

Temat:

SELSYNY I TRANSFORMATORY POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Zagadnienia:

- przeznaczenie i budowa selsynów,
- selsynowe łączy wskaźnikowe, transformatorowe i różnicowe,
- praca transformatora położenia kąтового (tpk) jako przetwornika sinusowo-kosinusowego i przesuwnika fazy.

PODZIAŁ MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Podział maszyn ze względu na zastosowanie:

energetyczne

(prądnice, silniki, przetwornice)

istotna sprawność

specjalne

(prądnice tachometryczne, selsyny,
transformatory położenia kąтового, silniki
skokowe, silniki wykonawcze itp.)

istotna ch-ka przetwarzania sygnału

PRZETWORNIKI POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Czujnik położenia kąтового wału jest podstawowym elementem nowoczesnych układów sterowania. Stosując bezpośrednio sprzężenie lub układ przekładni, ruch obrotowy wałka czujnika może kontrolować różnego rodzaju przemieszczenia, nie tylko kątowe.

Najczęściej wykorzystywane czujniki położenia kąтового wału to:

1. Potencjometr.
2. Przetwornik obrotowo-impulsowy (Incremental Encoder).
3. Przetwornik kodowy (Absolute Encoder).
4. Selsyn.
5. Transformatory położenia kąтового tpk (Resolver).
6. Induktosyn.

PRZETWORNIKI POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Przetwornik obrotowo-impulsowy (Incremental Encoder).

Przetwornik obrotowo impulsowy (przyrostowy) jest przetwornikiem optycznym który bezpośrednio przetwarza kąt obrotu wałka na postać cyfrową (liczbę impulsów). Składa się on z wałka na sztywno sprzężonego z tarczą obrotową. Na tarczy znajdują się pierścienie z naprzemiennie naniesionymi segmentami które przepuszczają lub nieprzepuszczają światło. Światło pochodzące od diody LED lub innego źródła przechodząc przez przezroczyste segmenty tarczy pada na fotoogniwa. Napięcie z fotoogniw jest przekształcane na sygnały logiczne. Encodery przyrostowe są tańsze ale niestety każdorazowe wyłączenie zasilania powoduje utratę informacji o kącie położenia wału i system musi być ponownie zerowany.

Przetwornik kodowy (Absolute Encoder)

Przetworniki te są podobne w budowie do przetworników przyrostowych jednak w tym przypadku stosuje się tarczę obrotową dla każdego bitu wyjściowego słowa cyfrowego. Na tarczach naniesiony jest kod Graya dla uniknięcia niejednoznaczności. W wewnętrznym układzie elektronicznym wyjściowy sygnał cyfrowy w kodzie Graya zamieniany jest na kod binarny.

PRZETWORNIKI POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Potencjometry.

Czujnik taki zawiera okrągły pierścień z rezystywnego materiału. Ruchomy styk jest ustawiany na materiale rezystywnym odpowiednio do kąta obrotu wałka. Rezystancja między jednym z końców pierścienia i stykiem jest proporcjonalna do kąta obrotu.

Induktosyn.

Induktosyn jest maszyną prądu zmiennego o sygnale wyjściowym podobnym do sygnału tpk. Induktosyn ma uzwojenia w postaci drukowanej naniesione bezpośrednio na izolowane podłoże wykonujące ruch obrotowy lub liniowy (induktosyn sinusowo-cosinusowy lub liniowy). Działanie induktosyna oparte jest na indukcyjnym lub pojemnościowym sprzężeniu między uzwojeniami i generacji sygnałów zmiennych proporcjonalnych do sinusa i cosinusa kąta położenia wału.

SELSYN (ang. Synchro)

Selsyn - maszyna indukcyjna prądu przemiennego służąca do przetwarzania położenia kąowego wału na sygnał elektryczny.

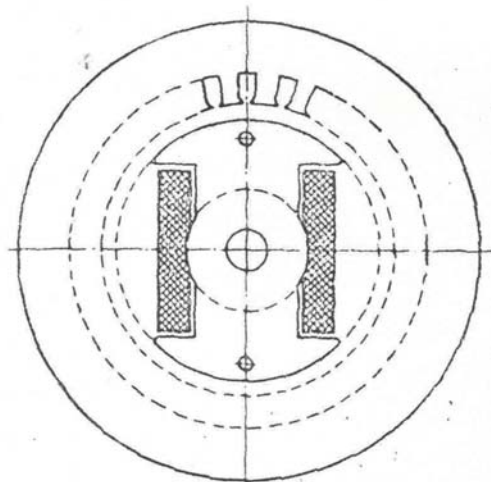
Selsyny najczęściej służą do przekazywania na odległość przemieszczeń kątowych wałów nie sprzężonych ze sobą mechanicznie.

Selsyny najczęściej pracują w układach zwanych łączami.

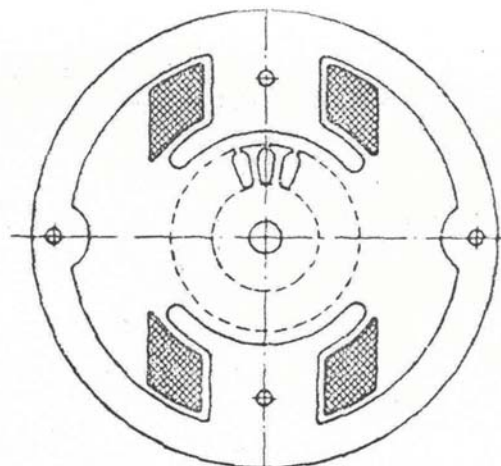
Najczęściej stosowane łącza to:

- ❑ **Selsynowe łącze wskaźnikowe** (do przekazywania położenia kąowego)
- ❑ **Selsynowe łącze różnicowe** (do przekazywania sumy lub różnicy położenia kąowych dwóch wałów)
- ❑ **Selsynowe łącze transformatorowe** (wypracowuje napięcie proporcjonalne do kąta niezgodności pomiędzy dwoma wałami)

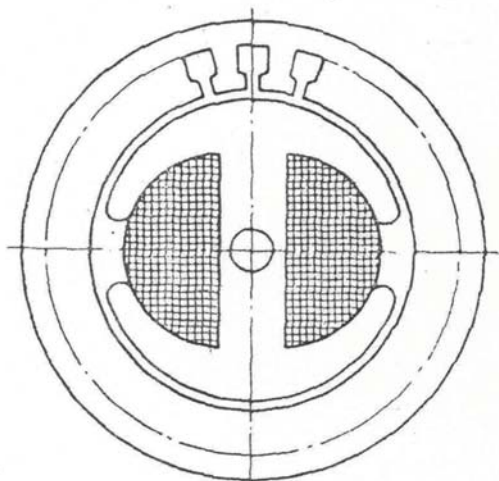
BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH



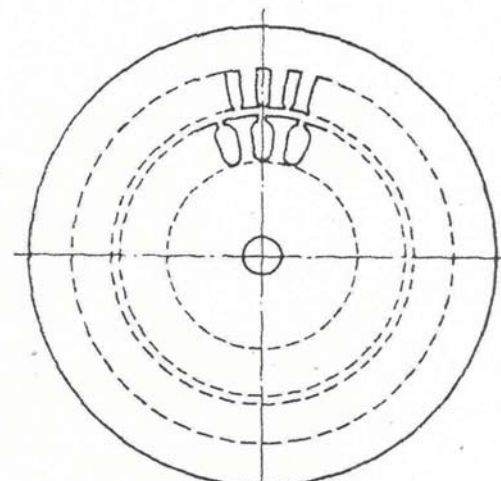
a)



b)



c)

