

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

## 2016-35

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

*H02K 3/28* (2006.01)  
*H02K 17/02* (2006.01)  
*H02K 19/02* (2006.01)  
*H02K 3/02* (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



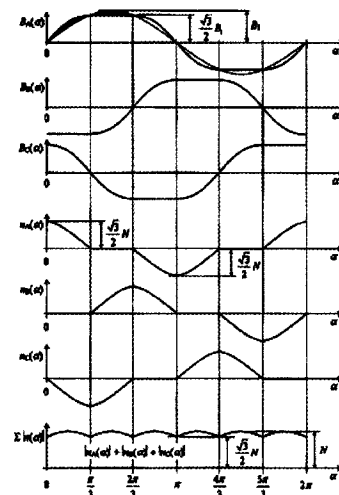
ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **26.01.2016**  
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **01.02.2017**  
(Věstník č. 5/2017)

- (71) Přihlašovatel:  
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ
- (72) Původce:  
doc. Dr. Ing. Miroslav Patočka, Soběšice, CZ  
Ing. Radoslav Cipín, Ph.D., Brno - Bohunice, CZ
- (74) Zástupce:  
Kania, Sedlák, Smola, Ing. Tomáš Benda,  
Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno

(54) Název přihlášky vynálezu:  
**Rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém  
vinutí trojfázových střídavých točivých  
strojů**

- (57) Anotace:  
Vynález řeší rozložení vodičů u statoru/rotoru trojfázového střídavého točivého stroje obsahující drážky a alespoň jeden pólpár, kde v drážkách každého pólpáru je uloženo statorové/rotorové vinutí všech tří fází daného pólpáru, kde počet vodičů v *i*-té drážce jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí odpovídá počtu vodičů danému vzorcem, kde počet vinutí je dán integrálem orientované hustoty vodičů fázového vinutí v daných mezích určených počtem drážek jednoho statoru/rotoru, o kterou drážku pólpáru se jedná. Maximální odchylku vypočteme podle vzorce vyjádřeného z celkového množství závitů jednoho pólpáru fázového vinutí a počtu drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru.



Rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí trojfázových střídavých točivých strojů

### Oblast techniky

Vynález se týká rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí trojfázových střídavých točivých strojů

### Dosavadní stav techniky

V případě trojfázových střídavých elektrických strojů asynchronních i synchronních je snahou rozprostřít vodiče každého ze tří fázových vinutí do drážek statoru, popř. i rotoru, takovým způsobem, aby magnetická indukce ve vzduchové mezeře stroje měla ideální harmonický, tj. sinusový, prostorový průběh, při postupu po obvodu vzduchové mezery.

Mezi odborníky v daném oboru je běžně známo tzv. "harmonické vinutí", ve kterém jsou vodiče každé fáze rozprostřeny harmonicky v drážkách podél celého obvodu pólpáru. Toto vinutí sice generuje harmonický průběh magnetické indukce podél vzduchové mezery, ale jeho činitel vinutí činí pouze 0,785, a navíc je trojvrstvé a tedy výrobně velmi složité. Z těchto důvodů se v praxi vůbec nepoužívá.

Všechna známá a v praxi skutečně využívaná řešení se tomuto ideálu pouze blíží. Řešení je vždy kompromisem mezi složitostí vinutí, odchylkou od ideálního harmonického průběhu a dosaženým činitelem vinutí, kde činitel vinutí je číslo ležící v intervalu 0 až 1, přičemž ideálem je 1.

Cílem vynálezu je představit takové rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí trojfázových střídavých točivých strojů, které výše uvedené nevýhody stavu techniky potlačí a vytvoří čistě harmonický průběh magnetické indukce podél vzduchové mezery.

### Podstata vynálezu

Výše zmíněné nedostatky odstraňuje do značné míry stator/rotor trojfázového střídavého točivého stroje obsahující drážky a alespoň jeden pólpár, kde v drážkách každého pólpáru je uloženo statorové/rotorové vinutí všech tří fází daného pólpáru jehož podstata spočívá v tom, že počet vodičů v  $i$ -té drážce jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí odpovídá počtu vodičů danému vzorcem

$$N_{s,i} = \int_{(i-1)\frac{2\pi}{Q}}^{\frac{2\pi}{Q}} n(\alpha) d\alpha,$$

kde  $Q$  je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru,  $i$  označuje o kterou drážku pólpáru se jedná, přičemž jde o přirozené číslo ležící v rozsahu 1 až  $Q$ , a  $n(\alpha)$  je orientovaná hustota vodičů fázového vinutí, s maximální odchylkou vypočtenou podle vzorce

$$\Delta N_{s,i} = \pm N \frac{36}{Q^2},$$

kde  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí, a  $Q$  je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru.

