

Świnoujście, 02 luty 2015 r.

BAZA
elektrotechniczna do konstrukcji prądnicy tarczowej opartej
na magnesach neodymowych

Z uwagi na fakt, że nie stwierdziłem dotychczas, w żadnym opracowaniu, merytorycznych opisów zasad funkcjonowania tarczowych prądnic tzw. „neodymowych” postanowiłem dokonać niezbędnych analiz, aby przybliżyć je Internautom. Przekaz mój jest adresowany do ambitnej młodzieży, hobbystów, osób analizujących nowe elektrotechniczne koncepcje, konstruktorów różnych urządzeń. I co ważne, każdy może moje analizy wzbogacić tak, by prądnice działały sprawniej i były tańsze w budowie, a ponadto wykryć ewentualne błędy i niedoskonałości. Opracowanie może być podstawą do badań naukowych.

Niektóre określenia, wzory i twierdzenia byłem zmuszony sam utworzyć, aby oddać specyfikę tej idei. Opisy sporządzałem tylko tam, gdzie jest to niezbędnie konieczne. Wzory i rysunki muszą obronić się same! Rysunki magneśnic są do wycięcia w celu dokonywania analiz – należy pinezkę wpiąć w jej środek obrotu i punkt centralny twornika. Gwiazdka w kółku oznacza wejście linii sił pola magnetycznego do twornika, od strony patrzącego – jest to pierwsza tarcza magneśnicy. Kółko z kropką – wyjście tych linii z twornika od strony przeciwstawnej tarczy magneśnicy – kierunki przeciwstawne (analogia do kierunków prądowych). Do wyznaczania kierunków prądów w cewkach należy stosować znaną regułę prawej dłoni. Proste układy zazwyczaj są najskuteczniejsze! Należy zwrócić uwagę na fakt, że jest to opracowanie samodzielne wynikające z dokonanych analiz, wstępnych badań empirycznych i doświadczenia.

Jednocześnie pragnę przeprosić, że rysunki nie są wykonane w oparciu o program graficzny. Dlatego zastosowałem, też skuteczną, metodę szkolną.

Do konstrukcji prądnicy opartej na umieszczeniu cewek wewnątrz środkowej płaszczyzny twornika, którą można nazwać tarczową, wykorzystuje się:

- I. Bardzo silną indukcję magnetyczną magnesów neodymowych (ok. 10 – krotnie większą od magnesów ferrytowych) zamontowanych na dwóch magneśnicach – rotorach, pomiędzy którymi koncentrycznie umieszczony jest twornik – stator. Z tego powodu można wyeliminować konieczność stosowania magnetowodu (do zastosowań amatorskich), co w konsekwencji upraszcza

budowę prądnicy – czyni ją możliwie lekką, prostą w realizacji, potania produkt poprzez możliwość samodzielnej konstrukcji.

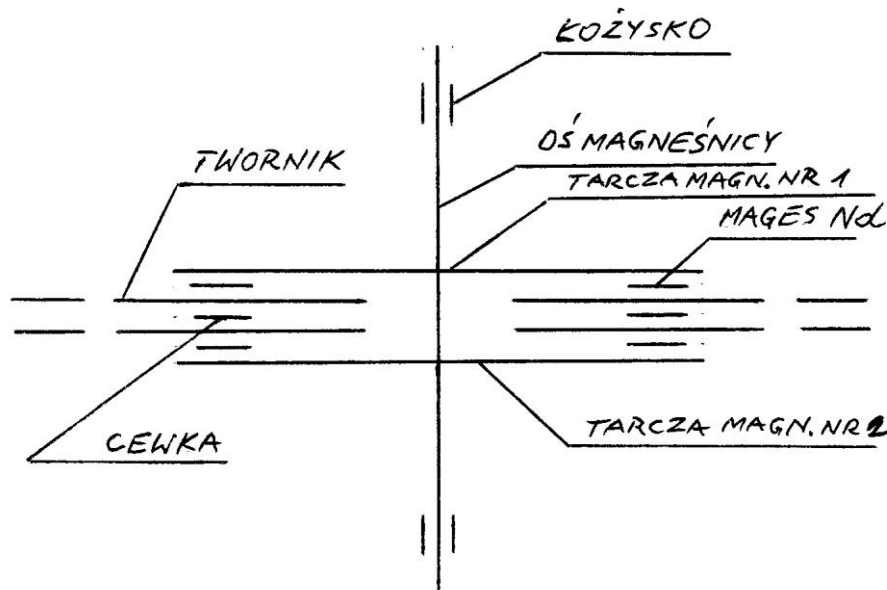
II. Oddziaływanie czterech magnesów, tworzących dwa przeciwstawne kierunki linii sił pola magnetycznego, na dwa boki każdej cewki będącej składową trzech zezwojów fazowych.

III. Jednoczesne oddziaływanie dwóch magnesów, tworzących jednokierunkowe linie sił pola magnetycznego, na jeden, a następnie drugi bok każdej cewki będącej szeregowym uzwojeniem fazowym.

Ad I. Możliwość zrezygnowania ze stosowania magnetowodu.

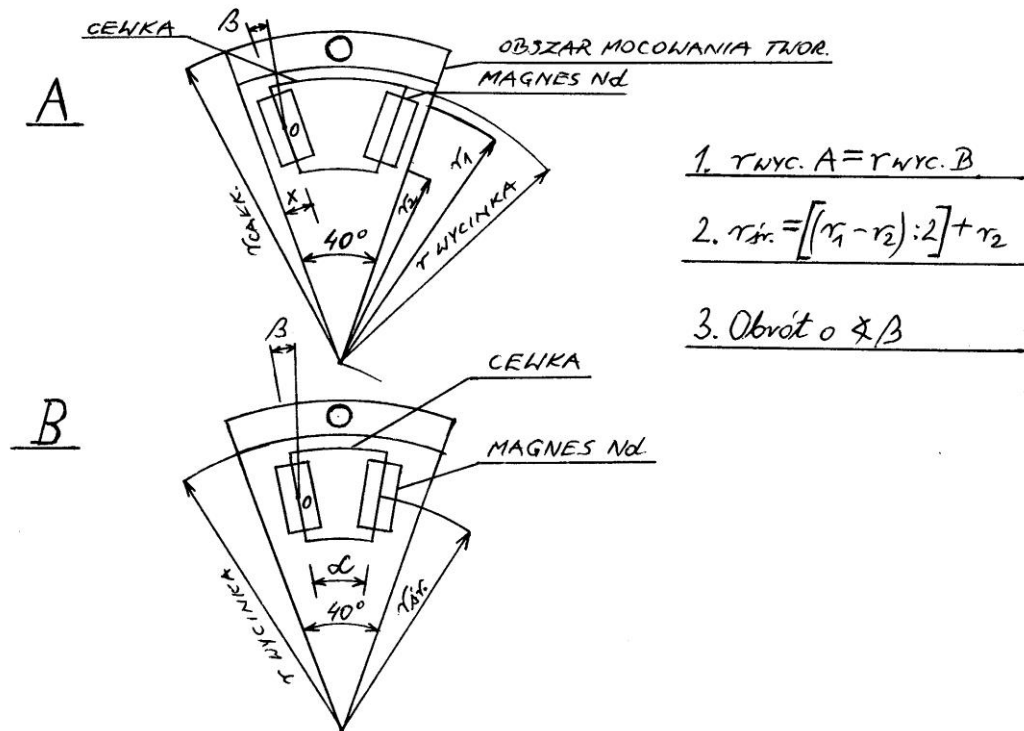
Rys. nr 1

Wzajemne położenie twornika i magnesnicy



Cewki umieszczone wewnątrz twornika wykonanego dla małych mocy (do ok. 0,5 kW) z dwóch warstw (jedna na spodzie twornika, druga przykrywająca cewkę) maty z włókna szklanego zalanej żywicą syntetyczną z utwardzaczem będą mocno osadzone w celu uniemożliwienia ich przesunięcia.

Rys. nr 2
 Położenie magnesów i ramion cewki
 w wycinku tarczy magnetycznej

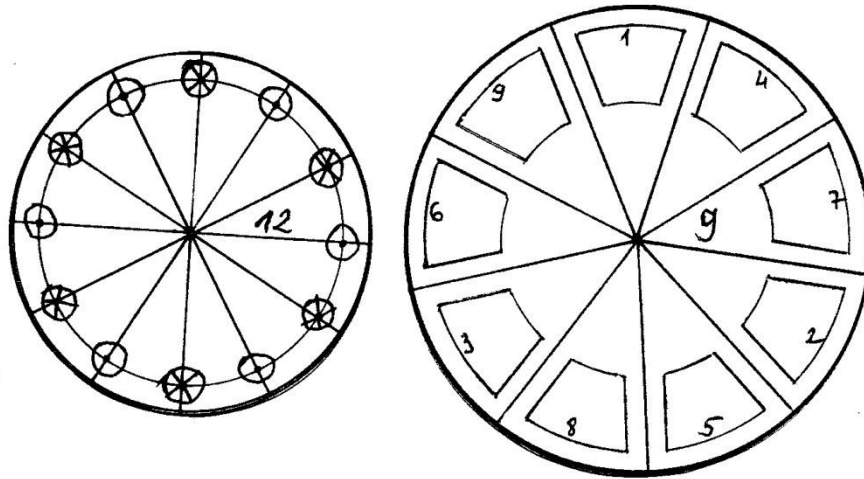


Ad II. Układy oddziaływania czterech magnesów na dwa boki cewki.

A.

- twornik – 9 cewek;
- magneśnica – 12 magnesów;
- I Zezwój fazowy (Z_{f1}) – cewki: 1, 2, 3;
- II Zezwój fazowy ($Z_{f2,}$) – cewki: 4, 5, 6;
- III Zezwój fazowy (Z_{f3}) – cewki: 7, 8, 9;
- kąt podziału twornika – $360^0 : 9 = 40^0$;
- kąt podziału magnetycznej – $360^0 : 12 = 30^0$;
- kąt zawarty między osiami cewek w jednym zezwoju – 120^0 .