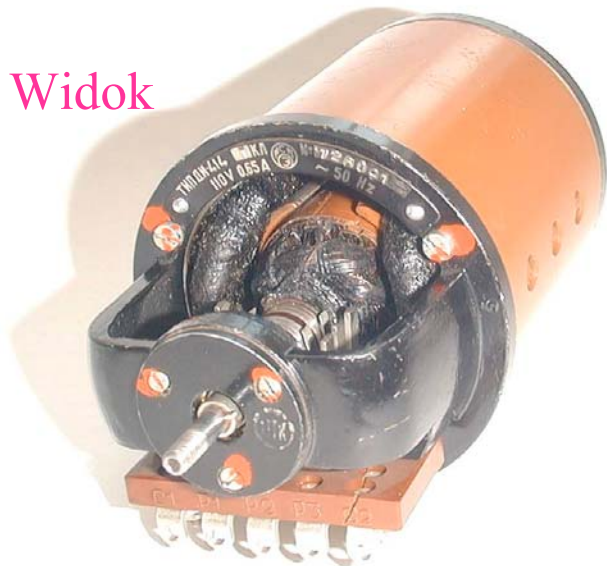


d)

- a) z biegunami wydatnymi na wirniku
- b) z biegunami wydatnymi na stojanie
- c) z biegunami utajonymi i uzwojeniem skupionym na wirniku
- d) z biegunami utajonymi i uzwojeniem rozłożonym stojana i wirnika

BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH

Widok



Urządzenie
szczotkowe



Wirnik z trójfazowym
uzwojeniem synchronizacji

Stojan z jednofazowym uzwojeniem
wzbudzenia



BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH

sprzęgło

złobek wirnika
ze skosem

uzwojenie

pierścień ślizgowy

szczotka

tarcza
łożyskowa

łożysko

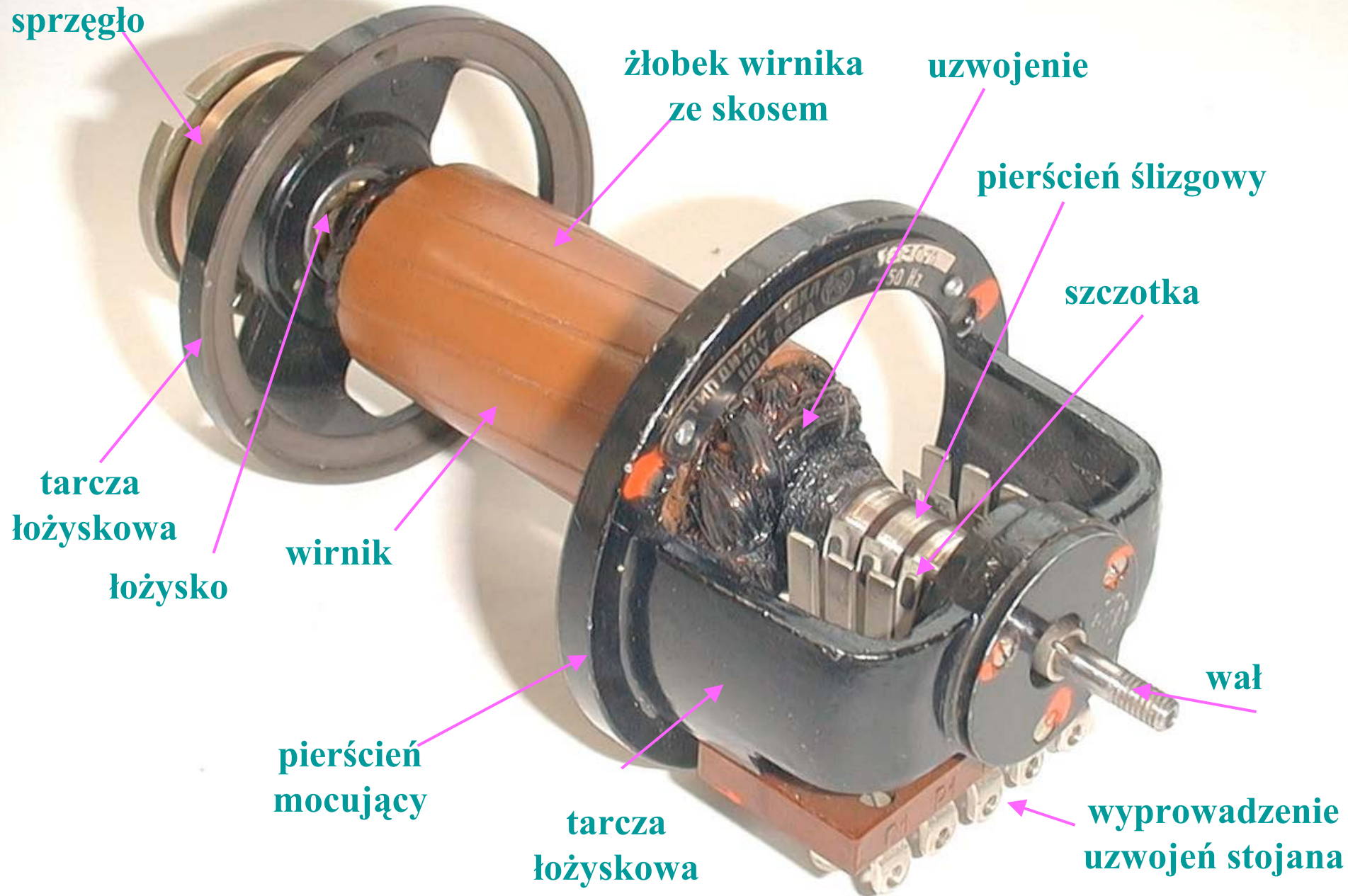
wirnik

pierścień
mocujący

tarcza
łożyskowa

wał

wyprowadzenie
uzwojeń stojana



BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH

Widok



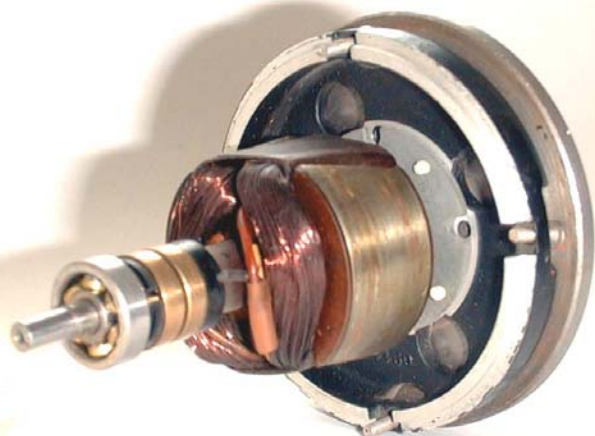
Urządzenie
szczotkowe



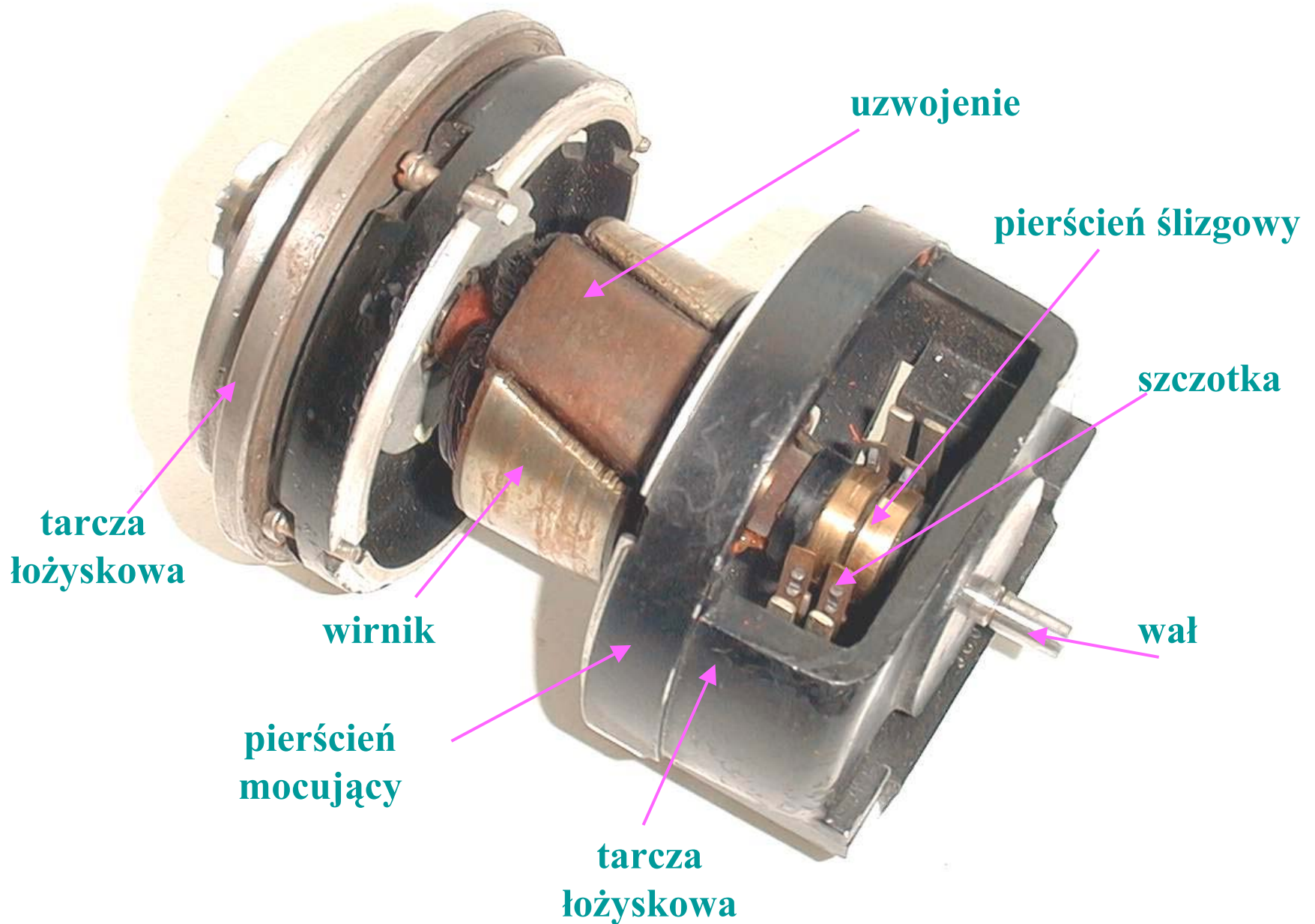
Stojan z trójfazowym
uzwojeniem synchronizacji



Wirnik z jednofazowym
uzwojeniem
wzbudzenia



BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH



BUDOWA SELSYNÓW STYKOWYCH

Widok
selsyna
różnicowego



Stojan z uzwojeniem trójfazowym



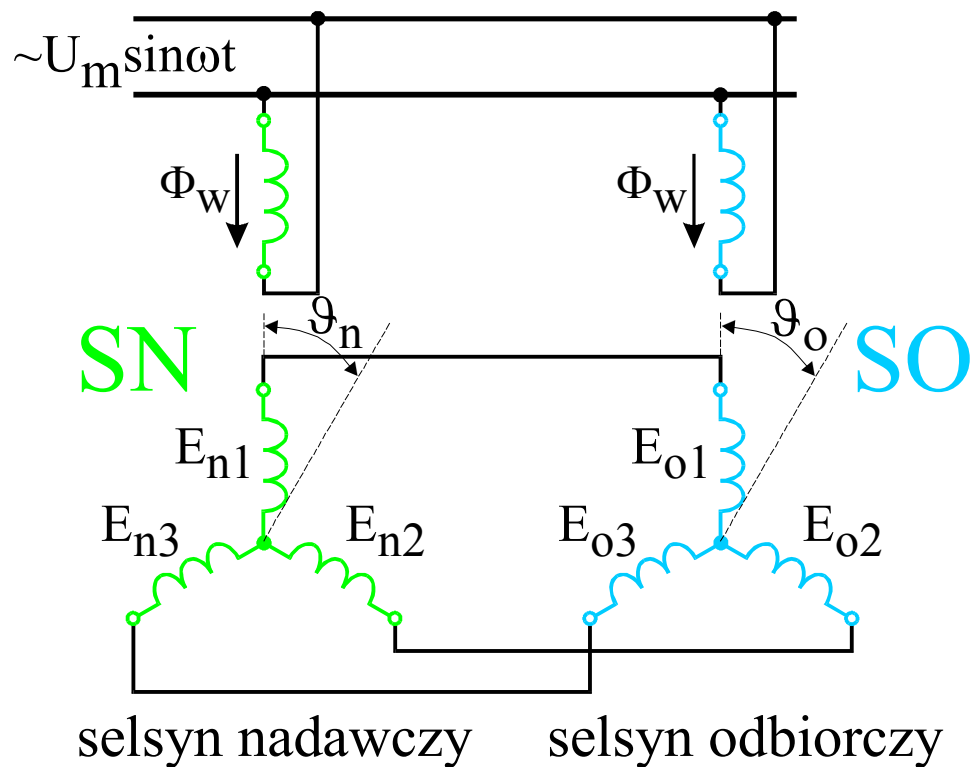
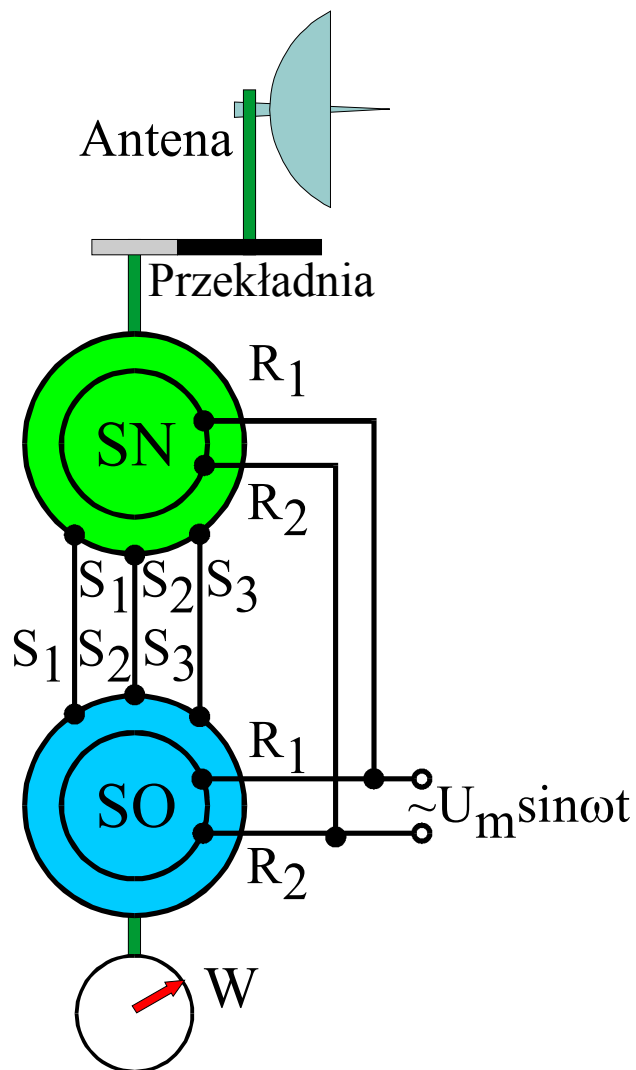
Wirnik z trójfazowym
uzwojeniem synchronizacji



