

## 3. VINUTIA ELEKTRICKÝCH STROJOV

### 3.1 Vinutia jednosmerných strojov

#### 3.1.1 Základné pojmy

Vinutie kotvy jednosmerných strojov uvádzame v tej najjednoduchšej forme. Vo všeobecnosti môžu byť rôzne a veľmi komplikované a ich výklad značne zložitý. Preto sa obmedzujeme len na základné typy. Vinutie kotvy jednosmerných strojov je uzavreté. Má pravidelne usporiadané odbočky k lamelám komutátora. Cievka je najmenšia časť vinutia, ležiaca medzi dvoma susednými vývodmi na komutátore. Dôležitým pojmom pre vinutia je počet paralelných vetiev, ktorý označujeme  $2a$ , snáď ako paralelu k počtu pólov, ktoré označujeme  $2p$  (pozri kap. 2). Môžeme však hovoriť aj o počte dvojíc paralelných vetiev „a“. Vinutia delíme z viacerých hľadísk (pozri postupne obrázky vinutí a jednotlivé príklady):

a) Podľa tvaru cievok a usporiadaní spojok ku komutátoru na

- slučkové,
- vlnové,
- zmiešané.

b) Podľa pripojenia spojok ku komutátoru na

- nekřížené,
- křížené.

Obidva typy sú elektricky zhodné, ale křížené majú dlhšie spojky, preto sú nevýhodné.

c) Podľa počtu paralelných vetiev na

- sériové ( $2a=2$ ,  $a=1$ ),
- sériovo-paralelné ( $1 < a < p$ ),
- paralelné ( $a = p$ ),
- viacnásobne paralelné  $a > p$ , resp.  $a = n p$ , čiže  $a$  je  $n$ -násobkom  $p$ .

d) Podľa cievkového kroku vzhľadom k pólovému rozstupu na

- vinutie s plným krokom, rovným pólovému rozstupu ( $Y_d = \tau_p$ ),
- vinutie so skráteným krokom ( $Y_d < \tau_p$ ), kedy je drážkový krok menší ako pólový rozstup, alebo
- vinutie s predĺženým krokom ( $Y_d > \tau_p$ ), kedy je drážkový krok väčší ako pólový rozstup. Pólový rozstup

$$\tau_p = \frac{\pi d}{2p}$$

tak, ako ho poznáme z teórie strojov vyjadrený v metroch, je pre vinutie nevhodný. Je pohodlnejšie pracovať s počtom drážok na pól, ktorý v počte drážok vyjadruje tú istú veličinu. Pólový rozstup možno vyjadriť aj v uhlovej miere, takže celý pólový rozstup predstavuje  $180^\circ$ , resp.  $\pi$ .

Ak  $Q$  je počet všetkých drážok po obvodu kotvy a počet pólov je  $2p$ , potom počet drážok na pól je

$$Q_p = \frac{Q}{2p} \approx \tau_p \approx 180^\circ \approx \pi$$

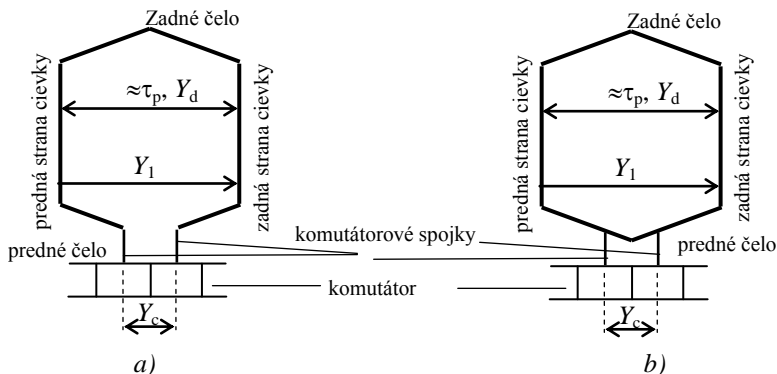
Preto vinutie má plný krok vtedy, ak jeho rozpätie cievky, čiže drážkový krok je rovný počtu drážok na pól  $Y_d = Q_p$  a skrátený krok, ak  $Y_d < Q_p$ ).

- e) Podľa cievkového kroku vzhľadom k drážkovému rozstupu (obr. 3.1.4) na
  - šablónové, kedy cievkový krok v počte drážok možno vyjadriť celým číslom,
  - prestupné, kedy cievkový krok v počte drážok možno vyjadriť len zlomkom.
- f) Podľa počtu závitov v cievke na
  - tyčové, kedy je cievka tvorená len jedným vodičom, resp. jedným závitom,
  - závitové, kedy je v cievke viac závitov.
- g) Podľa počtu vrstiev v drážke na
  - jednovrstvové, kedy všetky vodiče v drážke patria k jednej cievke (cievkovej strane),
  - dvojvrstvové, kedy vodiče v dolnej časti drážky (dolnej vrstve) patria k jednej cievke, a vodiče v hornej časti drážky (v hornej vrstve) k inej cievke. Skoro všetky jednosmerné stroje majú toto dvojvrstvové vinutie.

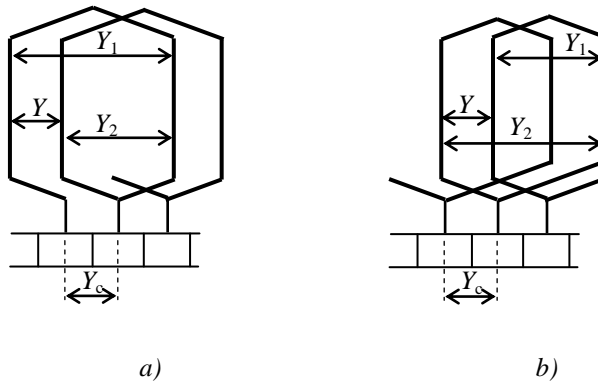
V tejto učebnici je zavedené číslovanie vodičov tak, že v hornej vrstve sa vodiče čísľujú v poradí 1,2,3, ... a v dolnej vrstve tie isté čísla, ale čiarkované (pozri obr. 3.1.4). Ako vidno na tomto obrázku, dvojvrstvové vinutie je navinuté tak, že ľavá cievková strana závitú (predná cievková strana) je vložená do hornej vrstvy a po prekročení  $Y_d$  sa vracia pravou dolnou vrstvou drážky (zadná cievková strana).

### 3.1.2 Tvary cievok a význam jednotlivých krokov

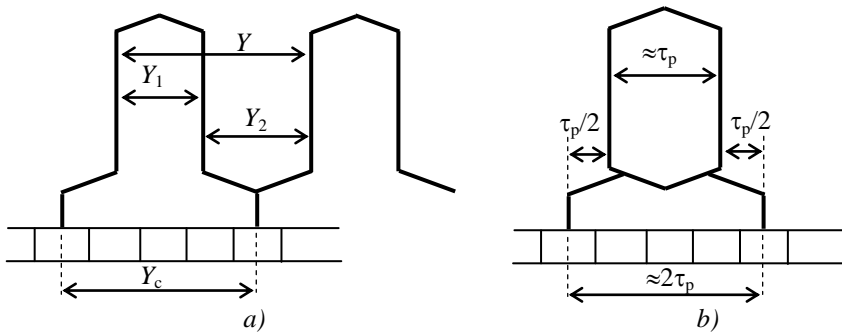
Na obr. 3.1.1 je jedna cievka slučkového vinutia, na obr. 3.1.2 niekoľko cievok za sebou, na obr. 3.1.2a) pre nekřížené a na obr. 3.1.2b) pre křížené vinutie. Na obr. 3.1.3a) je vlnové vinutie s jedným závitom v cievke, na obr. 3.1.3b) s viacerými závitmi v cievke.



Obr. 3.1.1 Cievka slučkového vinutia, a)  $N=1$ , b)  $N>1$



Obr. 3.1.2 Niekoľko cievok slučkového vinutia za sebou, ak  $N=1$ , a) nekrížené, b) krížené vinutie



Obr. 3.1.3 a) Vlnové vinutie s jedným závitom v cievke, b) s viacerými závitmi v cievke

Na týchto obrázkoch sú v oboch typoch vinutia zakótované dôležité parametre vinutia, ktoré teraz budeme postupne definovať:

$u$  - je počet vodičov vedľa seba v drážke (presnejšie: počet cievkových strán vedľa seba v drážke). Ak  $u=1$ , potom  $Y_1=Y_d$ . Ak  $u>1$ , potom  $Y_1=uY_d$ . Čiže  $Y_1$  a  $Y_d$  je ten istý rozmer (krok), ale  $Y_d$  je vyjadrený v počte drážok a  $Y_1$  v počte pozícií cievkových strán

$Y_1$  - je zadný cievkový krok a udáva počet cievkových strán medzi dvoma aktívnymi stranami tej istej cievky, čiže určuje dĺžku zadných cievkových čiel

$Y_d$  - je drážkový krok, ktorý zadný cievkový krok vyjadruje počtom drážok a platí:  $Y_1 = uY_d$

$Y_2$  - je predný spojkový krok a udáva počet cievkových strán medzi zadnou stranou prvej a prednou stranou druhej cievky, čiže určuje dĺžku predných cievkových čiel

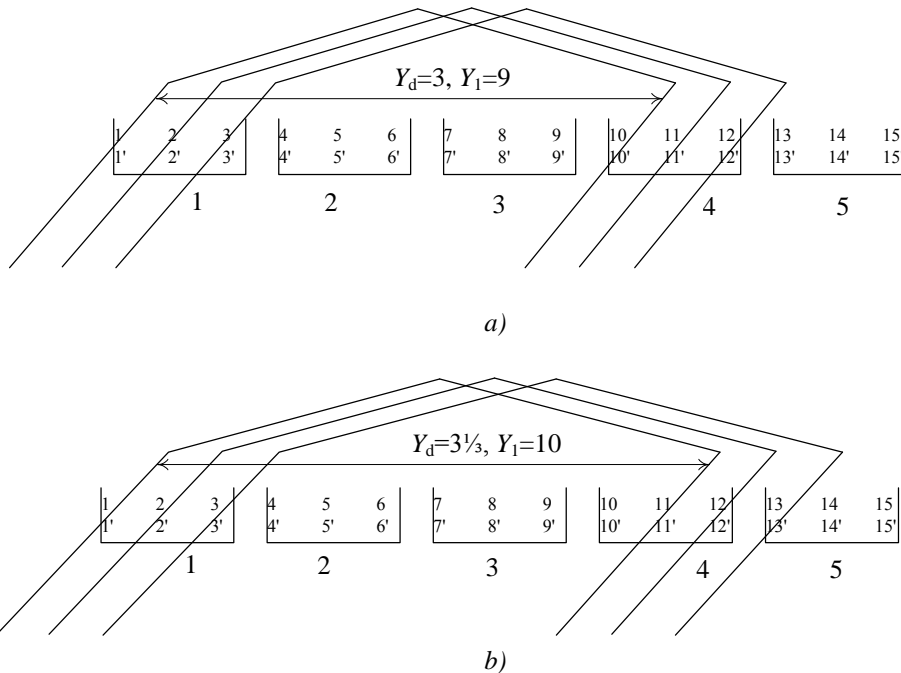
$Y$  - je celkový cievkový krok a udáva počet cievkových strán medzi prednými cievkovými stranami dvoch cievok zapojených za sebou

$Y_c$ - je komutátorový krok, ktorý udáva počet lamiel medzi začiatkom a koncom jednej cievky.

