

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

---

## SYMBOLES EMPLOYES, TERMES UTILISES, DEFINITIONS

- $P$  = nombre de paires de pôles
- $2p$  = nombre de pôles
- $a$  = nombre de paires de voies d'enroulement
- $2a$  = nombre de voies d'enroulement
- $K$  = nombre de lames au collecteur
- $N$  = nombre d'encoches
- $F$  = nombre de faisceaux

### Nota

En général  $F = K \times 2$

- $u$  = nombre d'enroulement en parallèle dans un enroulement, ou nombre de tours d'armature qu'il faut faire pour parcourir tout l'enroulement dans les bobinages parallèle-multiple ou série parallèle.
- «  $b$  » = nombre entier (pair) arbitraire, le plus petit possible que l'on utilise pour le calcul des pas des enroulements imbriqués lorsque le quotient de  $\frac{F}{2p} + 1$  n'est pas entier et impair

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

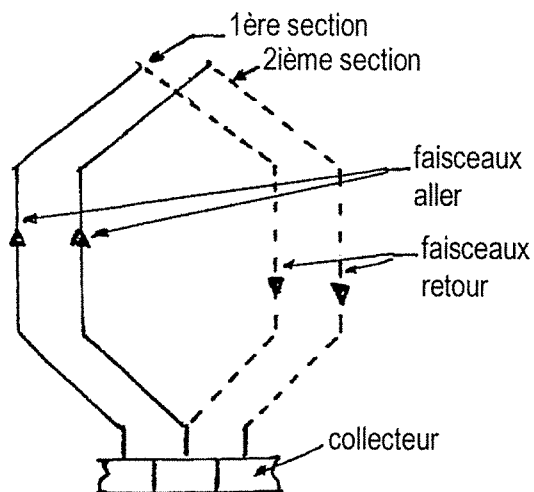
---

## « Pas »

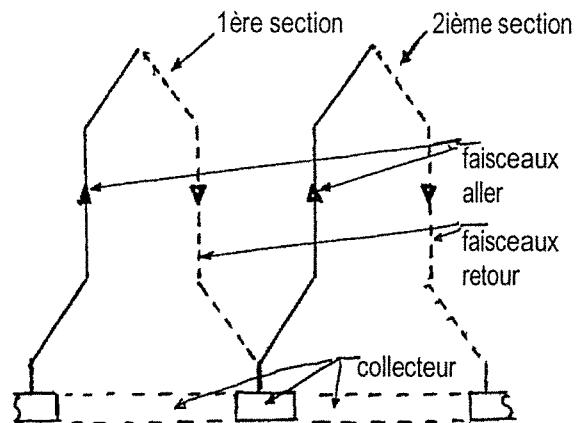
- $Y_1$  = symbole du pas partiel, ou pas de la section sur l'induit, il indique le nombre d'intervalles entre les deux faisceaux d'une même section (c'est le pas arrière)
- $Y_2$  = symbole du pas partiel ou pas dans le champ, il indique le nombre d'intervalles entre deux faisceaux de sections différentes ; réunis à une même lame de collecteur
- $Y$  = symbole du pas résultant, il indique la progression de l'enroulement
  - $Y = Y_1 - Y_2$  avec un enroulement imbriqué progressif
  - $Y = Y_2 - Y_1$  avec un enroulement imbriqué rétrograde
  - $Y = Y_1 + Y_2$  avec un enroulement ondulé
- $Y_c$  = symbole du pas au collecteur (nombre de lames entre l'entrée et la sortie d'une section)
- $Y_e$  = symbole du pas des connexions équipotentiellles

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## PROCEDES D'ENROULEMENT



Enroulement imbriqué



Enroulement ondulé

### NOTA

Les flèches indiquent le sens du courant dans les sections

### Pas

#### ↳ 1) Pas diamétral ou pas entier ou pas normal

Pour que la section puisse être au pas normal, il faut que le nombre d'encoches soit pair.

Si le nombre d'encoches est impair, le pas ne peut être entier

#### ↳ 2) Pas raccourci

Quand le pas est raccourci, l'embrassement de la section est généralement réduit d'une encoche.

#### ↳ 4) Pas allongé

Dans ce cas, l'embrassement de la section est généralement allongé d'une encoche.

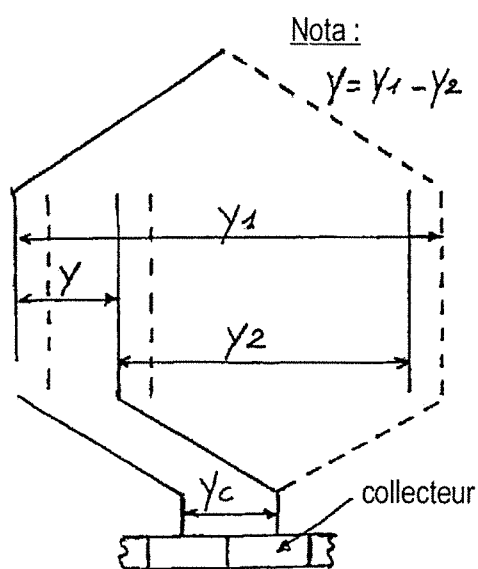
### NOTA

Avec un pas allongé, le résultat est électriquement identique. Le pas diamétral est le pas à utiliser chaque fois qu'il est réalisable ; s'il n'est pas possible, il vaut mieux choisir le pas raccourci.

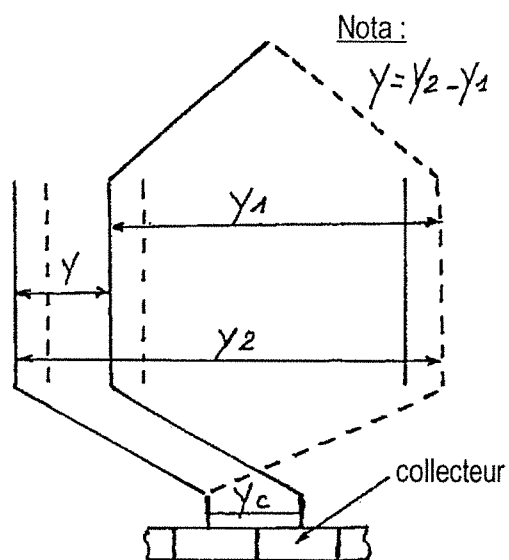
# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES PAS PARTIELS

Enroulement imbriqué



Progressif



Rétrograde

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Enroulement ondulé

- $Y_1$  = pas de la section sur le tambour d'induit
- $Y_2$  = pas dans le champ
- $Y$  = pas composé  $T = Y_1 + Y_2$

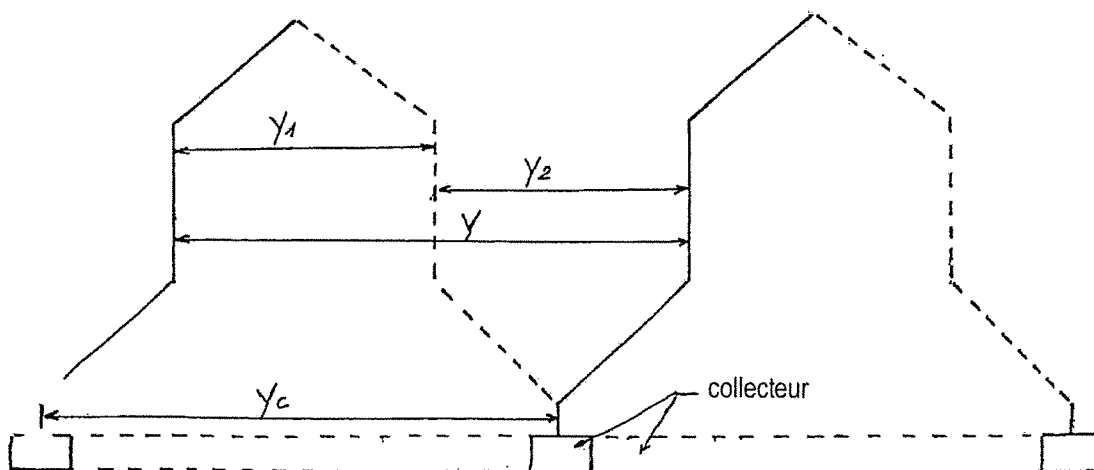
$$Y = \frac{F \pm 2a}{p}$$

- avec le signe + le pas Y est dit allongé

- avec le signe – le pas Y est dit raccourci

## NOTA

Le quotient Y doit être un nombre entier et pair



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

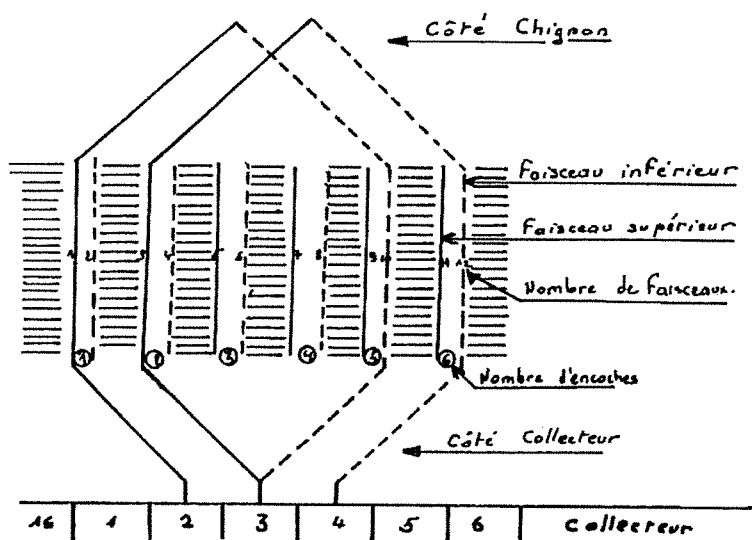
**TABEAU DES CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX ENROULEMENTS D'INDUITS DE MACHINE  
A COURANT CONTINU**