Ve výhodném provedení je orientovaná hustota vodičů  $n(\alpha)$  jednoho pólpáru fázového vinutí dána rovnicí

$$n(\alpha) = \begin{cases} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha + \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha - \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases}$$

kde elektrický úhel  $\alpha$  měřený podél vzduchové mezery trojfázového střídavého stroje nabývá hodnot ležících v rozsahu 0 až  $2\pi$ , kde úhel  $2\pi$  odpovídá jednomu pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru, kde kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, kde záporné hodnotě odpovídá záporný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, a kde  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru.

V jiném výhodném provedení je orientovaná hustota vodičů  $n(\alpha)$  jednoho pólpáru fázového vinutí dána rovnicí

$$n(\alpha) = \begin{cases} N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \frac{\pi}{3} - \alpha \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \frac{2\pi}{3} - \alpha \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \alpha - \frac{4\pi}{3} \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \alpha - \frac{5\pi}{3} \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases}$$

kde elektrický úhel  $\alpha$  měřený podél vzduchové mezery trojfázového střídavého stroje nabývá hodnot ležících v rozsahu 0 až  $2\pi$ , kde úhel  $2\pi$  odpovídá jednomu pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru, kde kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, kde záporné hodnotě odpovídá záporný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, a kde  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru.

*Objasnění*  
~~Přehled obrázků na výkresech~~

Vynález bude dále přiblížen pomocí obrázků, kde obr. 1 představuje funkce trojfázového vinutí jednoho pólpáru definované rovnicí pro ekonomické harmonické vinutí, kde funkce  $B_A(\alpha)$ ,  $B_B(\alpha)$ ,  $B_C(\alpha)$  jsou průběhy magnetických indukcí, funkce  $n_A(\alpha)$ ,  $n_B(\alpha)$ ,  $n_C(\alpha)$  jsou orientované hustoty vodičů fázového vinutí a funkce  $\Sigma |n(\alpha)|$  je součet počtu vodičů v jednotlivých drážkách, obr. 2 představuje funkce trojfázového vinutí jednoho pólpáru definované rovnicí pro ekonomické kvaziharmonické vinutí, kde funkce  $B_A(\alpha)$ ,  $B_B(\alpha)$ ,  $B_C(\alpha)$  jsou průběhy magnetických indukcí, funkce  $n_A(\alpha)$ ,  $n_B(\alpha)$ ,  $n_C(\alpha)$  jsou orientované hustoty vodičů fázového vinutí a funkce  $\Sigma |n(\alpha)|$  je součet počtu vodičů v jednotlivých drážkách, a obr. 3 představuje jeden pólpár ekonomického harmonického dvojrstvého vinutí s naznačenými vodiči pouze jedné fáze, kde  $Q = 24$  a  $\alpha_s = 15^\circ$ .

y uskutečnění  
Příklad provedení vynálezu

Rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí trojfázových střídavých točivých strojů podle vynálezu, kde celkový počet  $N_{s,i}$  vodičů v  $i$ -té drážce jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí je určen rovnicí:

$$N_{s,i} = \int_{\frac{(i-1)2\pi}{Q}}^{\frac{i2\pi}{Q}} n(\alpha) d\alpha, \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, Q, \quad (1)$$

kde:

$Q$  je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru, přičemž  $Q$  nemůže být libovolné, ale smí nabývat pouze hodnot:

$$Q = 6k \quad \text{pro } k = 2, 3, 4, 5, 6, \dots, \quad (2)$$

$k$  je libovolné přirozené číslo větší než 1,

$n(\alpha)$  je orientovaná hustota vodičů jednoho pólpáru fázového vinutí definovaná po částech, tj. v šesti intervalech, rovnicemi pro ekonomické harmonické vinutí:

$$n(\alpha) = \begin{cases} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha + \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha - \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases} \quad (3)$$

kde elektrický úhel  $\alpha$  měřený podél vzduchové mezery stroje nabývá hodnot ležících v rozsahu 0 až  $2\pi$ , kde úhel  $2\pi$  odpovídá jednomu pólpáru. Kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky. Záporné hodnotě odpovídá opačný, tj. záporný, směr proudu, přičemž  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí, který je určen standardním způsobem z indukčního zákona, tj. z rovnice:

$$u_1(t) = k_{w,1} N \frac{d\Phi_{tot}(t)}{dt}, \quad (4)$$

kde:

$u_1(t)$  je indukované napětí jednoho pólpáru fázového vinutí,

$\Phi_{tot}(t)$  je celkový magnetický tok jednoho pólpáru,

$k_{w,1}$  je celkový činitel vinutí pro užitečnou 1. harmonickou, jehož hodnota je:

$$k_{w,1} = \frac{\pi \cdot n_1}{2 \cdot N} = \frac{\pi \cdot 1}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,90690, \quad (5)$$

kde  $n_1$  je amplituda 1. harmonické Fourierova rozvoje funkce  $n(\alpha)$  definované rovnicemi (3), <sup>přičemž tato</sup> ~~která~~ amplituda má hodnotu:

$$n_1 = \frac{N}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

Funkce  $n_A(\alpha)$  představená na obr. 1 je přímo rovna funkci  $n(\alpha)$  definované rovnicemi (3). Funkce  $n_B(\alpha)$ ,  $n_C(\alpha)$  mají stejný tvar, ale oproti funkci  $n_A(\alpha)$  jsou posunuty o úhel buď  $+2\pi/3$ , nebo  $-2\pi/3$ .