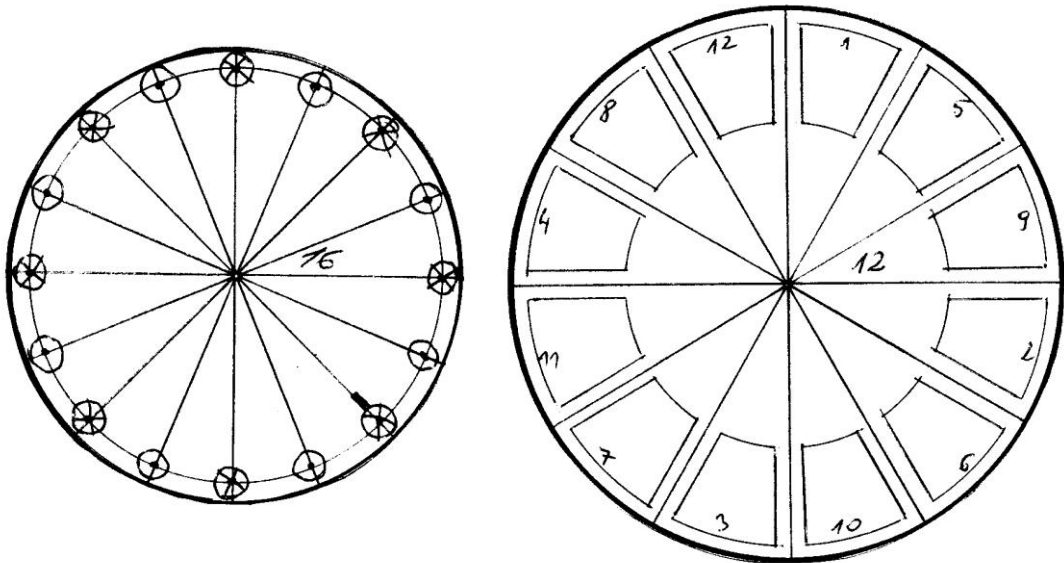
Rys. nr 3
Twornik i magneśnica – podział: 9/12



B.

- a) twornik – 12 cewek;
- b) magneśnica – 16 magnesów;
- c) I Zewzój fazowy (Z_{f1}) – cewki: 1, 2, 3, 4;
- d) II Zewzój fazowy (Z_{f2}) – cewki: 5, 6, 7, 8;
- e) III Zewzój fazowy (Z_{f3}) – cewki: 9, 10, 11, 12;
- f) kąt podziału twornika – $360^0 : 12 = 30^0$;
- g) kąt podziału magneśnicy – $360^0 : 16 = 22,5^0$;
- h) kąt zawarty między osiami cewek w jednym zewwoju – 90^0 .

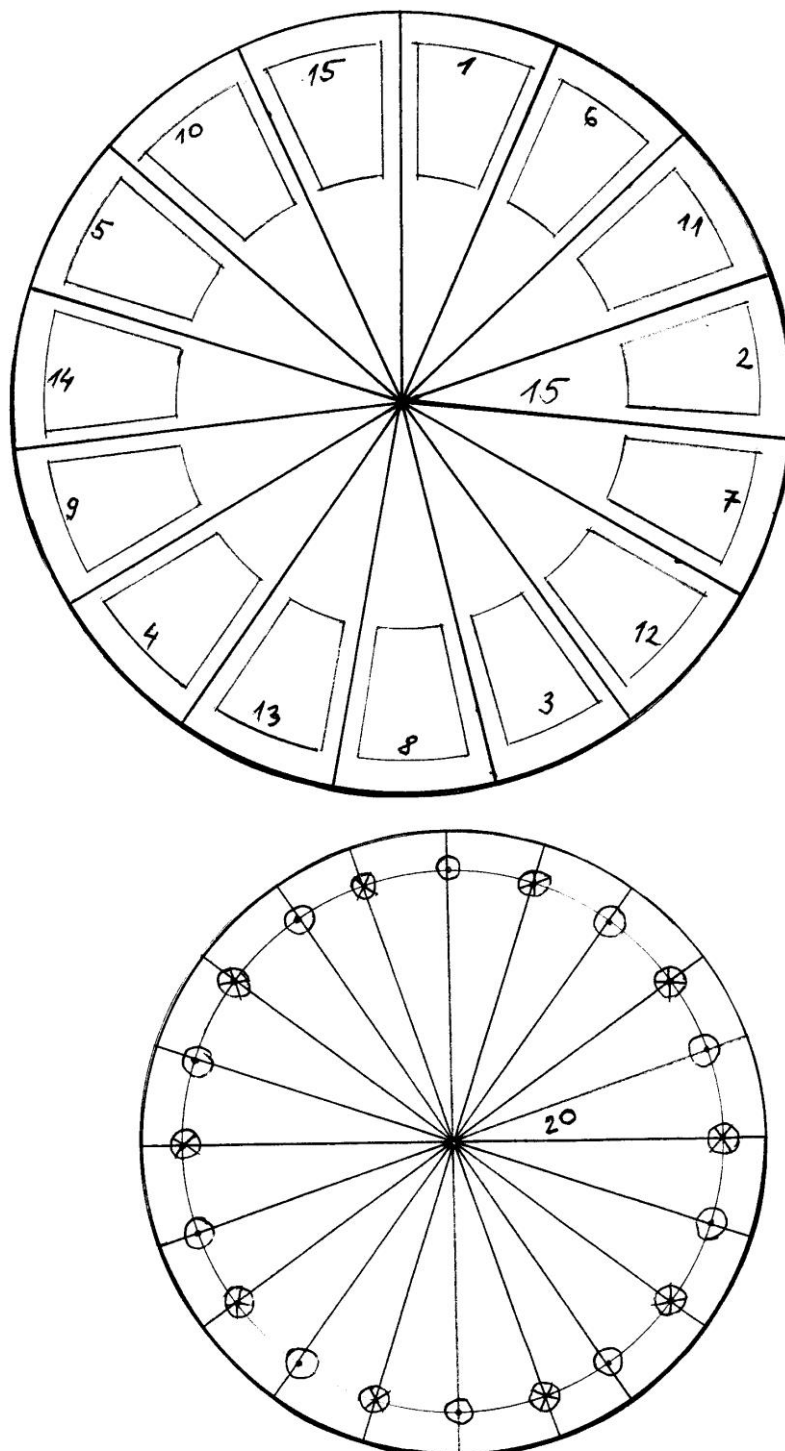
Rys. nr 3
Twornik i magneśnica – podział 12/16



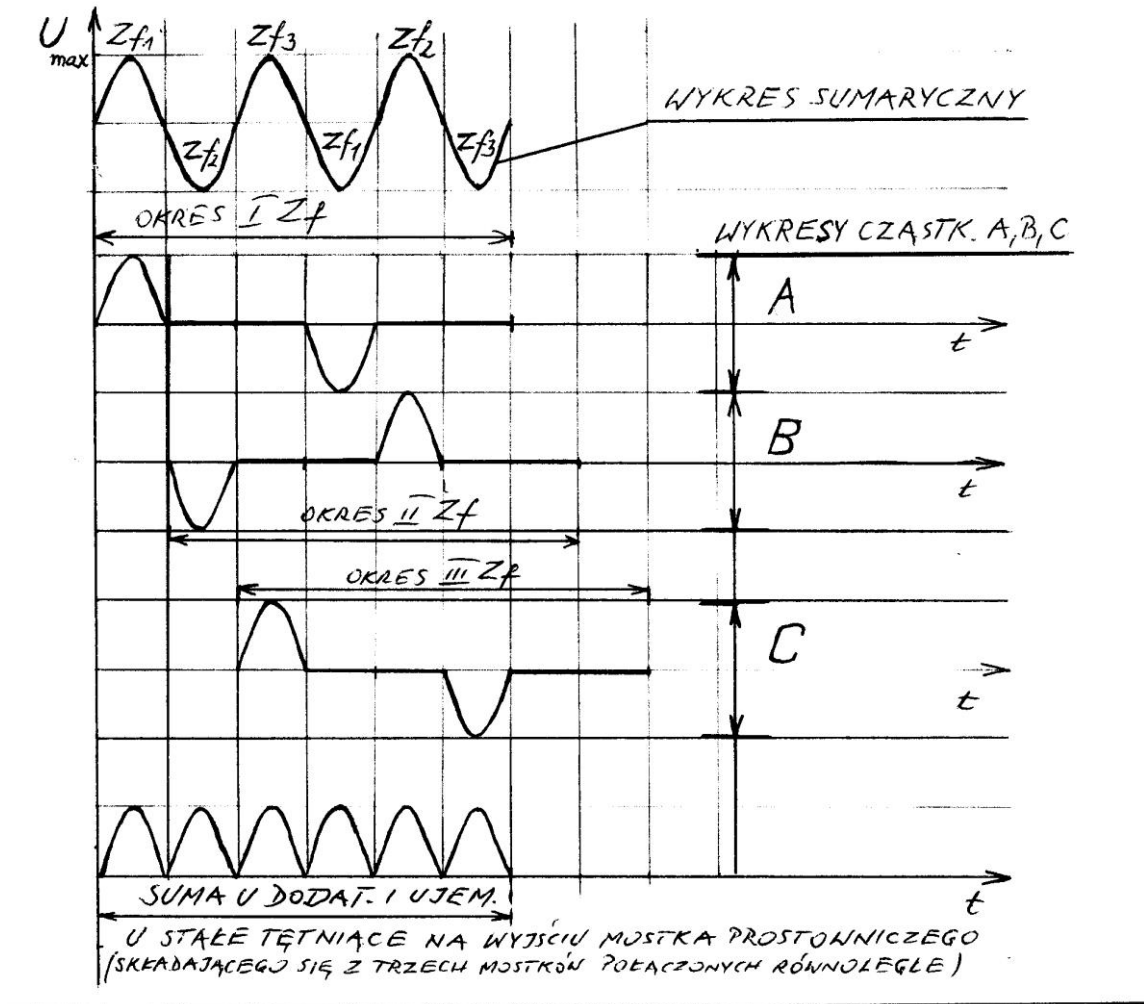
C.

- a) twornik – 15 cewek;
- b) magneśnica – 20 magnesów;
- c) I Zewzój fazowy (Z_{f1}) – cewki: 1, 2, 3, 4, 5;
- d) II Zewzój fazowy (Z_{f2}) – cewki: 6, 7, 8, 9, 10;
- e) III Zewzój fazowy (Z_{f3}) – cewki: 11, 12, 13, 14, 15;
- f) kąt podziału twornika – $360^{\circ} : 15 = 24^{\circ}$;
- g) kąt podziału magneśnicy – $360^{\circ} : 20 = 18^{\circ}$;
- h) kąt zawarty między osiami cewek w jednym zewwoju – 72° .

Rys. nr 4
Twornik i magneśnica – podział 15/20



Wykres nr 1
 przebiegu napięcia zmiennego i wyprostowanego,
 długości okresów fazowych oraz ich wzajemnych przesunięć



Omówienie działu I i II.