Ak sa počet cievok rovná počtu lamiel, potom platí

$$Y = Y_1 + Y_2 = Y_c$$

Na obr. 3.1.4a je dvojvrstvé vinutie, v jednej vrstve sú 3 vodiče vedľa seba, takže  $u = 3$ , drážkový krok je 3 ( $Y_d = 3$ ), ktorý vyjadruje, že cievka uložená v prvej drážke v hornej vrstve sa vracia štvrtou drážkou, dolnou vrstvou, t. j. cievka urobila krok cez tri drážky ( $1+3=4$ ). To platí vtedy, keď je šablónové vinutie, t. j. všetky tri cievkové strany (v tomto prípade každá cievková strana je tvorená len jedným vodičom) sú spolu v prvej drážke, spolu postúpia ďalej a vracajú sa štvrtou drážkou, pritom drážkový krok  $Y_d = 3$ , vyjadrený v počte drážok, možno vyjadriť v počte cievkových strán  $Y_1 = 9$ , t. j. ak je predná cievková strana v pozícii č. 1 v hornej vrstve, zadná cievková strana bude v pozícii  $1 + 9 = 10$  v dolnej vrstve, teda 10'. Takéto cievky možno vyrobiť ako šablóny, ktoré sú vhodné na automatizované vkladanie vinutia do drážok. Ak treba presnejšie dodržať pólový rozstup je možné stanoviť  $Y_d = 3\frac{1}{3}$ , potom  $Y_1 = uY_d = 3 \cdot 3\frac{1}{3} = 10$ , čo vedie na prestupné vinutie (obr. 3.1.4b).



Obr. 3.1.4 a) Šablónové vinutie, b) prestupné vinutie

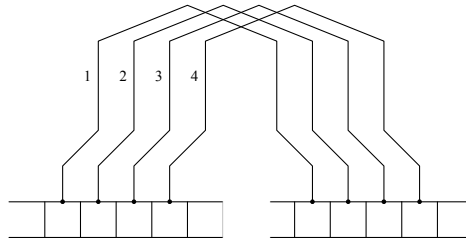
Počet lamiel komutátora je

$$K = uQ$$

pretože každá cievková strana začína a končí na lamele komutátora. Počet lamiel komutátora preto závisí od toho, ako usporiadame vodiče v drážke, čiže od počtu cievkových strán vedľa seba, ako to vidno na ilustračných obr. 3.1.5.

$$u=4, K=4Q$$

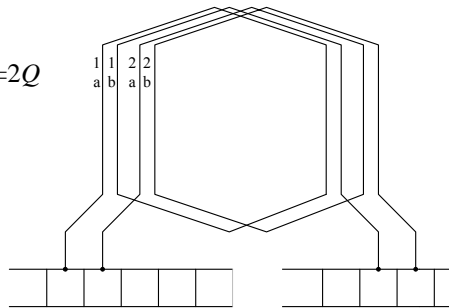
1	2	3	4
1'	2'	3'	4'



Obr. 3.1.5 Niekoľko možností usporiadania 8 vodičov v drážke na vysvetlenie počtu lamiel komutátora – pozri pokračovanie

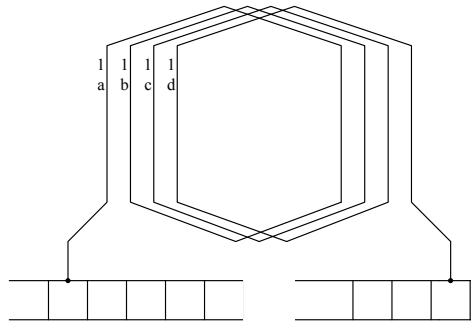
$$u=2, K=2Q$$

1	2
a	a
1	2
b	b
1'	2'
a	a
1'	2'
b	b



$$u=1, K=1Q$$

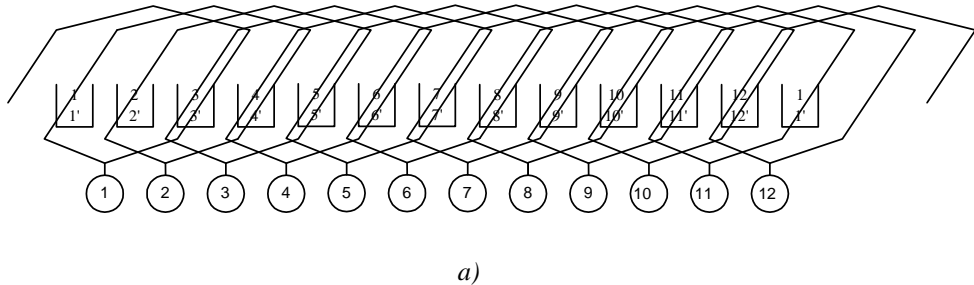
1a
1b
1c
1d
1'a
1'b
1'c
1'd



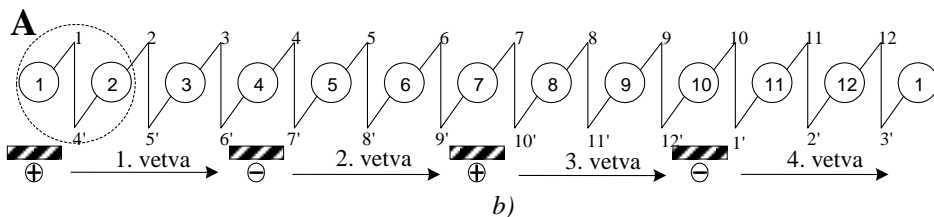
Obr. 3.1.5 Niekoľko možností usporiadania 8 vodičov v drážke na vysvetlenie počtu lamiel komutátora - pokračovanie

### 3.1.3 Náhradná schéma vinutia kotvy

Na zjednodušenie záznamu usporiadania vinutia kotvy a jeho pripojenia na lamely komutátora (obr. 3.1.6a) slúži náhradná schéma vinutia kotvy, v ktorej sa schematickým spôsobom znázorňujú jednotlivé kroky, ako aj pripojenie na lamely komutátora, ako to vidno na obr. 3.1.6b.



Obr. 3.1.6 a) Detailné usporiadanie vinutia



Obr. 3.1.6 b) Náhradná schéma vinutia z obr. a)

### 3.1.4 Fázorový diagram (napät'ová hviezdica) a napät'ový polygón

Výhodnou pomôckou na skúmanie vlastností vinutia a jeho vhodnosti pre praktické použitie je hviezdica fázorov indukovaného napätia a napät'ový polygón (mnohouholník). Indukované napätie je striedavé, neharmonické, jeho časový priebeh zodpovedá priestorovému priebehu magnetickej indukcie vo vzduchovej medzere. Toto napätie možno rozložiť na základnú a harmonické zložky. Pre chod stroja má význam základná harmonická, vplyv harmonických zložiek na celkové napätie stroja s ich rádom značne klesá, resp. sa v podstate ruší.

Ak sa v ďalších úvahách obmedzíme na základnú harmonickú, potom časový priebeh všetkých napätí je sinusový a pre ich znázornenie môžeme použiť fázory. Zásady pre kreslenie fázorového diagramu možno zhrnúť takto:

1. Kreslíme fázor napätia indukovaného vo vodiči v drážke.
2. Fázor napätí všetkých vodičov v drážke je ten istý. Každý drážke patrí v určitom okamihu určitý smer fázora. Ak označíme počet fázorov potrebných na

zhotovenie fázorového diagramu  $F$ , definujeme jednak elektrický uhol dvoch susedných fázorov v diagrame:

$$\alpha_p = \frac{360^\circ}{F}$$

a jednak elektrický uhol napätí dvoch susedných drážok (po obvode kotvy je  $p360^\circ$  elektrických stupňov):

$$\alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q}$$

3. Všetky fázory spolu tvoria napät'ovú hviezdicu, čiže fázorový diagram vinutia.
4. Počet fázorov (lúčov) fázorového diagramu  $F$  sa určí takto:
  - A. Pre dvojpólový stroj: Po obvode stroja je  $360^\circ$  a  $\alpha_{mec} = \alpha_{el}$ . Po obvode stroja má každá drážka a tým aj napätie v nej indukované, jedinečné postavenie, t. j. nie sú tam žiadne dve drážky, ktorých pozícia voči magnetickému toku by sa opakovala. Preto na vyjadrenie všetkých indukovaných napätí v drážkach potrebujeme  $Q$  fázorov:

$$F = Q$$

Potom uhlová vzdialenosť dvoch susedných drážok je súčasne uhlom, ktorý zvierajú fázory napätí týchto drážok:

$$\alpha_d = \alpha_p = \frac{360^\circ}{Q}$$

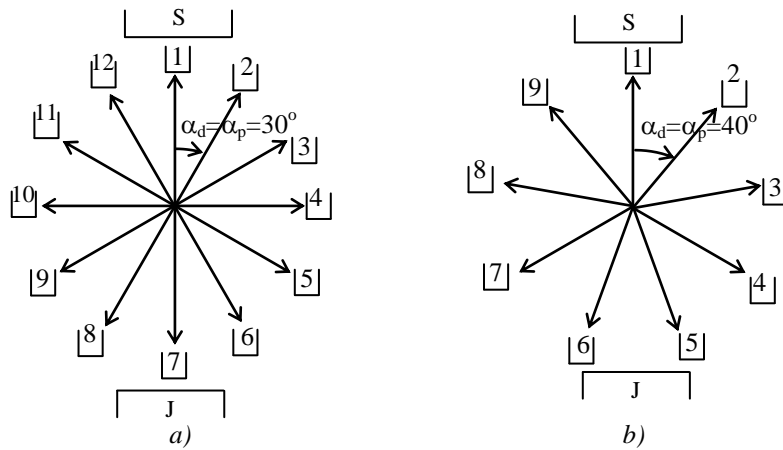
Napr. ak  $2p = 2$ ,  $Q = 12$ , potom

$$F = Q = 12, \alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ, \alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \frac{360^\circ \cdot 1}{12} = 30^\circ,$$

pozri obr. 3.1.7a).

Ak  $2p = 2$ ,  $Q = 9$ , potom

$$F = Q = 9, \alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{9} = 40^\circ, \alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \frac{360^\circ \cdot 1}{9} = 40^\circ, \text{ pozri obr. 3.1.7b).}$$



Obr. 3.1.7 Drážky kotvy v dvojpólovom magnetickom poli a príslušné fázorové diagramy, keď: a)  $Q = 12$ , b)  $Q = 9$ .

B. Pre viacpólový stroj ( $2p \geq 4$ ): Po obvode stroja je  $360^\circ$  mechanických, ale  $p360^\circ$  elektrických. Môžu nastať dva prípady:

a) Ak počet drážok a počet pólových dvojíc sú deliteľné, t. j. jednému pólovému páru zodpovedá  $Q/p$  drážok, potom tomuto pólovému páru patrí  $Q/p$  fázorov. Čiže ak je pomer  $Q/p$  daný celým číslom, fázory tých drážok, ktoré majú vo vzťahu k magnetickému poľu rovnakú polohu (napr. ak sa v 4-pólovom stroji dve drážky nachádzajú presne uprostred severných pólov), sa stotožňujú, čiže na ich vyjadrenie stačí jeden fázor, podobne ďalšie a ďalšie fázory sú v rovnakej pozícii, takže celkový počet fázorov a príslušné uhly budú:

$$F = \frac{Q}{p}$$

$$\alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q}$$

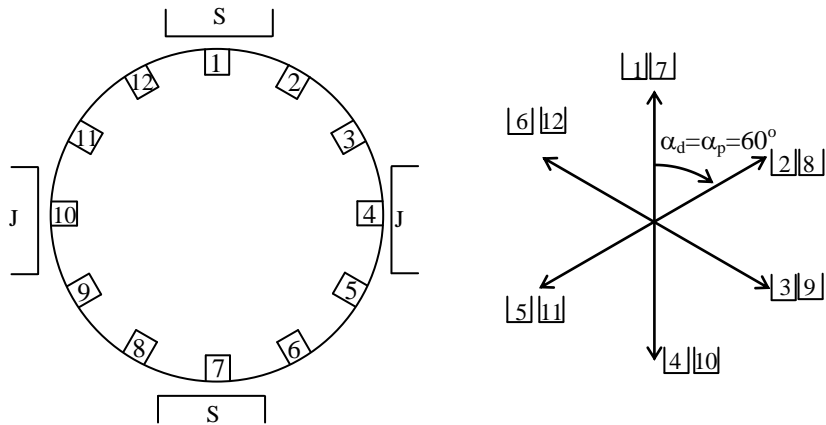
$$\alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ p}{Q} = \alpha_d$$

Ak napr.  $2p = 4$ ,  $Q = 12$ , potom

$$F = \frac{Q}{p} = \frac{12}{2} = 6, \alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \frac{360^\circ \cdot 2}{12} = 60^\circ, \alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ. \text{ Na obr. 3.1.8}$$

vidíme rozmiestnenie drážok kotvy v 4-pólovom magnetickom poli, aj príslušný fázorový diagram s číslovaním fázorov v drážke.