Z průběhů funkcí  $n_A(\alpha)$ ,  $n_B(\alpha)$ ,  $n_C(\alpha)$  plyne, že v každé drážce se nacházejí vodiče, které náležejí pouze ke dvěma různým fázím. Jedná se tedy o dvojrstvé vinutí.

Průběh funkce  $\Sigma |n(\alpha)|$  zobrazený na obr. 1 ukazuje, že součet vodičů v jednotlivých drážkách není bohužel konstantní, ale kolísá mezi maximem a minimem

v poměru  $(2/\sqrt{3}):1 = 1,155:1$ . Toto kolísání odstraňuje systém pro ekonomické kvaziharmonické vinutí, který je znázorněn na obr. 2, kde rozvinutím funkce  $n(\alpha)$ , definované rovnicemi (3), do Taylorovy řady a využijeme-li pouze první člen řady a normalizujeme-li první člen koeficientem  $3/\pi$  na stejný celkový počet  $N$  závitů, určený rovnicí (4), pak se původní funkce  $n(\alpha)$ , definovaná rovnicemi (3), změní do tvaru

$$n(\alpha) = \begin{cases} N\left(\frac{3}{\pi}\right)^2\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ N\left(\frac{3}{\pi}\right)^2\left(\frac{2\pi}{3}-\alpha\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ N\left(\frac{3}{\pi}\right)^2\left(\alpha-\frac{4\pi}{3}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N\left(\frac{3}{\pi}\right)^2\left(\alpha-\frac{5\pi}{3}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases} \quad (7)$$

Stejně jako v případě rovnice (3), odpovídá úhel  $2\pi$ , měřený podél vzduchové mezery stroje, jednomu pólpáru. Kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky. Záporné hodnotě odpovídá opačný, tj. záporný, směr proudu.  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí, který je určen standardním způsobem z indukčního zákona (4), ve kterém ale, v případě rovnic (7), má celkový činitel vinutí  $k_{w,1}$  pro užitečnou 1. harmonickou mírně odlišnou hodnotu:

$$k_{w,1} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{n_1}{N} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{18}{\pi^3} = \left(\frac{3}{\pi}\right)^2 = 0,9118906, \quad (8)$$

kde  $n_1$  je amplituda 1. harmonické Fourierova rozvoje funkce  $n(\alpha)$  definované rovnicemi (7), <sup>příčímž tato</sup> ~~kteřížto~~ amplituda má hodnotu:

$$n_1 = \frac{18N}{\pi^3}. \quad (9)$$

Počet  $N_{s,i}$  vodičů v  $i$ -té drážce, určené rovnicí (1), je nutno při praktické realizaci stroje zaokrouhlit na celá čísla, čímž vzniknou odchylky  $\Delta N_{s,i}$  od ideálních hodnot daných rovnicí (1), přičemž tyto odchylky mohou v libovolné každé  $i$ -té drážce dosahovat velikosti dané vzorcem (10), aniž dojde k významnému zhoršení parametrů vinutí.

$$\Delta N_{s,i} = \pm N \frac{36}{Q^2} \quad (10)$$

kde:

$N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí určený rovnicí (4),  
 $Q$  je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru určený rovnicí (2).

Rovnice (10) je platná pro oba typy vinutí definovaných rovnicemi (3) a (7).

Z průběhů funkcí  $n_A(\alpha)$ ,  $n_B(\alpha)$ ,  $n_C(\alpha)$  zobrazených na obr. 1 plyne, že v každé drážce se nacházejí vodiče, které náležejí pouze ke dvěma různým fázím. Jedná se tedy o dvojrstvé vinutí. Průběh funkce  $\Sigma |n(\alpha)|$ , zobrazený na obr. 2, ukazuje, že součet vodičů v jednotlivých drážkách je konstantní. To je základní výhodou oproti předchozímu ekonomickému harmonickému vinutí.

Průběhy magnetických indukcí  $B_A(\alpha)$ ,  $B_B(\alpha)$ ,  $B_C(\alpha)$  na obou obr. 1, obr. 2 vyplývají z matematických vztahů mezi funkcemi  $n(\alpha)$  a  $B(\alpha)$ :

$$n(\alpha) = \frac{g_c}{I_\mu \mu_0} \frac{dB(\alpha)}{d\alpha}, \quad (11)$$

kde:

$g_c$  je korigovaná délka vzduchové mezery,

$I_\mu$  je magnetizační proud,

$\mu_0$  je permeabilita vakua.