A. Każdy zezwój fazowy:

1. Przyjmuje wartość dodatnią i ujemną (zmiana kierunku prądu) przedzielonymi dwoma wartościami U o $2/6$.
2. Jest przesunięty względem drugiego w czasie równym $1/6$ długości według kolejności występowania.

3. Ma wykres prądu zmiennego okresowo, tj. różny od prądu przemiennego o przebiegu sinusoidalnym.
4. Może być prostowany mostkiem prostowniczym jednofazowym (układ najefektywniejszy), a mostki z **trzech zezwojów fazowych** (tak zostały przez mnie nazwane, ponieważ nie spełniają kryterium z punktu poprzedniego) należy połączyć równolegle.
5. Może zasilać oddzielnie odbiorniki prądem stałym tętniącym lub zmiennym okresowo pod warunkiem równomiernego obciążenia.
6. O ilości cewek ≥ 3 ma **wyróżnik – liczbę 4** odnoszącą się do wymaganego określenia podziału magneśnicy – rotora, co ustalono na podstawie analiz.

Wzór nr 1: $L_t = n_t \mathbf{3}$

Wzór nr 2: $L_m = n_t \mathbf{4}$

gdzie:

L_t – liczba podziałów twornika;

L_m – liczba podziałów magneśnicy;

n_t – liczba cewek.

7. W części okresu dodatniego i ujemnego ma wykres przypominający wartość średnią funkcji sin i trójkąta.

Do kształtowania charakterystyki wartości dodatnich i ujemnych napięć należy stosować obrót magnesu o kąt β (zob. rys. nr 2) wynoszący ok. 10^0 dla typowych magnesów prostopadłościennych. Umożliwia to łagodne narastanie napięcia i stopniowe opadanie w celu upodobnienia wykresu do funkcji sin. Osie podłużne symetrii magnesów mogą być ułożone na wycinku twornika w dwojaki sposób: zgodnie z osią symetrii promieni okręgu tworzących kąt podziału magneśnicy oraz równoległe do boków wycinka twornika oddalonych o odległość – „x” (również tworzących kąt podziału magneśnicy na osi obrotu O).

Nad każdą cewką zezwoju fazowego przemieszczają się magnesy. Podczas podziału twornik – magneśnica 9/12 ilość pełnych zmian kierunku prądu (w jedną i drugą stronę) wynosi 6, dla twornik – magneśnica 12/16 wynosi 8, dla twornik – magneśnica 15/20 wynosi 10. Aby, obliczyć częstotliwość układu należy zastosować n/w wzory opracowane na podstawie analiz^{zob. przypis na str.31};

Wzór nr 3: $F_{zf} = (0,5 * R_p * Obr.) : 60$

Wzór nr 4: $F_{c1} = 3F_{zf}$

Wzór nr 5: $F_{c2} = (1,5 * R_p * Obr.) : 60$, zatem $F_{c1} = F_{c2}$.

gdzie: F – częstotliwość; (duże „ F ”, ponieważ odmienne od f_{sin} , gdzie $f = 1/T$) – okres zmian w s dla każdego $Z_f (= Hz)$, zatem:

$F_{zf 1, 2, 3} = F_{całkowite} = F_{c1}$ lub F_{c2} (wzór nr 4 lub wzór nr 5);

R_p – ilość podziałów magnesu;

Obr. – obroty/ min.

Chcąc uzyskiwać duże i bardzo duże moce należałoby podjąć badania nad technologią proszków spiekanych do kształtowania twornika na małe częstotliwości, bądź zbadania doświadczalnie stosowania struktur nanotechnologicznych np. żelazo – krzemu mieszanych z żywicami syntetycznymi służących do zalewania cewek, aby zwiększyć przenikalność magnetyczną twornika. Można oczywiście stosować standardowe blachy nakrzemione.

B. Połączenie uzwojeń zezwojów fazowych:

- a) **nieskojarzone**: szeregowo i równoległe;
- b) **skojarzone**: w trójkąt i gwiazdę.

Ad a) Wytworzony prąd w **układzie szeregowym** w jednym zezwoju fazowym przepływa przez pozostałe dwa Z_f , w których nie jest on wytwarzany stawiając tylko opór czynny R , ponieważ w tym czasie nad ramionami cewek nie znajdują się magnesy. Zatem są one przewodnikami układu o oporze R .

Układ równoległy – Z_f nie wytwarzające prądu zwierają poprzez swój opór czynny R zezwój wytwarzający prąd. Układ jest w zwarcu.

Ad b) **Skojarzony w trójkąt**: bez względu na podłączenie lub nie podłączenie trzech oporów obciążenia przyporządkowanych każdemu Z_f – prąd wytworzony przez jeden Z_f jest zwierany przez pozostałe dwa Z_f podłączone do niego szeregowo. Zatem układ jest w zwarcu.

Ad b) **Skojarzony w gwiazdę** – **napięcie międzyprzewodowe** (napięcie między zezwojami fazowymi): prąd wytworzony przez jeden Z_f przepływa w układzie szeregowo – równoległym przez pozostałe dwa Z_f (o oporze czynnym R) i opory obciążenia oraz jednocześnie szeregowo przez jeden Z_f i dwa opory obciążenia.

Skojarzony w gwiazdę – napięcie fazowe (zob. rys. nr 5 – napięcie między przewodami Z_f , a przewodem gwiazdowym – neutralnym): prąd wytworzony w jednym Z_f przepływa tylko przez opór obciążenia podłączony do niego i przewodu neutralnego. Jest to jedyny układ połączeń prądu **zmiennego okresowo**, który może być wykorzystany w trakcie konstrukcji prądnicy! Połączenie to może:

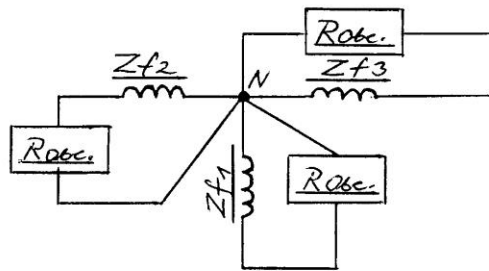
- a) zasilać odbiorniki prądu zmiennego okresowo połączone z Z_f i przewodem neutralnym – zerowym (dążyć należy do symetrycznego obciążenia – jednakowego dla każdego Z_f);
- b) zasilać odbiorniki prądu stałego podłączone do każdego Z_f i przewodu neutralnego z wmontowanym szeregowo jednofazowym mostkiem prostowniczym

Z analizy tej wynika, że:

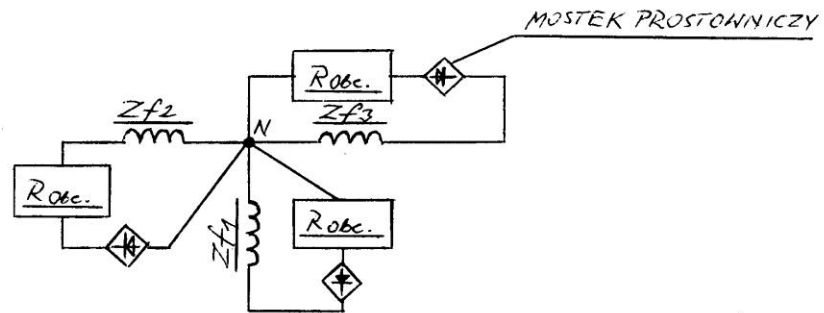
1. Żaden układ skojarzony nie może być bezpośrednio podłączony do trójfazowego mostka prostowniczego. Na uwagę zasługuje fakt, że wykres każdego Z_f narasta od U_0 do U_{\max} i znowu opada do U_0 , po czym przez $2/6$ okresu dalej ma wartość U_0 . Po tym okresie przyjmuje wartość przeciwną, tj. wykr. ujem. U_{\max} (dolna część wykresu $f \sin$) i spada do U_0 . Wynika z tego, że napięcie Z_f przechodząc cyklicznie przez 0 nie generuje zakłóceń elektromagnetycznych (nie występuje przerywanie prądu przy U większym od 0), a cewki Z_f nie wytwarzające prądu nie mają stanów nieustalonych. Gdyby to wystąpiło należałoby uwzględnić ich impedancję – Z obwodu.
2. Jediną możliwością, aby **trzy Z_f** , – co jest najbardziej poprawne – **podłączyć do obciążenia jednocześnie** jest równoległe połączenie mostków prostowniczych – zob. rys. nr 6. Falownik może zapewnić właściwe parametry pracy odbiornika.

Rys. nr 5
Układy połączeń obciążenia napięcia fazowego
skojarzonego w gwiazdę

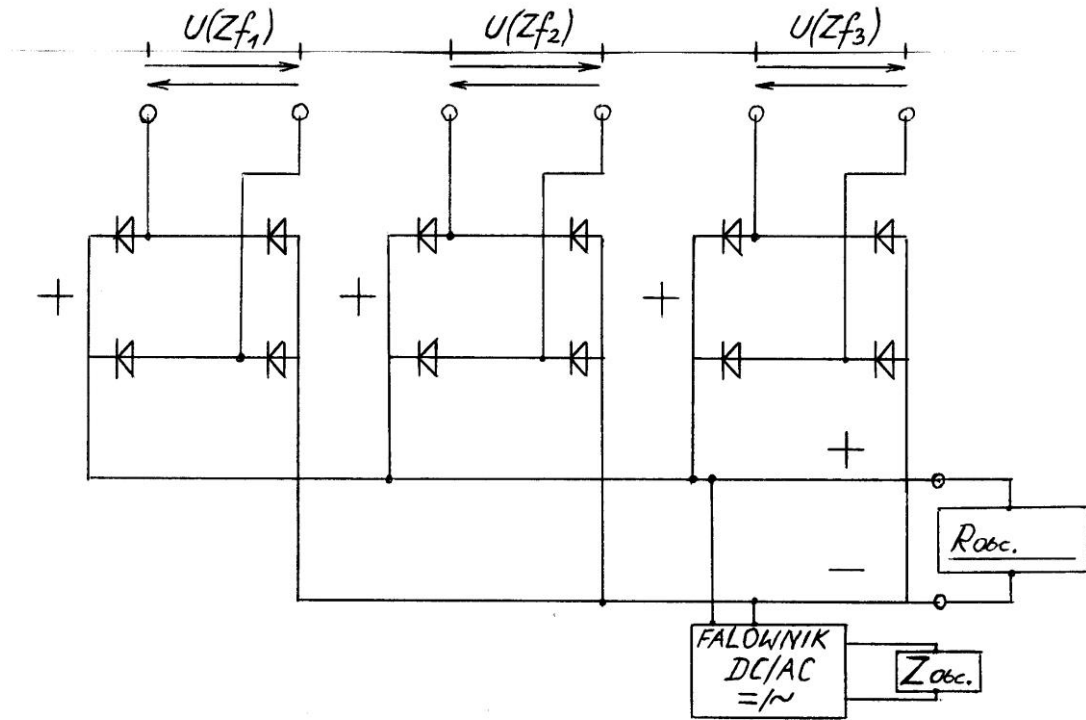
A



B



Rys. nr 6
 Jednoczesne podłączenie wyprostowanych
 3 Z_f do $R_{obc.}$ i $Z_{obc.}$ – poprzez falownik