Obr. 3.1.8 Drážky kotvy v štvorpólovom stroji a príslušný fázorový diagram, ak  $Q = 12$

b) Ak je počet drážok  $Q$  a počet pólových dvojíc nesúdeliteľné, t. j. ak pomer  $Q/p$  nemožno vyjadriť celým číslom, čo znamená, že na celom stroji nie sú dve drážky, ktoré by mali rovnakú polohu v magnetickom poli, potom napätie v každej drážke musí byť vyjadrené osobitným fázorom a počet týchto fázorov je totožný s počtom drážok:

$$F = Q$$

Elektrický uhol dvoch susedných fázorov napätí je:

$$\alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{Q}$$

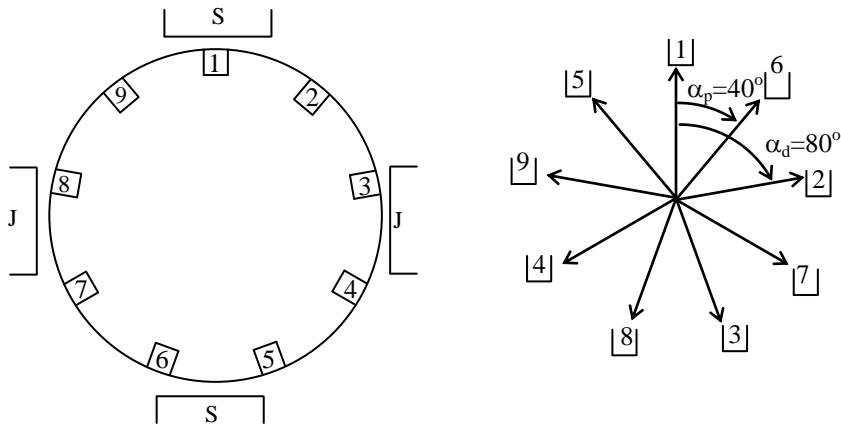
Uhol fázorov napätí v dvoch susedných drážkach je:

$$\alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \alpha_p p$$

Napr. ak  $2p = 4$ ,  $Q = 9$ , potom

$$F = Q = 9, \alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{9} = 40^\circ, \alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \frac{360^\circ \cdot 2}{9} = 80^\circ = 2\alpha_p.$$

Na obr. 3.1.9 je znázornený tento príklad. Číslovanie fázorov je nasledujúce: Fázor drážky č. 2 je od fázora drážky č. 1 posunutý o  $\alpha_d = 80^\circ$ , atď., číslovaním dvakrát obídeme fázory dookola, lebo  $p = 2$ , ale medzi dvoma susednými fázormi je  $\alpha_p = 40^\circ$ . Všimnite si, že ak drážka č. 1 je presne pod severným pólom, tak k fázoru č. 1 je elektricky bližšie napätie v drážkach č. 5 a 6, ktoré sú najbližšie k severnému pólu. Napätie v drážke č. 2 je až za fázorom č. 6 (drážka č. 2 práve opustila severný pól, drážka č. 6 ho práve opúšťa.).



Obr. 3.1.9 Drážky kotvy štvorpólového stroja a príslušný fázorový diagram, ak  $Q = 9$

c) Všeobecne:

Ak má  $Q$  a  $p$  najvyššieho spoločného deliteľa  $t$ , počet fázorov je:  $F = \frac{Q}{t}$ ,

uhol dvoch susedných fázorov je

$$\alpha_p = \frac{360^\circ}{F} = \frac{360^\circ}{Q} t,$$

a uhol dvoch susedných drážok

$$\alpha_d = \frac{360^\circ p}{Q} = \frac{p}{t} \alpha_p$$

5. Napät'ový polygón je reťazec napät'ových fázorov napojených na seba v takom poradí v akom sú vodiče napojené na seba na lamelách komutátora. Je to mnohoúholník indukovaných napätí, v ideálnom prípade je to kruh. V každom prípade musí byť tento mnohoúholník uzavretý, inak by sa indukované napätie na keľách, resp. na svorkách stroja neobjavilo. Napät'ové polygóny sú nakreslené pri jednotlivých príkladoch.

### 3.1.5 Rovnica pre komutátorový krok

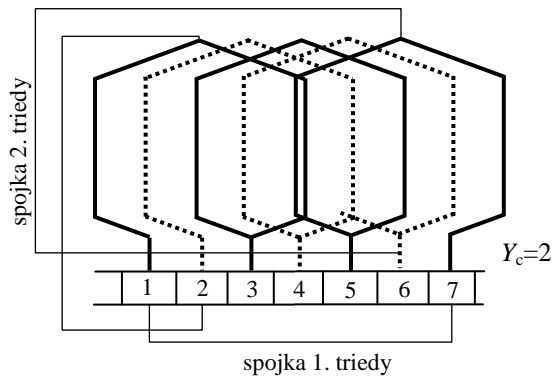
Základná rovnica pre vinutie, podľa ktorej sa posudzuje, či sa toto vinutie dá zhotoviť, alebo nie, je rovnica pre komutátorový krok, ktorý musí byť celé číslo.

Je to táto rovnica:

$$Y_c = \frac{\varepsilon K \pm a}{p} = \text{celé číslo}$$

V praxi sa najčastejšie používajú tieto druhy vinutí:

- a) Ak  $\varepsilon = 0$ , čo vedie na slučkové vinutie, je komutátorový krok:  $Y_c = \pm \frac{a}{p}$ , čiže  $a$  má byť celistvým násobkom počtu pólových dvojíc, aby  $Y_c$  bolo celým číslom. Ak  $2a = 2p$ , čiže  $a = p$ ,  $Y_c = \pm 1$ . Takéto vinutie voláme paralelné. Znamienko + je pre nekrížené, a znamienko – pre krížené vinutie (pozri obr. 3.1.2). Ak  $a = 2p$ , potom  $Y_c = \pm 2$ , a takéto vinutie voláme dvojnásobne paralelné (pozri obr. 3.1.10).



Obr. 3.1.10 Slučkové, dvojnásobne paralelné vinutie

- b) Ak  $\varepsilon = 1$ , čo vedie na vlnové vinutie, je komutátorový krok:  $Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \text{celé číslo}$ .

Znamienko + je pre krížené, znamienko – pre nekrížené vinutie. Nie všetky kombinácie  $K$ ,  $a$ ,  $p$  vedú podľa tejto rovnice na celé číslo. Preto pri návrhu stroja treba starostlivo zvažovať kombináciu týchto parametrov tak, aby to viedlo na celé číslo komutátorového kroku.

Ak takto určíme komutátorový krok, a platí, že

$$Y = Y_1 + Y_2 = Y_c$$

tak po určení  $Y_1$  na základe počtu drážok na pól  $Q_p$  a počtu cievkových strán  $u$  v drážke

$$Y_d \cong Q_p = \frac{Q}{2p}, Y_1 = uY_d$$

môžeme určiť predný spojkový krok:

$$Y_2 = Y_c - Y_1.$$

Tak môžeme nakresliť náhradnú schému vinutia, fázorový diagram aj napäťový polygón, čo budeme môcť sledovať v riešených príkladoch.

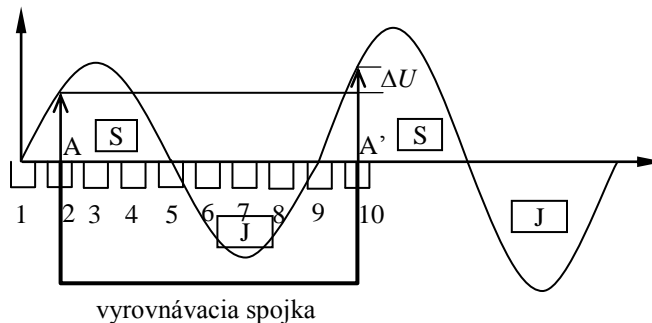
### 3.1.6 Vyrovnávacie spojky

Vplyvom určitej nepresnosti výroby a nesúmernosti magnetických tokov jednotlivých pólov môže vzniknúť nerovnomerné rozdelenie prúdu medzi jednotlivé vetvy vinutia. Následkom toho vznikajú vyrovnávacie prúdy, ktoré sa uzatvárajú cez kefy a spojky, čím vznikajú zbytočné straty a zhoršuje sa komutácia. Aby sa tomu zabránilo, zhotovujú sa v paralelných, sériovo-paralelných a viacnásobne paralelných vinutiach vyrovnávacie spojky.

Vyrovnávacie spojky spájajú tie vodiče na kotve, ktoré by pri absolútnej súmernosti mali rovnaký potenciál. Prípadné vyrovnávacie prúdy sa uzatvárajú iba nimi a nezaťažujú zberné kefy a ich spojky. Súčasne zaručujú rovnomerné rozloženie napätia na komutátore a tým prispievajú k lepšej komutácii. Princíp použitia vyrovnávacích spojok je na obr. 3.1.11. Body A a A' majú rovnaké napätie, a preto sa môžu spojiť vyrovnávacou spojkou. Ak sa zoslabí pole jedného pólu priehybom hriadeľa alebo zoslabením budiaceho prúdu, vznikne potenciálny rozdiel  $\Delta U$  medzi bodmi A a A'. Vyrovnávací prúd pretečie vyrovnávacou spojkou a nezaťaží kefy, ktoré by mohli iskriť. Podľa usporiadania sú vyrovnávacie spojky:

1. triedy - ktoré spájajú miesta vinutia s rovnakým potenciálom ležiacimi na tej istej strane kotvy (buď na strane komutátora, alebo na zadných čelách cievok)
2. triedy - ktoré spájajú ekvipotenciálne body vinutí na rôznych stranách kotvy (lamely komutátora s ekvipotenciálnymi bodmi na zadných čelách - napr. v prípade sériovo-paralelných, alebo viacnásobne paralelných vinutí).

V menších strojoch sa robí 25, 33, alebo 50 % všetkých možných spojok, lebo tieto spojky zvyšujú náklady na stavbu strojov. Ako bude vidno na konkrétnych príkladoch, vyrovnávacie spojky vyžadujú najmä slučkové (paralelné) vinutia. Vlnové vinutia prepájajú miesta s rovnakým potenciálom svojím spôsobom navíjania, takže vyrovnávacie spojky nepotrebujú.



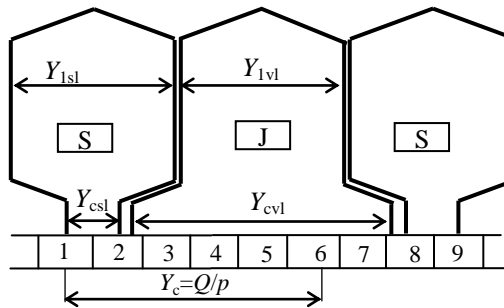
Obr. 3.1.11 Princíp použitia vyrovnávacích spojok

### 3.1.7 Voľba typu vinutia

Voľba typu vinutia je pomerne zložitá úloha, ktorá má niekoľko aspektov. Sériové vinutia nevyžadujú vyrovnávacie spojky, majú len jednu dvojicu paralelných vetiev ( $2a = 2$ ), čo vedie pri  $2p > 2$  k zmenšeniu počtu vodičov vinutia kotvy pri danom napätí

a k zjednodušeniu technológie výroby vinutí. Zväčšenie prúdu v paralelnej vetve  $I_v = I_a / 2a$  vedie k lepšiemu využitiu drážky v dôsledku menšieho objemu izolácie. Použitie sériových vinutí je obmedzené prípustným prúdom v jednej paralelnej vetve a dovoleným stredným napätím medzi lamelami. Vlnové vinutie sa odporúča pre prúdy menšie a rovné 250 až 300A, pre prúdy väčšie a rovné 600 A sa odporúča slučkové vinutie.