Integrací diferenciální rovnice (11) získáme reciproký integrální vztah



$$B(\alpha) = \frac{I_\mu \mu_0}{g_c} \int n(\alpha) d\alpha. \quad (12)$$

Neurčitý integrál v rovnici (12) musí mít nulovou integrační konstantu, protože funkce  $B(\alpha)$  ani  $n(\alpha)$  nesmí z fyzikálních důvodů obsahovat stejnosměrnou složku.

### Příklad výpočtu

Příkladu výpočtu rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí zobrazeném na obr. 3 je uskutečněn pro jeden pólpár,  $p = 1$ , který zaujímá 24 statorových drážek, tj.  $Q = 24$ . U vícepólových strojů s větším počtem pólpárů,  $p = 2, 3, \dots$ , by zůstal návrh jednoho pólpáru stále stejný za předpokladu, že každý pólpár by zaujímal stále stejný počet drážek  $Q = 24$ .

Z obr. 3 plyne, že celkový počet vodičů  $N$  je nerovnoměrně rozložen do 8 drážek ležících v intervalu  $\alpha \in \langle 5\pi/3; \pi/3 \rangle$ . Vzhledem k symetrii podle vodorovné osy je  $N/2$  vodičů rozloženo podle funkce  $n(\alpha)$  do 4 drážek ležících v intervalu  $\alpha \in \langle 0; \pi/3 \rangle$ . Podle rovnic (1) a (3) lze určit počty vodičů  $N_{s1}$  až  $N_{s4}$  v jednotlivých drážkách označených symboly  $s1$  až  $s4$ :

$$N_{s1} = \int_0^{\pi/12} n(\alpha) d\alpha = \int_0^{\pi/12} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) d\alpha = \frac{\sqrt{2}-1}{2} N = 0,20711 N, \quad (13a)$$

$$N_{s2} = \int_{\pi/12}^{2\pi/12} n(\alpha) d\alpha = \int_{\pi/12}^{2\pi/12} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) d\alpha = \frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{2} N = 0,15892 N, \quad (13b)$$

$$N_{s3} = \int_{2\pi/12}^{3\pi/12} n(\alpha) d\alpha = \int_{2\pi/12}^{3\pi/12} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) d\alpha = \frac{1+\sqrt{3}-\sqrt{6}}{2\sqrt{2}} N = 0,09990 N, \quad (13c)$$

$$N_{s4} = \int_{3\pi/12}^{\pi/3} n(\alpha) d\alpha = \int_{3\pi/12}^{\pi/3} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) d\alpha = 1 - \frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} N = 0,03407 N. \quad (13d)$$

Pomocí vzorce (14) lze zkontrolovat, že se součet vodičů ve všech drážkách bude rovnat číslu  $N$ :

$$N = 2(N_{s1} + N_{s2} + N_{s3} + N_{s4}). \quad (14)$$

Podle obr. 3 bude každá drážka obsahovat dvě vrstvy, přičemž každá vrstva přísluší jiné fázi. Součet vodičů od obou vrstev bude v každé drážce jiný a bude nabývat dvou hodnot

$$N_{s1} + N_{s4} = \frac{1 + \sqrt{2} - \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} N = 0,24118 N, \quad N_{s2} + N_{s3} = \frac{\sqrt{3} - 1}{2\sqrt{2}} N = 0,25882 N \quad (15)$$

kde jejich vzájemný poměr činí  $0,25882 : 0,24118 = 1,07313$ . Po obvodu statoru se budou pravidelně střídat dvě dvojice drážek. V každé drážce jedné dvojice bude vždy stejný počet vodičů, buď  $0,25882N$ , nebo  $0,24118N$ .

Podobným způsobem je možno rozpočítat počty vodičů  $N_{s,1}, N_{s,2}, \dots$  i pro jiné počty drážek než  $Q = 24$ , nebo  $36$ . Výsledky jsou uvedeny v <sup>t</sup>Tab. 1 a <sup>t</sup>Tab. 2.

Celkový počet drážek  $Q$  v rámci jednoho pólpáru však nemůže být libovolné číslo. Musí to být násobek šesti daný rovnicí (2) a uvedený v <sup>t</sup>Tab. 1. Tomu odpovídají i příslušné počty  $q$  drážek na pól a fázi. Omezení čísla  $Q$  shora teoreticky neexistuje.

Q	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
q	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Q	72	78	84	90	96	102	108	114	120	...
q	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...

Tab. 1

Počty vodičů  $N_s$  v drážkách jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí se určují podle vzorce (1). Přičemž relativní počty vodičů  $N_s/N$  v drážkách jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí vypočtené podle vzorce (1) jsou uvedeny v <sup>t</sup>Tab. 2, představující relativní počty vodičů  $N_s/N$  v drážkách jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí pro přípustné počty drážek  $Q$  u ekonomického harmonického vinutí.

