

**Zakład Napędów Wieloźródłowych  
Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich PW  
Laboratorium Elektrotechniki i Elektroniki**

**Ćwiczenie P2 - instrukcja**

**Pomiar parametrów w obwodach magnetycznych**

**cz.I.**

**Pomiar parametrów w łączach selsynowych**

**cz.II.**

Data wykonania ćwiczenia.....

Data oddania sprawozdania.....

**Zespół wykonujący ćwiczenie:**

	<i>Nazwisko i imię</i>	<i>ocena końcowa</i>
1.	.....	.....
2.	.....	.....
3.	.....	.....
4.	.....	.....
5.	.....	.....
6.	.....	.....
7.	.....	.....
8.	.....	.....
9.	.....	.....
10.	.....	.....

**Wydział SiMR PW**

**Rok ak. 20.../20...**

**Semestr.....**

**Grupa.....**

**Warszawa 2007r.**

# Spis treści

1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA. ....	1
2. WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE POLA MAGNETYCZNEGO. ....	1
2.1 KRZYWA MAGNESOWANIA, HISTEREZA.....	3
2.2 OBWODY MAGNETYCZNE. ....	4
2.3. STRATY W OBWODACH MAGNETYCZNYCH. ....	5
2.4. PERMEAMETR EPSTEINA.....	6
3. WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE SELSYNÓW .....7	7
3.1. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA SELSYNÓW .....7	7
3.2. ŁĄCZE SELSYNOWE WSKAŹNIKOWE. ....8	8
3.3. ŁĄCZA SELSYNOWE TRANSFORMATOROWE.....10	10
3.4. ŁĄCZA RÓŻNICOWE. ....11	11
3.5. ZASTOSOWANIE SELSYNÓW.....11	11
4. LITERATURA POMOCNICZA.....12	12

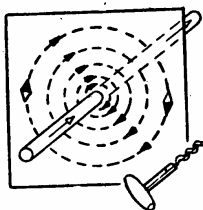
## 1. Cel i zakres ćwiczenia.

Celem części pierwszej ćwiczenia jest utrwalenie podstawowych zagadnień fizycznych o obwodach magnetycznych popartych analizą matematyczną. Wykorzystując permeametr Epsteina jako badany element wyznaczamy krzywą magnesowania poznając jedną z metod pomiaru stratności magnetycznej.

Druga część ćwiczenia ma na celu zapoznanie się z budową i zasadą działania selsynów, możliwymi konfiguracjami pracy i zastosowaniami.

## 2. Wybrane zagadnienia dotyczące pola magnetycznego.

Przepływ prądu przez przewód powoduje powstanie pola magnetycznego w przestrzeni otaczającej przewód lub magnesy trwałe. Przyczyny wywołujące pole magnetyczne w przypadku nieruchomego obwodu prądu stałego, nieruchomego magnesu trwałego nie zmieniają się w czasie, wywołując pole magnetostaticzne. W polu magnetycznym powstałym wskutek przepływu prądu przez przewód, linie pola magnetycznego są liniami zamkniętymi, zwrot ich określa tzw. reguła korkociągu:



Rys.1. Interpretacja graficzna kierunku linii magnetycznych wg reguły korkociągu

W każdym punkcie przestrzeni pole magnetyczne można określić za pomocą dwóch:

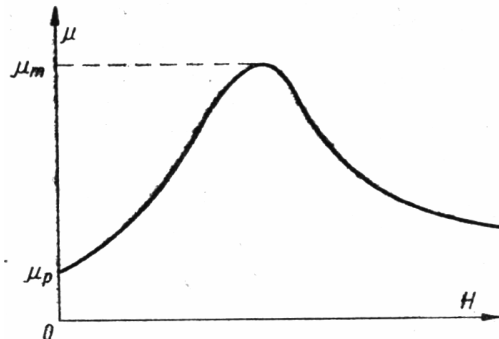
- wektora natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m],
- wektora indukcji magnetycznej  $B$  [T],

$$B = \mu H$$

Przy czym współczynnik proporcjonalności  $\mu$  określa właściwości magnetyczne ośrodka w odniesieniu do właściwości magnetycznych próżni:

- współczynnik przenikalności magnetycznej względnej  $\mu_r$ ,
- współczynnik przenikalności magnetycznej próżni  $\mu_o$ .

$$\mu_o = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \qquad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

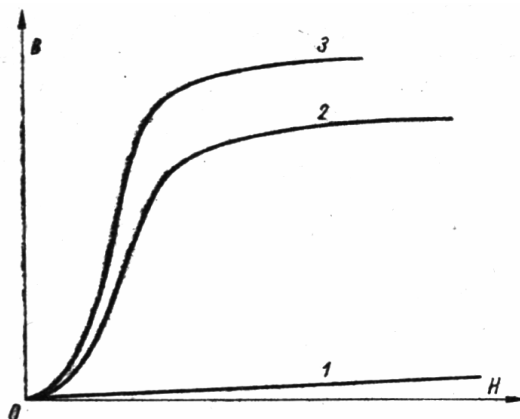


Rys.2. Charakterystyka  $\mu = f(H)$

Przenikalność magnetyczna ferromagnetyków zmienia się w szerokich granicach. Od niewielkiej wartości początkowej  $\mu_p$  wzrasta wraz ze wzrostem natężenia pola magnetycznego, osiąga wartość maksymalną  $\mu_m$ , po czym szybko maleje.