Paralelné a niekoľkonásobne paralelné vinutia vyžadujú vyrovnávacie spojky na zaistenie správneho rozdelenia napätia na komutátore a na zmiernenie magnetickej asymetrie stroja. Vodivý materiál vyrovnávacích spojok je však neaktívny a ich usporiadanie spôsobuje konštrukčné ťažkosti. Preto sa v rýchlobežných strojoch a strojoch na veľké prúdy a veľké výkony používa tzv. vyrovnávacie, t. j. zmiešané vinutie, ktoré je kombináciou slučkového a vlnového vinutia (pozri obr. 3.1.12).



Obr. 3.1.12 Zmiešané vinutie

**RIEŠENÉ PRÍKLADY****Príklad 3.1.1**

Navrhnite dvojvrstvové slučkové vinutie pre dvojpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 12 a jednou cievkovou stranou v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napäťový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p$ .

**Riešenie:**

Slučkové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 12$ ,  $2p = 2$ ,  $u = 1$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 1 \cdot 12 = 12$ . Ďalej platí, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p = 2$ .

Komutátorový krok je  $Y_c = \pm \frac{a}{p} = \pm 1$ . Volíme nekrížené vinutie, čiže krok je  $Y_c = +1$ .

Drážkový krok  $Y_d$  je daný počtom drážok na pól:

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{12}{2} = 6$$

Ten istý krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach je:

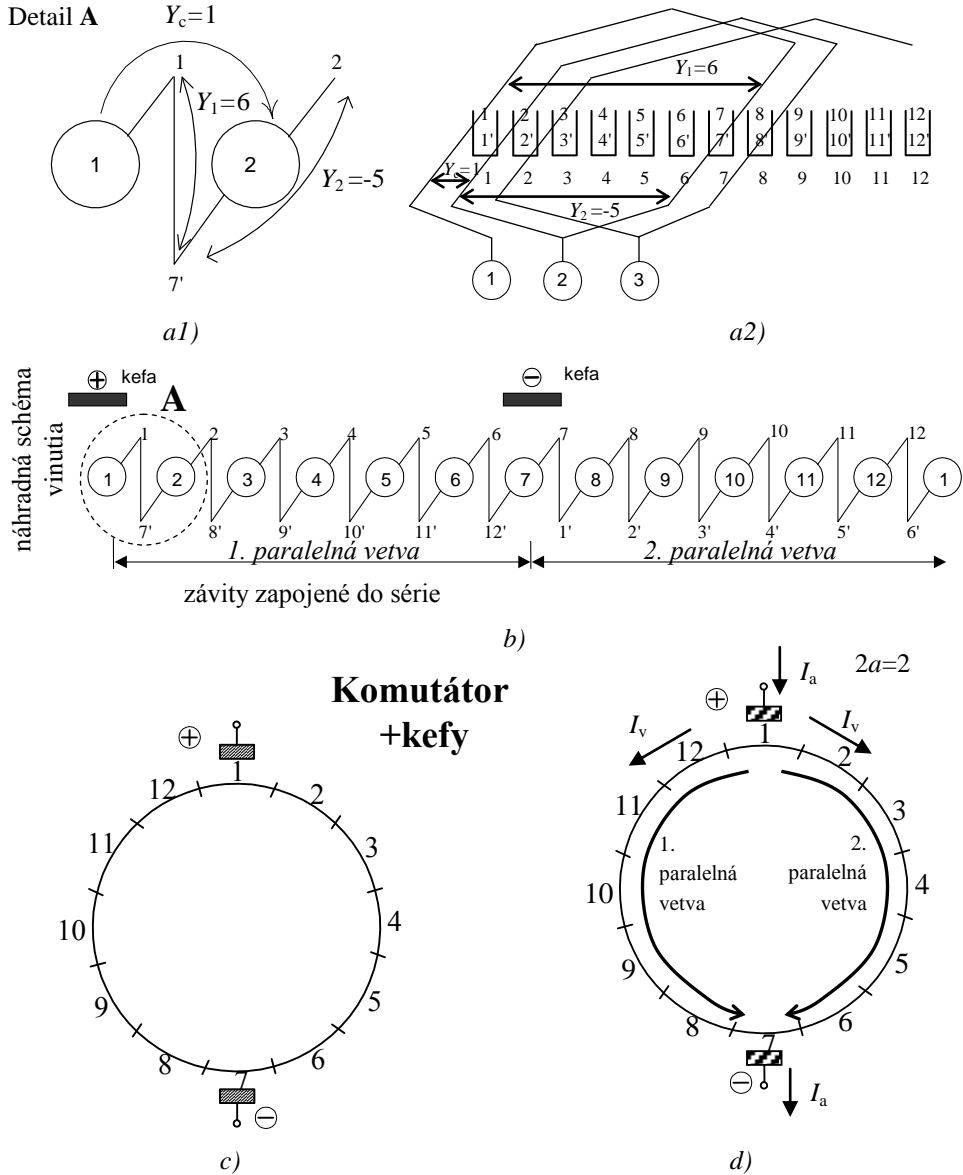
$$Y_1 = uY_d = 1 \cdot 6 = 6$$

V tomto prípade, keď je len jedna cievková strana v drážke je  $Y_1$  a  $Y_d$  totožné. Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 1 - 6 = -5$$

Teraz môžeme nakresliť náhradnú schému, ktorá je na obr. 3.1.13. Na obr. 3.1.13a1) je detail s označením jednotlivých krokov, na obr. 3.1.13b) je náhradná schéma pre celé vinutie. Dá sa opísať podľa obr.3.1.13a2): Začíname na ľubovoľnej lamele, ktorú označíme ako lamela 1, na nej pripojený vodič sa vloží do drážky č. 1, v hornej vrstve (horná cievková strana č.1) a s rozpätím cievky  $Y_1=6$  sa vrátíme drážkou číslo  $1+6=7$ , dolnú cievkovou stranou 7' na lamelu 2 ( $1+Y_c=1+1=2$ ). Z lamely 2 do drážky č. 2, horná cievková strana 2, čiže o krok  $Y_2$ :  $7+Y_2=7-5=2$ . Na obr. 3.1.13c) je komutátor s očíslovaním lamiel komutátora a umiestnením kief. Na základe tohto obrázku môžeme na náhradnej schéme, čiže v obr. 3.1.13b) nakresliť paralelné vetvy takto: Kief je toľko, koľko pólov, rovnomerne rozmiestnených po obvode komutátora, striedavo s kladnou a zápornou polaritou. V tomto prípade sú po obvode 2 kefy, jedna na lamele č. 1, označená ako + kefa, druhá na lamele č. 7, označená ako - kefa. Nad tieto lamely na obr. 3.1.13b) nakreslíme kefy s príslušnou polaritou. Teraz na obrázku vidno, že od lamely č. 1 po č.7 sú cievky zapojené do série, od lamely č. 7 po č. 1 tiež sú zapojené do série, ale voči sebe sú zapojené paralelne. To vidno na obr. 3.1.13d), kde po vstupe prúdu cez kefu + sa prúd rozdelí na dve paralelné vetvy a zase sa spojí na kefu -, aby cez svorku stroja vystúpil do vonkajšieho obvodu (zdroja, alebo záťaže). Takže na obr. b) sú naznačené

tieto dve paralelné vetvy, a teda sme ukázali, že  $2a=2$ , ako sme predpokladali v úvode riešenia príkladu. Tak budeme hľadať paralelné vetvy aj v iných príkladoch.



Obr. 3.1.13 K príkladu 3.1.1: Návrh slučkového vinutia dvojpólového stroja, a) detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, b) náhradná schéma celého vinutia, c) náčrt komutátora s kefami, d) označenie paralelných vetiev

Pokračujeme výpočtom uhlov pre napäťovú hviezdicu. Elektrický uhol dvoch susedných drážok je

$$\alpha_d = \frac{360p}{Q} = \frac{360 \cdot 1}{12} = 30^\circ$$

Počet fázorov (lúčov) je:

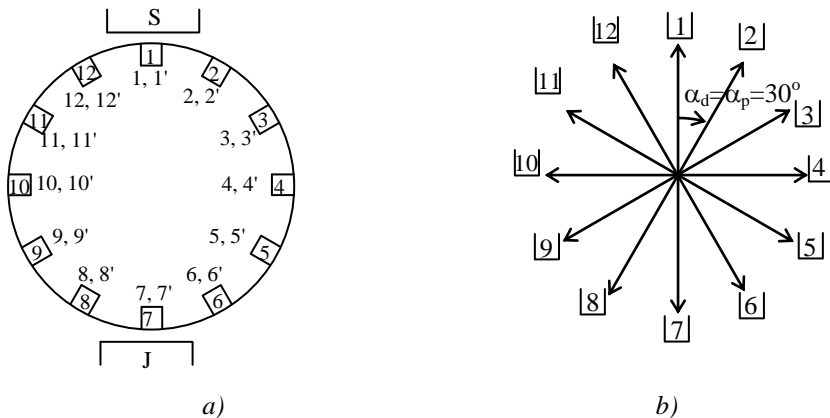
$$F = \frac{Q}{t} = \frac{12}{1} = 12$$

kte  $t$  je najvyšší spoločný deliteľ  $Q$  a  $p$  (12 a 1). Uhol dvoch susedných fázorov (uhol posunutia)

$$\alpha_p = \frac{360}{F} = \frac{360}{12} = 30^\circ$$

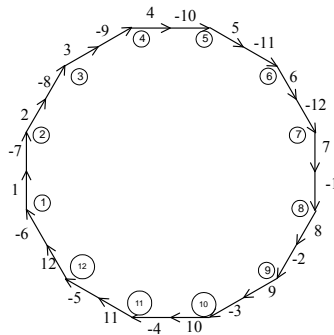
Na obr. 3.1.14 je jednak 12 drážok po obvodu dvojpólového stroja a) a jednak fázorový diagram tohto vinutia. Na základe tohto fázorového diagramu a náhradnej schémy z obr. 3.1.13b) nakreslíme napäťový polygón (obr. 3.1.14c)), a skontrolujeme či sa uzavrie.

Čísla v krúžkoch znamenajú čísla lamiel, ktoré sú prepojené fázormi napätia nasledujúco: Z náhradnej schémy prečítame, že začíname lamelou č. 1, na ktorú je napojený vodič v hornej vrstve drážky č. 1, v pozícii č. 1. Teda od krúžku, znázorňujúceho lamelu č. 1 kreslíme taký smer fázora 1, ako vidíme na obr. 3.1.14b) (kolmo hore). Ďalej z náhradnej schémy prečítame, že na vodič v pozícii č. 1 je napojený vodič v dolnej vrstve 7', ktorého smer napätia vidíme vo fázorovom diagrame (kolmo dole). Máme dve možnosti: alebo dáme šípku smerom hore a napíšeme -7, t. j. rešpektujeme opačnú polaritu, aby napätia nadväzovali na seba, alebo napíšeme 7' a nakreslíme fázor v takom smere, ako je vo fázorovom diagrame, čiže smerom dole. V oboch prípadoch za tým nasleduje lamela č. 2, z ktorej vodič pokračuje na pozíciu č. 2 v drážke č. 2 atď. (pozri tiež obr.3.1.13a2). Po obídení všetkých fázorov a lamiel sa kruh uzavrie, ako to vidíme na obr. 3.1.14c).