Q	12	18	24	30	36	42	48
$N_{s,1}/N$	0,36603	0,26604	0,20711	0,16913	0,14279	0,12349	0,10876
$N_{s,2}/N$	0,13397	0,17365	0,15892	0,13989	0,12326	0,10956	0,09835
$N_{s,3}/N$	-	0,06031	0,09990	0,10453	0,09998	0,09319	0,08625
$N_{s,4}/N$	-	-	0,03407	0,06460	0,07367	0,07473	0,07267
$N_{s,5}/N$	-	-	-	0,02185	0,04512	0,05460	0,05785
$N_{s,6}/N$	-	-	-	-	0,01519	0,03326	0,04205
$N_{s,7}/N$	-	-	-	-	-	0,01117	0,02552
$N_{s,8}/N$	-	-	-	-	-	-	0,00856
$N_{s,9}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,10}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,11}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,12}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,13}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,14}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,15}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,16}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,17}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,18}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,19}/N$	-	-	-	-	-	-	-
$N_{s,20}/N$	-	-	-	-	-	-	-
...	...	...	...	...	...	...	...

Tab. 2 (1. část)

Q	54	60	66	72	78	84	90
N <sub>s,1/N</sub>	0,09716	0,08779	0,08006	0,07358	0,06806	0,06332	0,05919
N <sub>s,2/N</sub>	0,08908	0,08135	0,07480	0,06921	0,06438	0,06017	0,05647
N <sub>s,3/N</sub>	0,07980	0,07401	0,06887	0,06432	0,06028	0,05668	0,05347
N <sub>s,4/N</sub>	0,06944	0,06587	0,06232	0,05894	0,05579	0,05288	0,05021
N <sub>s,5/N</sub>	0,05814	0,05701	0,05520	0,05311	0,05093	0,04878	0,04670
N <sub>s,6/N</sub>	0,04606	0,04752	0,04758	0,04687	0,04575	0,04441	0,04297
N <sub>s,7/N</sub>	0,03335	0,03751	0,03953	0,04028	0,04027	0,03979	0,03903
N <sub>s,8/N</sub>	0,02019	0,02709	0,03113	0,03338	0,03452	0,03494	0,03490
N <sub>s,9/N</sub>	0,00676	0,01637	0,02244	0,02623	0,02856	0,02990	0,03060
N <sub>s,10/N</sub>	-	0,00548	0,01354	0,01888	0,02241	0,02470	0,02615
N <sub>s,11/N</sub>	-	-	0,00453	0,01139	0,01611	0,01936	0,02157
N <sub>s,12/N</sub>	-	-	-	0,00381	0,00971	0,01390	0,01689
N <sub>s,13/N</sub>	-	-	-	-	0,00324	0,00837	0,01212
N <sub>s,14/N</sub>	-	-	-	-	-	0,00280	0,00730
N <sub>s,15/N</sub>	-	-	-	-	-	-	0,00244
N <sub>s,16/N</sub>	-	-	-	-	-	-	-
N <sub>s,17/N</sub>	-	-	-	-	-	-	-
N <sub>s,18/N</sub>	-	-	-	-	-	-	-
N <sub>s,19/N</sub>	-	-	-	-	-	-	-
N <sub>s,20/N</sub>	-	-	-	-	-	-	-
...	...	...	...	...	...	...	...

Tab. 2 (2. část)

Q	96	102	108	114	120	...
$N_{s,1}/N$	0,05557	0,05236	0,04951	0,04695	0,04464	...
$N_{s,2}/N$	0,05319	0,05027	0,04765	0,04529	0,04315	...
$N_{s,3}/N$	0,05058	0,04798	0,04563	0,04349	0,04154	...
$N_{s,4}/N$	0,04776	0,04552	0,04345	0,04156	0,03981	...
$N_{s,5}/N$	0,04473	0,04287	0,04113	0,03950	0,03798	...
$N_{s,6}/N$	0,04151	0,04007	0,03867	0,03732	0,03604	...
$N_{s,7}/N$	0,03812	0,03712	0,03608	0,03503	0,03400	...
$N_{s,8}/N$	0,03456	0,03402	0,03336	0,03264	0,03187	...
$N_{s,9}/N$	0,03085	0,03080	0,03054	0,03014	0,02965	...
$N_{s,10}/N$	0,02701	0,02745	0,02761	0,02755	0,02735	...
$N_{s,11}/N$	0,02305	0,02401	0,02458	0,02488	0,02498	...
$N_{s,12}/N$	0,01900	0,02047	0,02148	0,02214	0,02254	...
$N_{s,13}/N$	0,01486	0,01685	0,01830	0,01932	0,02003	...
$N_{s,14}/N$	0,01066	0,01318	0,01506	0,01645	0,01748	...
$N_{s,15}/N$	0,00641	0,00945	0,01176	0,01353	0,01487	...
$N_{s,16}/N$	0,00214	0,00568	0,00843	0,01056	0,01222	...
$N_{s,17}/N$	-	0,00190	0,00507	0,00757	0,00954	...
$N_{s,18}/N$	-	-	0,00169	0,00455	0,00683	...
$N_{s,19}/N$	-	-	-	0,00152	0,00411	...
$N_{s,20}/N$	-	-	-	-	0,00137	...
...	...	...	...	...	...	...