Wszystkie ośrodki można podzielić pod względem wartości podatności magnetycznej:

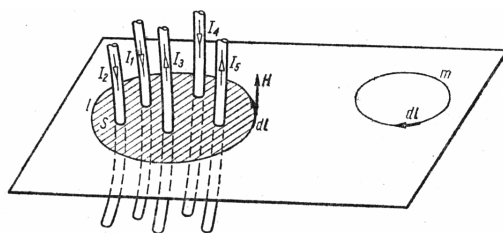
- diamagnetyczne (woda, miedź, sód, azot, hel, neon) powodują pewne osłabienie pola magnetycznego w stosunku do pola jakie panowałoby, gdyby zamiast materiału diamagnetycznego była w tym miejscu próżnia. Przenikalność względna magnetyczna tych materiałów jest mniejsza od jedności.
- paramagnetyczne (tlen, glin, metale ziem rzadkich) powodują pewne wzmocnienie pola magnetycznego. Ich przenikalność magnetyczna względna jest większa od jedności.
- ferromagnetyczne (żelazo, kobalt) powodują bardzo silne wzmocnienie pola magnetycznego. Przenikalność magnetyczna względna ferro-magnetyków jest bardzo duża i może osiągać wartość  $10^6$ .



Rys.3. Pierwotne krzywe magnesowania 1- ciała dia- i paramagnetycznych, 2 - żeliwa, 3 - blachy krzemowej

Całka liniowa wektora natężenia pola magnetycznego wzdłuż dowolnego konturu zamkniętego, jest równa przepływowi prądu przez powierzchnię ograniczoną tą krzywą:

$$\oint H dl = \theta$$



Rys.4. Ilustracja prawa przepływu

Jeżeli przez powierzchnię przenika z przewodów, którymi płyną prądy o tej samej wartości i tych samych zwrotach, to przepływ:

$$\theta = I_z$$

W przestrzeni, przez którą przepływa prąd pole magnetyczne jest polem wirowym. Zakładając jednorodność pola magnetycznego tzn.:

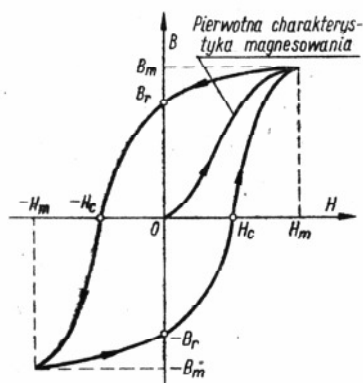
- taka sama wartość wektora natężenia pola w każdym jego punkcie,
- taki sam zwrot wektora natężenia pola w każdym jego punkcie,
- przez wszystkie przewody płynie prąd o tej samej wartości,
- przez wszystkie przewody płynie prąd o takim samym zwrocie:

$$Hl = I_z$$

## 2.1 Krzywa magnesowania, Histereza.

Jeżeli materiał ferromagnetyczny umieścimy w zewnętrznym polu magnetycznym, to po zaniku pola materiał zachowa pewną polaryzację magnetyczną. Zjawisko to nosi nazwę magnetyzmu szczątkowego, a charakteryzującą go wartość indukcji magnetycznej  $B_r$  nazywamy pozostałością magnetyczną lub remanencją. Pole magnetyczne narastające w kierunku przeciwnym, przy pewnej wartości niweczy magnetyzm szczątkowy. Ta wartość natężenia pola -  $H_c$  potrzebna do otrzymania indukcji magnetycznej równej zero, nosi nazwę natężenia koercyjnego (koercji). Zmieniając natężenie pola magnetycznego między maksymalnymi wartościami dodatnimi oraz ujemnymi powoduje się zmiany indukcji magnetycznej zwane pętlą histerezy magnetycznej.

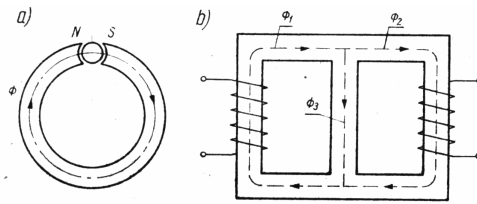
Powierzchnia zawarta wewnątrz pętli histerezy jest proporcjonalna do mocy zużywaną na przemagnesowywanie materiału zwanej stratami na histerezę. Materiały ferromagnetyczne mające szeroką pętlę histerezy są nazywane magnetycznie twardymi zaś te, które mają wąską pętlę histerezy – magnetycznie miękkimi. Materiały magnetycznie twarde (stopy Alnico, Alnisi, stal kobaltowa, stal wolframowa) są używane do wytwarzania magnesów trwałych. Materiały magnetycznie miękkie (stale, stopy kobaltowe) są stosowane do budowy rdzeni elektromagnesów, transformatorów itd.