Urządzenie
szczotkowe



ŁĄCZE SELSYNOWE WSKAŹNIKOWE

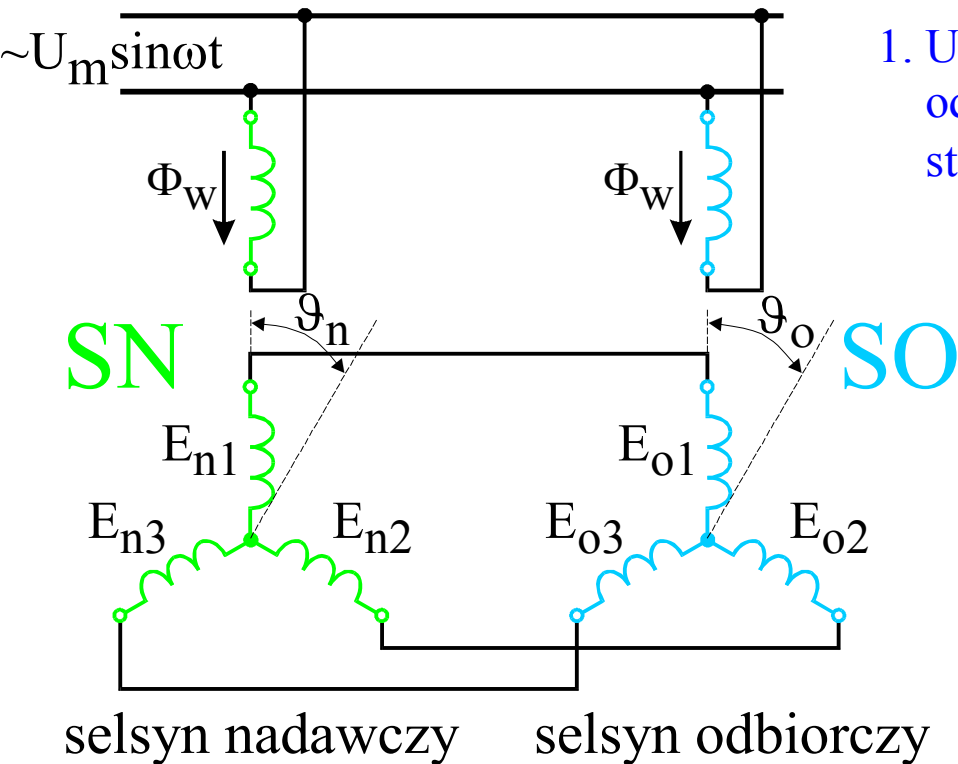


ϑ_n - kąt obrotu selsyna nadawczego SN

ϑ_o - kąt obrotu selsyna odbiorczego SO

$(\vartheta = \vartheta_n - \vartheta_o)$ - kąt niezgodności

ŁĄCZE SELSYNOWE WSKAŹNIKOWE



1. Uzwojenia wzbudzenia selsyna nadajnika i odbiornika wytwarzają zmienny (pulsujący) strumień magnetyczny Φ_w

2. Strumień ten indukuje w uzwojeniach synchronizacji napięcia których wartości skuteczne wynoszą

$$\begin{aligned} E_{n1} &= E_m \cos \vartheta_n \\ E_{n2} &= E_m \cos(\vartheta_n - 120^\circ) \\ E_{n3} &= E_m \cos(\vartheta_n - 240^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{o1} &= E_m \cos \vartheta_o \\ E_{o2} &= E_m \cos(\vartheta_o - 120^\circ) \\ E_{o3} &= E_m \cos(\vartheta_o - 240^\circ) \end{aligned}$$

ϑ_n -kąt obrotu wału selsyna nadajnika

ϑ_o -kąt obrotu wału selsyna odbiornika

E_m - największa wartość napięcia indukowanego w fazie uzwojenia synchronizacji

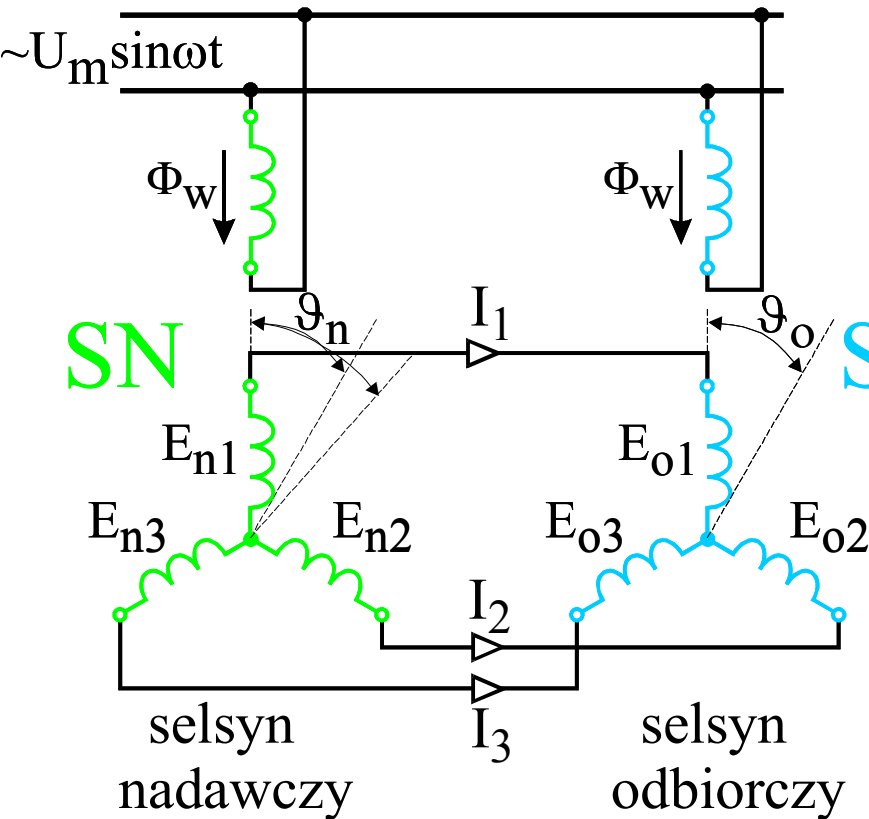
E_{n1}, E_{n2}, E_{n3} – napięcia faz uzwojenia synchronizacji selsyna nadajnika

E_{o1}, E_{o2}, E_{o3} – napięcia indukowane faz uzwojenia synchronizacji selsyna odbiornika

Kąt niezgodności

$$\vartheta = \vartheta_n - \vartheta_o$$

ŁĄCZE SELSYNOWE WSKAŹNIKOWE



Jeżeli $\vartheta=0$ tzn $\vartheta_n=\vartheta_o$ to

$$\begin{aligned} E_{n1} &= E_{o1} \\ E_{n2} &= E_{o2} \\ E_{n3} &= E_{o3} \end{aligned}$$

prąd między uzwojeniami synchronizacji

$$I = \frac{E_n - E_o}{2Z} = 0$$

Jeżeli wirnik selsyna nadajnika obróci się to $\vartheta \neq 0$ i

$$\begin{aligned} E_{n1} &\neq E_{o1} \\ E_{n2} &\neq E_{o2} \\ E_{n3} &\neq E_{o3} \end{aligned}$$