Tab. 2 (3. část)

Počet  $N_{s,i}$  vodičů v  $i$ -té drážce, určené rovnicí (1), je nutno při praktické realizaci stroje zaokrouhlit na celé číslo, čímž vzniknou odchylky  $\Delta N_{s,i}$  od ideálních hodnot daných rovnicí (1), přičemž tyto odchylky mohou v libovolné každé  $i$ -té drážce dosahovat velikosti dané vzorcem (10), aniž dojde k významnému zhoršení parametrů vinutí. Relativní odchylky vypočtené podle tohoto vzorce (10) jsou uvedeny v tabulce Tab. 3, představující relativní odchylky vodičů  $\Delta N_{s,i}/N$  v jednotlivých drážkách, pro přípustné počty drážek  $Q$  u ekonomického harmonického vinutí.

Q	12	18	24	30	36	42	...
$\Delta N_{s,1}/N$	$\pm 0,2500$	$\pm 0,1111$	$\pm 0,0625$	$\pm 0,0400$	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,2}/N$	$\pm 0,2500$	$\pm 0,1111$	$\pm 0,0625$	$\pm 0,0400$	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,3}/N$	-	$\pm 0,1111$	$\pm 0,0625$	$\pm 0,0400$	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,4}/N$	-	-	$\pm 0,0625$	$\pm 0,0400$	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,5}/N$	-	-	-	$\pm 0,0400$	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,6}/N$	-	-	-	-	$\pm 0,0278$	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,7}/N$	-	-	-	-	-	$\pm 0,0204$	...
$\Delta N_{s,8}/N$	-	-	-	-	-	-	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Tab. 3

Oba výše popsané způsoby rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí podle vynálezu jsou vhodné pro stavbu trojfázových asynchronních strojů i synchronních strojů, zvláště synchronních generátorů.

Výhodami použití rozložení vodičů ve statorovém/rotorovém vinutí podle vynálezu jsou:

- vytvoření čistě harmonického průběhu magnetické indukce podél vzduchové mezery, a to v rámci každého jednoho pólpáru,
- oproti stavu techniky je vinutí s rozložením vodičů podle vynálezu pouze dvojvrstvé oproti trojvrstvému tzv. "harmonickému vinutí", známému ze stavu techniky,
- ekonomické harmonické vinutí má činitel vinutí  $k_{w,1} = 0,90690$ , což je v poměru  $2/\sqrt{3} = 1,1547$  více oproti činiteli vinutí tzv. "harmonického vinutí", známého ze stavu techniky,
- ekonomické kvaziharmonické vinutí má činitel vinutí  $k_{w,1} = 0,91189$ , a navíc má proti ekonomickému harmonickému vinutí ve všech drážkách stejný celkový počet vodičů (od obou vrstev).

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Stator/rotor trojfázového střídavého točivého stroje obsahující drážky a alespoň jeden pólpár, kde v drážkách každého pólpáru je uloženo statorové/rotorové vinutí všech tří fází daného pólpáru, **vyznačující se tím, že počet vodičů v i-té drážce jednoho pólpáru jedné fáze trojfázového vinutí odpovídá počtu vodičů danému vzorcem**

$$N_{s,i} = \int_{(i-1)\frac{2\pi}{Q}}^{i\frac{2\pi}{Q}} n(\alpha) d\alpha,$$

kde Q je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru, i označuje o kterou drážku pólpáru se jedná, přičemž jde o přirozené číslo ležící v rozsahu 1 až Q, a  $n(\alpha)$  je orientovaná hustota vodičů fázového vinutí,

s maximální odchylkou vypočtenou podle vzorce

$$\Delta N_{s,i} = \pm N \frac{36}{Q^2},$$

kde N je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí, a Q je počet drážek jednoho pólpáru statoru/rotoru.

2. Stator/rotor trojfázových střídavých točivých strojů podle nároku 1, **vyznačující se tím, že orientovaná hustota vodičů  $n(\alpha)$  jednoho pólpáru fázového vinutí je dána rovnicí**

$$n(\alpha) = \begin{cases} N \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha + \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ -N \cos\left(\alpha - \frac{5\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases}$$

kde elektrický úhel  $\alpha$  měřený podél vzduchové mezery trojfázového střídavého stroje nabývá hodnot ležících v rozsahu 0 až  $2\pi$ , kde úhel  $2\pi$  odpovídá jednomu pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru, kde kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, kde záporné hodnotě odpovídá záporný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, a kde  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru.