Rys.5. Pętla histerezy magnetycznej

## 2.2 Obwody magnetyczne.

Obwód magnetyczny - zespół elementów zawierających ukształtowane materiały ferromagnetyczne przeznaczone do skupienia pola w określonej części przestrzeni..

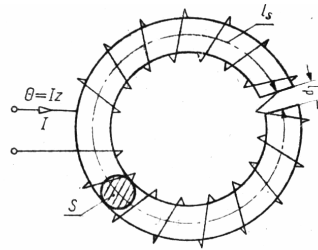


**Rys.6. Obwody magnetyczne: a) nierozgałęziony, b) rozgałęziony**

Obwody magnetyczne są wykorzystywane w wielu konstrukcjach maszyn i aparatów elektrycznych tj. prądnice i silniki elektryczne, transformatory, elektromagnesy itp.

Strumień magnetyczny w obwodzie magnetycznym jest wzbudzany siłą magnetomotoryczną – odpowiednik siły elektromotorycznej w polu elektrycznym:

$$\phi = \int_S B dS$$



**Rys.7. Ilustracja odpowiednika prawa Ohma dla obwodów magnetycznych**

Jeżeli na rdzeniu z materiału magnetycznie miękkiego wykonanym w kształcie pierścienia toroidalnego z wyciętą szczeliną powietrzną nawiniemy równomiernie z zwojów przewodu, przez który przepływa prąd  $I$ , to w obwodzie magnetycznym zostanie wytworzony strumień magnetyczny. Przyjmując, że wytworzony strumień magnetyczny jest stały we wszystkich przekrojach rdzenia oraz stosując prawo przepływu otrzymujemy prawo Ohma:

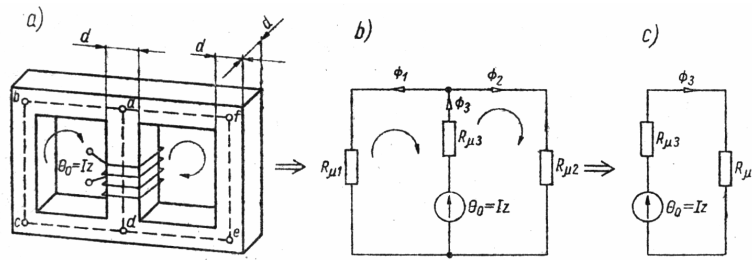
$$\phi = \frac{Iz}{\sum_{k=1}^n \left( \frac{l}{\mu S} \right)_k} = \frac{Iz}{\sum_{k=1}^n R_{\mu k}} \quad R_{\mu} = \frac{l}{\mu S}$$

Ze względu na analogię obwodów magnetycznych i elektrycznych, przy rozpatrywaniu węzłów obwodu magnetycznego, stosuje się do strumieni magnetycznych pierwsze prawo Kirchhoffa:

$$\sum_{k=1}^n \phi_k = 0$$

Do każdego obwodu magnetycznego stosuje się również i drugie prawo Kirchhoffa: algebraiczna suma przepływów prądu, czyli napięć magnetycznych jest równa algebraicznej sumie iloczynów reluktancji i strumieni magnetycznych:

$$\sum_{k=1}^l (Iz) - \sum_{m=1}^n (R_{\mu} \phi)_m$$



Rys.8. Obwód magnetyczny rozgałęziony: a) układ; b) analog elektryczny

$$-\phi_1 - \phi_2 + \phi_3 = 0 \quad \theta_0 - \phi_2 R_{\mu 1} - \phi_3 R_{\mu 3} = 0 \quad \theta_0 - \phi_2 R_{\mu 2} - \phi_3 R_{\mu 3} = 0$$

Analogia między obwodami magnetycznymi i elektrycznymi jest tylko formalna gdyż przepływ prądu w obwodzie elektrycznym, któremu towarzyszą straty energii na ciepło Joule'a, jest zjawiskiem dynamicznym natomiast przepływ strumienia w obwodzie magnetycznym, po ustaleniu się wartości strumienia, ma charakter statyczny.

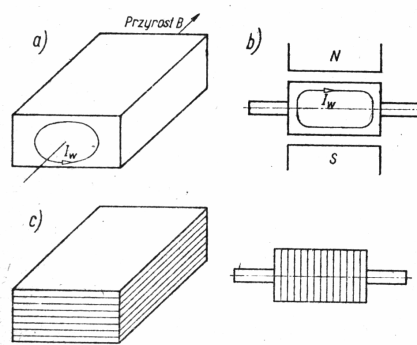
### 2.3. Straty w obwodach magnetycznych.