Na podstawie rys. nr 5 lit. A i wykresów cząstkowych A, B, C – wykresu nr 1 wynika, że przez $R_{obc.}$ (lub $Z_{obc.}$) każdego Z_f popłynie **prąd zmienny okresowo** o wartości średniej ok. $2/6 U_{max} = 1/3 U_{max}$. Przykładowo dla prądu przemiennego sinusoidalnie wartość ta wynosi $0,637 U_{max}$. Rys. nr 5 jest określony również poprzez lit. B – jest tam przedstawiony układ z rys. A, gdzie w obwód każdego Z_f dorysowano mostek prostowniczy umożliwiający zasilanie urządzeń wymagających prądu stałego. Napięcie poprzez przejście przez mostek prostowniczy spadnie do wartości ok. $0,9 * 1/3 U_{max} = 0,3 U_{max}$, a ponadto będzie jeszcze zależało od $R_{obc.}$ (lub $Z_{obc.}$). Dane te są szacunkowe i wymagają dokładnych obliczeń i badań empirycznych. Na przedstawione wartości ma wpływ charakterystyka wykresów cząstkowych A, B, C.

Przykład nr 1 Zasady konstrukcji i obliczenia prądnicy

Zasady konstrukcji (patrz rys. nr 2).

1. Gęstość prądu obciążającego zezwoje fazowe 3 – 3,5 A/mm² drutu nawojowego.
2. Drut nawijać w jednym kierunku we wszystkich zezwojach fazowych.
3. Dążyć do otrzymania jak najmniejszej grubości całkowitej twornika.
4. Linie położenia środków magnesów muszą być umiejscowione naprzeciw środków ramion cewek.
5. Nie przekraczać temperatury pracy magnesu, która zwykle zawiera się w przedziale 80 – 200⁰ C. Jest to związane z technologią spiekania proszków różnych metali z neodymem. Zobacz w specyfikacji ile ten parametr wynosi.
6. Dokonywać precyzyjnych wymaganych podziałów twornika i magneśnicy.
7. Cewki zalać żywicą syntetyczną z utwardzaczem. Dla mocy w zakresie do 0,5 kW (powyżej kilka warstw) na dno formy odlewniczej położyć matę z włókna szklanego, a **następnie nawinięte na szablonie, polutowane i owinięte np. grubą nicią bawełnianą uzwojenie**. Szablon można wykonać np. z płyty wiórowej uwzględniając średnicę zespołu prętów stanowiących uzwojenie. Na cewki położyć kolejną matę szklaną i zalać żywicą syntetyczną. Sześć przewodów zezwojów fazowych wyprowadzić na zewnątrz twornika w jego symetrii poziomej na niewielkim obszarze. Każde uzwojenie fazowe oznaczyć różnymi kolorami koszulek, a na początki uzwojeń fazowych założyć pierścienie z nieużywanego koloru (ważne do podłączenia gwiazdowego!).
8. Magnesy rozmieścić na magneśnicy koncentrycznie w równej odległości od siebie i tym samym kącie pochylenia – muszą „patrzeć” naprzeciw siebie.
9. Do obliczenia mocy stosować znany wzór: $P=U I \cos \varphi$. Gdzie P – to moc w (W), U – napięcie w (V), a $\cos \varphi = P/U I$ – to współczynnik mocy prądu zmiennego. Moc jednego zezwoju wyrażona tym wzorem odnosi się do trzech zezwojów fazowych, ponieważ – zgodnie z wykresem nr 1 – wytwarza on tę moc „pulsacyjnie”, tzn. w górnych i dolnych przebiegach prądowych zmiennie okresowo – w 2/6 jego trwania. Dodatnie i ujemne wartości każdego U_f się „uzupełniają” dlatego jego wykres sumaryczny jest zbliżony do wykresu prądu przemiennego o przebiegu sinusoidalnym. Pozostałe zezwoje generują moc w 4/6 okresu. Napięcie – U wyprostowane potwierdza jego cykliczność i przypomina wykres mostka prostowniczego lub prostownika dwupołkowego. Z tego względu ten typ uzwojenia nie może być określony

jako trójfazowy. Dlatego, wymienionego wzoru na obliczenie mocy nie można pomnożyć przez trzy.

10. Z uwagi na fakt, że magnes – a tym samym „n” ich liczba obliczona ze wzoru wymienionego w pkt 6 początku niniejszego omówienia – ma min. parametr wysokości, to jego oddalenie od osi obrotu magnesu jest różne i wyrażone r_1 i r_2 – rysunek **A**. Do obliczeń należy przyjąć wartość średnią wyrażoną r_{sr} . rysunek **B**. Ustalenie r_{sr} ma związek z wyliczeniem średniej prędkości punktu po obwodzie. Oznacza to w praktyce, że magnesu musi mieć średnicę uwzględniającą takie oddalenie magnesów od środka obrotu, aby średnia prędkość punktu po obwodzie odpowiadała założeniom konstrukcyjnym. Zatem każdy magnes, w/g tej zasady, będzie leżał na okręgu wyznaczonym w połowie swojej długości. Aby, móc magnesu zamocować do podstawy wyznaczono $r_{całk.}$ i $r_{wycinka}$. Wielkości te określają pole wycinka koła o wymienionych promieniach. Należy je uwzględnić przy projektowaniu prądnicy, ponieważ służy ono do połączenia Z_f oraz nawiercenia otworów do mocowania twornika.
11. Oprócz wzoru z pkt 9 należy użyć wzoru stosowanego przez konstruktorów,

$$tj.: e = B l v z,$$

gdzie: e – indukcja elektromagnetyczna (V);

B – linie sił pola magnetycznego o indukcji magnetycznej (T);

l – długość przewodu elektrycznego, na który oddziałuje B (m);

v – prędkość przewodu elektrycznego (m/s) – w obliczanym przypadku magnesu;

z – liczba zwojów.

Założenie:

a) długość magnesu – 4 cm = 0,04 m (:100); (1 boku cewki = 0,04 * 2 = 0,08);

b) szerokość magnesu – 1,5 cm = 0,015 m;

c) grubość magnesu – 0,5 cm = 0,005 m;

d) r_1 = 14,5 cm = 0,145 m;

e) r_2 = 10,5 cm = 0,105 m;

f) r_{sr} = (zob. pkt 2 rys. nr 2 – wzór na r_{sr}) 0,145 – 0,105 = 0,04:2=0,02 m,

to: 0,02 m + 0,105 m = 0,125 m (= 12,5 cm);

g) d – średnica okręgu = 2 r_{sr} .

h) B – dla amatorskiej konstrukcji $\leq 1,5$ T;

- i) $z = 15$ zwojów;
- j) drut nawojowy o $d = 1,1$ mm z izolacją, a bez izolacji ok. 1 mm, to $P_{\text{powierzchni koła}} = \pi r^2$, to $P = 3,14 * 0,5^2 = 0,785$ mm². Wg założenia drut nawojowy może być obciążony ≤ 3 A/mm². Zatem wg proporcji $1X = 0,785 * 3$; to $X = 2,36$ A – takim prądem można obciążyć drut nawojowy;
- k) $\cos \varphi$ dla konstrukcji amatorskiej $\leq 0,8$;
- l) pręty drutu nawojowego, wg lit „j”, owinięte w stos grubą nicią bawełnianą (bardzo dobre parametry temperaturowe) mają $d = 5,5$ mm + około $0,8 * 2$ (na położenie 2 warstw cienkiej maty szklanej) = 7,1 mm grubości twornika + 2 mm odstępu łącznie od przeciwległych magnesów magniesnicy = **9,1** mm. Ta odległość charakteryzuje **bardzo precyzyjnie** wartość **B**, czyli długość rozproszenia linii sił pola magnetycznego, co wpływa na **wektor B**.
- m) O – obwód okręgu = $\pi * 0,25$ m = 0,7854 m; zatem punkt umieszczony na okręgu przemieszcza się o tę długość w czasie jednego obrotu;
- n) $\overset{\text{średnia}}{150}$ obr./min (magnesnicy) = $0,7854$ m * 150 = 117,81 m/min : 60 = 1,964 m/s.

Obliczenie: $e_{\text{jednej cewki (dwa boki)}} = Blvz$, to $e = 1,5 * 0,08 * 1,964 * 15 = \mathbf{3,5}$ V.

W/g rys. nr 3 – twornik ma 9 cewek, ale tylko **3** z nich uczestniczą w wytwarzaniu prądu w jednym okresie Z_f – zob. wykres nr 1.

Zatem $3,5$ V_{jednej cewki} * 3 = **10,5** V Z_{f1} . Jest to napięcie maksymalne i łączne. Każdy kolejny zewzój fazowy będzie uzupełniał miejsca o zerowym napięciu takim samym U_{max} .

Po podłączeniu odbiornika wg rysunku nr 5 lit. A – będzie on zasilany $U_{\text{sr.1}} = 1/3 U_{\text{max}}$, tj. $10,5$ V * 0,33 = 3,5 V wg **charakterystyki przebiegu**. Napięcie to ulegnie jeszcze zmniejszeniu o współczynnik 0,637 $U_{\text{sr.2}}$ obniżenia napięcia (charakteryzuje on U_{sr} prądu przemiennego sinusoidalnie).

To $3,5$ V * 0,637 = **2,23** V. Zatem $P = 2,23 * 2,36 * 0,8 = \mathbf{4,21}$ W. Wielkość tę należy pomnożyć przez $3Z_{f1,2,3}$; to $P = 4,21 * 3 = \mathbf{12,63}$ W.