W uzwojeniach synchronizacji pojawi się prąd

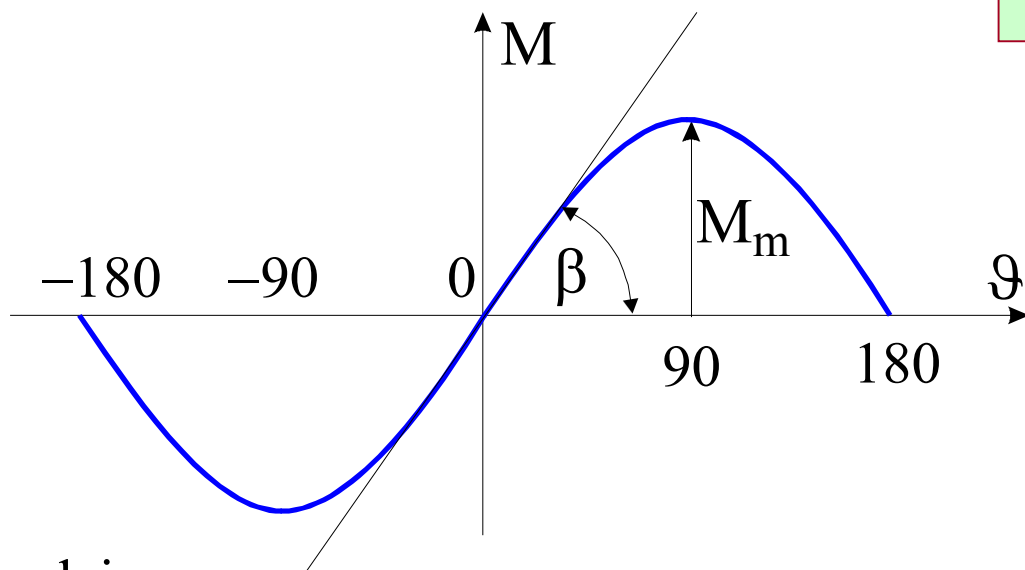
$$I = \frac{E_n - E_o}{2Z} > 0$$

ŁĄCZE SELSYNOWE WSKAŹNIKOWE

który wytworzy moment synchronizujący

$$M_s = \frac{c_1}{f_1} \cdot \frac{E_m^2 \cdot X_f}{R_f^2 + X_f^2} \cdot \sin \vartheta$$

$$M_s = M_m \cdot \sin \vartheta$$

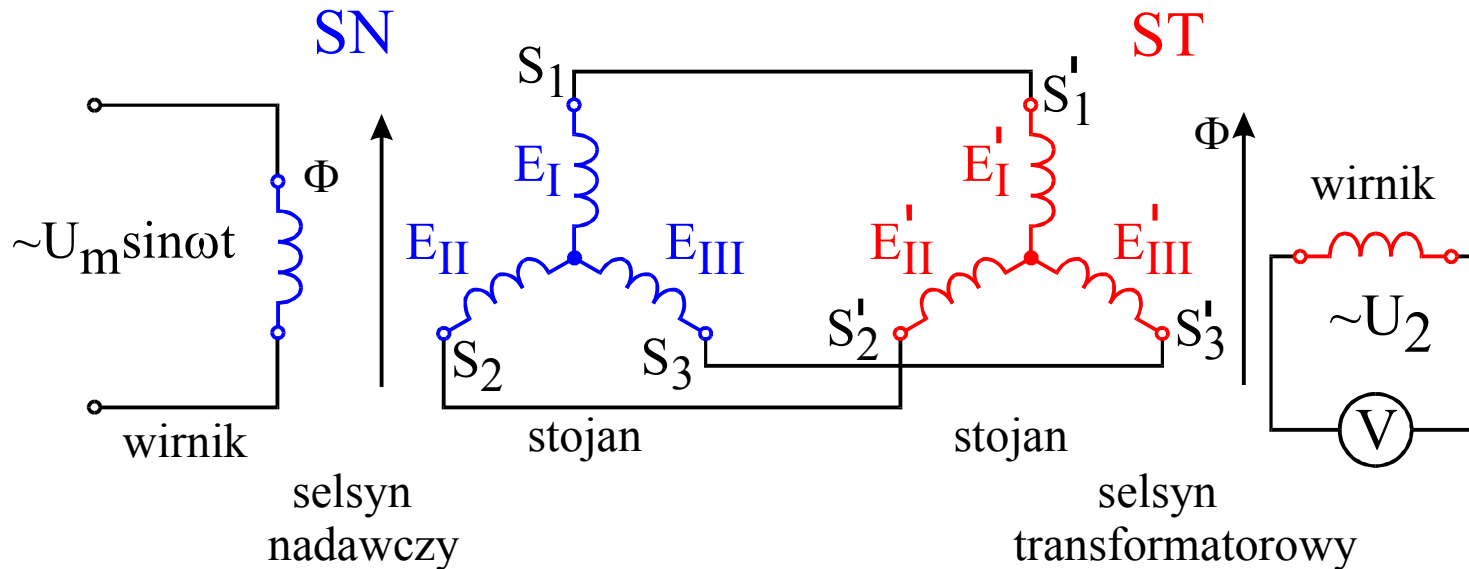


$$\left(\frac{dM_s}{d\vartheta} \right)_{\vartheta=0} = m_0 \quad \text{sztywność charakterystyki}$$

gdzie:

- f_1 – częstotliwość sieci zasilającej (uzwojenia wzbudzenia),
- R_f, X_f – rezystancja i reaktancja uzwojenia synchronizacji,
- E_m – największa wartość napięcia indukowanego w fazie uzwojenia synchronizacji
- c_1 – stała konstrukcyjna maszyny

ŁĄCZE SELSYNOWE TRANSFORMATOROWE



$$E_I = E_m \cos \alpha$$

1. W uzwojeniach stojana SN indukują się napięcia

$$E_{II} = E_m \sin(\alpha - 120^\circ)$$

$$E_{III} = E_m \sin(\alpha - 240^\circ)$$

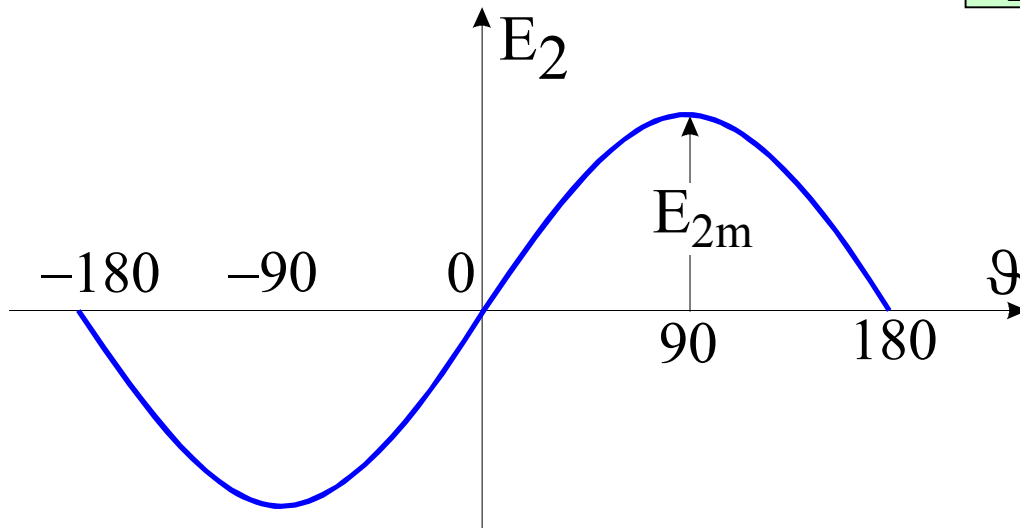
2. W uzwojeniach stojana ST popłyną prądy, które wytworzą pulsujące pola magnetyczne