Straty mocy w obwodzie magnetycznym  $P_m$ , zwane stratami w stali, składają się ze:

- strat na histerezę zależne od gatunku stali, częstotliwości, indukcji magnetycznej i są proporcjonalne do powierzchni pola zawartego wewnątrz krzywej obiegu histerezy magnetycznej.
- strat na prądy wirowe związane z indukowaniem się napięć źródłowych w każdym środowisku przewodzącym, umieszczonym w polu magnetycznym, objętym zmianami strumienia magnetycznego. Powodują one powstanie pola magnetycznego, przeciwdziałającego zmianom strumienia magnetycznego, wywołującego te prądy.

Prądy wirowe powstają wskutek:

- zmian strumienia magnetycznego w środowisku nieruchomym,
  - ograniczamy wykonując rdzeń transformatora z cienkich, izolowanych względem siebie blach, stanowiących przeszkody na drodze przepływu prądów wirowych,
- przecinania pola magnetycznego w środowisku poruszającym się,
  - ograniczamy wykonując wirnik z cienkich blach magnetycznych, izolowanych między sobą, upakowanych prostopadle do drogi przepływu prądów wirowych.



Rys.9. Prądy wirowe: a) w rdzeniu nieruchomym w zmiennym polu magnetycznym; b) w rdzeniu poruszającym się względem pola magnetycznego; c) zmniejszanie wartości prądów wirowych przez podział rdzeni na blachy

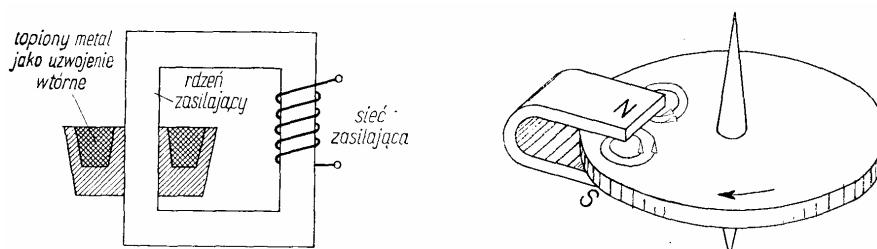
$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad [\Omega] \quad I = \frac{Hl}{z} = [A] \quad B = H\mu = [T] \quad P = RI^2 = [W]$$

Powstanie prądów wirowych wiąże się ze stratami mocy cieplnej powodując zwiększenie temperatury obwodów magnetycznych. Wartość prądów wirowych zależy od:

- częstotliwości zmian pola magnetycznego,
- indukcji magnetycznej środowiska,
- rezystywności,
- wymiarów geometrycznych przewodnika.

Niekiedy zjawisko występowania prądów wirowych jest pożądane np.:

- w hamulcach wirowych,
  - wykorzystuje się indukowane prądy wirowe w obracającej tarczy metalowej w celu wytworzenia momentu hamującego ruch tarczy,
- w przyrządach pomiarowych,
  - stosuje się tłumienie wahań organu ruchomego za pomocą sił mechanicznych, wytworzonych przez prądy wirowe indukowane w blaszce aluminiowej poruszającej się w polu magnesu trwałego,
  - w piecach indukcyjnych prądy wirowe powstające w metalu są tak silne, że wytwarzane przez nie ciepło wystarczy do roztopienia metalu.

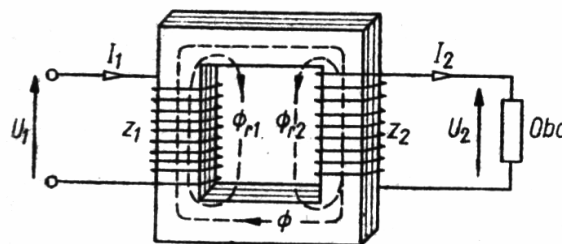


Rys.10. Prądy wirowe wykorzystywane do hamowania tarczy aluminiowej w liczniku energii ele

## 2.4. Permeometr Epsteina.

Do pomiarów parametrów materiałów magnetycznych miękkich najczęściej stosuje się permeometr Epsteina. Zawiera on zamknięty rdzeń magnetyczny wykonany z badanego materiału, na który nawinięte są uzwojenia: pierwotne zwane magnesującym, o liczbie zwojów  $z_1$ , oraz wtórne zwane pomiarowym o liczbie zwojów  $z_2$ .

Prąd zmienny przepływający przez uzwojenie magnesujące permeamtru powoduje powstanie zmiennego pola magnetycznego zgodnie z prawem przepływu. Zmienny strumień magnetyczny przenikający uzwojenie pierwotne powoduje powstanie na jego zaciskach zmiennej siły elektromotorycznej  $E$ . Uzwojenia permeamtru tworzą transformator o przekładni  $z_1/z_2$ .



Rys.11. Schemat permeamtru Epsteina.

W uzwojeniu pomiarowym płynie niewielki prąd pobierany przez woltomierz i obwód napięciowy watomierza. Spadek napięcia na tym uzwojeniu jest pomijalnie mały w stosunku do wartości indukowanej siły elektromotorycznej. Przyjmuje się, że napięcie  $U_2$ , mierzone przez dołączony do uzwojenia pomiarowego woltomierza, jest równe sile elektromotorycznej.