Obr. 3.1.14 K príkladu 3.1.1: a) Drážky s vodičmi po obvodu kotvy, b) fázorový diagram





c)

Obr. 3.1.14 K príkladu 3.1.1: c) napätový polygón slučkového vinutia dvojpólového stroja

### Príklad 3.1.2

Navrhňte dvojvrstvé vlnové vinutie pre dvojpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 12 a jednou cievkovou stranou v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napätový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ .

#### Riešenie:

Vlnové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 12$ ,  $2p = 2$ ,  $u = 1$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 1 \cdot 12 = 12$ . Ďalej platí, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ . Komutátorový krok je

$$Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{12 \pm 1}{1} = 13 \text{ pre krížené vinutie, pre nekrížené } 11. \text{ Volíme nekrížené vinutie,}$$

čiže komutátorový krok je  $Y_c = 11$ . Drážkový krok  $Y_d$  je daný počtom drážok na pól:

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{12}{2} = 6$$

Ten istý krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach je:

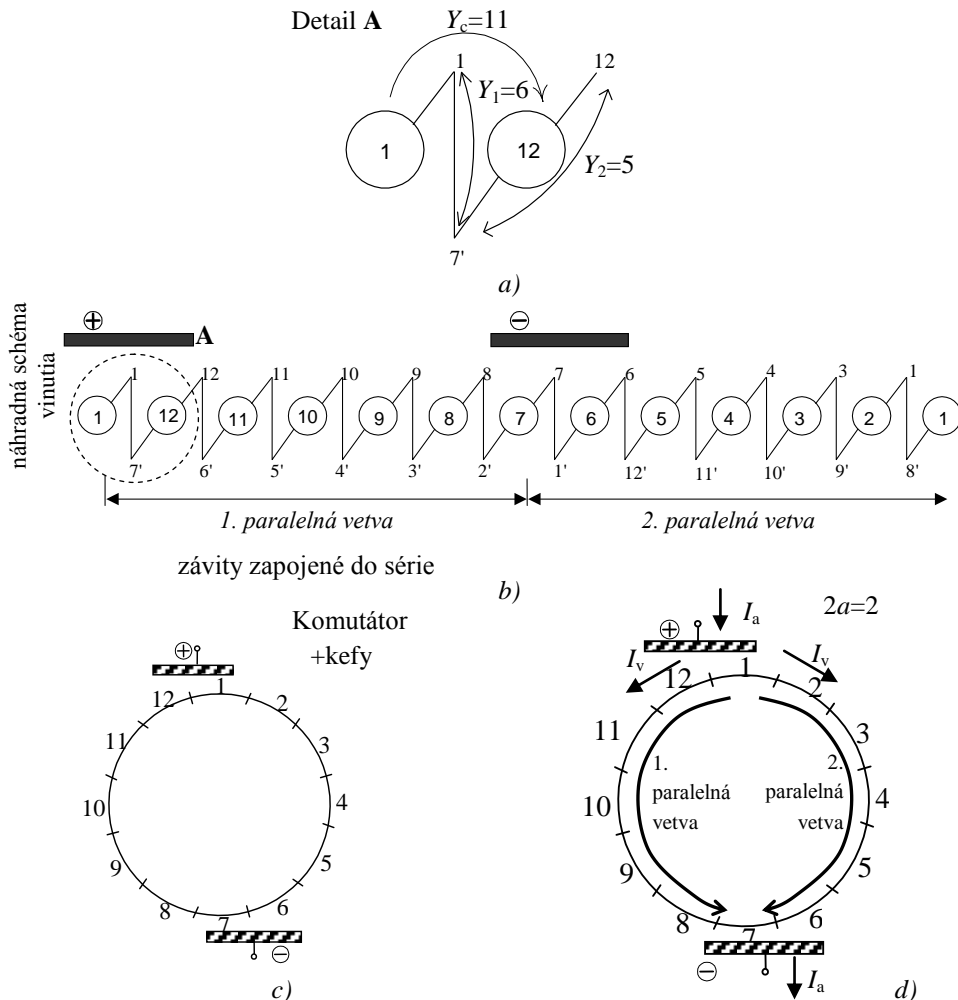
$$Y_1 = uY_d = 1 \cdot 6 = 6$$

Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 11 - 6 = 5$$

V príklade 3.1.1 sme uviedli návrh slučkového vinutia pre dvojpólový stroj, ktorý je v podstate zhodný s týmto s týmto vlnovým vinutím, pretože v dvojpólovom stroji rozdiel v type vinutia nevidno. Z pedagogického hľadiska však považujeme za dôležité vysvetliť postup návrhu pre obidva osobitné vinutia.

Postupom podrobne opísaným v predchádzajúcom príklade zostavíme náhradnú schému, ktorá je na obr. 3.1.15. Rozdiel oproti slučkovému vinutiu vidíme v následnosti lamiel, na ktoré pripájame vodiče cievky. Vidíme, že jedna cievka prepojí dva pólové rozstupy, čiže keď začíname na lameli pod + kefou, končíme až na lameli, ktorá je opäť pod + kefou. Tým sme samostatnou cievkou prepojili dve miesta s rovnakou polaritou a nepotrebujeme vyrovnávacie spojky. Paralelné vetvy v náhradnej schéme nájdeme tak, že opäť nakreslíme kefy nad tie lamely, nad ktorými ich vidíme na obr. 3.1.15c). Medzi + kefou a – kefou je jedna paralelná vetva, a medzi – kefou a + kefou druhá paralelná vetva. Teraz sme ukázali, že  $2a = 2$ .



Obr. 3.1.15 K príkladu 3.1.2: Návrh vlnového vinutia dvojpólového stroja, a) detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, b) náhradná schéma celého vinutia, c) náčrt komutátora s kefami, d) označenie paralelných vetiev

Na nakreslenie fázorového diagramu (napäťovej hviezdice) a napäťového polygónu je potrebné vypočítať tieto parametre:

Elektrický uhol dvoch susedných drážok

$$\alpha_d = \frac{360 \cdot p}{Q} = \frac{360 \cdot 1}{12} = 30^\circ$$

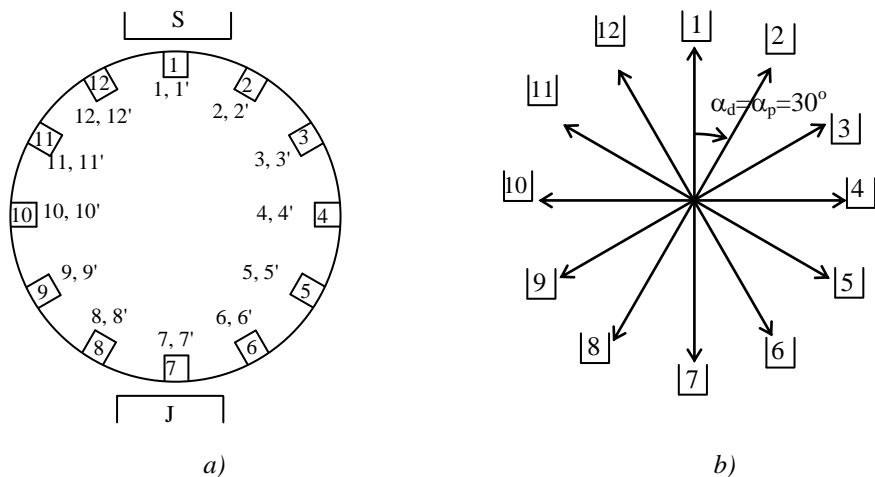
Počet fázorov (lúčov) je:

$$F = \frac{Q}{t} = \frac{12}{1} = 12$$

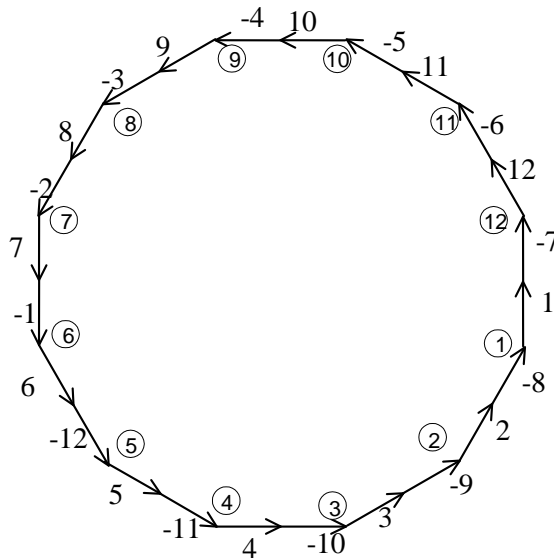
kde  $t$  je najvyšší spoločný deliteľ  $Q$  a  $p$  (12 a 1). Uhol dvoch susedných fázorov (uhol posunutia)

$$\alpha_p = \frac{360}{F} = \frac{360}{12} = 30^\circ$$

Na obr. 3.1.16 je jednak 12 drážok po obvodu dvojpolového stroja a), jednak fázorový diagram tohto vinutia. Na základe tohto fázorového diagramu a náhradnej schémy z obr. 3.1.15b) nakreslíme napäťový polygón (obr. 3.1.16c)), a skontrolujeme či sa uzavrie. postup je rovnaký ako v predchádzajúcom príklade.



Obr. 3.1.16 K príkladu 3.1.2: a) Drážky s vodičmi po obvodu kotvy, b) fázorový diagram



Obr. 3.1.16 K príkladu 3.1.2: c) napät'ový polygón vlnového vinutia dvojpólového stroja

### Príklad 3.1.3

Navrhňte dvojrstvové slučkové vinutie pre štvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 12 a jednou cievkovou stranou v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napät'ový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p$ .

#### Riešenie:

Slučkové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 12$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 1$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 1 \cdot 12 = 12$ . Ďalej platí, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p = 4$ .

Komutátorový krok je  $Y_c = \pm \frac{a}{p} = \pm \frac{2}{2} = \pm 1$ . Volíme nekrížené vinutie, čiže krok je

$Y_c = +1$ . Drážkový krok  $Y_d$  je daný počtom drážok na pól:

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{12}{4} = 3$$

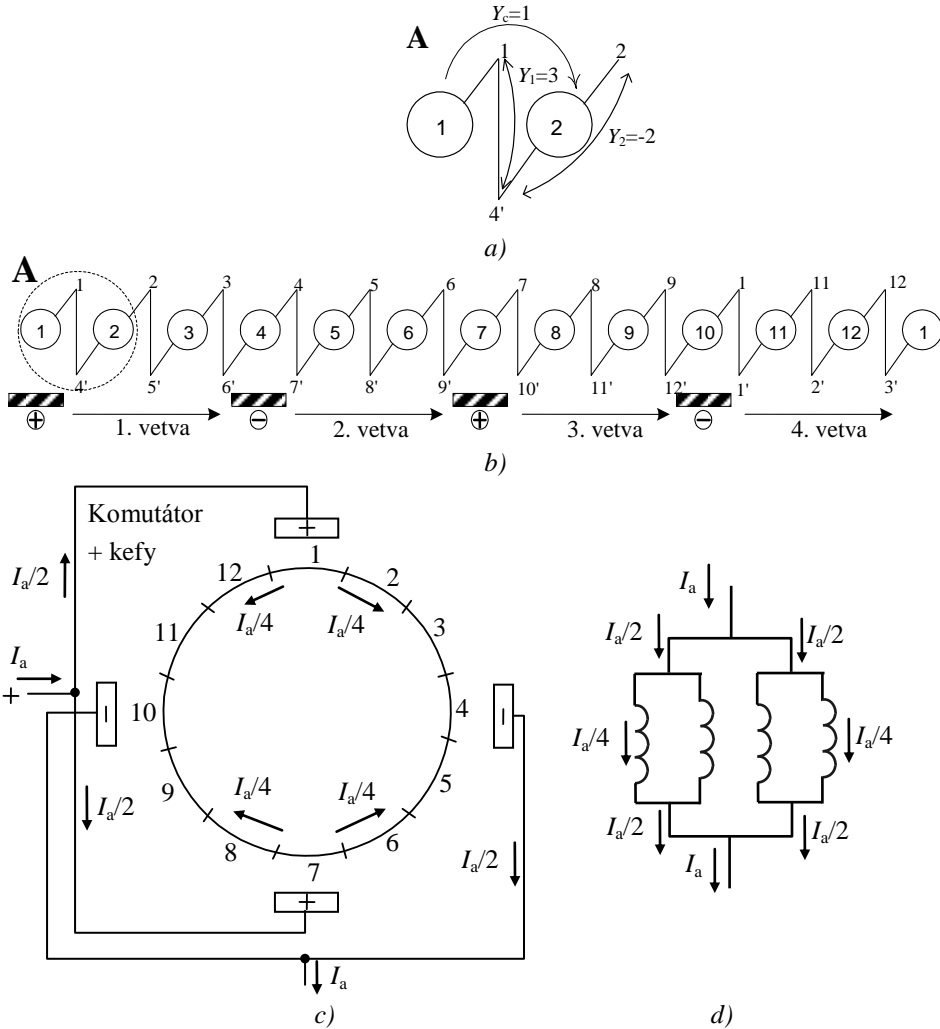
Ten istý krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach je:

$$Y_1 = uY_d = 1 \cdot 3 = 3$$

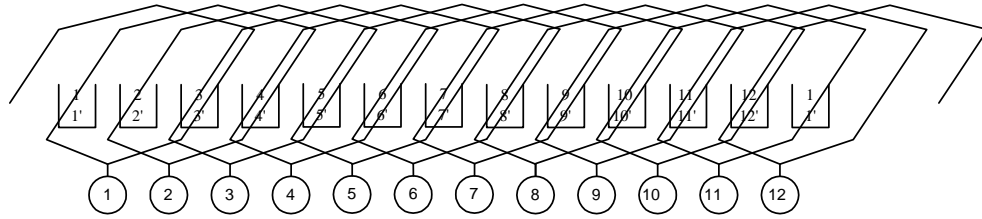
Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 1 - 3 = -2$$

lebo v drážke je len jedna cievková strana v každej vrstve. Na obr. 3.1.17 je náhradná schéma štvorpólového stroja, náčrt komutátora so štyrmi kefami, keďže je to štvorpólový stroj a s naznačením kief a paralelných vetiev v náhradnej schéme. Okrem toho je tam ilustračný obrázok takéhoto vinutia, s uložením jednotlivých cievkových strán v hornej a dolnej vrstve a s pripojením na lamely komutátora.



Obr. 3.1.17 K príkladu 3.1.3: Návrh slučkového vinutia štvorpólového stroja, a) detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, b) náhradná schéma celého vinutia, c) náčrt komutátora s kefami, d) náčrt štyroch paralelných vetiev



e)

Obr. 3.1.17 K príkladu 3.1.3: Návrh slučkového vinutia štvorpólového stroja, e) Ilustračný náčrt vinutia v drážkach s príslušnými lamelami

Elektrický uhol dvoch susedných drážok

$$\alpha_d = \frac{360 \cdot p}{Q} = \frac{360 \cdot 2}{12} = 60^\circ$$

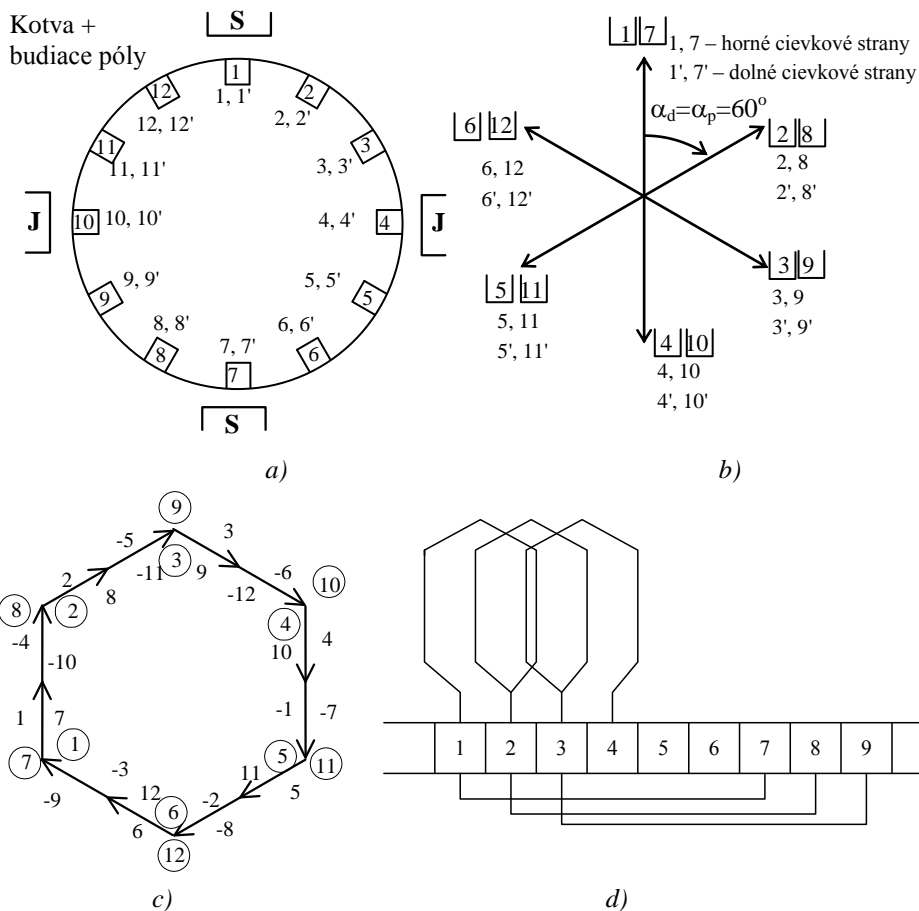
Počet fázorov (lúčov) je:

$$F = \frac{Q}{t} = \frac{12}{2} = 6$$

kde  $t=2$  je najvyšší spoločný deliteľ  $Q$  a  $p$  (12 a 2). Uhol dvoch susedných fázorov (uhol posunutia)

$$\alpha_p = \frac{360}{F} = \frac{360}{6} = 60^\circ$$

Na obr. 3.1.18 je náčrt priečného rezu štvorpólového stroja s drážkami a vodičmi, kde vidno, že napr. drážky 1 a 7 sú presne pod severnými pólmi, 4 a 10 pod južnými pólmi, a teda aj vodiče v týchto drážkach by mali mať presne rovnaké indukované napätie. Rovnako by sme mohli hľadať ďalšie dvojice drážok, ktorých vodiče by mali mať rovnaké indukované napätie. Tieto dvojice však úplne prehľadne vidíme vo fázorovom diagrame, lebo im patrí ten istý fázor, rovnako ako čísla lamiel komutátora, ktoré treba prepojiť (1 a 7, 2 a 8, ...), aby sa vyrovnávací prúd uzavrel kratšou cestou, ak by v stroji nastala akákoľvek asymetria magnetického poľa, ktorá by vyvolala v spomínaných dvojiaciach cievok rôzne indukované napätie. Toto prepojenie sa robí vyrovnávacími spojkami, ktorých náčrt vidíme na obr. 3.1.18d).



Obr. 3.1.18 K príkladu 3.1.3: a) Drážky s vodičmi po obvode kotvy s budiacimi pólmi, b) fázorový diagram (diagram fázorov indukovaných napätí), c) napätový polygón slučkového vinutia štvorpólového stroja, d) vyrovnávacie spojky

### Príklad 3.1.4

Navrhните двојрствовое влновое винutie пре шtvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 12 a јednou cievkovou stranou v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napätový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že пре влновое винutie је  $2a = 2$ .

### Riešenie:

Vlnové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 12$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 1$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 1 \cdot 12 = 12$ . Ďalej platí, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ . Komutátorový krok je

$$Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{12 \pm 1}{2} = 13/2 \text{ pre krížené, } 11/2 \text{ pre nekrížené vinutie.}$$

Čiže komutátorový krok nie je celé číslo, čo znamená, že také vinutie sa nedá navinúť. Musíme zmeniť niektorý z parametrov, ktorý vystupuje vo vzťahu pre komutátorový krok tak, aby tento krok bol celé číslo. Pre jednoduchosť zmeníme napríklad počet drážok na 13 a vinutie navrhne v nasledujúcom príklade.

### Príklad 3.1.5

Navrhnite dvojvrstvové vlnové vinutie pre štvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 13 a jednou cievkovou stranou v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napäťový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ .

#### Riešenie:

Vlnové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 13$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 1$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 1 \cdot 13 = 13$ . Ďalej platí, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ . Komutátorový krok je

$$Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{13 \pm 1}{2} = 7 \text{ pre krížené, } 6 \text{ pre nekrížené vinutie. Čiže komutátorový krok}$$

je teraz celé číslo a vinutie môžeme navrhnuť. Volíme nekrížené vinutie s komutátorovým krokom 6. Drážkový krok je daný počtom drážok na pól

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{13}{4} = 3 \frac{1}{4} \cong 3$$

Vidíme, že  $Q_p$  nie je celé číslo a je na konštruktérovi, aký krok  $Y_d$  zvolí. Tu sme zvolili  $Y_d = 3$ . Ten istý krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach je:

$$Y_1 = uY_d = 1 \cdot 3 = 3$$

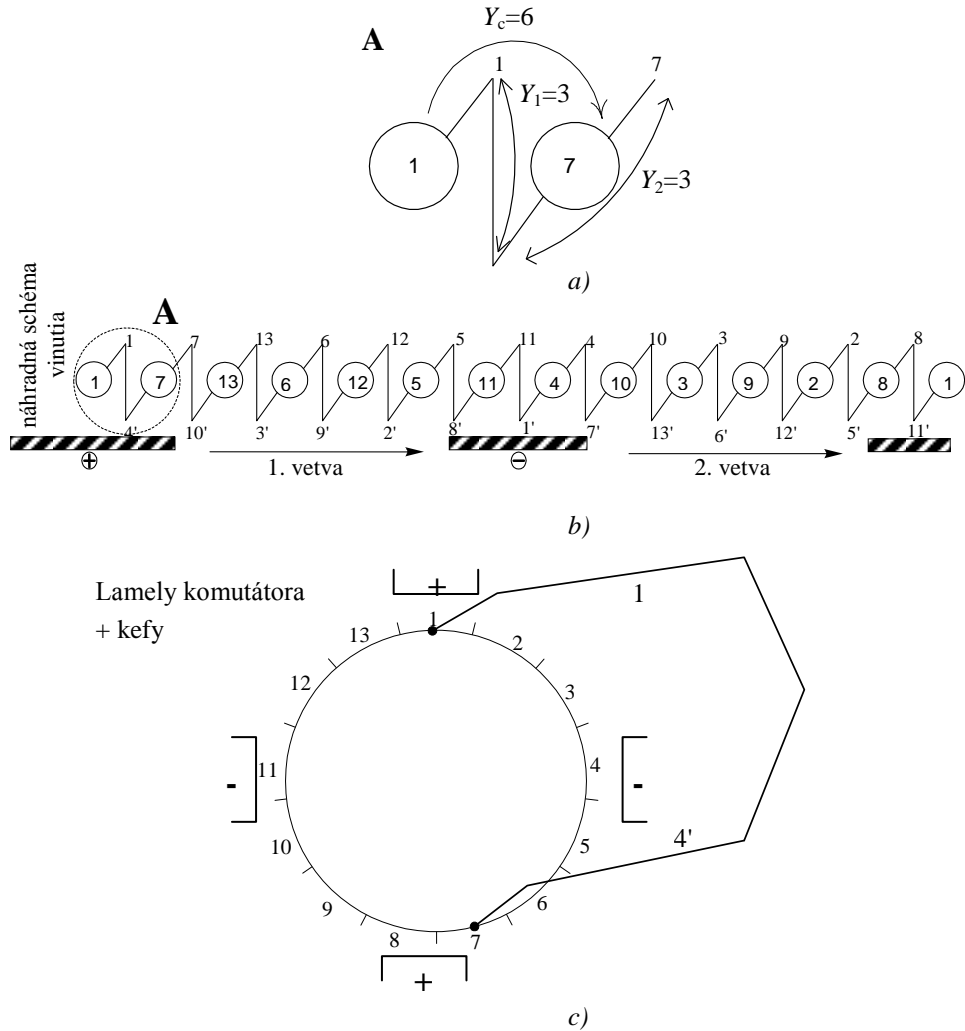
Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 6 - 3 = 3$$

