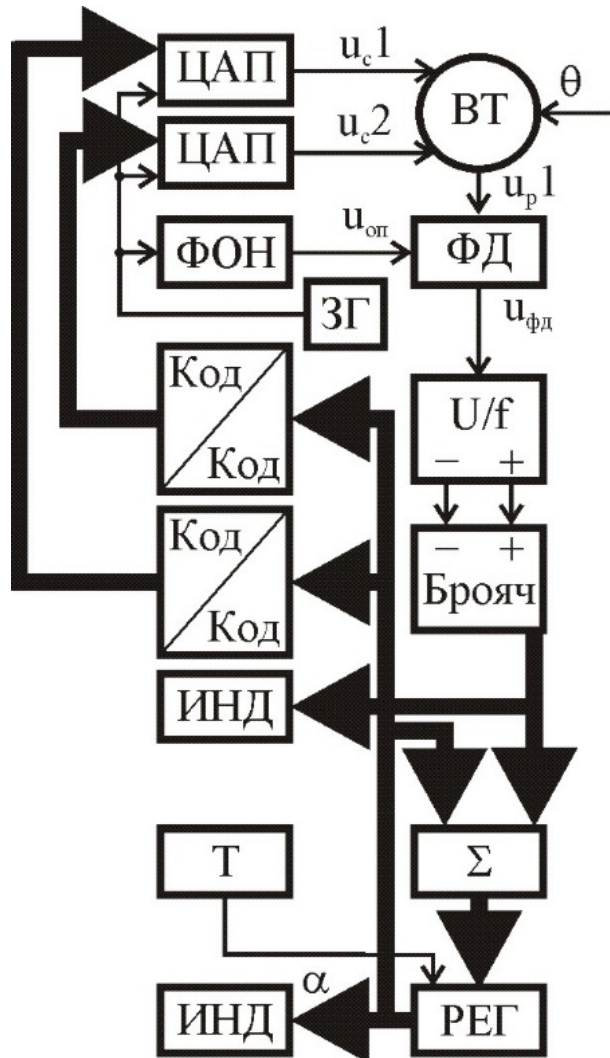
На блоковата схема е показано устройство за измерване на ъглово преместване с използване режима на амплитудните разлики. В нея участват въртящ трансформатор (ВТ), два ЦАП за формиране на захранващото напрежение, две таблици за преобразуване на код, задаващ генератор (ЗГ), формирова̀тел на опорно напрежение (ФОН), фазов детектор (ФД), преобразувател напрежение-честота (U/f), брояч и индикация.

Броячът съдържа стойността на позицията в момента. Той получава импулси, отговарящи на моментната позиция α и чрез кодовите таблици за функциите \sin и \cos се променя амплитудата на статорните напрежения. Импулси се изработват докато фазата α стане равна на ъгъла на завъртане θ .

Принципът на работа на тази схема е подобен на схемата, в която се използва режима на фазовите разлики. Поради това недостатъкът с наличието на скоростна грешка се запазва.

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Режим на амплитудните разлики



Недостатъкът поради наличието на скоростна грешка е преодолян с използването на интегриращо звено. Цифровият интегратор включва суматор, регистър и таймер. Стойността на ъгъла α се получава в интегратора и тя се подава към таблиците за реализиране на функциите \sin и \cos и се индицира.

Когато обектът, чието ъглово преместване θ се измерва, се движи с постоянна скорост, в брояча се установява стойност, която е пропорционална на ъгловата скорост. Тази стойност през определени времеви интервали се прибавя към съдържанието на регистъра и тъй като скоростта е постоянна, прибавената стойност не трябва да се променя. Тогава стойността на изходното напрежение на ФД ще се установи нула, а това става когато $\alpha = \theta$.

При използване на режима на амплитудните разлики преобразувателят работи като сравняващо устройство и позволява много висока точност на измерване ($< 1 \mu\text{m}$).

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Амплитудноиндикаторен режим

При използване на амплитудноиндикаторния режим (наречен още режим на синуснокосинусовия ВТ) се захранва със синусоидално напрежение само едната от двете статорни намотки:

$$u_{c1} = E_m \sin \omega t$$

$$u_{c2} = 0$$

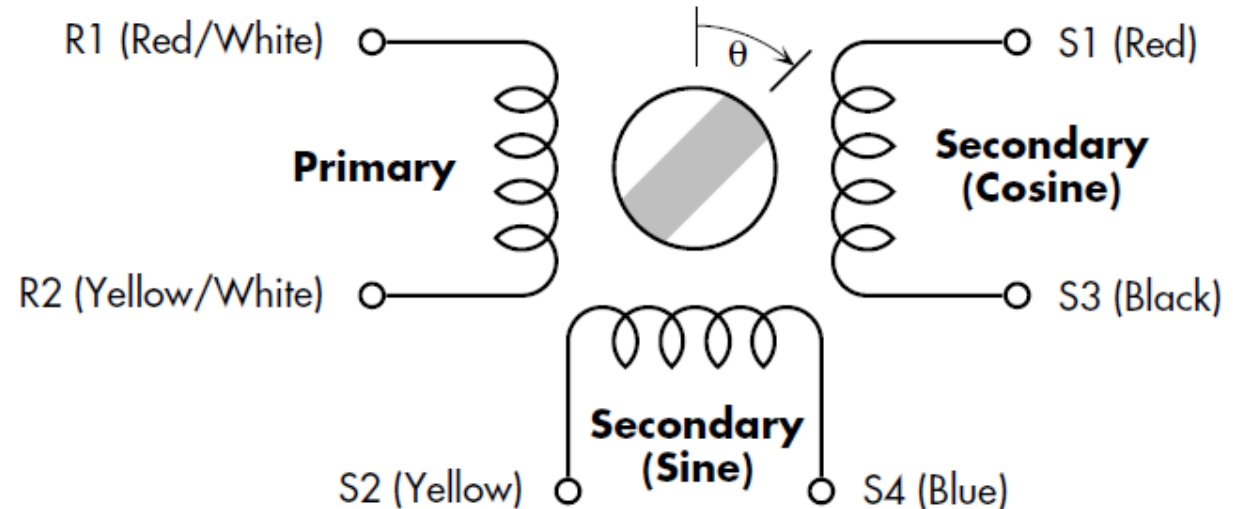
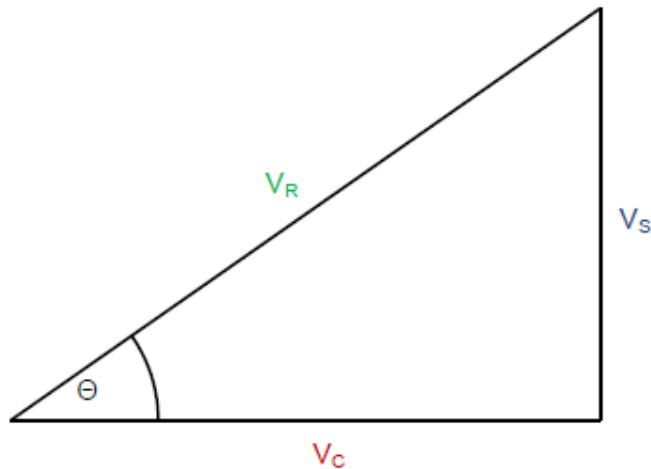
След заместване в израза за напрежението на роторните намотки се получава:

$$u_{p1} = E_m \sin \omega t \cos \theta$$

$$u_{p2} = -E_m \sin \omega t \sin \theta$$

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Амплитудноиндикаторен режим

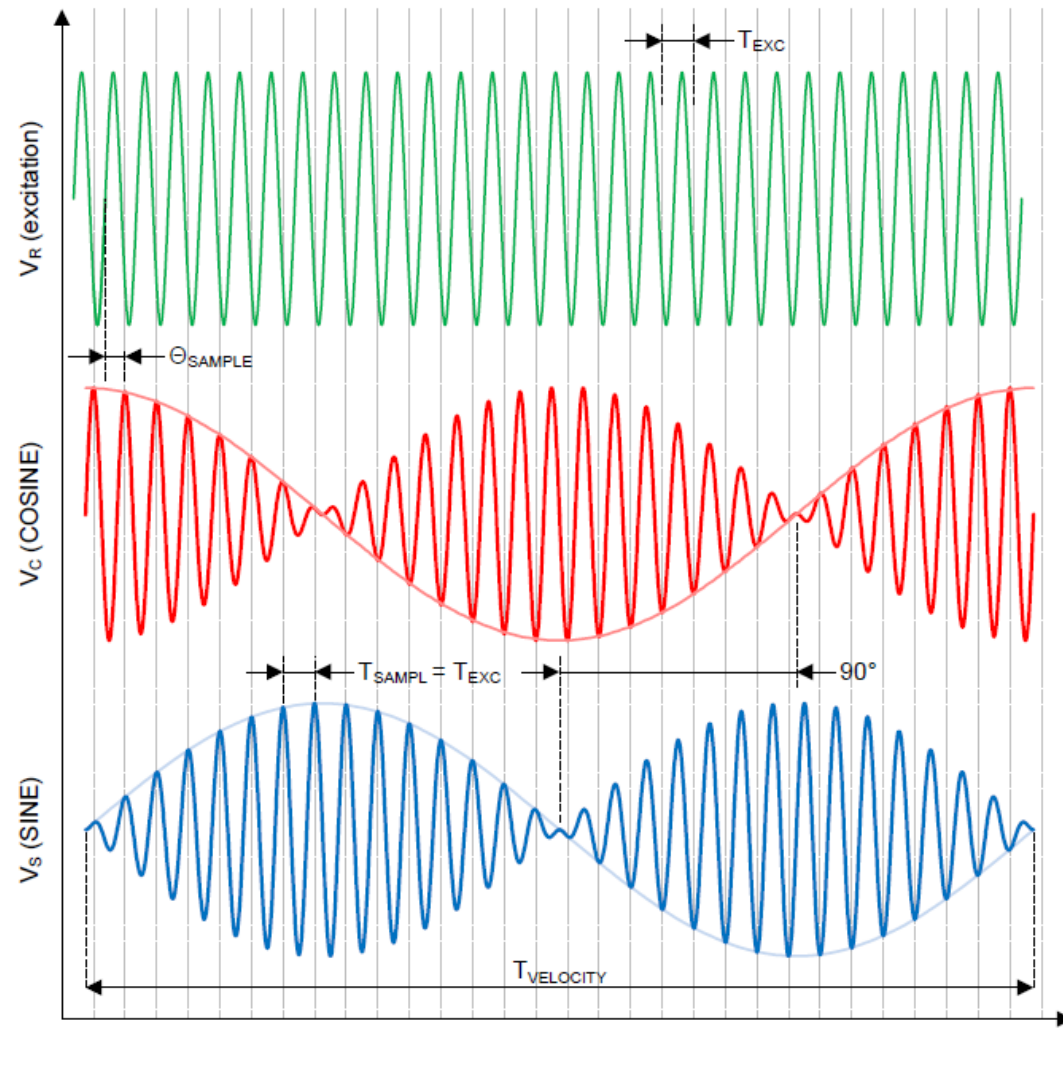


По конвенция изводите на първичните и вторичните намотки на всички резолвери се идентифицират с номенклатурата и цветове на проводниците, както е показано. За най-добро действие, опорният сигнал трябва да е синусоида.

Всеки трансформатор има стойност на предателното отношение. За резолверите тази величина се нарича съотношение на преобразуване или TR и се определя при максималната стойност на взаимна индукция. **За промишлени резолвери, стандартната трансформация фактически е съотношение 0,5, което означава, че амплитудата на вторичното напрежение на всяка намотка е равна на половината от амплитудата на опорния сигнал.**

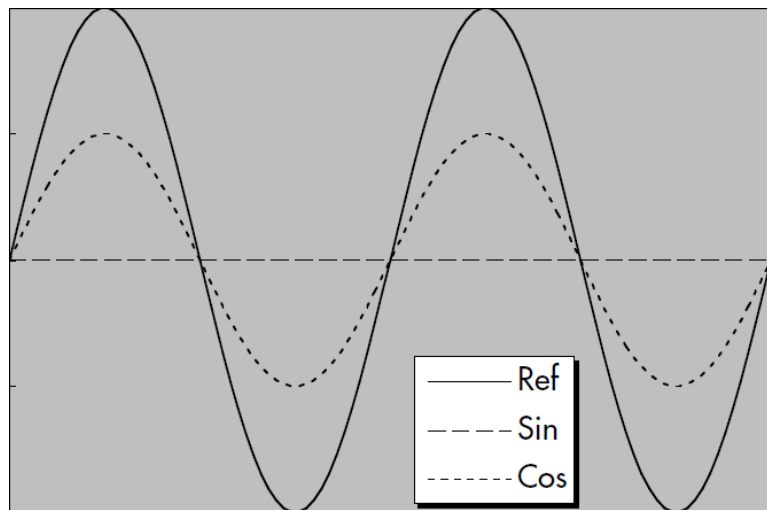
ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Амплитудноиндикаторен режим