Po podłączeniu odbiornika wg rys. nr 5 lit. B – wyliczone U z przykładu A – będzie pomniejszone o współczynnik 0,9 po przejściu przez mostek diodowy, zatem $U = 2,23 * 0,9 = 2,01$; to $P = 2,01 * 2,36 * 0,8$; to $P = 3,795$ W. $PZ_{f1,2,3} = 3,795 * 3 = \mathbf{11,385}$ W.

Układ połączeń z rys. nr 6 zapewnia uzyskanie możliwie najmniejszych strat napięcia, zatem wyliczone e będzie pomniejszone o: współczynnik ok. 0,9 dla

przejścia przez mostek diodowy i współczynnik obniżenia napięcia $o = 0,637 U_{\max}$, ponieważ wykres po wyprostowaniu prądu jest podobny do ^{wykr. dodat. i ujem.} $f \sin$ (górny lub dolny wykres $f \sin$).

$$\text{Zatem } 10,5 \text{ V} * 0,637 = 6,69 * 0,9 = \mathbf{6,02 \text{ V}},$$

$$\text{to } P = 6,02 * 2,36 * 0,8 = \mathbf{11,37 \text{ W}}.$$

Częstotliwość układu zgodnie ze wzorami nr 3, 4 i 5 wynosi^{zob. przypis ze str. 31:}

$$F_{Zf} = (0,5 * R_p * Obr.) : 60; F_{Zf} = (0,5 * 12 * 150) : 60; \text{ to } F_{Zf} = 15 \text{ Hz};$$

$$F_{c1} = 3F_{Zf} = 3 * 15 = 45 \text{ Hz}; F_{c2} = (1,5 * 12 * 150) : 60, \text{ to } F_{c2} = 45.$$

$$F_{c1} = F_{c2}.$$

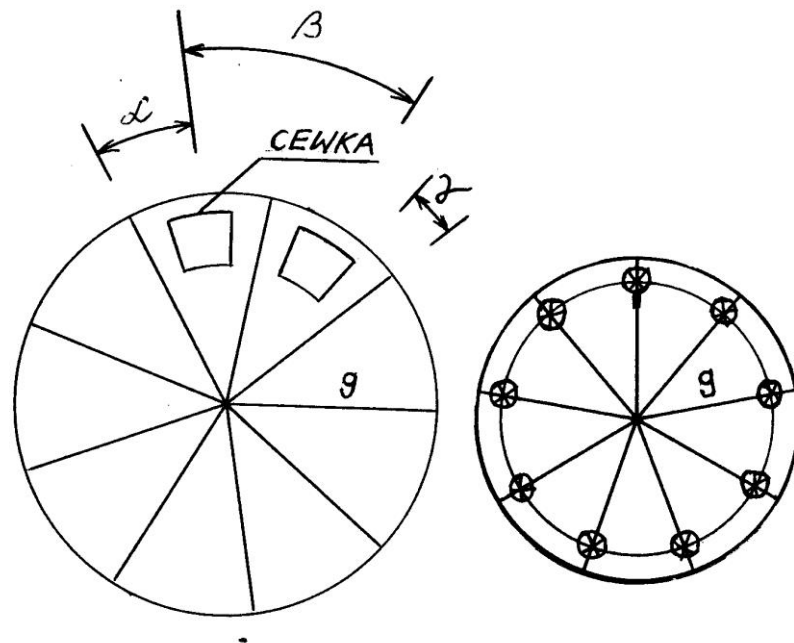
W celu kształtowania charakterystyki napięcia i częstotliwości należy zastosować falownik, który zapewni pożądane parametry na odbiorniku – rys. nr 6. Na uwagę zasługuje fakt, że chcąc postąpić w ten sam sposób należy zainstalować 3 falowniki do każdego odbiornika z rys. nr 5.

Obliczenia pokazują istotę i ważność:

- a) ilości przebiegów dodatnich i ujemnych charakterystycznych – zbliżonych do $f \sin$;
- b) czasu trwania stanów zerowych;
- c) wzajemnych odstępów między stanami zerowymi i ich korelacjach;
- d) okresu przebiegu charakteryzującego częstotliwość;
- e) sposobu połączenia Z_f ;
- f) stosowania układu prostującego i (lub) falownika.

Ad III. Jednoczesne oddziaływanie przez dwa magnesy, tj. górny i dolny na jeden bok cewki.

Rys. nr 7
Twornik i magneśnica – podział 9/12



Obracając tarczę podziału magneśnicy na tarczy twornika można uzyskać, na podobieństwo z poprzedniego rozdziału, dane charakteryzujące ten typ prądnicy. Patrz – rys. nr 7.

- twornik – 9 cewek;
- magneśnica – 9 magnesów;
- kąt podziału twornika – $360^{\circ} : 9 = 40^{\circ}$;
- kąt podziału magneśnicy – $360^{\circ} : 9 = 40^{\circ}$;
- kąt zawarty między osiami cewek – 40° ;
- kąt dwóch wycinków = $2 * 40^{\circ} = 80^{\circ}$;
- $\alpha = 20^{\circ}$, to oś cewek;
- $\beta = 40^{\circ}$, to kąt zawarty między osiami cewek;
- $\gamma = 10^{\circ}$, to kąt boków cewek zawarty między kątem wycinka koła;

Zatem $2 * 40 = 80$; $80 = \alpha + \beta + \gamma + X$; $X = 80 - 70 = 10$. Oznacza to, że wycinek jest podzielony na **4 równe kąty** wynoszące wg założenia po 10° każdy.

Powyższe ma duże znaczenie, ponieważ warunkuje **istnienie jednakowych interwałów czasowych** przebiegu U.

Twierdzenie nr 1: zgodnie z Ad III – ten typ prądnicy ma zawsze, co ustalono na podstawie analiz, **kąt podziału wycinka warunkującego istnienie jednakowych interwałów czasowych – równy 1/4**

– bez względu na ilość podziałów twornika = ilości podziałów magneśnicy. Zatem środki boków cewek muszą się znajdować na pierwszych promieniach podziału licząc od boków wycinka (zob. rys. nr 7).

Ilość zmian pełnego okresu na obrót jest równa 9, ponieważ na każdej cewce odbywają się dwie pełne zmiany (w prawo i w lewo) kierunków ^{wykr. dodat. i ujemne} U_{\max} . Zatem wzór na częstotliwość ma postać ^{zob. przypis na str. 31.}:

Wzór nr 6: **$F = (Rp * Obr.) : 60$** ,

gdzie:

F – częstotliwość (duże „F”, ponieważ odmienne od f_{\sin} , gdzie $f = 1/T$) – okres zmian dla szeregowego uzwojenia wszystkich cewek (w s = Hz);

Rp – ilość podziałów magneśnicy = ilości podziałów twornika;

Obr. – obroty/ min.

Zasada funkcjonowania opiera się na oddziaływaniu jednokierunkowego pola magnetycznego wszystkich magnesów na połączone szeregowo cewki. Nie ma znaczenia kierunek oddziaływania, tj. od patrzącego do dolnej magneśnicy lub odwrotnie. W jednakowym czasie wektor pola magnetycznego o indukcji B przecina np. wszystkie lewe boki cewek wytwarzając indukcję elektromagnetyczną o wartości **e**, a następnie wszystkie prawe boki cewek. Zatem powstanie prąd dwukierunkowy. Jego wykres będzie zbliżony do $f \sin$ poprzez zastosowanie zasady obrotu magnesu o kąt ok. 10^0 o znanym wykresie. Będzie to prądnica o jednym uzwojeniu fazowym. Jeśli będą skonstruowane trzy tworniki połączone ze sobą i przesunięte względem siebie o kąt równy 1/3 wycinka jego podziału (im więcej podziałów tym większa liczba cewek uzwojenia i większe napięcie) to zostanie wytworzony prąd trójfazowy. A zasady połączeń tego prądu są znane. Jednak połączenie trzech tworników spowoduje spadek wektora pola magnetycznego o indukcji B ze względu na trzykrotnie powiększoną ich grubość. Uważam, że dla konstrukcji amatorskiej należy stosować prądnicę z **jednym twornikiem** (trudności z uzyskaniem B w przedziale

0,8 – 1,5 T). Konstruktorzy profesjonalni mogą zastosować magnetowody – wtedy wartość B będzie wynosiła ok. 90 % parametrów magnesu neodymowego – czyli większe od 1,2 T – w zależności o jego typu.

Dane wg założeń **punktu 11** z poprzedniego rozdziału.

Obliczenie: $e_{\text{jednego boku cewki}} = Blvz$; to $e = 1,5 * 0,04$ (tylko jeden bok cewki)
 $* 1,964 * 15 = 1,77 \text{ V}$;

a) ilość cewek połączonych szeregowo = 9; to $1,77\text{V} * 9 = 15,93 \text{ V}$.

b) współczynnik obniżenia napięcia wynosi:

$0,637 U_{\text{max}}$; to $15,93 \text{ V} * 0,637 = \mathbf{10,147 \text{ V}}$; $P = U I \cos \phi$;

to $P = 10,147 * 2,36 * 0,8 = \mathbf{19,158 \text{ W}}$.

Jeśli prąd byłby prostowany mostkiem prostowniczym to napięcie spadnie o współczynnik 0,9. Zatem $10,147 \text{ V} * 0,9 = 9,132 \text{ V}$; to $P = 9,132 * 2,36 * 0,8 = \mathbf{17,24 \text{ W}}$.

Przebieg przeciwny prądu otrzymuje tę samą wartość indukcji elektromagnetycznej e . Zatem wykres jest wypełniony w przybliżeniu zgodnie z $f \sin$.

Reasumując – prądnica wytwarza prąd o napięciu $U_{\text{sr.}} = \mathbf{10,147 \text{ V}}$ i osiąga moc $\mathbf{19,158 \text{ W}}$. Jest zatem sprawniejsza od typów wymienionych poprzednio.

Prądnica wg wymienionych założeń może być zbudowana na większych gabarytowo magnesach neodymowych o wymiarach: $50 * 25 * 12$ (w mm), a parametry końcowe ulegną podwyższeniu.