Na obr. 3.1.19 je návrh vlnového vinutia štvorpólového stroja s detailom náhradnej schémy a označením jednotlivých krokov, náhradnú schému celého vinutia a náčrt komutátora s kefami. Na obr. 3.1.19c vidíme, že kladné kefy sú na lamelách č. 1, 7 a 8 a v náhradnej schéme na obr. 3.1.19b zase vidno, že všetky tieto tri lamely sú na jednom mieste a môžeme im priradiť + polaritu. Záporné kefy sú na lamelách 4 a 11, a v náhradnej schéme sú opäť obidve na jednom mieste a môžeme im priradiť – polaritu. Tak si vlnové vinutie vytvorilo svojím spôsobom zapojenia aj pri 4-pólovom stroji dve paralelné vetvy, čiže  $2a = 2$ , čo sme mali dokázať. Zároveň na obr. 3.1.19c vidíme, že



cievka vlnového vinutia prepája miesta s predpokladaným rovnakým potenciálom, preto toto vinutie nepotrebuje vyrovnávacie spojky.



Obr. 3.1.19 K príkladu 3.1.5: Návrh vlnového vinutia štvorpólového stroja, a) detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, b) náhradná schéma celého vinutia, c) náčrt komutátora s kefami a jednou cievkou

Elektrický uhol dvoch susedných drážok

$$\alpha_d = \frac{360 \cdot p}{Q} = \frac{360 \cdot 2}{13} \cong 55^\circ$$

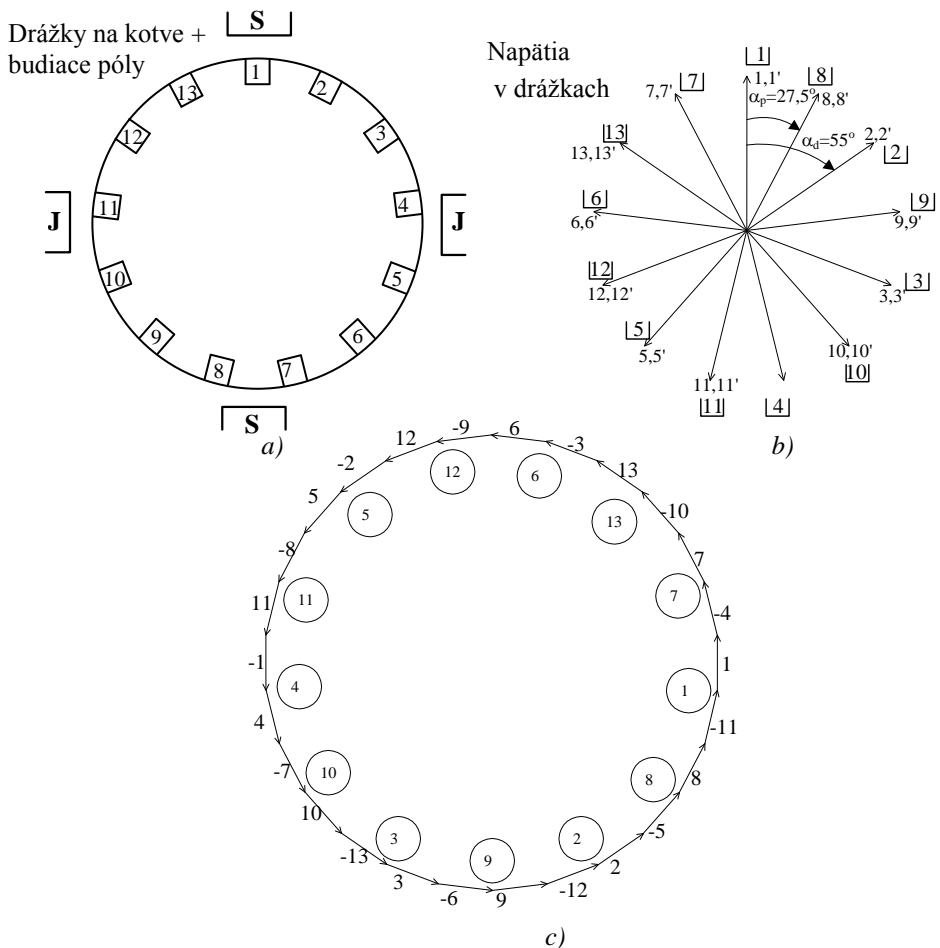
Počet fázorov (lúčov) je:

$$F = \frac{Q}{t} = \frac{13}{1} = 13$$

kde  $t = 1$  je najvyšší spoločný deliteľ  $Q$  a  $p$  (13 a 2). Uhol dvoch susedných fázorov (uhol posunutia)

$$\alpha_p = \frac{360}{F} = \frac{360}{13} \cong 27,5^\circ$$

Na základe týchto hodnôt nakreslíme fázorový diagram a napätový polygón tohto vinutia (pozri obr. 3.1.20)



Obr. 3.1.20 K príkladu 3.1.5 a) Drážky s vodičmi po obvode kotvy s budiacimi pólmi štvorpólového stroja, b) fázorový diagram, c) napätový polygón vlnového vinutia

**Príklad 3.1.6**

Navrhňte dvojvrstvé šablónové vlnové vinutie pre štvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 13, ak sú tri cievkové strany v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napäťový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ .

**Riešenie:**

Vlnové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 13$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 3$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 3 \cdot 13 = 39$ . Ďalej platí, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ . Komutátorový krok je  $Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{39 \pm 1}{2} = 20$  pre krížené, 19 pre nekrížené vinutie. Komutátorový krok je celé číslo a vinutie môžeme navrhnúť. Volíme nekrížené vinutie s komutátorovým krokom 19. Drážkový krok je daný počtom drážok na pól

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{13}{4} = 3\frac{1}{4} \cong 3$$

Pre šablónové vinutie musí byť krok všetkých cievkových strán vo všetkých pozíciách rovnaký, preto sme drážkový krok zaokrúhlili na 3.

Potom drážkový krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach je:

$$Y_1 = uY_d = 3 \cdot 3 = 9$$

Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 19 - 9 = 10$$

Ilustračný obrázok k tomuto príkladu je v teoretickej časti na obr. 3.1.4a, kde vidno, že všetky tri cievkové strany s číslami 1,2,3 v hornej vrstve drážky č. 1 sa po vytvorení zadných čiel vracajú dolnou vrstvou drážky č. 4, kde sú očíslované 10', 11', 12'. Ostatné obrázky k tomuto typu vinutia sú veľmi podobné tomu v nasledujúcom príklade, v ktorom sa navrhuje prechodné vlnové vinutie. Keďže šablónové vinutie je jednoduchšie, nechávame na čitateľa, aby si príslušné obrázky nakreslil a porovnal, čo sa zmení a čo ostáva rovnaké v oboch typoch vinutia.

**Príklad 3.1.7**

Navrhňte dvojvrstvé prechodné vlnové vinutie pre štvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 13, ak sú tri cievkové strany v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napäťový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ .

**Riešenie:**

Vlnové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 13$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 3$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 3 \cdot 13 = 39$ . Ďalej platí, že pre vlnové vinutie je  $2a = 2$ . Komutátorový krok je

$$Y_c = \frac{K \pm a}{p} = \frac{39 \pm 1}{2} = 20 \text{ pre križené, } 19 \text{ pre nekrížené vinutie. Komutátorový krok je}$$

celé číslo a vinutie môžeme navrhnúť. Volíme nekrížené vinutie s komutátorovým krokom 19. Drážkový krok je daný počtom drážok na pól

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{13}{4} \cong 3\frac{1}{3}$$

Tu sme napísali zlomok vzhľadom na to, že vieme, že v drážke budú tri cievkové strany, aby zadný cievkový krok bol celé číslo.

Potom drážkový krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach (zadný cievkový krok) je:

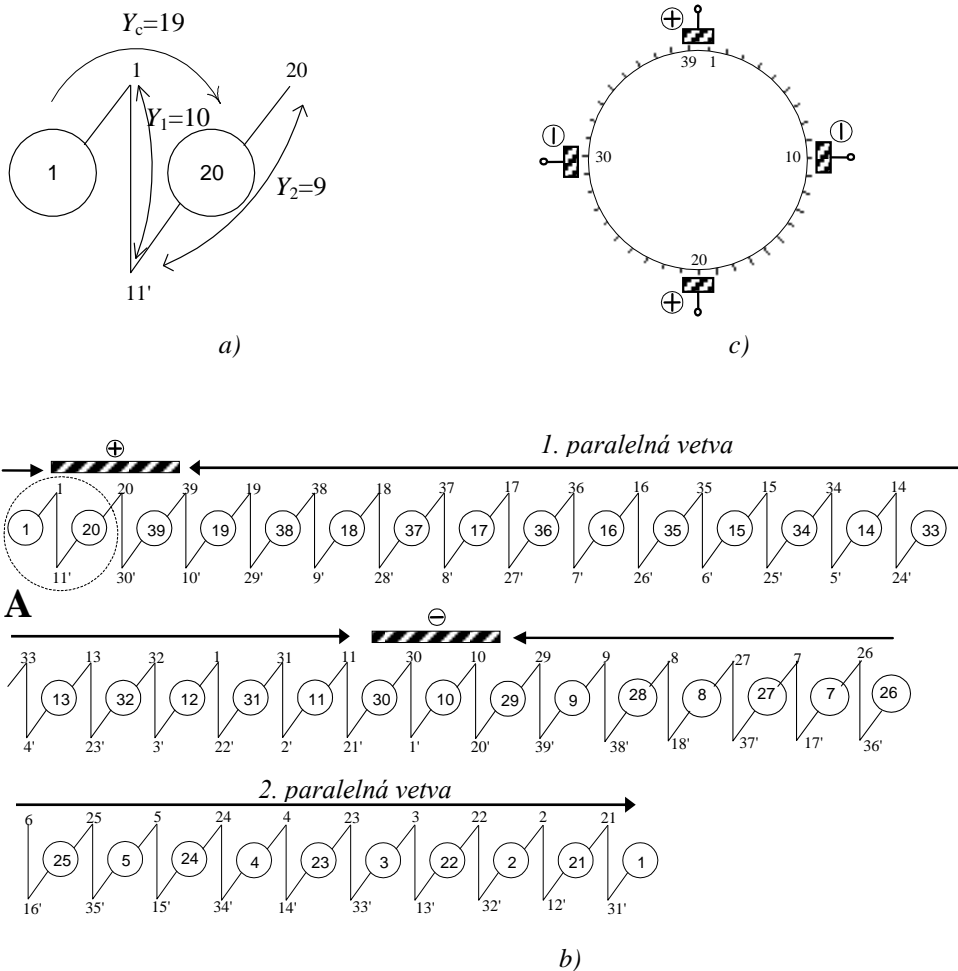
$$Y_1 = uY_d = 3 \cdot 3\frac{1}{3} = 10$$

Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 19 - 10 = 9$$

Ilustračný obrázok k tomuto príkladu je v teoretickej časti, obr. 3.1.4b, kde vidno, že hoci všetky tri cievkové strany začínajú v hornej vrstve v drážke č. 1, po prekročení 10 pozícií sa vracajú dvoma drážkami, lebo tretia cievková strana po prekročení 10 pozícií „prestúpila“ do ďalšej drážky. Je zrejmé, že drážkový krok takéhoto vinutia je bližšie k plnému kroku, danému počtom drážok na pól. Takéto vinutie však nie je vhodné na automatizované navíjanie a preto je drahšie. Na obr. 3.1.21 je detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, celá náhradná schéma a náčrt komutátora s očíslovaním lamiel a s kefy. Vidíme, že + kefy sú nad lamelami 1,39, a 20, a – kefy nad lamelami 10 a 30. Ak nakreslíme tieto kefy nad lamely do náhradnej schémy, vidíme, že všetky tri lamely dotýkajúce sa + kefy sú na jednom mieste a tvoria bod kladnej polaroty, dve lamely dotýkajúce sa zápornej kefy sú tiež spolu a tvoria bod zápornej polaroty. Medzi nimi, t. j. od + kefy po – kefu je jedna paralelná vetva, od – kefy po + kefu druhá paralelná vetva, čiže sú vytvorené dve paralelné vetvy  $2a = 2$ . Tak by sa to opakovalo aj pre šesťpólový stroj atď., lebo cievka svojím komutátorovým krokom prepojí miesta s takmer rovnakou polaritou, takže v náhradnej schéme sa zhromaždia všetky + lamely na jedno miesto a všetky – lamely na druhé miesto, a medzi nimi vzniknú dve paralelné vetvy. Preto pre vlnové vinutie platí, že  $2a = 2$  bez ohľadu na počet pólov.