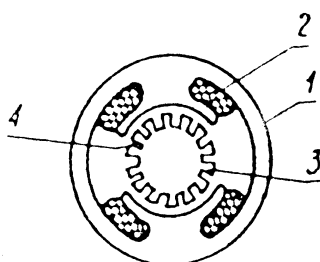
opracował:  
dr inż. I. Krakowiak

### 3. WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE SELSYNÓW

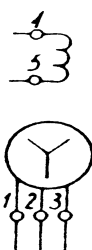
Selsyny są to indukcyjne maszyny elektryczne służące do przetwarzania sygnału przesunięcia kąтового na sygnał napięciowy oraz sygnał napięciowy na sygnał przesunięcia kąтового

#### 3.1. Budowa i zasada działania selsynów

Dwie zasadnicze części selsynu to: stojan oraz wirnik. Selsyn jednofazowy posiada jednofazowe, dzielone uzwojenie wzbudzenia umieszczone na 2 biegunach stojana. Trójfazowe uzwojenie wirnika umieszczone jest w żłobkach. Składa się ono z trzech uzwojeń fazowych połączonych w gwiazdę i przesuniętych w przestrzeni o  $120^\circ$  względem siebie. Trzy wolne końce uzwojeń wirnika połączone są za pośrednictwem szczotek z trzema pierścieniami ślizgowymi, umieszczonymi na wale wirnika.

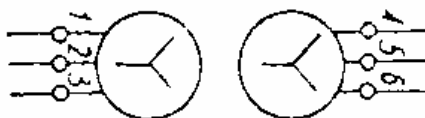


Rys. 12. Szkic badanego selsynu: 1 – stojan, 2 – uzwojenie wzbudzenia, 3 – wirnik, 4 – uzwojenie wirnika.



Rys. 13. Symbol selsynu jednofazowego z uzwojeniem wzbudzenia w stojanie i uzwojeniem wirnika połączonym w gwiazdę: 1, 2, 3 – zaciski uzwojenia wirnika, 4, 5 – zaciski uzwojenia wzbudzenia.

Selsyn różnicowy w odróżnieniu od selsynu jednofazowego ma trójfazowe uzwojenie stojana złożone z trzech uzwojeń fazowych połączonych w gwiazdę i przesuniętych w przestrzeni o  $120^\circ$  względem siebie. Budowa wirnika tego selsynu jest taka sama jak wirnika selsynu jednofazowego.



Rys. 14.. symbol selsynu różnicowego: 1, 2, 3, - zaciski uzwojenia stojana, 4, 5, 6 – zaciski uzwojenia wirnika

W jednofazowym uzwojeniu stojana zasilanym napięciem sinusoidalnie zmiennym płynie prąd magnesujący  $I_m$ , który wywołuje pulsujący strumień magnetyczny. W każdym z uzwojeń fazowych wirnika indukuje się SEM, której amplituda zależy od kąta pomiędzy osią geometryczną danego uzwojenia fazowego, a kierunkiem pulsującego strumienia magnetycznego. SEM poszczególnych faz wirnika  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  określone są następującymi wzorami:

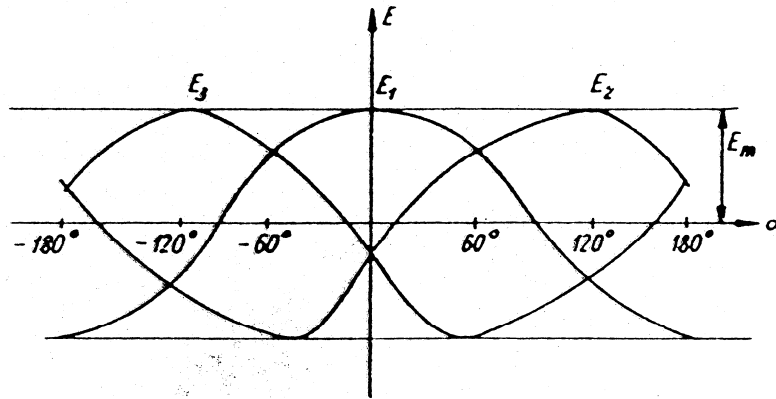


$$E_1 = E_m \cos \alpha,$$

$$E_2 = E_m \cos (\alpha - 120^\circ),$$

$$E_3 = E_m \cos (\alpha + 120^\circ),$$

$\alpha$  – kąt pomiędzy osią geometryczną uzwojenia fazowego nr1 a kierunkiem strumienia stojana,  $E_m$  – wartość maksymalna SEM zależna od parametrów konstrukcyjnych selsynu.



Rys.15. Siły elektromotoryczne  $E_1, E_2, E_3$ , w uzwojeniach fazowych wirnika w funkcji jego położenia kąowego.