3. Statorové/rotorové vinutí podle nároku 1, vyznačující se tím, že orientovaná hustota vodičů  $n(\alpha)$  jednoho pólpáru fázového vinutí je dána rovnicí



$$n(\alpha) = \begin{cases} N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \frac{\pi}{3} - \alpha \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle 0; \frac{\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3} \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \frac{2\pi}{3} - \alpha \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{2\pi}{3}; \pi \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \alpha - \frac{4\pi}{3} \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \pi; \frac{4\pi}{3} \right\rangle \\ 0 & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3} \right\rangle \\ N \left( \frac{3}{\pi} \right)^2 \left( \alpha - \frac{5\pi}{3} \right) & \text{pro } \alpha \in \left\langle \frac{5\pi}{3}; 2\pi \right\rangle \end{cases}$$

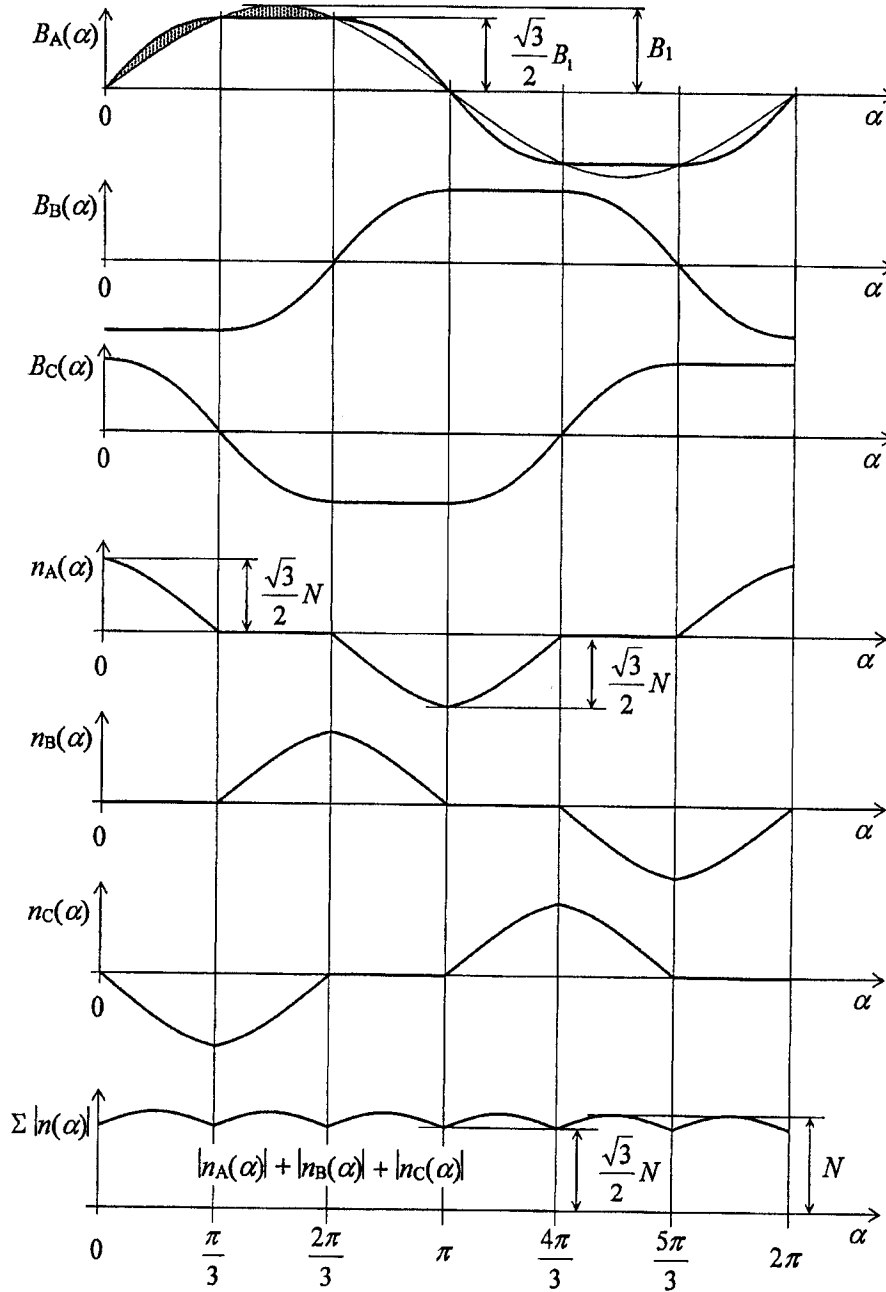
kde elektrický úhel  $\alpha$  měřený podél vzduchové mezery trojfázového střídavého stroje nabývá hodnot ležících v rozsahu 0 až  $2\pi$ , kde úhel  $2\pi$  odpovídá jednomu pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru, kde kladné hodnotě orientované hustoty  $n(\alpha)$  odpovídá zvolený kladný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, kde záporné hodnotě odpovídá záporný směr proudu ve vodičích příslušné drážky, a kde  $N$  je celkový počet závitů jednoho pólpáru fázového vinutí statoru/rotoru.