Enroulement	Pas résultant	Pas partiels	Pas au collecteur	Conditions nécessaires pour obtenir un enroulement normal
Imbriqué simple $2a = 2p$	$Y = Y_1 - Y_2$ progressif $Y = Y_2 - Y_1$ rétrograde $Y = 2$	$Y_1 = \frac{F}{2p} + 1$ $Y_2 = Y_1 \pm 2$ ou $Y_1 = \frac{F \pm b}{2p} + 1$ $Y_2 = Y_1 \pm 2$	$Y_c = \pm 1$	$Y_1$ et $Y_2$ impairs « b » nombre entier pair aussi faible que possible pour avoir $Y_1$ et $Y_2$ entiers et impairs. Connexions équipotentielles en multipolaire
Imbriqué parallèle multiple $a = 2p$	$Y = Y_1 - Y_2$ progressif $Y = Y_2 - Y_1$ rétrograde $Y = 2u$	$Y_1 = \frac{F}{2p} + 1$ $Y_2 = Y_1 \pm Y$ ou $Y_1 = \frac{F \pm b}{2p} + 1$ $Y_2 = Y_1 \pm Y$	$Y_c = \pm u$	$Y_1$ et $Y_2$ impairs « u » nombre d'enroulements en parallèle sur l'induit connexions équipotentielles
Ondulé série simple $a = 1$	$U = Y_1 + Y_2$ $Y = \frac{F \pm 2}{p}$	$Y_1 = Y_2$ ou $Y_1 - Y_2 = \pm 2$	$Y_c = \frac{Y}{2}$ ou $Y_c = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$ ou $Y_c = \frac{K \pm 1}{p}$	$Y_1$ et $Y_2$ impairs $K$ et $Y_c$ premiers entre eux $\frac{Y}{2}$ premier avec $\frac{F}{2}$
Ondulé série parallèle $2a < 2p$ $a > 1$	$Y = Y_1 + Y_2$ $Y = \frac{F \pm 2a}{p}$	$Y_1 = Y_2$ ou $Y_1 - Y_2 = \pm 2$	$Y_c = \frac{K \pm a}{p}$	$Y_1$ et $Y_2$ impairs $\frac{K}{a}, \frac{p}{a}, \frac{N}{a}$ doivent être des nombres entiers connexions équipotentielles

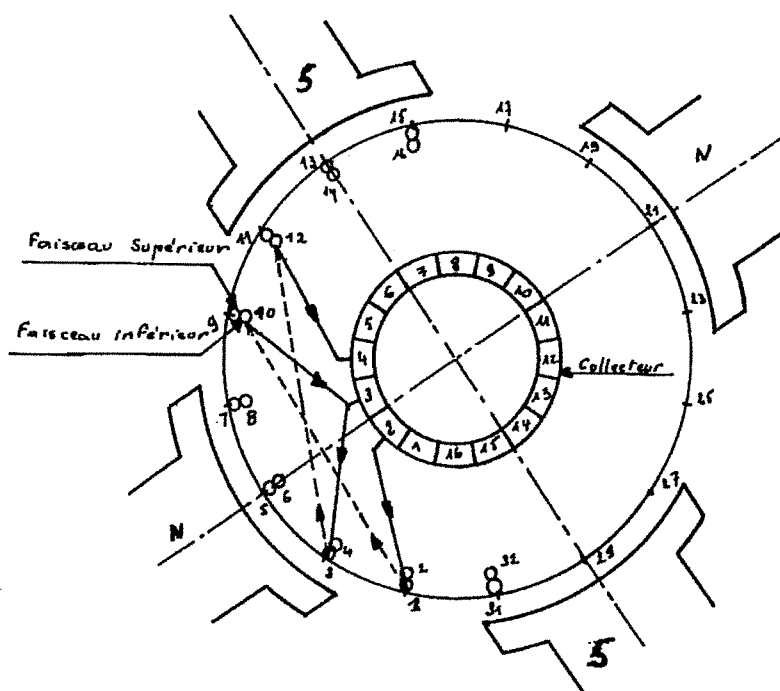
# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES ENROULEMENTS INDUITS

Par convention, les faisceaux supérieurs sont représentés par un trait fort, les faisceaux inférieurs par un pointillé.



Développement panoramique



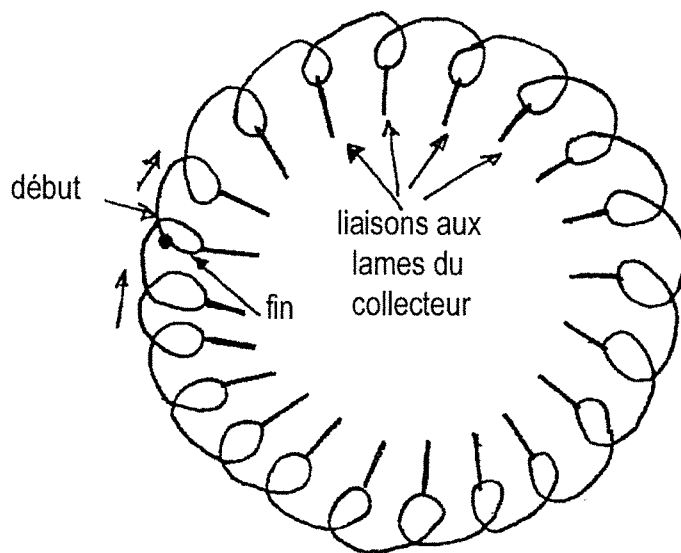
Projections frontales

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## CARACTERISITIQUE DES ENROULEMENTS IMBRIQUES

---

*Les enroulements imbriqués sont des enroulements en parallèle, pour les enroulements imbriqués simples, le bobinage est fermé sur lui-même, les liaisons au collecteur sont des prises médianes sur l'enroulement.*



Exemple

Nous vérifieront ceci plus loin, lors d'applications d'étude des schémas

Ces enroulements sont dit « enroulement en quantité » ou « enroulement en intensité »

### NOTA

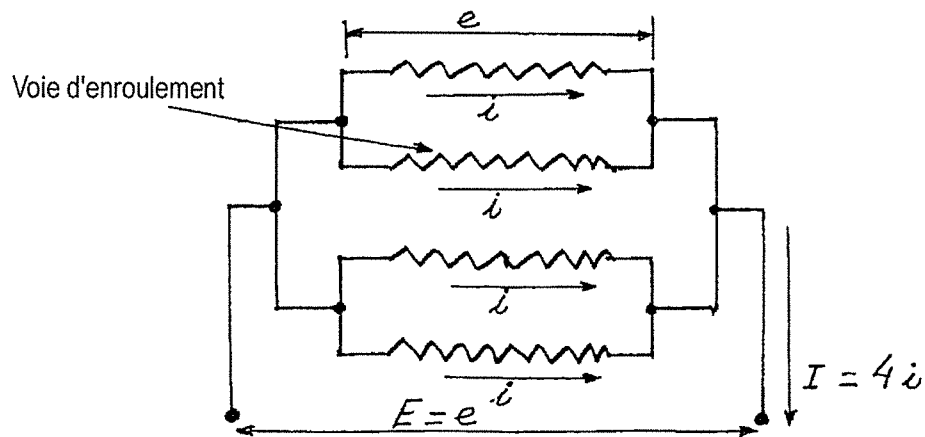
Ceci est encore plus vrai avec les enroulements imbriqués parallèle multiple nous les étudierons ensuite.



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## CARACTERISITIQUE DES ENROULEMENTS IMBRIQUES

Schéma de principe d'une machine à 4 pôles ; 4 voies d'enroulement



### NOTA

- Par voie il y a ici le quart des faisceaux actifs en série
- Exemple en génératrice (ceci sera vérifié plus loin)

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT IMBRIQUE SIMPLE

---

### ETUDE ET APPLICATIONS

- 1/ Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'une génératrice à courant continu 4 pôles. Le tambour d'induit comprend 16 encoches, le collecteur 16 lames. L'enroulement de l'induit est imbriqué simple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma du développement panoramique
- 4) Fléchage (voir règle)
- 5) Placement des balais (étude des diverses méthodes de position et de polarité des balais)

#### 1) Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 16 \times 2 = 32$
- Pas arrière :  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{32}{2 \times 2} + 1 = 9$  imbriqué simple (rappel)  $Y = 2$
- Pas avant :  $Y_2 = Y_1 - Y = 9 - 2 = 7$
- Pas au collecteur :  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1$
- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{16}{2 \times 2} = 4$

### NOTA

L'enroulement étant progressif dans ce cas  $Y_1$  (pas arrière) est supérieur à  $Y_2$  (pas avant)

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2) Schéma numérique

Liaison « arrière » $+ Y_1 \rightarrow + 9$	Liaisons (avant) $- Y_2 \rightarrow - 7$	Mise au collecteur lames $+Y_c \rightarrow +1$
1 → 10	10 → 3	1
3 → 12	12 → 5	2
5 → 14	14 → 7	3
7 → 16	16 → 9	4
9 → 18	18 → 11	5
11 → 20	20 → 13	6
13 → 22	22 → 15	7
15 → 24	24 → 17	8
17 → 26	26 → 19	9
19 → 28	28 → 21	10
21 → 30	30 → 23	11
23 → 32	32 → 25	12
25 → 2	2 → 27	13
27 → 4	4 → 29	14
29 → 6	6 → 31	15
31 → 8	8 → 1	16

### NOTA

On constate à la vue du schéma numérique qu'un enroulement imbriqué simple est un enroulement fermé. En effet, on part du faisceau 1 pour revenir au faisceau 1 après avoir parcouru tout l'enroulement, les liaisons aux lames du collecteur étant des prises intermédiaires.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 3) Schéma panoramique