Wartości SEM przewodowych (tzn. mierzonych pomiędzy wolnymi końcami uzwojeń fazowych) określone są wzorami:

$$E_{12} = E_1 - E_2 = \sqrt{3} E_m \cos (\alpha + 30^\circ),$$

$$E_{23} = E_2 - E_3 = \sqrt{3} E_m \cos (\alpha + 270^\circ),$$

$$E_{31} = E_3 - E_1 = \sqrt{3} E_m \cos (\alpha + 150^\circ).$$

W zależności od roli, jaką spełnia w układzie selsyn jednofazowy nazywa się go selsynem nadawczym, odbiorczym lub transformatorowym.

Selsyn nadawczy służy do przetworzenia zadanego przesunięcia kąowego na sygnał napięciowy dla uzwojeń wirnika.

Selsyn odbiorczy przetwarza otrzymany z selsynu nadawczego sygnał napięciowy na przesunięcie kąowe wirnika względem stojana.

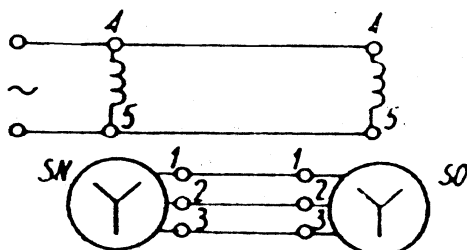
Selsyn transformatorowy przetwarza otrzymany z selsynu nadawczego sygnał napięciowy, na uzwojeniach wirnika na SEM uzwojenia stojana.

Selsyn różnicowy przeznaczony jest w zasadzie do współpracy z selsynami pozostałych typów. Pod wpływem prądów płynących w uzwojeniu stojana (wirnika) selsynu różnicowego powstaje strumień magnetyczny, który w uzwojeniu wirnika (stojana) tego selsynu indukuje SEM. Amplituda SEM zależy od amplitudy prądów fazowych oraz od wielkości przesunięcia kąowego pomiędzy stojanem a wirnikiem. Zamknięcie obwodów stojana i wirnika selsynu różnicowego powoduje przepływ prądów oraz powstanie momentu obrotowego działającego pomiędzy stojanem a wirnikiem.

### 3.2. Łącze selsynowe wskaźnikowe.

Łącze to służy do przekazywania przesunięć kąowych wirnika selsynu nadawczego wirnikowi selsynu odbiorczego. Odległość pomiędzy tymi selsynami może być znaczna, ograniczona jest impedancją przewodów łączących oraz wymaganą dokładnością odtwarzania przesunięć kąowych. Układ składa się z selsynu nadawczego SN, selsynu odbiorczego SO i

przewodów łączących te selsyny. W uzwojeniach wzbudzenia obu selsynów płynie prąd sinusoidalnie zmienny.



Rys. 16. Schemat wskaźnikowego łączy selsynowego: SN – selsyn nadawczy, SO – selsyn odbiorczy, 1, 2, 3, - zaciski uzwojenia wirnika, 4, 5 – zaciski uzwojenia wzbudzenia

Jeżeli połączone ze sobą uzwojenia fazowe wirników SN i SO zajmują takie samo położenie względem swoich uzwojeń stojanów to SEM indukowane w tych uzwojeniach mają taką samą fazę i amplitudę lecz jest przeciwnie skierowane. Wobec, tego w uzwojeniach tych prąd nie płynie.

Kiedy jednak wirnik selsynu nadawczego obrócimy o pewien kąt wówczas równowaga SEM zostanie zachwiana i przewodami łączącymi wirnik SN i SO popłynie prąd. Współdziałanie prądu ze strumieniem wzbudzenia selsynu SO powoduje powstanie momentu obrotowego synchronicznego, który usiłuje ustawić wirnik w takim samym położeniu jak położenie wirnika selsynu nadawczego SN. Taki sam moment tylko skierowany przeciwnie działa na Sn, gdyż prąd w uzwojeniach fazowych tych selsynów płynie w kierunku przeciwnym względem strumienia wzbudzenia. Jak widać ze schematu SO i SN połączone są tak samo i każdy z nich może spełniać role zarówno selsynu nadawczego jak i odbiorczego. Jeżeli wirnik jednego z selsynów obrócimy o kąt  $\alpha$ , to wirnik drugiego obróci się również o kąt  $\alpha$ . Przekazywanie przesunięć kątowych pomiędzy selsynami jest możliwe w obu kierunkach.