Przed konstrukcją prądnicy należy zastanowić się jaką wielkość prądu i napięcia, a zatem i mocy chcemy uzyskać. Po przeliczeniu podanych wzorów należy narysować na papierze odpowiednie okręgi nanosząc główny wymiar magnesu, tj. długość i szerokość (na okręgu średniej prędkości = $r_{\text{sr.}}$) na pierwszym boku cewki zachowując symetrię (bazując na rys. nr 7). Następnie należy przesuwać magnes o tym promieniu na drugi bok tej samej cewki **w celu sprawdzenia braku jednoczesnego pokrywania się jego obrysu z bokiem cewki, który minął**. Wszystkie magnesy muszą przemieścić się o kąt wystarczający do opuszczenia każdego boku cewki, aby **nie generowały napięć wstecznych** w cewkach (zob. rys. tworników i magneśnic – Ad 2) lub bokach pozostałych cewek – zob. rys. nr 7). Jeśli obrysy magnesów pokrywają się z bokami obrysów cewek (zgodnymi z ich średnicą) – to oznacza, że wartość $r_{\text{sr.}}$ (zob. rys. nr 2) jest zaniżona. Jeżeli podane wymiary są poprawnie wyliczone i naniesione na rysunki tworników i magneśnic – to można

będzie **zmierzyć kąt (można go nazwać kątem niekolizyjnym)**, przy którym prądnica nie generuje napięcia, zatem nie wytwarza mocy, ale również nie generuje napięcia wstecznego – twierdzenie ma postać:

Twierdzenie nr 2: kąt niekolizyjny określa jego wartość, przy którym prądnica nie generuje napięcia lub prądu wstecznego w sąsiadujących ramionach cewek.

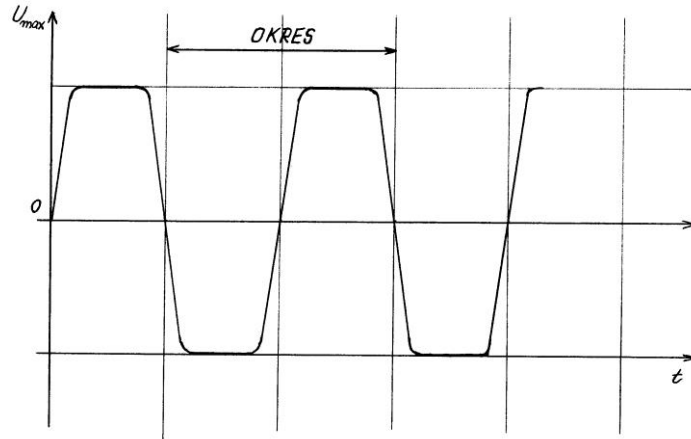
Kąt ten musi być niewielki (max do 3^0), aby można było uzyskiwać możliwie wysoką sprawność prądnicy! Dla przykładu obliczeń opisanego na str. 15 kąt ten wynosi ok. 1^0 i koliduje on z poprawnym funkcjonowaniem prądnicy, co ustalono w oparciu o szczegółowy wykres!

Dokonano ponadto **analizy zasadności projektowania** prądnicy tarczowej w oparciu o ideę kształtu charakterystyki wykresu U_{\max} zbliżonego lub zgodnego z f_{\sin} . Prądnice standardowe funkcjonują w oparciu o zasadę wirowania pręta zwoju w jednokierunkowym polu magnetycznym o indukcji B (albo to pole wiruje, a pręt się nie porusza) – dlatego, występują charakterystyczne jej stany zerowe U , U_{\max} oraz wykres. Ten typ prądnic – prądu przemiennego sinusoidalnie – ma bardzo **charakterystyczną wadę** określoną przez wartość $U_{\text{sr.}} = 0,637 U_{\max}$. Powoduje to obniżenie napięcia, a w konsekwencji indukowanej mocy.

Prądnica tarczowa może tę ujemną wartość bardzo ograniczyć poprzez zaprojektowanie odpowiedniego podziału magnesnicy (równej podziałowi twornika – Ad 3 niniejszej analizy), prędkości średniej punktu po obwodzie, długości i szerokości magnesu w celu ukształtowania charakterystyki wykresu zbliżonego do **trapezu**. Wtedy wartość $U_{\text{sr.}}$ będzie zbliżona do $0,8 U_{\max}$. Na uwagę zasługuje fakt, że żadna prądnica o wykresie f_{\sin} nie jest w stanie samodzielnie wytworzyć $U_{\text{sr.}} = 1$, tj. bez udziału np. falownika o prostokątnym wykresie napięcia! Oczywiście jest to działanie wtórne!

Dla zastosowań „domowych” (może nie tylko domowych?) należy dążyć, do powyższego założenia w celu zwiększenia mocy.

Wykres nr 2
Przebieg napięcia kształtowanego w celu
upodobnienia do trapezu



Według narysowanego przebiegu wartość U_{sr} wynosi ok. $0,78 U_{max}$. Zatem jest to współczynnik godny uwagi dla projektanta.

Projekt prądnicy wg koncepcji wymienionej charakterystyki:

- a) twornik – 12 cewek;
- b) magneśnica – 12 magnesów;
- c) kąt podziału twornika – $360^{\circ} : 12 = 30^{\circ}$;
- d) kąt podziału magneśnicy – $360^{\circ} : 12 = 30^{\circ}$;
- e) kąt zawarty między osiami cewek – 15° ;
- f) kąt dwóch wycinków = $2 * 30^{\circ} = 60^{\circ}$;
- g) kąt niekolizyjny – podczas którego prądnica nie wytwarza napięcia i nie generuje prądu wstecznego w sąsiadujących ramionach cewek – $2,2^{\circ}$
- h) kąt podziału wycinka w celu zachowania jednakowych interwałów czasowych zgodnych z wykresem nr 2 – $30^{\circ} : 4 = 7,5^{\circ}$;
- i) $I_{max} = 3,5A/mm^2$;
- j) $\varphi_{całk.}$ jednego pręta drutu nawojowego = 1,5 mm; czynne ok. 1,45 mm;
 $P_{pow. koła} = 1,651 mm^2$; $I_{obc.} = 1,651 * 3,5 = 5,779 A$.
- k) ilość zwojów w cewce – 12;
- l) ilość cewek połączonych szeregowo – 12.
- m) $\varphi_{całk.}$ ramienia cewki po owinięciu grubą nicią bawełnianą – 7 mm;
- n) wymiary magnesu - $40 * 15 * 6$ (w mm);

- o) r_1, r_2, r_{sr} – jak w poprzednich założeniach;
- p) pole magnetyczne o indukcji $B = 1,2 \text{ T}$ – większa odległość między tarczami twornika (zob. ppkt „m”);
- q) $\cos \phi$ dla konstrukcji amatorskiej $\leq 0,8$;

Obliczenie: $e_{\text{jednego boku cewki}} = Blvz$; to $e = 1,2 * 0,04$ (tylko jeden bok cewki) $* 1,964 * 12 = 1,131 \text{ V}$;

b) ilość cewek połączonych szeregowo = 12; to $1,131 * 12 = \mathbf{13,572 \text{ V}}$.

b) współczynnik obniżenia napięcia wynosi:

$0,78 U_{\text{max}}$; to $13,572 \text{ V} * 0,78 = \mathbf{10,586 \text{ V}}$; $P = U I \cos \phi$; to $P = 10,586 * 5,779 * 0,8 = \mathbf{48,941 \text{ W}}$.

Jeśli prąd byłby prostowany mostkiem prostowniczym to napięcie spadnie o współczynnik 0,9. Zatem $10,586 \text{ V} * 0,9 = 9,527 \text{ V}$; to $P = 9,527 * 5,779 * 0,8 = \mathbf{44,045 \text{ W}}$.

Przebieg przeciwny prądu otrzymuje tę samą wartość indukcji elektromagnetycznej e . Zatem wykres jest wypełniony podobnie do wykresu nr 2.

Reasumując – prądnica wytwarza prąd o napięciu $U_{sr} = \mathbf{10,586 \text{ V}}$ i osiąga moc $\mathbf{48,941 \text{ W}}$ przy 150 obrotach sr/min .

Wg wzoru nr 6 (częstotliwość układu): $\mathbf{F = (Rp * Obr.) : 60}$;

$F = (12 * 150) : 60 = 30 \text{ Hz}$.

Celowym jest ponadto przedstawić zależności kW i KM (konia mechanicznego), ponieważ podczas prac konstruktorskich ta ostatnia wielkość jest bardzo pomocna do obliczeń.

$1 \text{ KM} = 0,735499 \text{ kW}$; to $1 \text{ kW} = 1,359621 \text{ KM}$; $\text{KM} = 75 \text{ kg} * \text{m/s}$, co oznacza w praktyce równowartość podniesienia 75 kg na wysokość 1 m w czasie 1 sekundy – nie jest to mała wielkość!

Zatem jeśli założyć, że:

prądnica ma moc $100 \text{ W} = 0,1 \text{ kW}$; to $0,1 \text{ kW} * 1,36 = 0,136 \text{ KM}$;

to $75 \text{ kg} * 0,136 = 10,2 \text{ kg} * \text{m/s}$. Do tej wielkości należy dodać jeszcze tarcie łożysk prądnicy – ok. 10 %; to $10,2 \text{ kg} * 0,1 = 1,02$; to $10,2 \text{ kg} + 1,02 \text{ kg} = 11,22 \text{ kg} * \text{m/s}$.