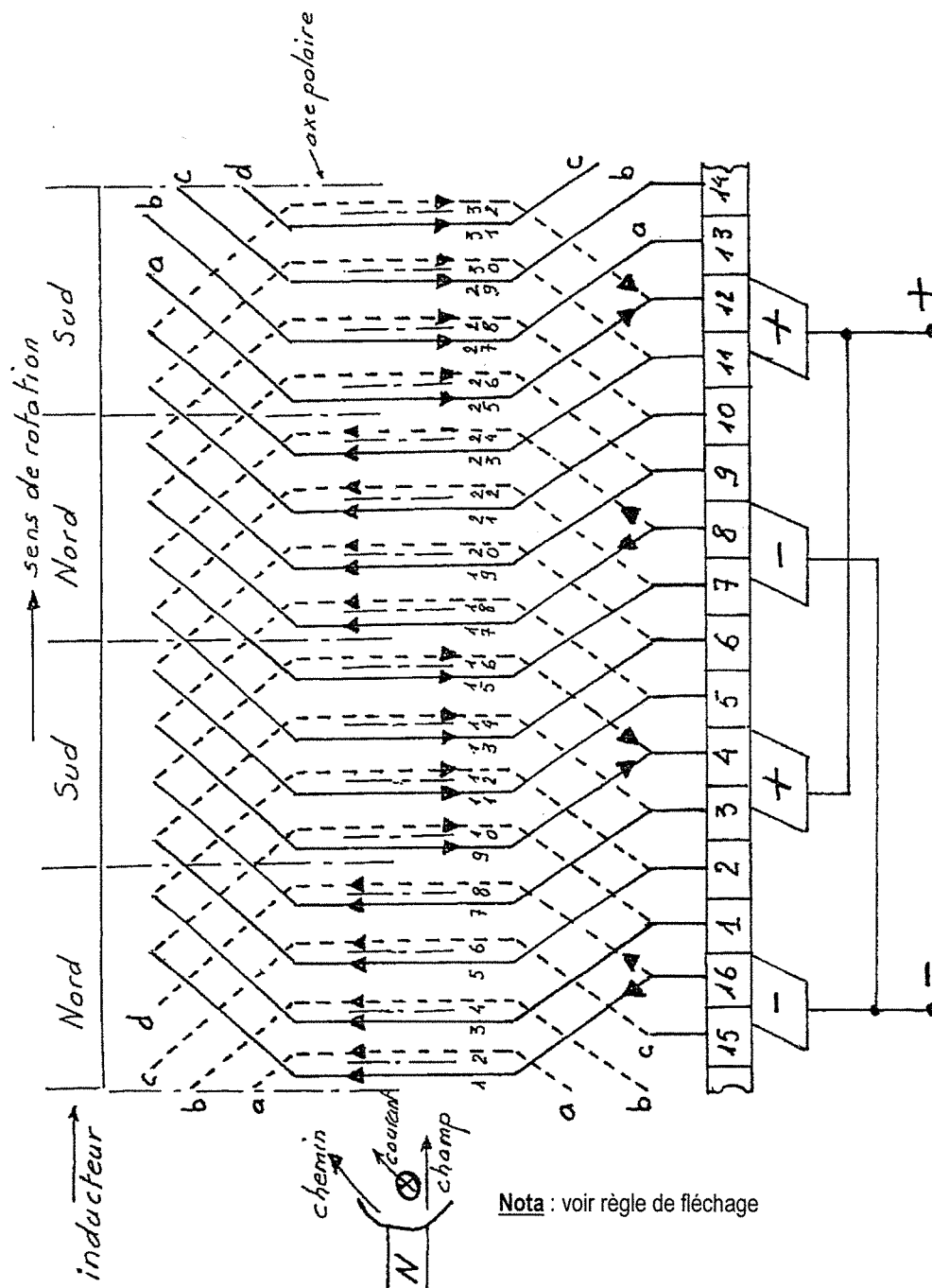


Schéma d'enroulement d'un induit de génératrice à courant continu, induit 16 encoches, 16 lames, 4 pôles enroulement imbriqué simple progressif

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 4) Fléchage des faisceaux

### REGLE

- Elle est « intangible », elle est la même pour tous les types d'enroulements d'induits.
- Le sens du fléchage définit le sens du courant dans les faisceaux à l'instant « t » du tracé du schéma
- On utilise la règle des trois doigts
  - Pouce → champ
  - Index → chemin
  - Majeur → courant

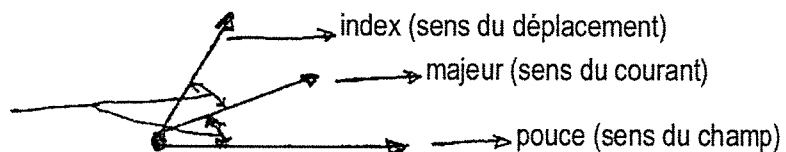
Les trois doigts forment les arêtes d'un cube, on positionne le pouce en fonction du sens du champ magnétique, l'index dans le sens du déplacement de l'induit, le majeur indique le sens du courant.

### NOTA

Pour une génératrice, on utilise la main gauche, pour un moteur la main droite

- Gauche « g » → 1<sup>ère</sup> lettre de génératrice
- Droite « d » → 1<sup>ère</sup> lettre de démarrage

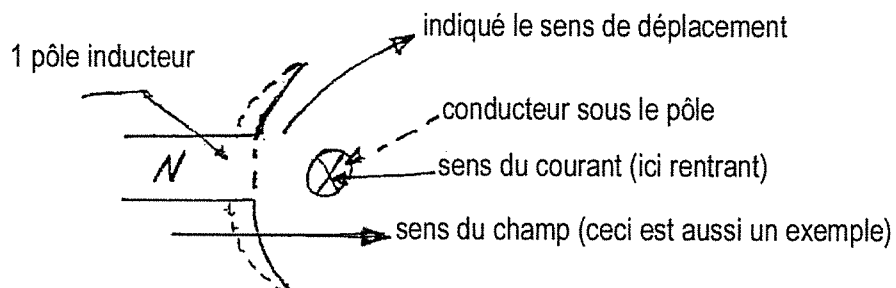
↳ Ceci est un exemple 90°



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Remarque

A la gauche du schéma panoramique de la page 12 il y a schématisation :



## NOTA

Symbolisation du sens du courant dans les conducteurs (en utilisant une flèche)

$\otimes$  → rentrant       $\odot$  → sortant

Comme il s'agit d'une génératrice, on a utilisé la main gauche

**A chaque schéma « moteur ou génératrice » on utilisera cette règle**

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 5) Placement des balais (position et polarité)

### Diverses méthodes

#### NOTA

Pour les enroulements imbriqués simple et ondulé série simple ; un balai couvre 1,5 lames du collecteur.

Pour les enroulements, parallèle multiple et série parallèle ; un balai couvre en général 2,5 lames du collecteur.

#### ↳ a) Méthode simpliste

Elle est utilisable pour quelques cas (en imbriqué) n'est pas utilisable (en ondulé). Elle consiste à placer un balai sous une lame de collecteur où arrivent deux faisceaux fléchés de même sens.

(voir schéma panoramique page 14)

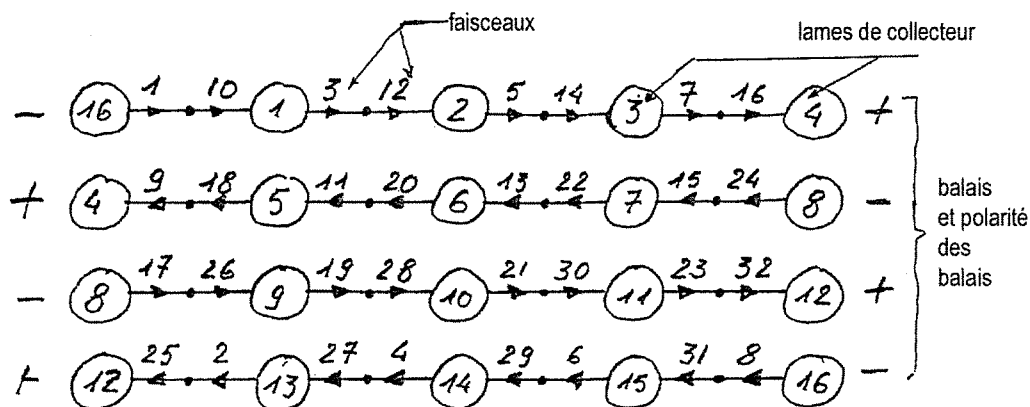
Le sens du courant dans ces faisceaux détermine la polarité des balais ; en génératrice, sens sortant balai positif ; en moteur, sens rentrant balai positif

#### ↳ b) Méthode des voies d'enroulement

Celle-ci est utilisable dans tous les cas

#### NOTA

Une voie d'enroulement est constituée par un certain nombre de faisceaux en série



On respecte le sens du courant dans les faisceaux

On constate ici qu'il y a 8 faisceaux par voie et 4 voies d'enroulement

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

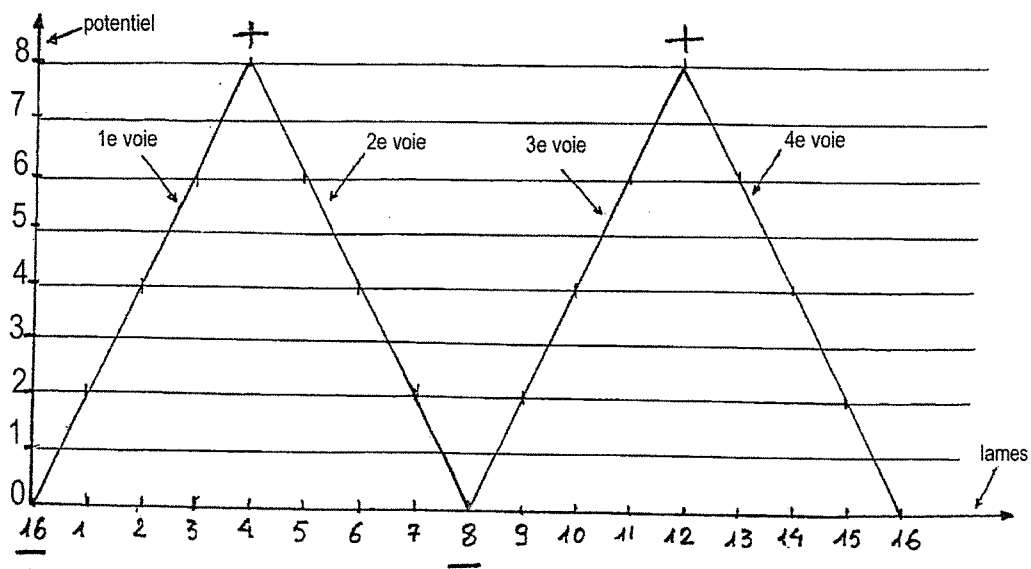
## ↳ c) Méthode du graphique des tensions

Cette méthode est également utilisable dans tous les cas.