1/3

~~1/3~~

200110

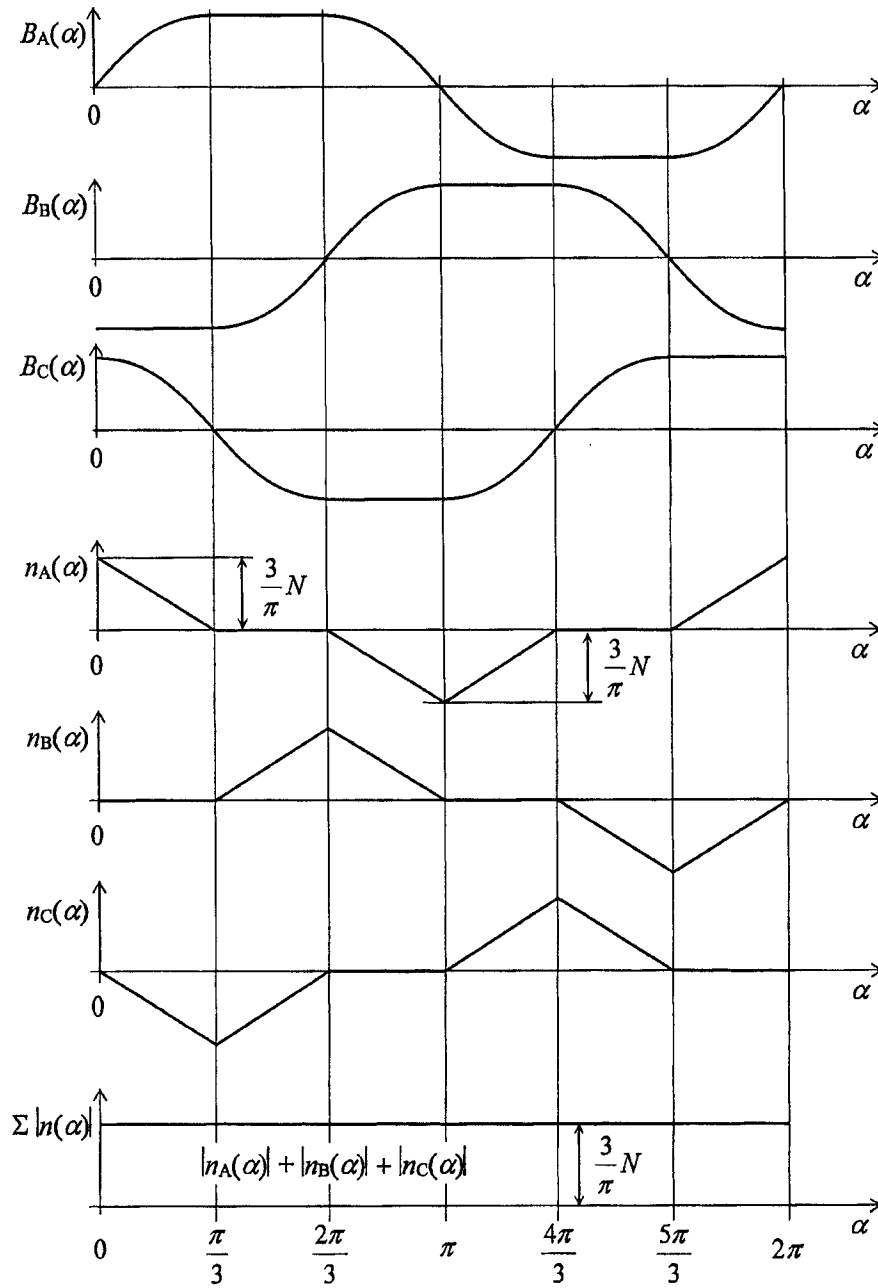
PV 35-2016



Obr. 1

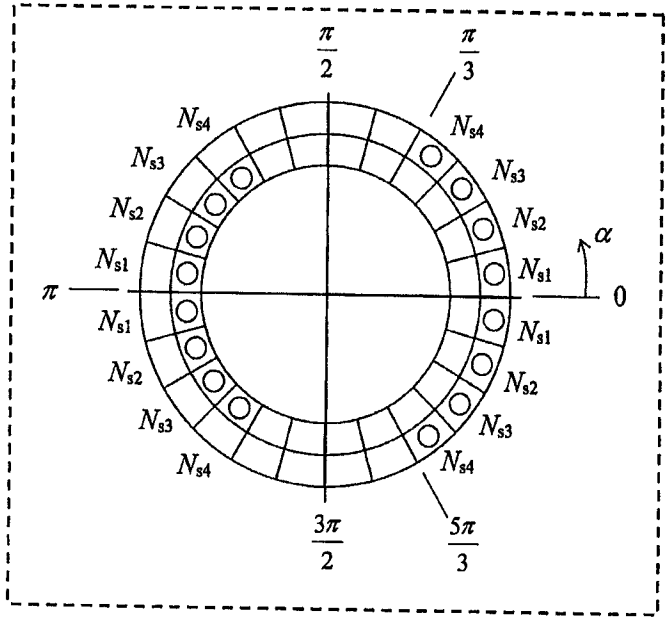
2/3

204



Obr. 2

3/3 #



Obr. 3