E_m - największa wartość skuteczna napięcia indukowanego w uzwojeniu stojana
 α - kąt obrotu wirnika SN od położenia zerowego

ŁĄCZE SELSYNOWE TRANSFORMATOROWE

3. Pulsujące strumienie uzwojeń ST tworzą wypadkowe pole, które przyjmuje położenie zgodne z wirnikiem SN
4. W uzwojeniu wirnika ST indukuje się napięcie E_2 , którego wartość zależy od kąta niezgodności ϑ

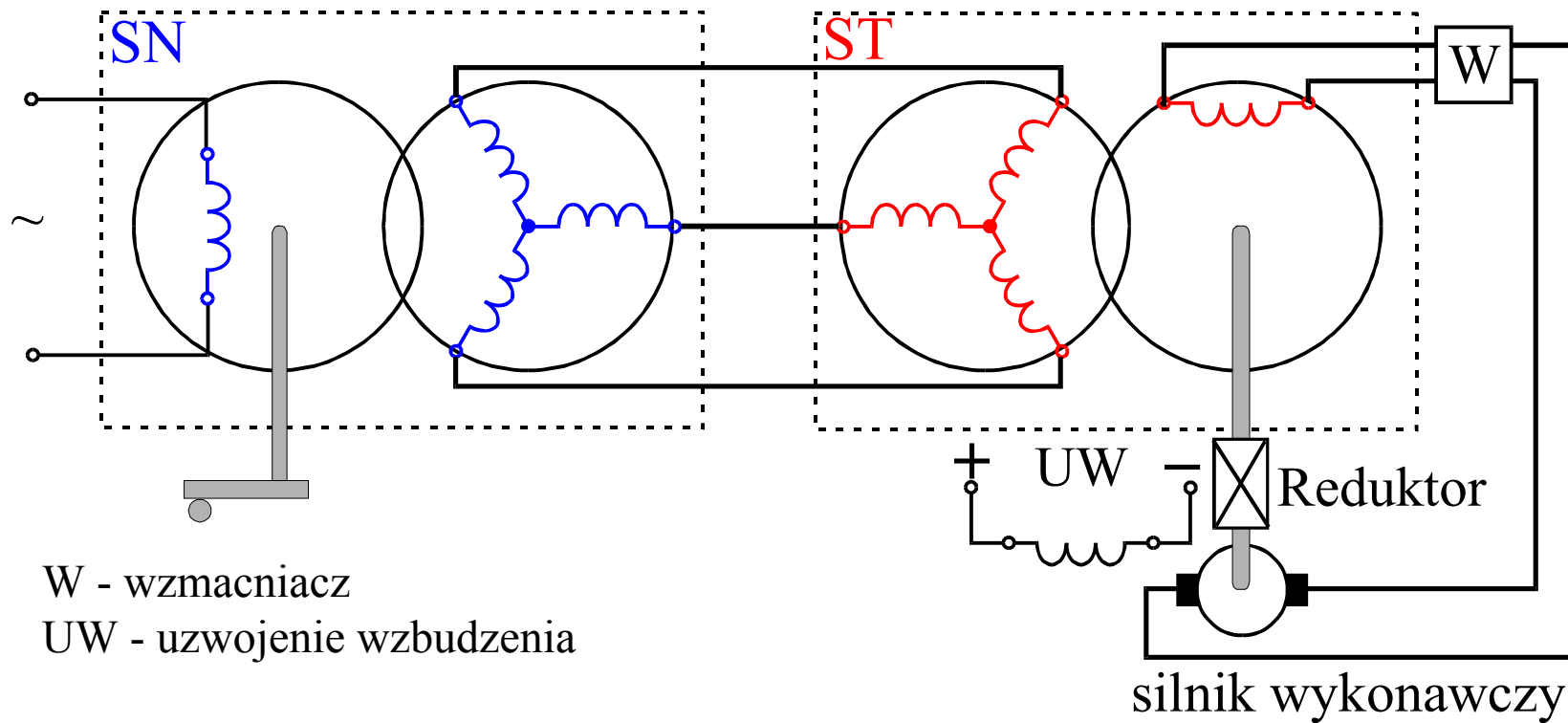
$$E_2 = E_{2m} \sin \vartheta$$



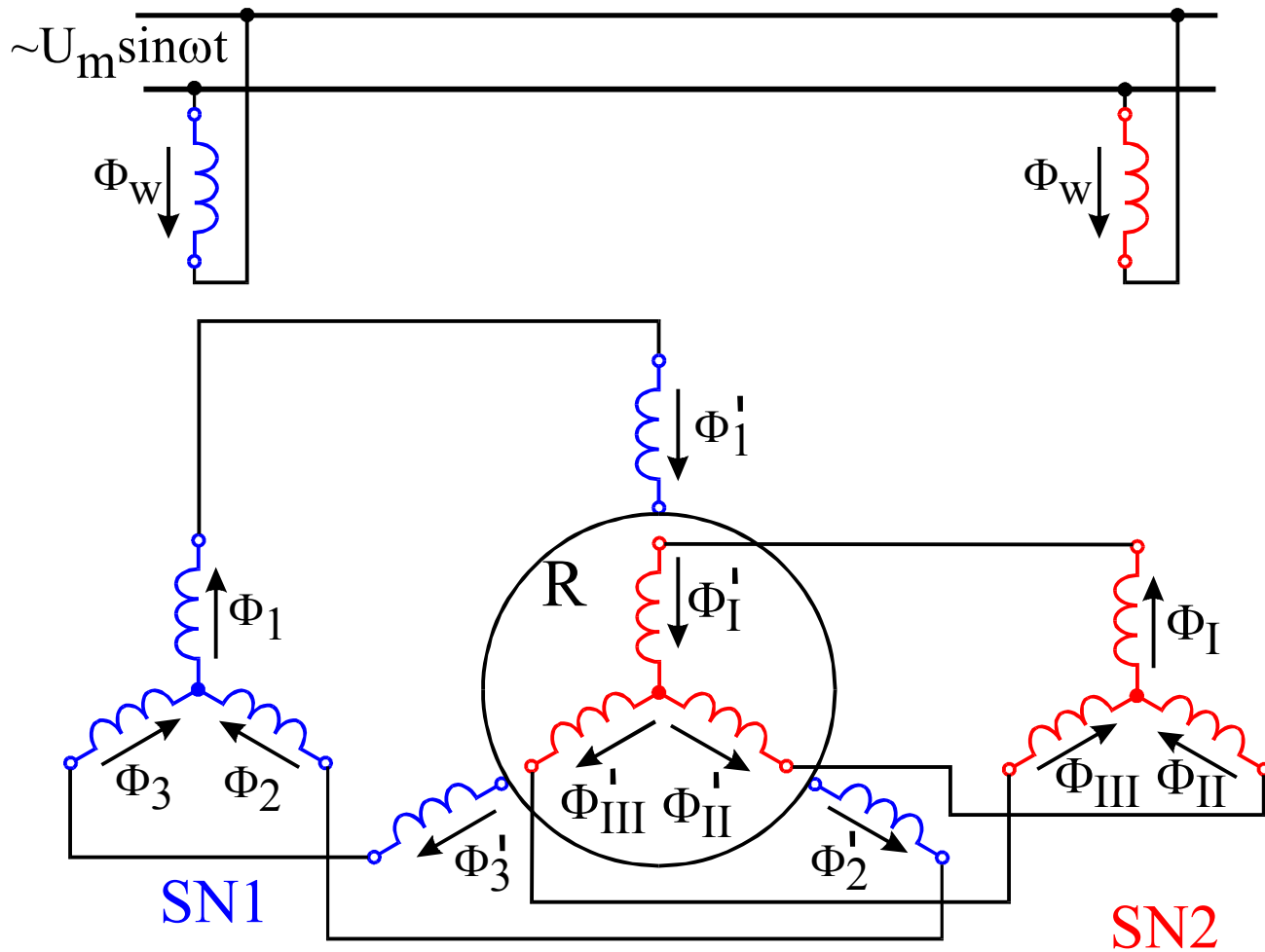
E_2 - napięcie indukowane w uzwojeniu wirnika **ST**