### REGLE

- Pour une génératrice à chaque fois qu'en se déplaçant dans l'enroulement (progression dans la continuité du circuit) on rencontre un faisceau fléché dans le sens du déplacement ; on dit plus 1. Si le faisceau est fléché en sens inverse on dit moins 1 (par convention).
- Pour un moteur on dit moins 1 lorsque le faisceau est fléché dans le sens du déplacement ; on dit plus 1 lorsqu'il est fléché en sens inverse.
- On transite toujours par les lames de collecteur

### Graphique des tensions



Le poi

On

y place un balai négatif.

On constate également qu'il y a 4 voies d'enroulement.



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## UTILISATION DU TERME « b »

- 2/ Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur à courant continu 4 pôles. Le tambour d'induit comprend 15 encoches, le collecteur comprend 15 lames. L'enroulement est imbriqué simple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique
- 4) Fléchage
- 5) Placement et polarité des balais (graphique des tensions)

#### 1) Calculs de l'enroulement

– Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 15 \times 2 = 30$

– Pas arrière :  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{30}{2 \times 2} + 1 = 8,5$

(ce pas n'est pas utilisable) d'où utilisation du terme « b »

– donc  $Y_1 = \frac{F \pm b}{2p} + 1$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{avec } -b \rightarrow \frac{30 - 2}{2 \times 2} + 1 = 8 \text{ (inutilisable)} \\ \text{avec } +b \rightarrow \frac{30 + 2}{2 \times 2} + 1 = 9 \text{ (utilisable)} \end{array} \right.$

– Pas avant :  $Y_2 = Y_1 - Y = 9 - 2 = 7$

– Pas au collecteur :  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1$

– Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{15}{2 \times 2} = 3,75$

### Rappel

« b » est un nombre entier et pair le plus faible possible, comme ici 2 convenait il a été choisi

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2) Schéma numérique

Pas « arrière » $+ Y_1 \rightarrow +9$			Pas « avant » $- Y_2 \rightarrow -7$			Pas au collecteur $Y_c \rightarrow +1$	
1	→	10	10	→	3	1	
3	→	12	12	→	5	2	
5	→	14	14	→	7	3	
7	→	16	16	→	9	4	
9	→	18	18	→	11	5	
11	→	20	20	→	13	6	
13	→	22	22	→	15	7	
15	→	24	24	→	17	8	
17	→	26	26	→	19	9	
19	→	28	28	→	21	10	
21	→	30	30	→	23	11	
23	→	2	2	→	25	12	
25	→	4	4	→	27	13	
27	→	6	6	→	29	14	
29	→	8	8	→	1	15	

## 3) Schéma panoramique

### Méthode de tracé

Le nombre d'encoches par pôle étant fractionnaire, on répartit les axes d'encoche équidistants entre les deux axes de coupe du développement panoramique.

Les axes polaires divisent en quatre la longueur du développement.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

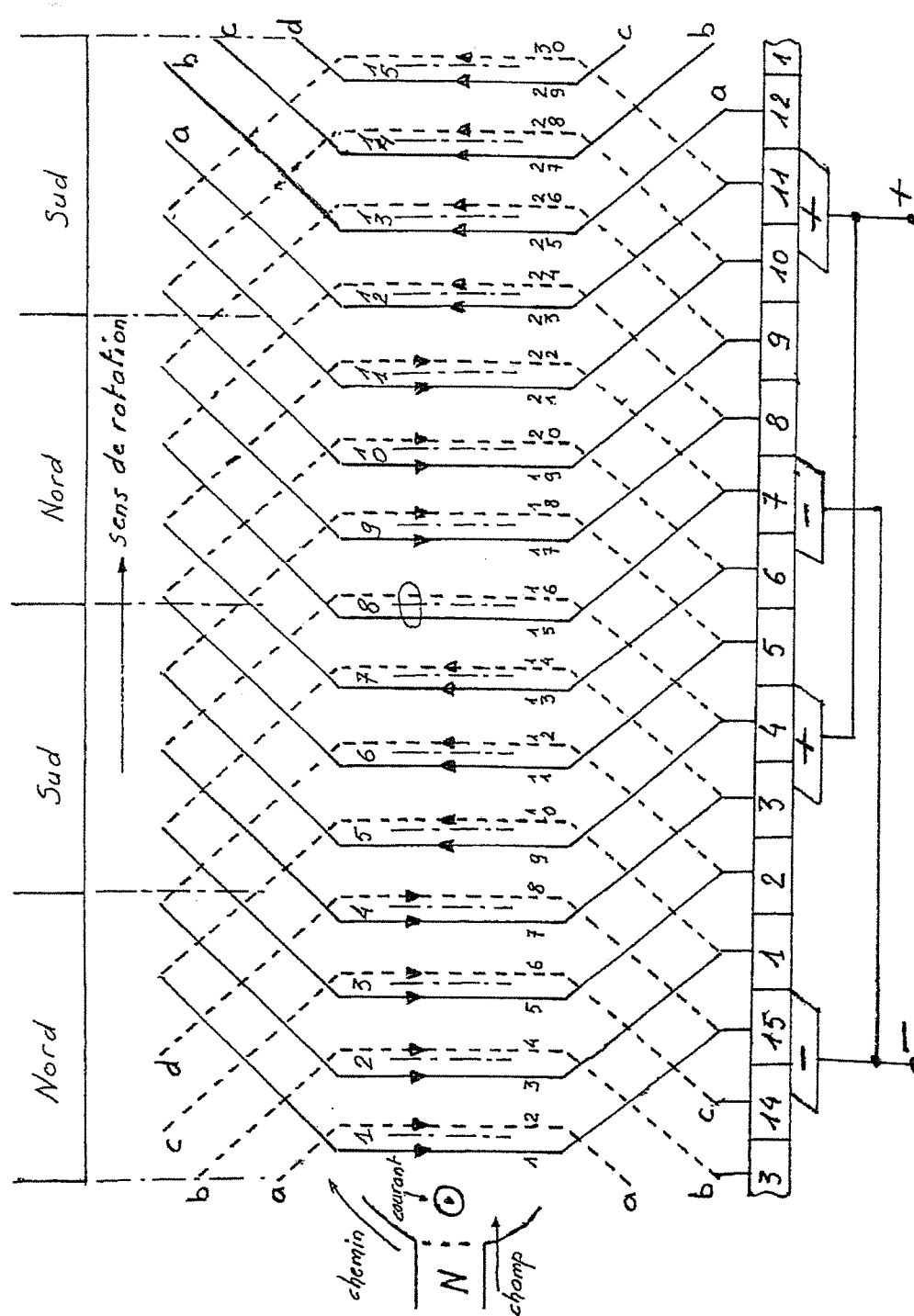


Schéma d'enroulement d'un induit de moteur à courant continu, induit 15 encoches, 15 lames au collecteur, imbriqué simple progressif

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 4) Fléchage

Comme il s'agit d'un induit de moteur, on utilise la main droite pour définir le sens du courant dans les faisceaux ; en connaissant : le sens du champ magnétique (polarité des pôles inducteurs), le sens du chemin (sens de rotation de l'induit)

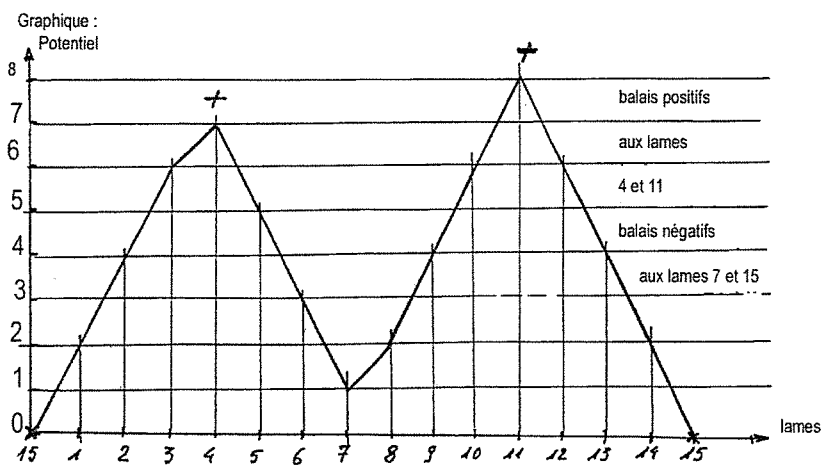
## NOTA

Les faisceaux 15 et 16 ne sont pas fléchés. En effet, ils se trouvent dans l'encoche 8 (traversée par un axe polaire) donc dans une zone où le flux est nul.

## 5) Graphique des tensions

- Potentiel aux lames (revoir la règle)

0 → 15 - 1 = +2	7 - 8 = +1
1 - 2 = +2	8 - 9 = +2
2 - 3 = +2	9 - 10 = +2
3 - 4 = +1 → +7	10 - 11 = +2 → +8
4 - 5 = -2	11 - 12 = -2
5 - 6 = -2	12 - 13 = -2
6 - 7 = -2 → +1	13 - 14 = -2
	14 - 15 = -2 → 0



## NOTA

Le graphique n'est pas symétrique du fait que le nombre d'encoches par paire de pôles est fractionnaire.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

- 3/ Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur à courant continu 6 pôles. Le tambour d'induit comprend 18 encoches, le collecteur 18 lames. L'enroulement est imbriqué simple rétrograde.

## TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique
- 4) Fléchage
- 5) Placement et polarité des balais (méthode « simpliste »)

### 1) Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 18 \times 2 = 36$
- Pas arrière :  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{36}{2 \times 3} + 1 = 7$
- Pas avant :  $Y_2 = Y_1 + Y = 7 + 2 = 9$  (ici  $Y_2 = Y_1 + Y$  car l'enroulement est rétrograde)
- Pas au collecteur :  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1$
- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{18}{2 \times 3} = 3$

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2) Schéma numérique

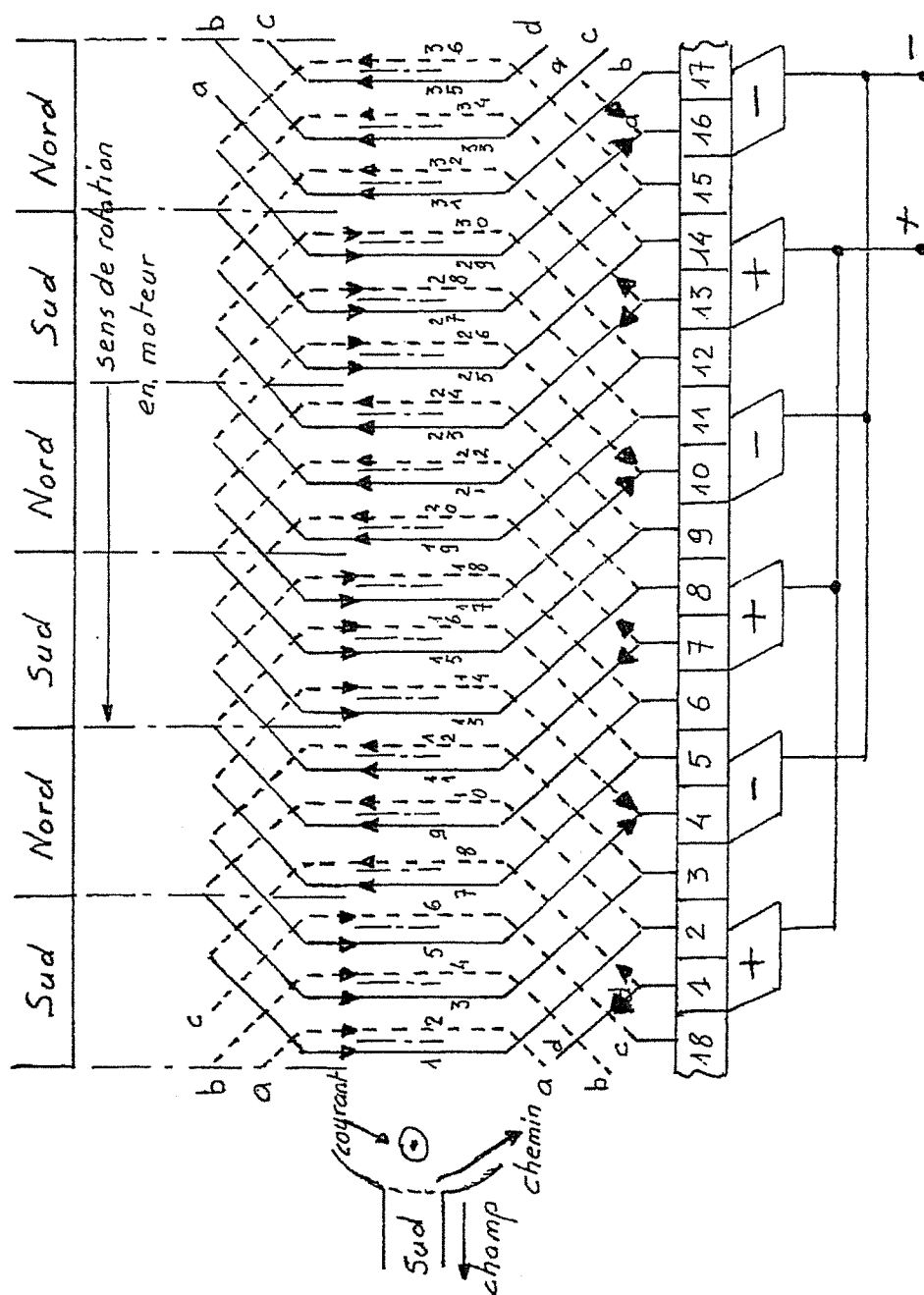
Pas « arrière » $+Y_1 \rightarrow +7$			Pas « avant » $-Y_2 \rightarrow -9$			Pas au collecteur $Y_c \rightarrow -1$		
1	→	8	8	→	35	1		
35	→	6	6	→	33	18		
33	→	4	4	→	31	17		
31	→	2	2	→	29	16		
29	→	36	36	→	27	15		
27	→	34	34	→	25	14		
25	→	32	32	→	23	13		
23	→	30	30	→	21	12		
21	→	28	28	→	19	11		
19	→	26	26	→	17	10		
17	→	24	24	→	15	9		
15	→	22	22	→	13	8		
13	→	20	20	→	11	7		
11	→	18	18	→	9	6		
9	→	16	16	→	7	5		
7	→	14	14	→	5	4		
5	→	12	12	→	3	3		
3	→	10	10	→	1	2		

### NOTA

L'enroulement est fermé sur lui-même (imbriqué simple)

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

3) Schéma panoramique – 4) Fléchage – 5) Position des balais



Induit de moteur à courant continu 6 pôles, 18 encoches, 18 lames Enroulement imbriqué simple rétrograde

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## EXERCICES D'APPLICATION – RECHERCHE DE SCHEMA

I ) vous devez réaliser le schéma de bobinage d'un induit de génératrice 4 pôles, le tambour d'induit comprend 12 encoches, le collecteur 12 lames, l'enroulement est imbriqué simple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma panoramique (fléché)
- 3) Placement et polarité des balais (méthode « des voies d'enroulement »)



II ) Vous devez réaliser le schéma de bobinage d'un induit de moteur 2 pôles, le tambour d'induit comprend 12 encoches, le collecteur 12 lames, l'enroulement est imbriqué simple rétrograde.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique (fléché)
- 4) Placement et polarité des balais (méthode « simpliste »)



III) Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur 4 pôles, le tambour d'induit comprend 22 encoches, le collecteur 22 lames, l'enroulement est imbriqué simple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique (fléché)
- 4) Placement et polarité des balais (méthode « graphique des tensions »)



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## NOTA

Pour chaque exercice, il faut déterminer :

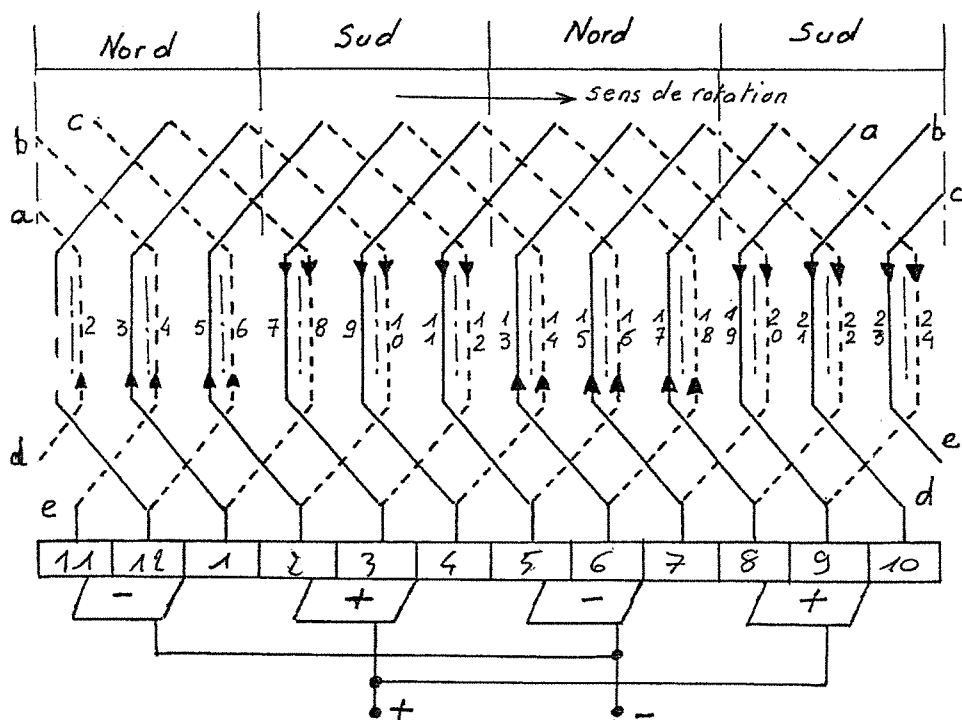
- la polarité des pôles inducteurs
- le sens de rotation

de manière à indiquer le sens du courant dans les faisceaux

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Corrigé partiel application n°1

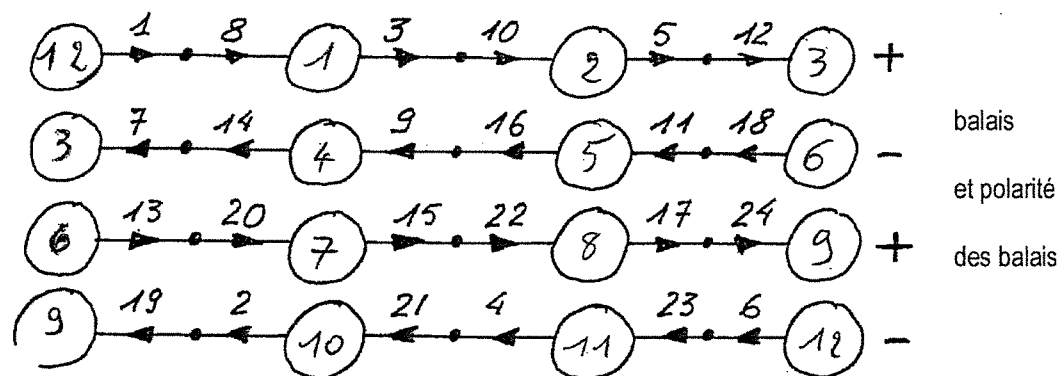
### Schéma panoramique



Induit de génératrice 4 pôles enroulement imbriqué simple

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

Position et polarité des balais (voies d'enroulement)



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Corrigé partiel application N°2