Podotýkame, že v predchádzajúcom príklade sa bude náhradná schéma líšiť len číslami dolných cievkových strán. Usporiadanie drážok pod pólmi, výpočet uhlov, fázorový diagram a napäťový polygón treba urobiť podľa nasledujúceho príkladu.



Obr. 3.1.21 K príkladu 3.1.7: Návrh prestupného vlnového vinutia štvorpólového stroja, a) Detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, b) Náhradná schéma celého vinutia, c) Náčrt komutátora s kefami

### Príklad 3.1.8

Navrhnete dvojvrstvové prestupné slučkové vinutie pre štvorpólový jednosmerný stroj s počtom drážok 13, ak sú tri cievkové strany v drážke. Nakreslite jeho náhradnú schému, fázorový diagram a napäťový polygón. Nájdite paralelné vetvy a ukážte, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p$ .

**Riešenie:**

Slučkové vinutie je dané týmito údajmi:  $Q = 13$ ,  $2p = 4$ ,  $u = 3$ , počet lamiel komutátora  $K = uQ = 3 \cdot 13 = 39$ . Ďalej platí, že pre slučkové vinutie je  $2a = 2p = 4$ .

Komutátorový krok slučkového vinutia je  $Y_c = \frac{\pm a}{p} = \frac{\pm 2}{2} = -1$  .pre krížené, +1 pre

nekrížené vinutie. Komutátorový krok pre slučkové vinutie je vždy celé číslo a vinutie môžeme navrhnúť. Volíme nekrížené vinutie s komutátorovým krokom 1. Drážkový krok je daný počtom drážok na pól

$$Y_d = Q_p = \frac{Q}{2p} = \frac{13}{4} \cong 3\frac{1}{3}$$

Tu sme napísali zlomok opäť vzhľadom na to, že vieme, že v drážke budú tri

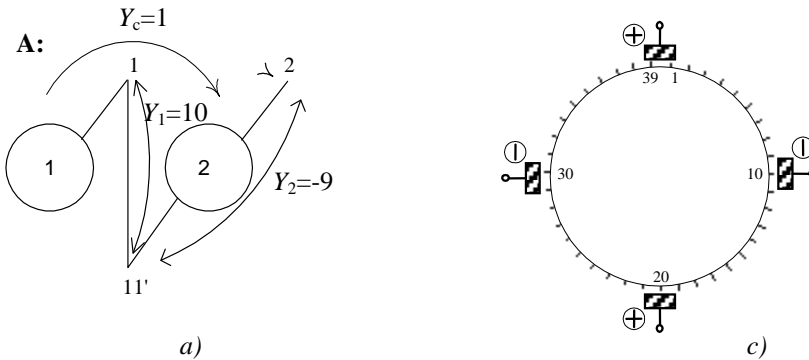
cievkové strany, aby zadný cievkový krok bol celé číslo. Potom drážkový krok vyjadrený počtom pozícií vodičov v drážkach (zadný cievkový

$$Y_1 = uY_d = 3 \cdot 3\frac{1}{3} = 10$$

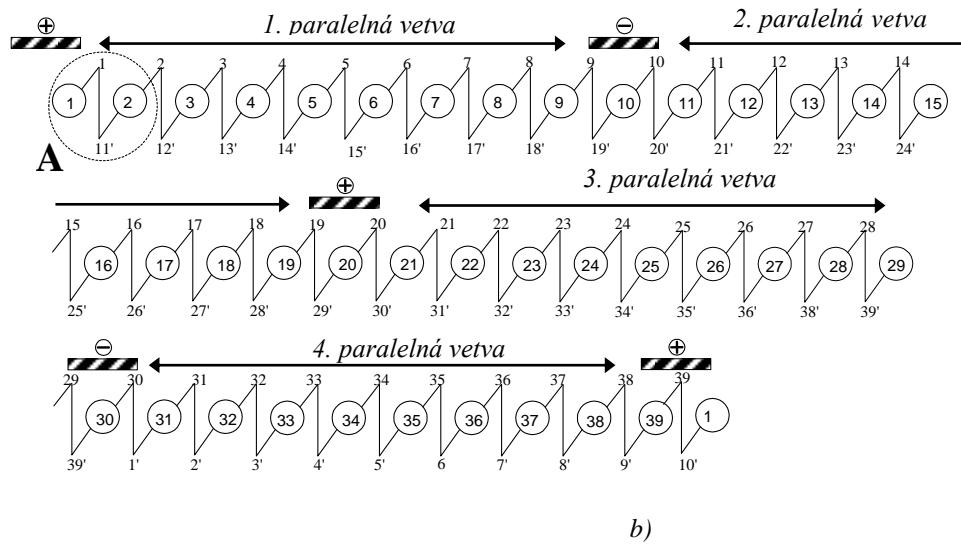
Predný spojkový krok je:

$$Y_2 = Y_c - Y_1 = 1 - 10 = -9$$

Na obr. 3.1.22 je detail náhradnej schémy, lamely komutátora s kefami a celá náhradná schéma s vyznačením kief a paralelných vetiev. Vidíme, že od + kefy po – kefu je jedna paralelná vetva, od – po + druhá paralelná vetva atď., a na celom vinutí sú 4 paralelné vetvy, čím sme dokázali, že pre slučkové vinutie platí  $2a = 2p = 4$ .



Obr. 3.1.22 K príkladu 3.1.8: Návrh prestupného slučkového vinutia štvorpólového stroja, a) Detail náhradnej schémy s označením jednotlivých krokov, c) Náčrt komutátora s kefami



Obr. 3.1.22 K príkladu 3.1.8: Návrh prestupného slučkového vinutia štvorpólového stroja, b) Náhradná schéma celého vinutia

Pokračujeme výpočtom uhlov indukovaných napätí a zostrojením fázorového diagramu a napäťového polygónu:

Elektrický uhol dvoch susedných drážok

$$\alpha_d = \frac{360 \cdot p}{Q} = \frac{360 \cdot 2}{13} \cong 55^\circ$$

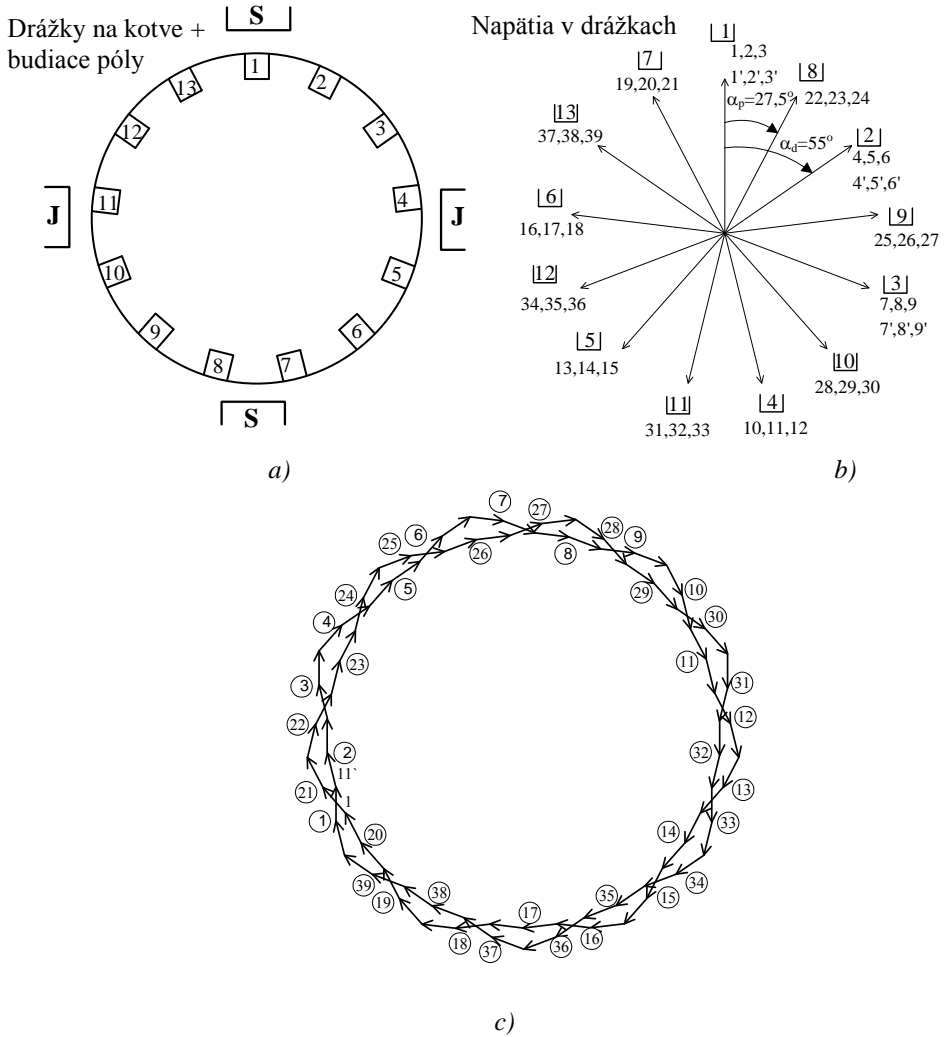
Počet fázorov (lúčov) je:

$$F = \frac{Q}{t} = \frac{13}{1} = 13$$

kde  $t=1$  je najvyšší spoločný deliteľ  $Q$  a  $p$  (13 a 2). Uhol dvoch susedných fázorov (uhol posunutia)

$$\alpha_p = \frac{360}{F} = \frac{360}{13} \cong 27,5^\circ$$

Na základe týchto hodnôt nakreslíme fázorový diagram a napäťový polygón tohto vinutia (pozri obr. 3.1.23)



Obr. 3.1.23 K príkladu 3.1.8 a) Drážky s vodičmi po obvodu kotvy s budiacimi pólmi štvorpólového stroja, b) fázorový diagram, c) napätový polygón slučkového vinutia

Chceme ešte upozorniť na určitú pravidelnosť v označovaní lamiel a cievkových strán: Všimnite si, že v dvoj pólových strojoch sa čísla lamiel a aj cievkových strán menia vzostupne, alebo zostupne, jedna za druhou, ale v štvorpólových strojoch sa táto následnosť dá vysledovať len cez každú druhú lamelu, alebo cievkovú stranu. Pre šesť pólové stroje by to bolo cez každú tretiu lamelu, alebo cievkovú stranu atď.