ϑ - kąt niezgodności między osiami wirnika **ST** i strumienia magnetycznego stojana **ST**
(za położenie wyjściowe, zgodne, przyjmuje się prostopadłe usytuowanie osi wirników SN i ST)

ELEKTRYCZNY NAPĘD NADĄŻNY Z ŁĄCZEM TRANSFORMATOROWYM

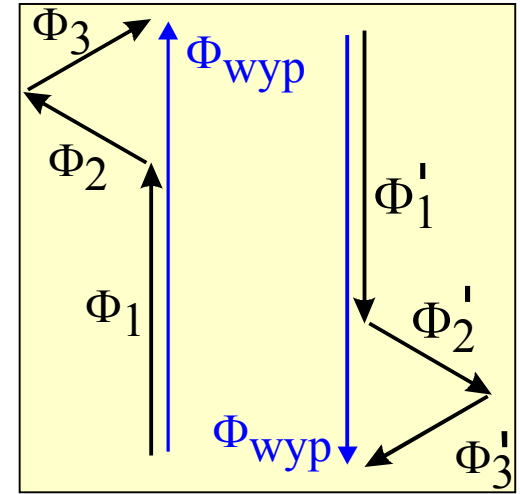


ŁĄCZE SELSYNOWE RÓŻNICOWE

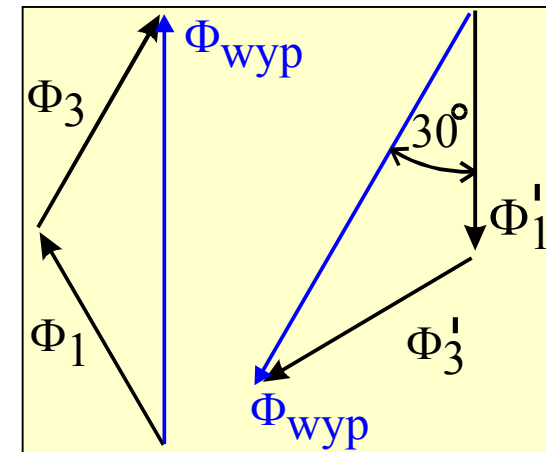


$$\vartheta_r = \vartheta_{n1} \pm \vartheta_{n2}$$

- + gdy wirniki SN1 i SN2 obracają się w przeciwnych kierunkach
- gdy wirniki SN1 i SN2 obracają się w tym samym kierunku



Wskaży strumieni dla położenia jak na rysunku



Po obrocie wirnika SN1 o kąt 30°

TRANSFORMATOR POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Tpk (Resolver)

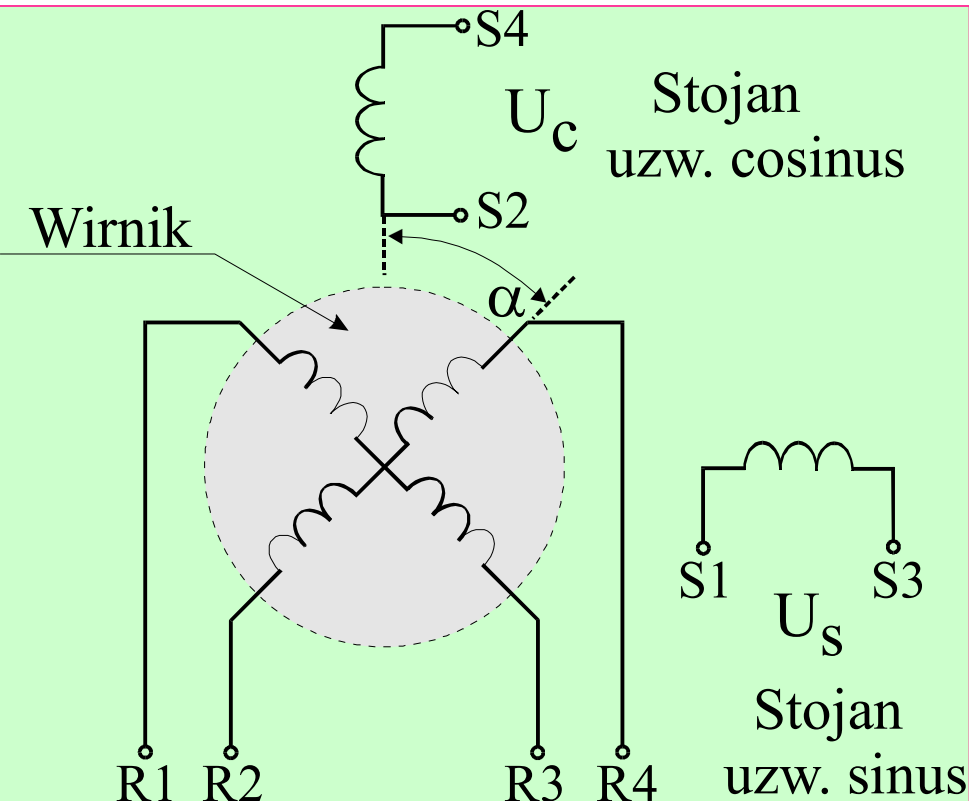
Transformator położenia kąтового – precyzyjny przetwornik położenia kąтового na napięcie elektryczne.

Tpk – jest transformatorem wirującym skonstruowanym tak, że współczynnik sprzężenia magnetycznego między wirnikiem i stojanem zmienia się wraz z kątem obrotu wału według funkcji sinusoidalnej.