### Pas d'enroulement

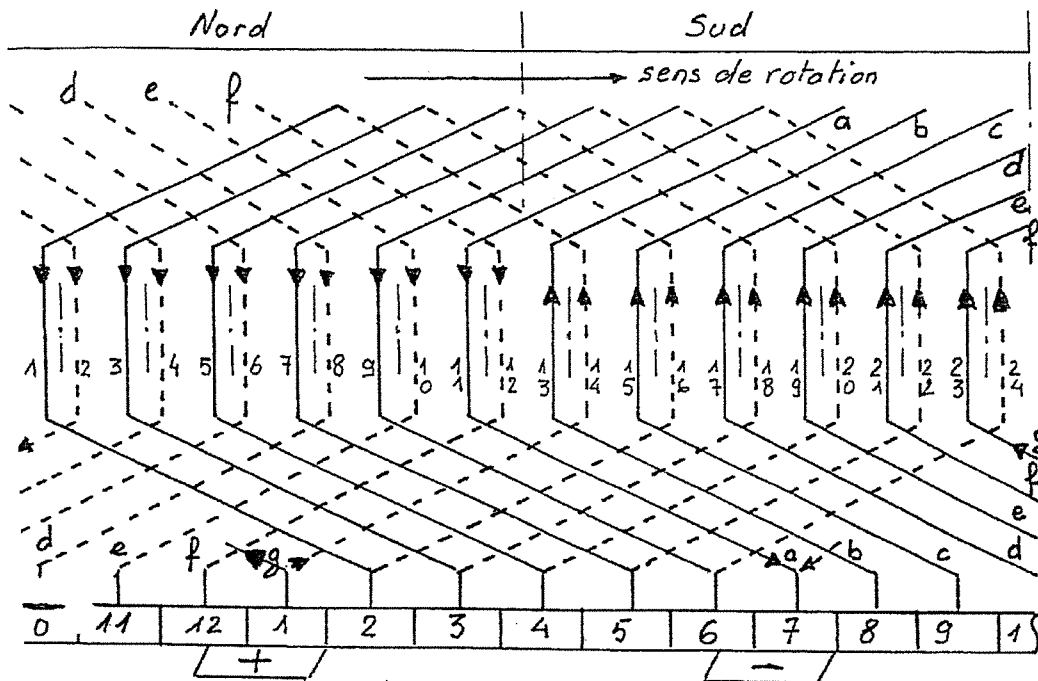
$$Y_1 = 13; Y_2 = 15; Y_c = 1$$

### Schéma numérique

Pas arrière +Y1 → 13		Pas avant -Y2 → 15		Pas au collecteur -Yc → -1
1	14	14	23	1
23	12	12	21	12
21	10	10	19	11
19	8	8	17	10
17	6	6	15	9
15	4	4	13	8
13	2	2	11	7
11	24	24	9	6
9	22	22	7	5
7	20	20	5	4
5	18	18	3	3
3	16	16	1	2

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

Schéma panoramique



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

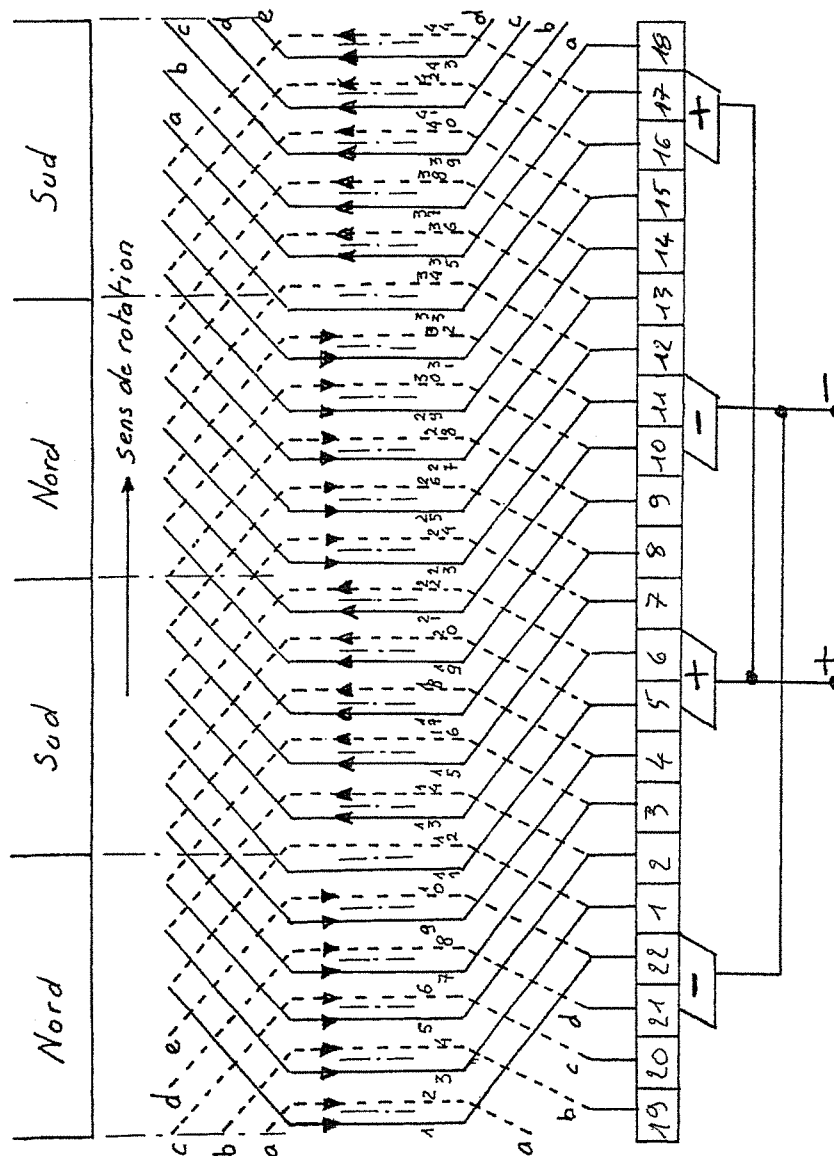
## Corrigé partiel Application N°3

### Pas d'enroulement

$$Y_1 = 11 ; Y_2 = 9 ; Y_c = 1$$

On choisit  $Y_1 = 11$  car il est égal au pas polaire

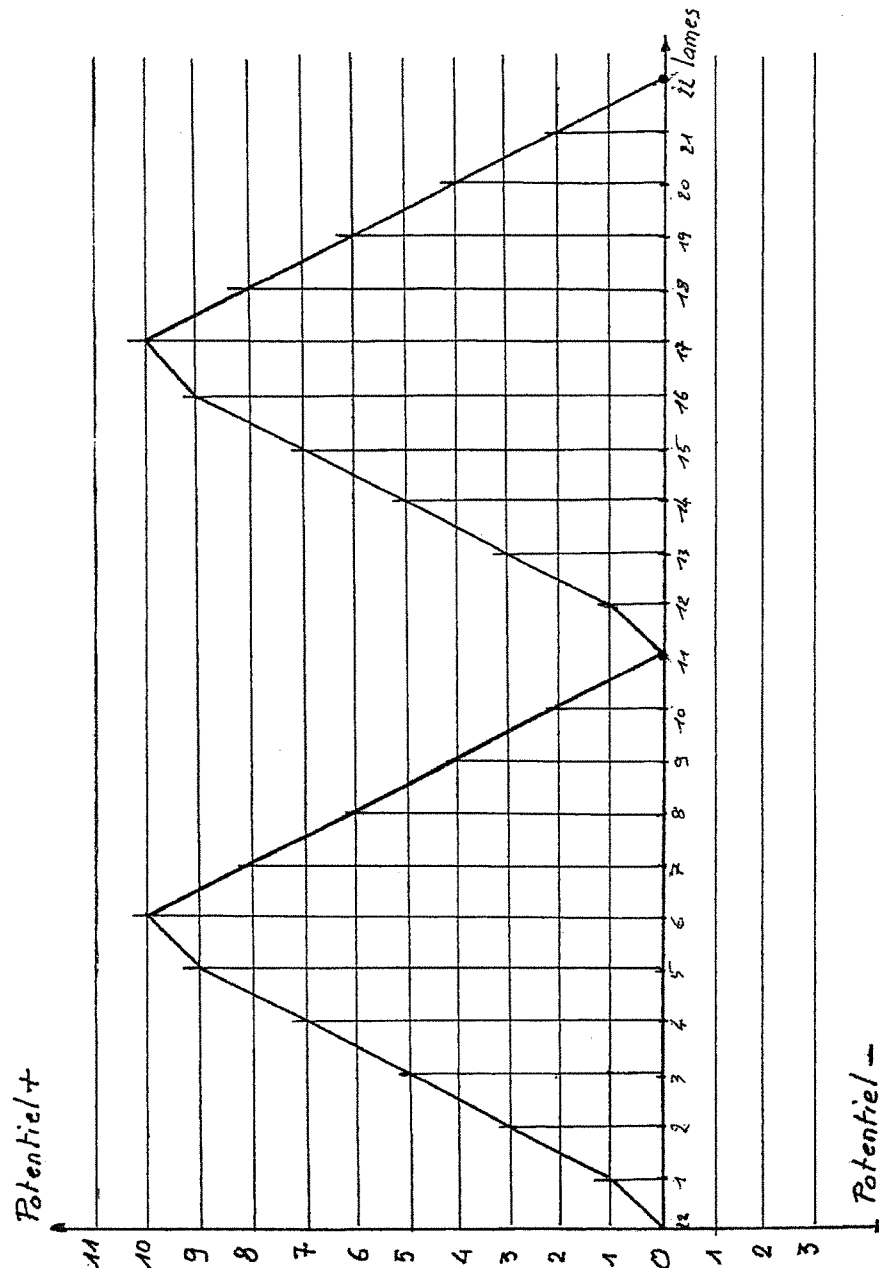
### Schéma panoramique



Induit de moteur à contact continu 22 encoches 4 pôles enroulement imbriqué simple progressif

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Graphique des tensions



### NOTA

- Les lames 1 et 12 sont au potentiel « 0 », on place un balai négatif
- Les lames 7 et 8 sont au potentiel « +10 », on place un balai positif

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT PARALLELE MULTIPLE (IMBRIQUE DOUBLE)

Avec ce procédé de bobinage, on multiplie les voies d'enroulement ce qui permet (en génératrice) d'obtenir un grand débit en intensité mais une réduction de la tension aux bornes.

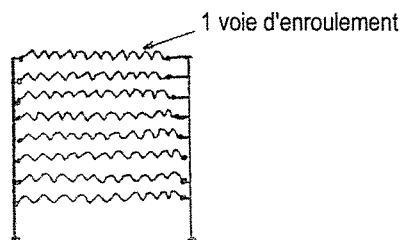
L'enroulement peut être réalisé en parallèle double (le cas le plus fréquent) éventuellement en parallèle triple.

### NOTA : RAPPEL

- Avec un enroulement imbriqué simple  $Y = 2$
- Avec un enroulement imbriqué double  $Y = 4$
- Avec un enroulement imbriqué triple  $Y = 6$

L'enroulement dans les cas peut être progressif ou rétrograde

### Exemple : induit, 4 pôles imbriqués parallèle double



On a 8 voies d'enroulement

donc  $a = 2p$

ici  $a = 4$

donc  $2a = 8$

donc 8 voies d'enroulement

L'enroulement peut être  
fermé sur lui-même

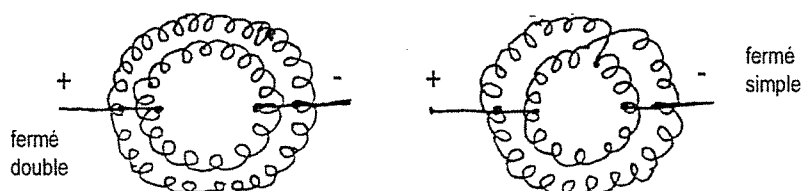
ou deux enroulements distincts, chaque enroulement  
alimenté par les balais.