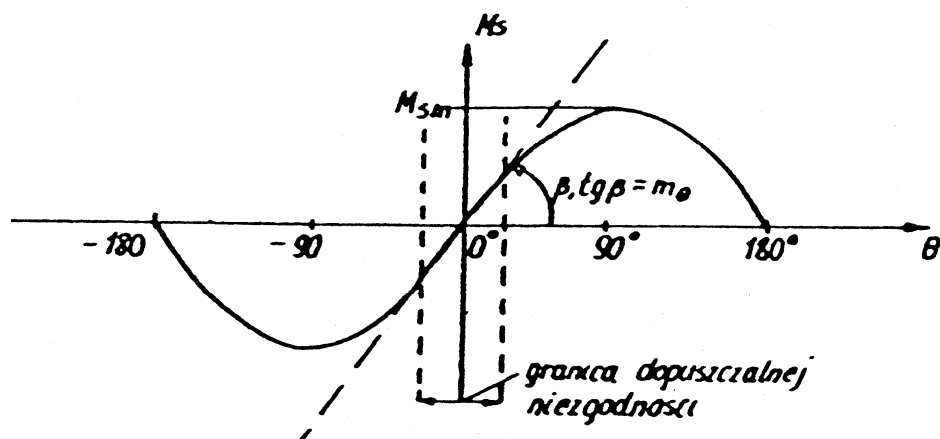
Wartość momentu synchronizującego zależy od kąta niezgodności położenia wirników selsynów nadawczego i odbiorczego.

$$M_s = M_{sm} \sin\theta,$$

$M_{sm}$  – maksymalny moment synchronizujący zależy od parametrów konstrukcyjnych selsynu,

$$\Theta = \alpha_{SN} - \alpha_{SO},$$

$\alpha_{SN}$  – kąt obrotu selsynu SN,  $\alpha_{SO}$  – kat obrotu selsyny SO.



Rys. 17. Charakterystyka statyczna momentu synchronicznego  $M_s = f(\theta)$

Względny moment synchronizujący:

$$m_\theta = \left. \frac{dM_s}{d\theta} \right|_{\theta=0^\circ}$$

Moment wywrotu jest to moment synchronizujący przy kącie niezgodności  $\theta = 90^\circ$ . W zakresie kąta  $\theta$  od  $0^\circ$  do  $180^\circ$   $M_s$  jest większy od zera, tzn. łącze jest samo synchronizujące. Jeżeli wirnik jednego z selsynów ustawiony jest w położeniu  $0^\circ$ , to wychylenie wirnika drugiego o kąt mniejszy od  $180^\circ$  spowoduje jego powrót do położenia  $0^\circ$ . Dalszy obrót wirnika (ponad  $180^\circ$ ) spowoduje zmianę znaku momentu  $M_s$  i obrót wirnika od pozornego zera, przesuniętego o  $360^\circ$  względem zera początkowego.

Na ogół kąt niezgodności  $\theta$  nawet w stanach ustalonych łącza wskaźnikowego różny jest od  $0^\circ$ . Wielkość kąta  $\theta$  zależy zarówno od momentu obciążającego selsyn odbiorczy jak też od sztywności łącza. Kąt  $\theta$  jest tym mniejszy im większa sztywność łącza. Na zwiększenie kąta  $\theta$  może mieć ponadto wpływ różnica napięć zasilających uzwojenia stojanów selsynów, np. wskutek spadku napięcia na przewodach łączących te uzwojenia. W celu eliminacji tego zjawiska szeregowo z uzwojeniem wzbudzenia, znajdującym się bliżej źródła prądu, łączy się opornik kompensacyjny. Moment synchronizujący selsynu jest wprost proporcjonalny do kwadratu napięcia wzbudzenia.

$$M_s = M_{sn} \left( \frac{U}{U_n} \right)^2, \quad M_s = M_{sn} \left( \frac{f_n}{f} \right)$$

$M_{sn}$  – moment synchronizujący przy napięciu znamionowym,

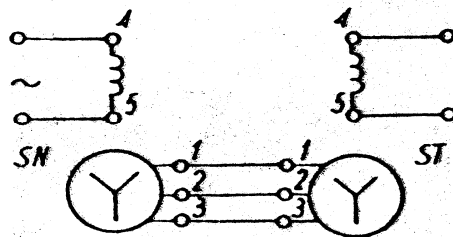
$U_n$  – napięcie znamionowe wzbudzenia,

$U$  – napięcie wzbudzenia,

$f_n$  – częstotliwość znamionowa.

### 3.3. Łącza selsynowe transformatorowe.

Łącze transformatorowe służy do przetwarzania sygnału przesunięcia kąтового selsynu nadawczego na sygnał napięcia w uzwojeniu stojana selsynu transformatorowego.



Rys. 18. Schemat transformatorowego łącza selsynowego: SN – selsyn nadawczy, ST – selsyn transformatorowy

Łącze składa się z selsynu nadawczego SN, selsynu transformatorowego ST i przewodów łączących. Do sieci zasilającej podłączone jest tylko uzwojenie stojana selsynu nadawczego. W wirniku SN indukowane są SEM, które powodują przepływ prądu przez uzwojenie fazowe wirników SN i ST. Prąd ten powoduje powstawanie pulsującego strumienia magnetycznego w ST. Kierunek tego strumienia zależy od położenia wirnika SN względem stojana. Przy nieruchomym wirniku selsynu SN kierunek strumienia zależy również od położenia wirnika ST. Tak więc SEM indukowana w uzwojeniu stojana selsynu transformatorowego ST zależy od kąta niezgodności  $\theta$  pomiędzy wirnikami SN i ST. Jej wielkość określona jest wzorem:

$$E = E_m \cos \theta, \\ \theta = \alpha_{SN} - \alpha_{ST},$$

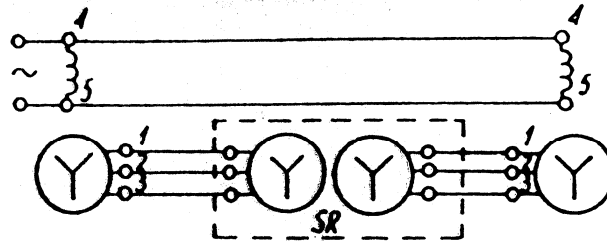
$E_m$  – maksymalna SEM.