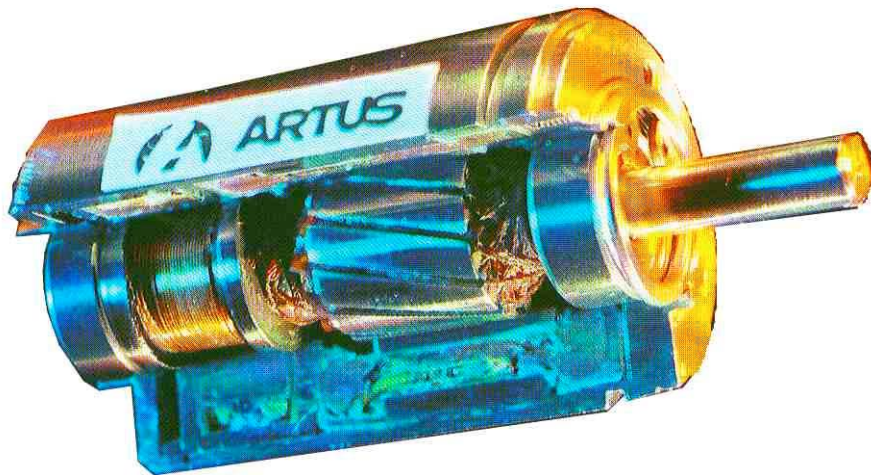
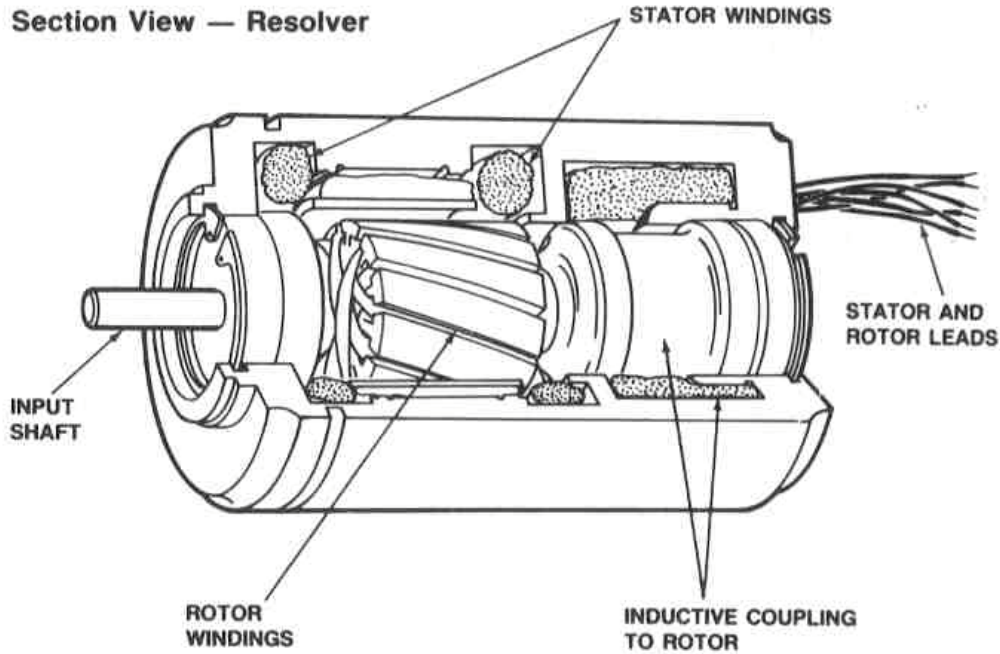
Nieruchome uzwojenia (S1-S3) i (S2-S4) umieszczone są na pakiecie blach stalowych stojana a uzwojenia ruchome (R1-R3) i (R2-R4) na pakiecie wirnika.

Uzwojenia na wirniku i na stojanie umieszczone są prostopadle względem siebie.

Gdy uzwojenie wirnika jest zasilane ze źródła napięcia przemiennego to w uzwojeniach wyjściowych stojana indukują się napięcia których amplituda zależy od sinusa i cosinusa kąta położenia wału.



BUDOWA TPK



Połączenia z wirnikiem wykonane są za pomocą szczotek i pierścieni ślizgowych lub sprzężenia indukcyjnego. Tpk wykorzystujący sprzężenie indukcyjne nazywany jest bezszczotkowym.



TRANSFORMATOR POŁOŻENIA KĄTOWEGO

W zależności od sposobu połączenia uzwojeń i ich zasilania tpk może pracować jako przetwornik:

- ❑ Sinusowo-cosinusowy
- ❑ Fazowy
- ❑ Liniowy

Przetwornik sinusowo-cosinusowy

Zasilamy uzwojenie (R1-R3) wirnika napięciem harmonicznym: $u(t) = U_m \cos(\omega t)$

Napięcia wyjściowe indukowane w uzwojeniach (S1-S3) i (S2-S4) stojana można przedstawić w postaci:

$$u_s = k \cdot U_m \sin(\alpha) \cos(\omega t)$$

$$u_c = k \cdot U_m \cos(\alpha) \cos(\omega t)$$

Wartości skuteczne tych napięć:

$$U_s = k \cdot U \sin(\alpha)$$

$$U_c = k \cdot U \cos(\alpha)$$

gdzie: k - przekładnia napięciowa
 α - kąt obrotu wału

TRANSFORMATOR POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Przetwornik fazowy

Zasilamy uzwojenia (R1-R3) i (R2-R4) wirnika napięciami harmonicznymi ortogonalnymi (prostopadłymi):

$$u_{R1-R3}(t) = U_m \sin(\omega t)$$

$$u_{R2-R4}(t) = U_m \cos(\omega t)$$

Napięcie wyjściowe indukowane w uzwojeniach (S1-S3) i (S2-S4) stojana można przedstawić w postaci:

$$u_s = k \cdot U_m \sin(\omega t + v\alpha)$$

$$u_c = k \cdot U_m \cos(\omega t + v\alpha)$$

gdzie: v - współczynnik proporcjonalności

TRANSFORMATOR POŁOŻENIA KĄTOWEGO

Przetwornik liniowy

Szeregowo połączone jedno z uzwojeń wirnika (R1-R3) i stojana (S2-S4) zasilamy napięciem harmonicznym.

$$u(t) = U_m \cos(\omega t)$$

W tpk liniowym amplituda napięcia wyjściowego zmienia się liniowo w funkcji zmian kąta położenia wału (w określonym przedziale zmian tego kąta)

$$U_{S1-S3} = mU \frac{\sin \alpha}{1 + m \cdot \cos \alpha} \approx m_1 \cdot U \cdot \alpha$$

gdzie: m - współczynnik zależny od impedancji uzwojeń i współczynnika sprzężenia magnetycznego

Zależność między napięciem wyjściowym i zasilającym jest najbardziej zbliżona do funkcji liniowej w zakresie zmian kąta od -60° do 60° , gdy $m=0,536$.

Porównanie metod pomiaru kąta

Potencjometry są przydatne przy dokładnościach pomiaru w zakresie od 5% do 0,5% są one jednak najtańsze spośród prezentowanych metod. Ponieważ potencjometry zużywają się podczas pracy ich zastosowanie ograniczone jest generalnie do sprzętu powszechnego użytku i prostych zastosowań przemysłowych.

Przetwornik obrotowo-impulsowe są stosunkowo niedrogie. Są one powszechnie stosowane w przemyśle chociaż ich niezawodność jest niewystarczająca w bardzo trudnych warunkach środowiskowych. Tarcze obrotowe pękają podczas silnych uderzeń a skraplanie może być przyczyną błędów. Konieczność zerowania po każdorazowym włączeniu napięcia zasilania również ogranicza możliwość zastosowania w niektórych aplikacjach.

Przetworniki kodowe są droższe od przetworników obrotowo-impulsowych a ich cena głównie zależy od wymaganej rozdzielczości. Niezawodność tych przetworników jest podobna do przetworników obrotowo-impulsowych.

Tpk są szeroko stosowane w obiektach latających i przemyśle i są one szczególnie odporne na pracę w agresywnych środowiskach. Ponieważ koszty przetworników R/D spadły znacznie w ostatnich latach, systemy wykorzystujące tpk są konkurencyjne w stosunku do przetworników optycznych o rozdzielczości 12 i więcej bitów. Układy pomiarowe z tpk mają nieograniczoną rozdzielczość, dużą niezawodność a ponadto nie wymagają zerowania po włączeniu zasilania jak przetworniki obrotowo-impulsowe.

Induktosyny są relatywnie droższe ale za to oferują bardzo dużą dokładność i niezawodność. Sygnały wyjściowe z Induktosyna przetwarzane są na postać cyfrową w przetworniku I/D (Induktosyn/Digital).

Dziękuję Państwu za uwagę