*1 balai couvre 2,5 lames de collecteur*

L'enroulement peut être **fermé simple**, dans ce cas, on parcourt la moitié de l'enroulement puis on parcourt la moitié de l'enroulement puis on parcourt l'autre moitié et on referme l'enroulement ; la mise en parallèle s'effectue par les balais.

*1 balai couvre 2,5 lames de collecteur*

L'enroulement est fermé simple ou double en fonction du nombre d'encoches, du nombre de faisceaux ; dans les deux cas les calculs sont identiques.





# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## APPLICATION – ETUDE

1/ Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'une génératrice à 4 pôles, l'induit porte 16 encoches, le collecteur 16 lames, l'enroulement est imbriqué double progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique
- 4) Fléchage
- 5) Position et polarité des balais

#### 1) Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 16 \times 2 = 32$
- Pas arrière  $Y_1$  :  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{32}{2 \times 2} + 1 = 9$  nota : ici  $Y = 4$
- Pas avant  $Y_2$  :  $Y_2 = Y_1 - Y = 9 - 4 = 5$
- Pas au collecteur  $Y_c$  :  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{4}{2} = 2$
- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{16}{2 \times 2} = 4$

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2) Schéma numérique

Liaisons (arrière) + Y1	Liaisons (avant) -Y2	Mise au collecteur + Yc lames	Liaisons (arrière) + Y1	Liaisons avant -Y2	Mise au collecteur + Yc lames
1 → 10	10 → 5	1	3 → 12	12 → 7	2
5 → 14	14 → 9	3	7 → 16	16 → 11	4
9 → 18	18 → 13	5	11 → 20	20 → 15	6
13 → 22	22 → 17	7	15 → 24	24 → 19	8
17 → 26	26 → 21	9	19 → 28	28 → 23	10
21 → 30	30 → 25	11	23 → 32	32 → 27	12
25 → 2	2 → 29	13	27 → 4	4 → 31	14
29 → 6	6 → 1	15	31 → 8	8 → 3	16

### NOTA

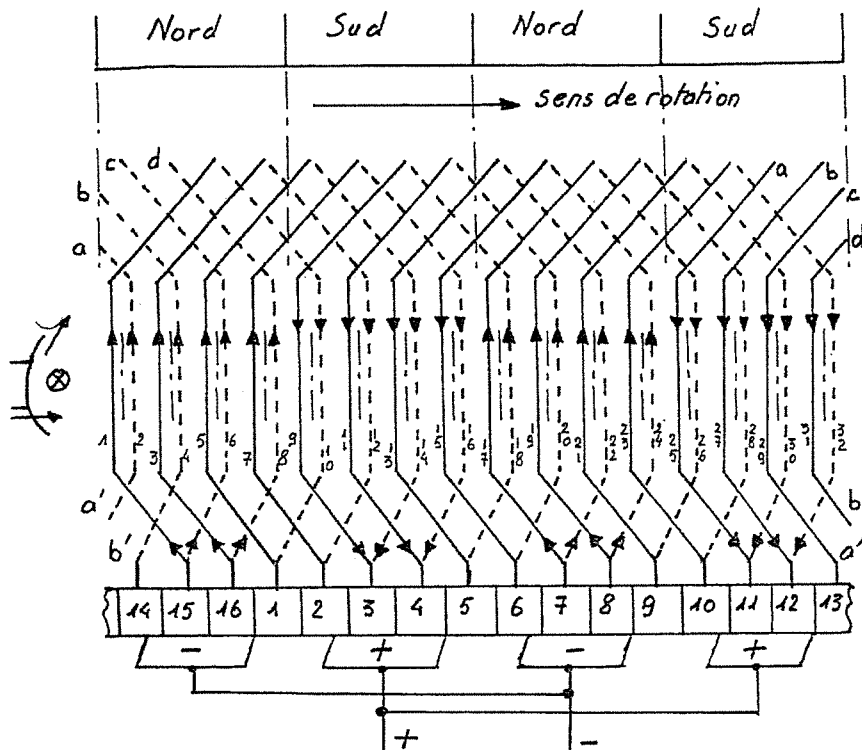
L'enroulement est fermé double.

On constate qu'il y a 2 circuits indépendants, chaque circuit est fermé sur lui-même.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT PARALLELE MULTIPLE( IMBRIQUE DOUBLE)

### 3) Schéma panoramique



Induit de génératrice 4 pôles, 16 encoches, 16 lames

Enroulement imbriqué, fermé double, progressif

### 4) Fléchage

Rappel : On utilise la règle des trois doigts de la main gauche

### 5) Position et polarité des balais

On constate que l'on peut utiliser la méthode dite « simpliste » ; c'est donc celle que l'on utilisera.

### NOTA

On constate en suivant le schéma qu'il y a deux circuits distincts mis en parallèle par les balais.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

- 2/ Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur à 4 pôles, l'induit porte 15 encoches, 15 lames au collecteur ; l'enroulement imbriqué double progressif.

## TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique
- 4) Fléchage
- 5) Position et polarité des balais

### 1) Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 15 \times 2 = 30$
- Pas arrière  $Y_1$  :  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{30}{2 \times 2} + 1 = 8,5$  pas utilisable : il faut utiliser le terme « b »  
d'où :  $Y_1 = \frac{F+b}{2p} + 1 = \frac{30+2}{2 \times 2} + 1 = 9$
- Pas avant  $Y_2$  :  $Y_2 = Y_1 - Y = 9 - 4 = 5$
- Pas au collecteur  $Y_c$  :  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{4}{2} = 2$
- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{15}{2 \times 2} = 3,75$

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

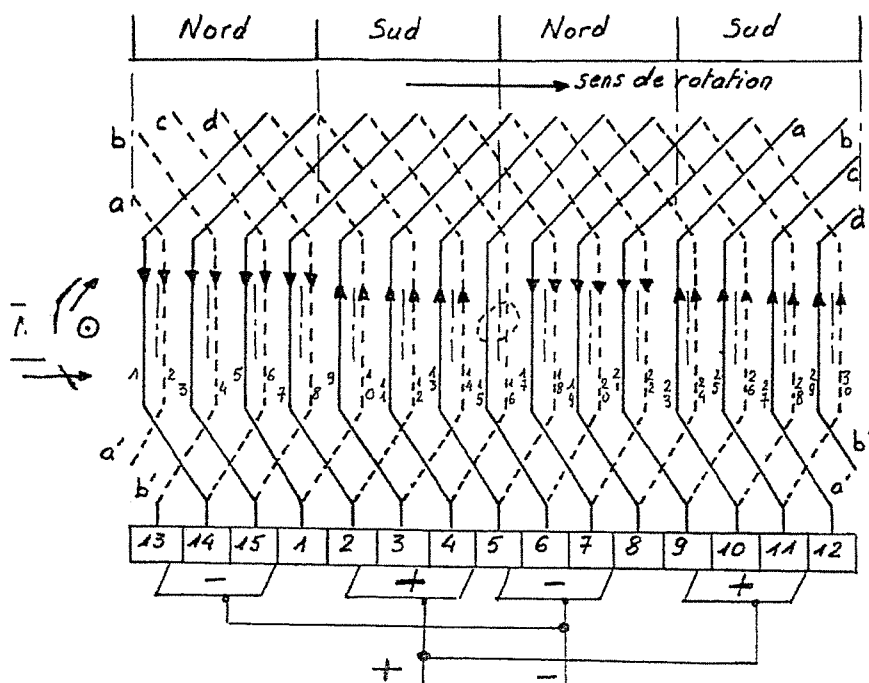
## 2) Schéma numérique

Liaisons (arrière) + Y1	Liaisons (avant) -Y2	Mise au collecteur + Yc lames	Liaisons (arrière) + Y1	Liaisons avant -Y2	Mise au collecteur lames + Yc
1 → 10	10 → 5	1	3 → 12	12 → 7	2
5 → 14	14 → 9	3	7 → 16	16 → 11	4
9 → 18	18 → 13	5	11 → 20	20 → 15	6
13 → 22	22 → 17	7	15 → 24	24 → 19	8
17 → 26	26 → 21	9	19 → 28	28 → 23	10
21 → 30	30 → 25	11	23 → 2	2 → 27	12
25 → 4	4 → 29	13	27 → 6	6 → 1	14
29 → 8	8 → 3	15			

### NOTA

Ici l'enroulement est fermé simple

## 3) Schéma panoramique



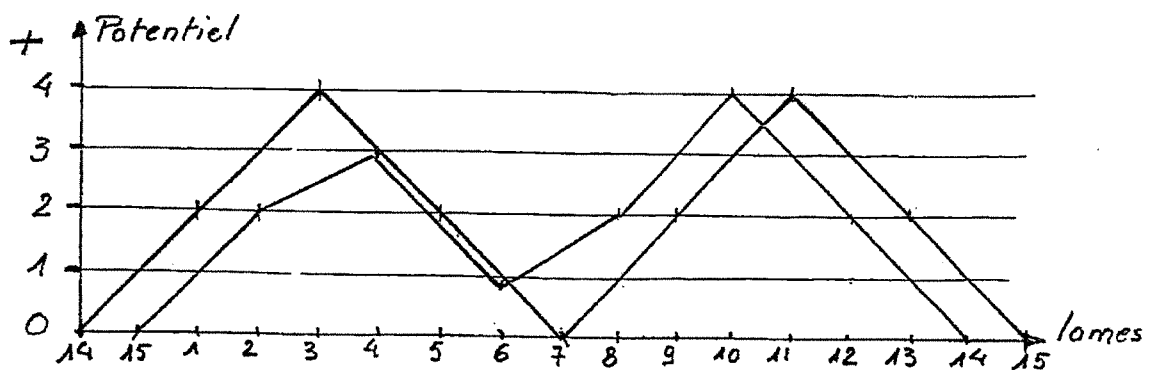
# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 4) Fléchage