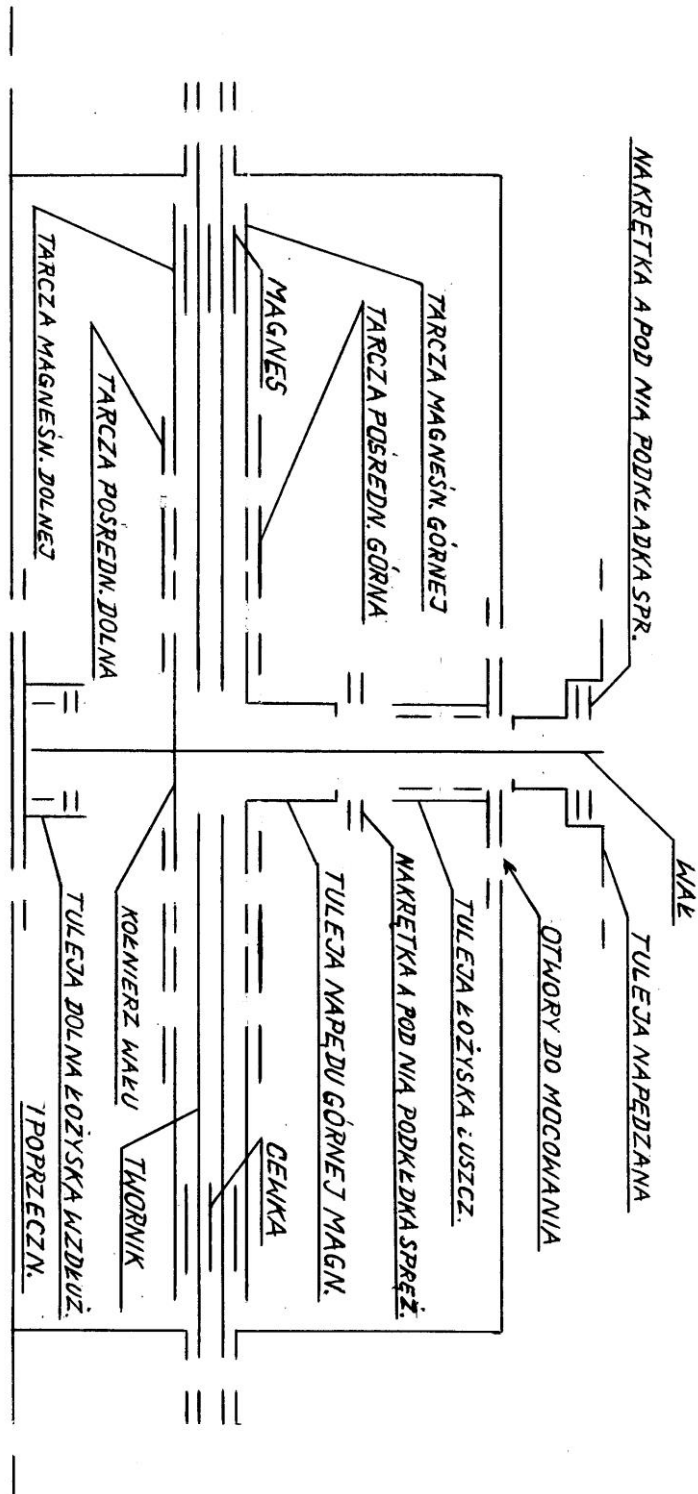
Wielkość ta oznacza, że na wał prądnicy należy podawać moc równą $11,22 \text{ kg} * \text{m/s}$, aby mogła ona wytworzyć moc równą 0,1 kW. Ta wielkość, do wytworzenia przez np. pionową turbinę amatorską, nie jest mała!

Mając powyższe na uwadze prądnica z ostatnio opisanego przykładu będzie musiała być wyposażona np. w powietrzną turbinę pionową zdolną do ciągłego utrzymania mocy równej $5,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, aby wytworzyć ok. 49 W.

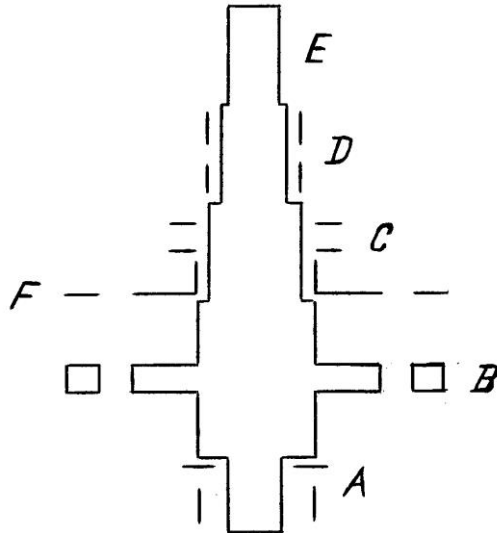
W toku dalszych analiz **ustalono warunki konieczne**, aby można było zwiększyć sprawność prądnicy bazującej na wykresie napięcia **zbliżonym do prostokąta** i wysokim współczynnikiem $U_{\text{sr.}} = (\leq 0,9) U_{\text{max}}$. Istnieje techniczna możliwość wykonania takiej konstrukcji. Byłaby to prądnica trójfazowa o napięciu dwukierunkowym, zatem podlegającym transformowaniu, o dynamicznym układzie magnesów neodymowych lub innych o zbliżonej wartości wektora B. Należałoby utworzyć program numeryczny w celu zbadania zjawisk ją opisujących – nie byłby on kłopotliwy dla programisty. Co ważne – dostosowano parametry ułożyskowania wału prądnicy do potrzeb konstrukcyjnych, ponieważ na początku występowały rozbieżności. Ze wstępnych ustaleń wynika, że układ ten można będzie opatentować!

Biorąc pod uwagę całość obliczeń należy stwierdzić, że należy konstruować prądnice omówione w tym rozdziale.

Rys. nr 8
Zamocowanie twornika do obudowy,
rozmieszczenie magnesów na wale – ustalenia finalne



Rys. Nr 9
Dane charakterystyczne wału



Oznaczenia liter: A – łożysko dolne wzdłużne (oporowe) i poprzeczne, B – kołnierz wału pełniący funkcję napędu dolnej magneśnicy. C – podkładka sprężynująca i nakrętka, D – uszczelniacz (lub uszczelniacze) i łożysko poprzeczne, E – czop wału, na nim osadzona jest tuleja napędzana np. wiatrową turbiną pionową, F – tuleja napędu górnej magneśnicy.

PODSUMOWANIE

Po długotrwałej analizie doszedłem do wniosku, że najlepszy układ konstrukcyjny prądnicy powinien być oparty na tarczach magneśnic **dokręcanych do tarcz pośredniczących** – górnej i dolnej (zob. rys. nr 8), a te z kolei do:

- a) kołnierza wału (zob. rys. nr 8 i 9, lit. B) – dolna magneśnica;
- b) tulei napędu górnej magneśnicy (zob. rys. nr 8, lit. F) – osadzonej koncentrycznie na wale.

Istnieją cztery główne sposoby unieruchamiania wymienionej tulei poprzez:

- a) wielowypust (dla profesjonalistów);

- b) dokręcenie do progu wału (zmiana w tym miejscu średnicy) – jak na rysunkach (nr 8 i 9);
- c) dokręcenie obwodowo pod kątem 120° trzema śrubami poprzez prostopadłe nagwintowanie tulei w miejscu jej przylegania do wału w centralnym jej odcinku;
- d) umieszczenie klina między wałem, a tuleją – wystąpi konieczność frezowania i dłutowania.

Powodem takiego projektu jest konieczność wyeliminowania toczenia dużych średnic wałów w celu uzyskania tarcz magnesnic. Zaprezentowany pomysł jest prostszy, ponieważ można – dla małych i średnich mocy – wyciąć ze sklejki, płyty wiórowej, blachy duralowej lub stalowej odpowiednie pierścienie i skrócić je śrubami bezpośrednio lub poprzez odpowiednie nagwintowanie elementów składowych.

W wersji profesjonalnej tarcze magnesnic mogą być wykonane z włókna węglowego zbrojonego siatką stalową lub tytanową – wtedy nie potrzeba tarcz pośredniczących.

Konstrukcja tarcz magnesnic musi uwzględniać zabezpieczenie magnesów neodymowych przed poluzowaniem lub ich wypadnięciem pod wpływem silnego pola magnetycznego. Dlatego, w tarcze muszą być wkręcone śruby lub wkręty do wysokości ok. 15 % niższej od grubości magnesów. W zakresie profesjonalnym należy zaprojektować odpowiednie kształty utrzymujące magnesy w miejscach ich rozlokowania. Magnesnica powinna być włożona do szablonu i zalana żywicą syntetyczną do wysokości równej grubości magnesów.

Przed położeniem magnesów na tarczy magnesnicy należy najpierw przygotować odpowiednie dystanse, zgodne z jej podziałem, a następnie zalać żywicą syntetyczną. Ma to na celu unieruchomienie magnesów mających, jak wcześniej stwierdzono, bardzo silne pole magnetyczne. Magnesów prostopadłościennych nie można ułożyć np. jeden za drugim w celu zwiększenia oddziaływania na ramię lub ramiona cewek, ponieważ ich czoła się odpychają przy prawidłowym ustawieniu kierunku pola magnetycznego. Z tego powodu już początkowe obliczenia projektowe muszą uwzględniać – w szczególności – długość i szerokość magnesu oraz jego wartość namagnesowania szczytkowego (remanencji), tj. wektora B . Do ustalenia bieguny magnesu najlepiej zaopatrzyć się we wzorzec N/S (np. kolor: niebieski/czerwony).

Podczas prac z magnesami neodymowymi trzeba zwrócić szczególną uwagę na dłonie, ponieważ mogą one zostać uderzone lub skaleczone na skutek dużej energii kinetycznej magnesów. Ponadto magnesy mogą pęknąć!

Na rysunkach (nr 8 i 9) jest jednoznacznie zobrazowane, że dolna tuleja utrzymuje wał, na który oddziałują siły wzdłużne i poprzeczne. Zatem w tym miejscu jest osadzone łożysko wzdłużne (oporowe) i poprzeczne. Górne łożysko wału jest również osadzone w tulei, a nad nim jest umieszczone uszczelnienie (mogą być dwa), aby woda i pył nie przedostawały się do prądnicy. Zamocowanie tulei odbierającej napęd może być oparte na wielowypuszcie, klinie lub poprzez mocne spasowanie i dokręcenie.

Na uwagę zasługuje fakt, że aby dokonać frezowania lub dłutowania pod wielowypust należy najpierw wstępnie osadzić tarcze magnesnic na wale, a następnie zaznaczyć linią równoległą do jego osi miejsce, w którym magnesy znajdują się naprzeciwko siebie.

Obudowę prądnicy można wykonać:

- a) z **koncentrycznych pierścieni** z tych samych materiałów, o których przykładowo wyżej wspomniano za wyjątkiem stali (jest ferromagnetykiem), ponieważ następowaloby wzajemne oddziaływanie. Pierścienie te przed sklejeniem, skruceniem lub pospawaniem należy zacisnąć w celu uzyskania szczelności i wytrzymałości;
- b) profesjonaliści mogą ją wykonać na wtryskarce np. z tworzywa udarowego albo maty z włókna szklanego, o odpowiedniej grubości, nasączonej żywicą syntetyczną.

Dla średnich i dużych mocy wycięte blachy muszą podlegać obróbce skrawaniem, natomiast dla małych mocy pierścienie można wykonać z materiałów niekłopotliwych, jak np. sklejka wodoodporna lub płyta wiórowa właściwie zaimpregnowana.

Omawiane prądnice charakteryzują się dużą średnicą magnesnic, co powoduje, że nadają się do zastosowania w wytwarzaniu prądu z wykorzystaniem siły wiatru **bez konieczności stosowania przekładni**. Jest to niewątpliwie **znacząca ich zaleta**. Można je stosować do zasilania grzałek, ponieważ nie wymagają one szczególnych parametrów pracy, jak np. częstotliwość, a ponadto są względnie odporne na chwilowe przyrosty napięcia i co ważne – ogrzewanie czegokolwiek prądem jest zazwyczaj najdroższe. Zaawansowane konstrukcje muszą być wyposażone w falowniki.