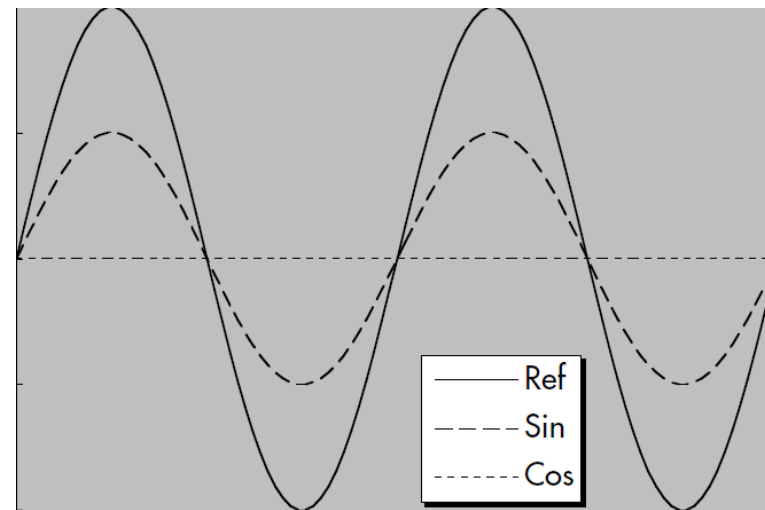


ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

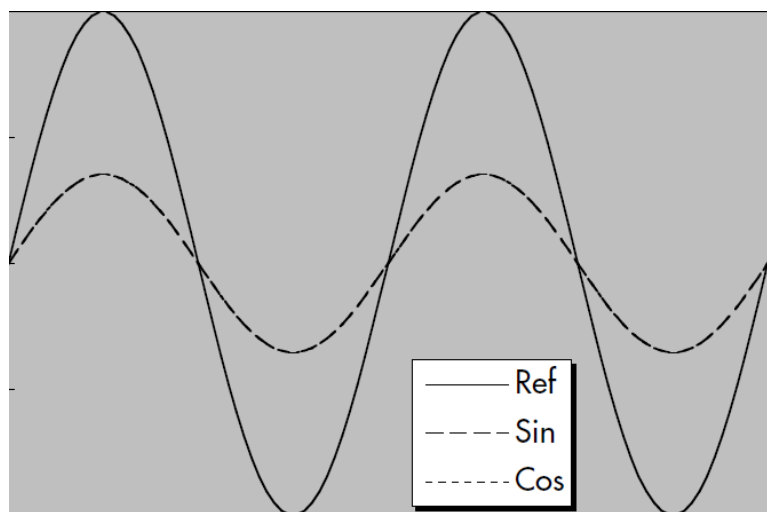
Амплитудноиндикаторен режим



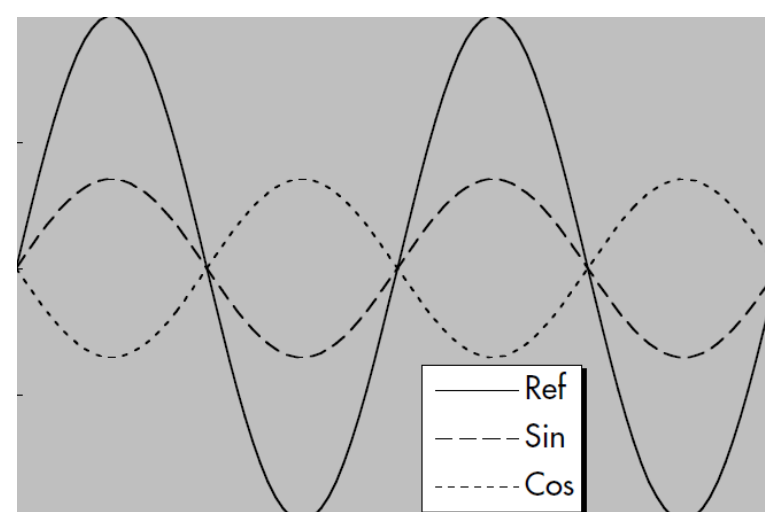
$\theta = 0^\circ$



$\theta = 90^\circ$



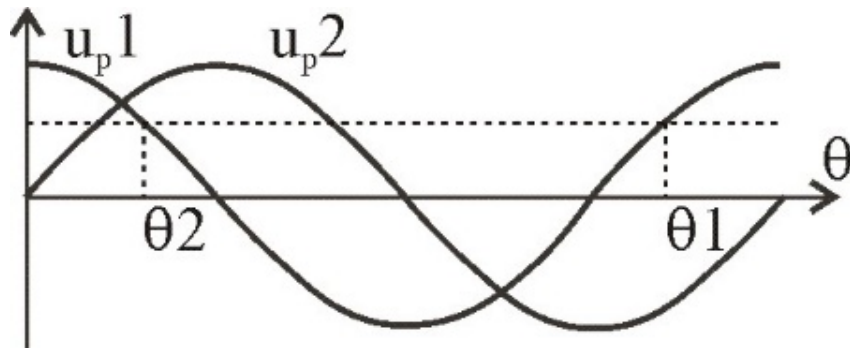
$\theta = 45^\circ$



$\theta = 135^\circ$

ВЪРТЯЩ ТРАНСФОРМАТОР

Амплитудноиндикаторен режим



Само едно вторично напрежение не е достатъчно за еднозначно определяне на ъгъла на преместване. Затова е необходимо да се обработват и двете изходни напрежения.

Примерна блокова схема за измерване на ъгловото преместване при използване на амплитудноиндикаторен режим включва въртящ трансформатор (ВТ), задаващ генератор (ЗГ), два фазови детектора, изчислителен блок и индикация.

Ъгълът на преместване се определя с израза:

$$\theta = \arctg \frac{u_{\text{фд}2}}{u_{\text{фд}1}}$$