W odniesieniu do łącza transformatorowego wprowadza się nowy parametr – czułość selsynu

$$C_s = \frac{dE}{d\alpha_{SN}} \Big|_{\alpha_{SN} = 0}$$

### 3.4. Łącza różnicowe.

Trójfazowe uzwojenia stojana i wirnika selsynu różnicowego połączone są z uzwojeniami wirników selsynów nadawczych. Oddziaływanie pola wytwarzanego w stojanie selsynu różnicowego na prądy płynące w obwodzie wirnika powoduje powstanie momentu obrotowego w tym selsynie. Następuje obrót wirnika o kąt, którego wielkość równa jest różnicy kątów obrotu wirników selsynów nadawczych.



Rys. 19. Schemat łączy różnicowego: SR – selsyn różnicowy

### 3.5. Zastosowanie selsynów.

Zadaniem układu prowadzenia anteny radaru jest zapewnienie współbieżnego prowadzenia cewki odchylającej lampy oscyloskopowej radaru z antena. Skutkiem działania układu obraz na ekranie radaru zorientowany jest prawidłowo względem stron świata. Selsyn nadawczy SN umieszczony jest w konsoli antenowej, która zawiera ponadto antenę A i silnik napędowy anteny. Wirnik selsynu nadawczego obraca się wraz z antena i połączony jest trzema przewodami z pozostałą częścią układu, znajdująca się w konsoli odbiorczej. Wirnik selsynu SN może być połączony albo z selsynem różnicowym SR albo też bezpośrednio z wirnikiem selsynu transformatorowego ST. Wybór sposobu połączenia odbywa się przy pomocy przełącznika  $P_{rz}$ . Pozostałymi elementami układu są: wzmacniacz W (wraz z korektorami), silnik M i przekładnia zębata P łącząca silnik z cewką odchylającą C lampy oscyloskopowej. Cewka C sprzężona jest mechanicznie z wirnikiem selsynu ST. Jeżeli położenie wirnika selsynu ST jest takie jak położenie wirnika selsynu SN to na uzwojenia stojana ST napięcie jest równe zero. Silnik M zmniejsza prędkość. Ponieważ jest sprzężony z cewką C, a ta z wirnikiem ST, wobec tego istnieje różnica położenia wirników ST i SN; skutkiem tego pojawia się napięcie na uzwojeniu stojana ST. Powoduje to zwiększenie prędkości obrotowej silnika M i zmniejszenie różnicy położenia wirników.

Jeżeli wartość kąta  $\gamma$  będzie większa od  $\alpha$  wystąpi napięcie ujemne na silniku, które spowoduje zmniejszenie prędkości obrotowej silnika M. Znak napięcia sterującego silnik jest taki, jak znak różnicy  $\alpha - \gamma$ .

Włączanie do układu selsynu różnicowego SR pozwala na wprowadzenie poprawki  $\beta$  kursu statku, ponieważ wirnik selsynu różnicowego sprzężony jest mechanicznie z żyrokompasem. Z chwila włączenia tego selsynu obraz na ekranie zostaje zorientowany podobnie jak mapa tzn. kierunek ku górze odpowiada kierunkowi północnemu itd. W stanie ustalonym (tzn. kiedy prędkość obrotowa anteny i cewki C jest stała) musi istnieć stała różnica położenia wirników SN i ST  $\delta = \alpha - \gamma$ , która steruje silnikiem M. Kąt  $\delta$  nie powinien jednak przekroczyć pewnej ustalonej, niewielkiej wartości. Jest również określona wartość tego kąta w stanach dynamicznych. Odpowiednie własności dynamiczne zapewniają korektory.

opracował:  
mgr inż. J. Dębicki

#### **4. Literatura pomocnicza**

1. Bieniek A. i inni „Maszyny i urządzenia elektryczne”
2. Koziej E., Sochon B. „Elektrotechnika i elektronika”
3. Kukurba H. Śliwa A. „Zbiór zadań z elektrotechniki”
4. Latek W. „Zarys maszyn elektrycznych”
5. Michałowski K., Przyjałkowski A. „Elektrotechnika z elektroniką”
6. Przeździecki F. „Elektrotechnika i elektronika”
7. Szumanowski A. wykład z „Elektrotechniki i elektroniki”