Osobne zagadnienie to różnego rodzaju pionowe turbiny wiatrowe, które też powinny być omówione przez osoby znające temat, albo mające doświadczenie w tym zakresie. Może kiedyś i ja tym się zajmę, aby dokończyć niniejszą „Bazę” ☺.

Całkowita ocena opracowania będzie wymagała interdyscyplinarnego zespołu.

Życzę udanych konstrukcji i owocnych analiz. Pozdrawiam.

Zygmunt Kiliszewski^{zob. przypis}

przypis:

1. Konstrukcja kilku urządzeń prostowniczych do ładowania akumulatorów samochodowych o mocy około 60 W każdy na bazie 4 diod prostowniczych lub mostków prostowniczych.
2. Przewożenie silnika indukcyjnego jednofazowego od chłodziarki o mocy około 120 W i wykorzystanie go wraz ze sprężarką do pompowania kół oraz zasilania aerografu. Układ z odstożnikiem oleju i filtrem.

Podstawowe jego dane:

- a) symetryczne uzwojenie pracy składające się łącznie z 8 cewek i 2 biegunów, nawiniętych drutem nawojowym o $d = 0,55$ mm i długości 360 m, wytwarzające strumień magnetyczny o kierunku zgodnym z $f \sin$;
 - b) równoległe do niego (pod względem podłączenia) symetryczne uzwojenie rozruchowe składające się łącznie z 8 cewek i 2 biegunów, nawiniętych drutem nawojowym o $d = 0,3$ mm i długości 155,5 m, wytwarzające prostopadły strumień magnetyczny do uzwojenia pracy.
3. Konstrukcja tyrystorowego, przeciwrównoległego, fazowego układu sterowania mocą o $P=3,5$ kW przełączalnego z dwóch tyrystorów na jeden (regulacja wykresem $f \sin$). Jego bazą jest synchronizacja przełączania przejścia przez zero, doświadczalnie dobrany (z braku danych fabrycznych) punkt zapłonu i maksymalne wysterowanie napięcia fazowego poprzez 12 – stopniową regulację.
 4. Konstrukcja spawarki o mocy 1,5 kW i napięciu biegu jałowego 44,5 V składającego się z 17 transformatorów sieciowych, których uzwojenia wtórne zostały przewinięte na mieszczące się zwoje drutu miedzianego o polu powierzchni 10 mm^2 owiniętego grubą nicią bawełnianą. Uzwojenia te połączono szeregowo. Zgodnie z założeniami – uzyskano możliwość spawania elektrodami z otuliną rutyłową do $2,5 \text{ mm}^2$.
 5. Konstrukcja zespołu: 3_f silnik elektryczny o mocy 1,8 kW – jednostłokowy kompresor powietrzny oraz układ załącz./wyłącz. bazujący na styczniku. Silnik dostosowano do pracy na 220 V poprzez przełożenie uzwojeń fazowych z gwiazdy na trójkąt i wyliczenie odpowiedniej wielkości C kondensatora rozruchowego.
 6. Konstrukcja dyszy do wstępnej oceny zjawiska plazmy niskotemperaturowej w oparciu o metodę najprostszą, tj. styku – w celu zapłonu – dwóch elektrod węglowych w miedzianej otulinie zasilanej urządzeniami wymienionymi w pkt nr 3 – 5 i podawaniem do niej powietrza o ciśnieniu ok. 6 at. W tym celu wykonano właściwe zabezpieczenia.
 7. Analiza układu zwiększającego możliwość przepłukiwania głowicy czterosuwowego silnika spalinowego.
 8. Konstrukcja głowicy wg punktu nr 7 metodą obróbki skrawaniem (toczenie, frezowanie – wykonane przy znaczącym moim udziale, wytaczanie) i zamontowanie jej na cylindrze dwusuwowego silnika spalinowego od motocykla Jawa 175 cm^3 . Silnik został dostosowany do funkcjonowania jako czterosuwowy w szczególności poprzez: rozwiercenie cylindra na wytaczarce i w to miejsce wstawienie odpowiedniej tulei, przełożenie napędu z wału korbowego na wałki krzywkowe głowicy w stosunku 2 : 1 i odpowietrzenie komory korbowej. Wyliczono ponadto wzniosy i kąty wałków rozrządu sterujących zaworami. Metodą napawania (w celu podwyższenia twardości) podstawowych średnic trzech wałków sterujących zaworami utworzono krzywki, a następnie poddano je obróbce na szlifierce numerycznej.
 9. Uzyskanie Patentu RP nr **170155** na wymieniony i opisany projekt w pkt 7 i 8, pt. „Układ przepłukiwania cylindrów czterosuwowego silnika spalinowego”.
 10. Z inspiracji doc. dr. hab. inż. Henryka Jankowskiego z Zakładu Silników Tłokowych Instytutu Lotnictwa w Warszawie dokonano analizy funkcjonowania nowej generacji dwusuwowego silnika spalinowego. Sporządzono Zgłoszenie Patentowe.

11. Seminarium w Wojskowej Akademii Technicznej, na zaproszenie Komendanta Wydz. Mechanicznego – prof. dr. hab. inż. Leona Prochowskiego, nt. silników spalinowych.
12. Model numeryczny głowicy wg wynalazku opracowany przez dr. inż. Bogdana Ćwika i mgr. inż. Sławomira Magdziarkę z WAT.
13. Pozytywna ocena naukowców WAT: prof. inż. Szczecińskiego i dr. inż. Ćwika – opracowanych układów wym. w pkt 9 i 10. Możliwość zgłoszenia o dofinansowanie badań przez Komitet Badań Naukowych.
14. Konferencja naukowa dr. inż. B. Ćwika w Zakopanem nt. silników spalinowych.
15. Pozytywna Decyzja Komisji Odwoławczej przy Urzędzie Patentowym RP – Przewodnicząca Sędzia Sądu Najwyższego – dot. możliwości opatentowania „co do układu, a nie sposobu” zgłoszeń dot. dwusuwowego silnika spalinowego.
16. Sporządzenie dwóch Zgłoszenia Patentowych – „Układ przepłukiwania cylindrów dwusuwowego silnika spalinowego” (**P 301189**) i „Układ smarowania dwusuwowego silnika spalinowego” (**P 327202**). Układ pierwszy został opublikowany.
17. Wprowadzenie do techniki silników spalinowych omówionych w niniejszym tekście pojęć:
 - a) **komora wentylacyjna;**
 - b) **główny zawór wentylacyjny;**
 - c) **układ przepłukiwania cylindrów dwusuwowego silnika spalinowego przy udziale komory korbowej;**
 - d) **ciśnieniowo - przepływowy układ smarowania dwusuwowego silnika spalinowego.**
18. W związku z prowadzonymi własnymi pracami badawczymi przez BMW, Mercedes i Volvo – przekazanie całości materiałów wynalazczych i ich rozszerzeń zabezpieczonych Repertoriami Notariusza koncernowi Toyota Motor Corporation w Toyota City.
19. Dokonanie konstrukcji przez Daihatsu 3 – cylindrowego dwusuwowego silnika spalinowego E 202 o mocy 45 kW i pojemności 0,987 l przy zastosowaniu min. turbiny spalinowej i zamontowaniu go do samochodu osobowego Daihatsu Sirion 2DC – artykuł w Autotechnice Motoryzacyjnej z grudnia 1999 r.
20. Kilkoma korespondencjami omówienie konstrukcji, wym. w pkt nr 19, z przedstawicielami koncernu Toyota, tj. Panami: Sakai YOSHIHARU, Takumi SHIGEJI i Chiba KEN – ICHI.
21. Z własnej inicjatywy – **notarialne przekazanie praw do wykorzystania** przez koncern Toyota wynalazku, analiz z tego zakresu, dowodów zawartych w zgłoszeniach patentowych i ich rozszerzeniach – we wszystkich państwach, aby „dobre pomysły nie leżały na półce w szafie”.
22. Otrzymanie od Toyota Motor Corporation procedury korporacyjnej w sprawach wynalazczych.
23. Analiza możliwości wykorzystania wodorowego ogniwa paliwowego do zasilania silników elektrycznych w pojazdach.
24. Sporządzenie niniejszej „Bazy”, aby – w szczególności młodzież – zachęcić do poznawania zjawisk fizycznych i konstrukcji.
25. Specjalne podziękowanie z tej trybuny zasyłam Sz. P. dr. **Bogdanowi Ćwikowi** za to, że mobilizował mnie do moich pasji i wierzył w moje siły – **wielki szacunek Panie Bogdanie!**
26. Czynię również podziękowanie moim Wychowawcom: **Pani Jadwidze Rapalskiej, Rodzinie Ś.P. Jadwigi Kordylewskiej, Panu dr. Ryszardowi Głoszkowskiemu** i Nauczycielom. Zasyłam ukłony moim Koleżankom i Kolegom ze wszystkich szkół ☺.

27. Podziękowanie ślę Kolegom z warsztatu – Wieškowi, Józkowi i Rodzinie Ś.P. Lutka oraz pozdrawiam Koleżanki i Kolegów z pracy ☺.
28. Pisownia mojego nazwiska została sprostowana sądownie, ponieważ ustaliłem to w czasie **16 – letniego** badania genealogicznego. Moi Przodkowie osadzeni są w ziemi konińskiej i to jest moja mała Ojczyzna!
29. Wyrażam zgodę na publikowanie treści objętych niniejszym opracowaniem bez żadnych ograniczeń – Zygmunt Kiliszewski.
30. Repertorium Notariusza – A nr 287/2015 z dn. 02.02.2015 r.

przypis ze str. 9 i 16

W dn. 21 lutego br. dokonano szczegółowego opracowania wzorów na częstotliwość jednego zezwoju, jak i całego układu w **celu zamieszczenia na stronie internetowej**. Jeden wzór zastąpiono trzema, aby można było nimi precyzyjnie operować podczas obliczeń. Ponadto dokonano niewielkich korekt w tekście (szczegóły w tekście). Sporządzono załącz. Nr 1 do „Bazy...” – Repertorium Notariusza A nr 576/2015 z dn. 24.02.2015 r.

przypis ze str. 18

W dn. 21 lutego br. dokonano zmiany oznaczenia wzoru na częstotliwość układu. Zamieniono dużą literę T na dużą literę F (szczegóły w tekście). Sporządzono załącz. Nr 1 do „Bazy...” – Repertorium Notariusza A nr 576/2015 z dn. 24.02.2015 r.