On applique la règle des trois doigts de la main droite

## 5) Graphique des tensions

↳ voir la règle



NC

Il y

est

fractionnaire, différent sur le schéma panoramique.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## EXERCICES D'APPLICATION

I) Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur 4 pôles, l'induit porte 20 encoches, le collecteur 20 lames. L'enroulement est imbriqué double rétrograde.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique « fléché »
- 4) Position et polarité des balais



II) Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'une génératrice 4 pôles, l'induit porte 22 encoches, le collecteur 22 lames. L'enroulement est imbriqué double progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique « fléché »
- 4) Position et polarité des balais



III) Vous devez réaliser le schéma de bobinage de l'induit d'un moteur 4 pôles, l'induit porte 24 encoches, le collecteur 24 lames. L'enroulement est imbriqué triple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement
- 2) Schéma numérique
- 3) Schéma panoramique « fléché »
- 4) Position et polarité des balais

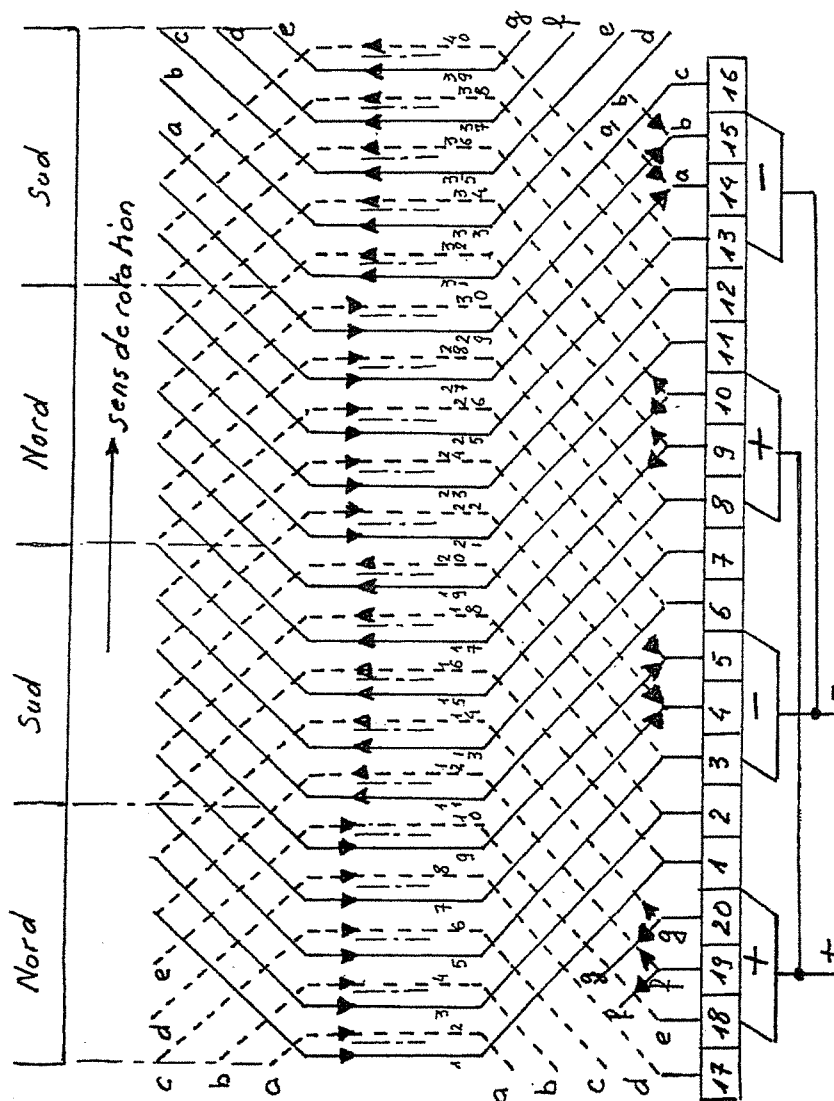
# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## CORRIGE

### 1/ CORRECTION SIMPLIFIEE

Calculs (résultats) –  $Y_1 = 11$  ;  $Y_2 = 15$  ;  $Y_c = Y_2 = 4$

#### Schéma panoramique



Fléchage : revoir la règle

Position et polarité des balais : on utilise la méthode « simpliste »



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2/ CORRECTION SIMPLIFIEE

Nombre de faisceaux  $F = k \times 2 = 22 \times 2 = 44$  faisceaux

### Calculs

$$\text{Pas arri\`ere } Y_1 = \frac{F \pm b}{2p} + 1 \rightarrow \frac{44 \pm 4}{2 \times 2} = 13 \text{ ou } 11$$

### NOTA

- On choisit  $Y_1 = 11$  car ce pas est \`egal au pas polaire
- Pas avant :  $Y_2 = Y_1 - Y = 11 - 4 = 7$
- Pas au collecteur  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{4}{2} = 2$
- Nombre d'encoches / p\`ole  $\frac{22}{4} = 5,5$  encoches

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Schéma numérique

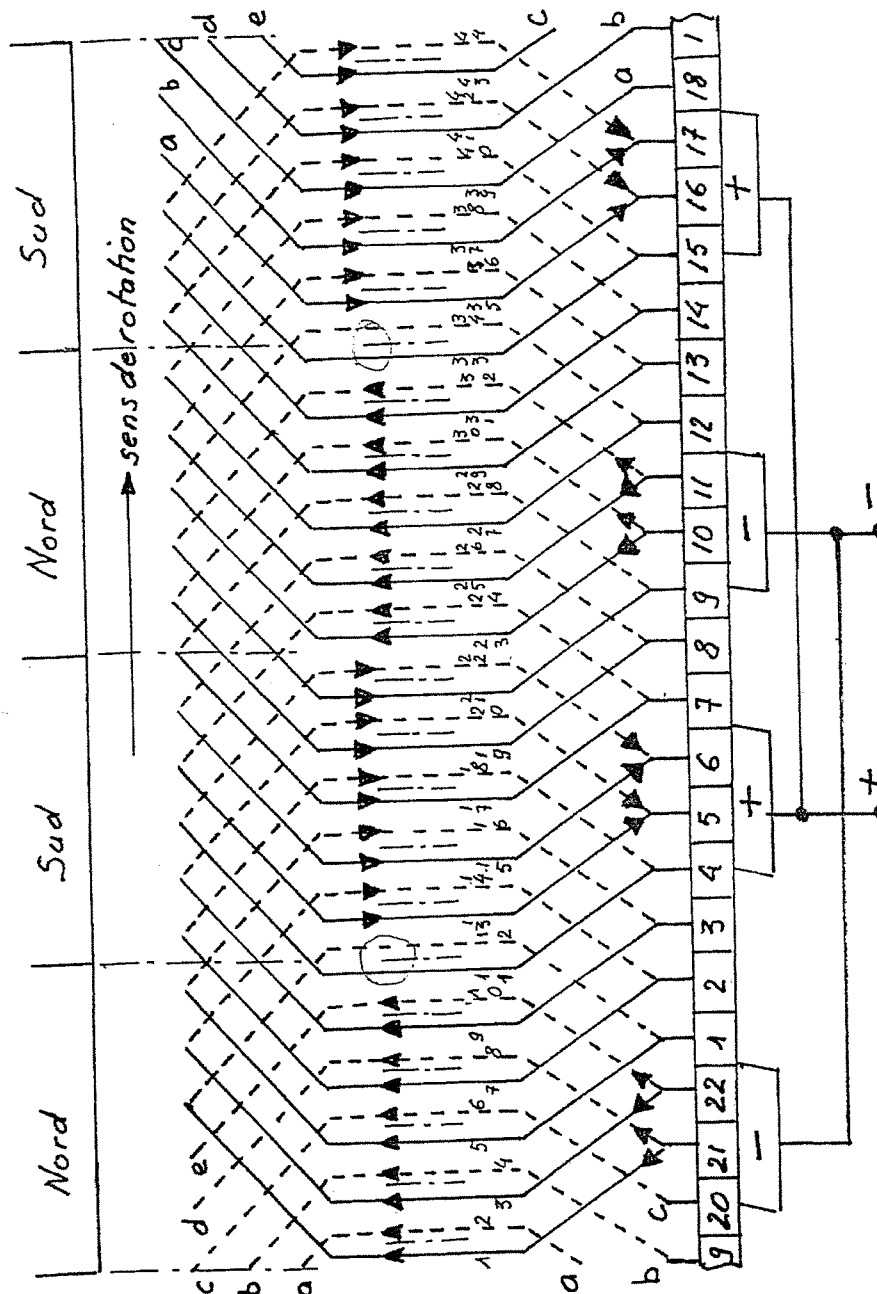
Pas arrière + Y1 = +11			Pas avant -Y2 = -7			Pas au collecteur +Yc = +2
1	→	12	12	→	5	1
5	→	16	16	→	9	3
9	→	20	20	→	13	5
13	→	24	24	→	17	7
17	→	28	28	→	21	9
21	→	32	32	→	25	11
25	→	36	36	→	29	13
29	→	40	40	→	33	15
33	→	44	44	→	37	17
37	→	4	4	→	41	19
41	→	8	8	→	1	21
3	→	14	14	→	7	2
7	→	18	18	→	11	4
11	→	22	22	→	15	6
15	→	26	26	→	19	8
19	→	30	30	→	23	10
23	→	34	34	→	27	12
27	→	38	38	→	31	14
31	→	42	42	→	35	16
35	→	2	2	→	39	18
39	→	6	6	→	43	20
43	→	10	10	→	3	22

## NOTA

Il y a deux circuits distincts donc l'enroulement est fermé double

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Schéma panoramique



Induit de génératrice 4 pôles enroulement imbriqué double

Fléchage : revoir règle

Polarité et position des balais

- La méthode simplifiée est utilisable.
- Le graphique des tensions confirme.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 3/ CORRECTION SIMPLIFIEE

$F = k \times 2 \quad 24 \times 2 = 48 \text{ faisceaux}$

Nombre d'encoches / pôle  $\frac{N}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \text{ encoches}$

Calculs résultats  $Y_1 = 13$  ;  $Y_2 = 7$  ;  $Y_c = 3$  ;  $Y = 6$

### Schéma numérique

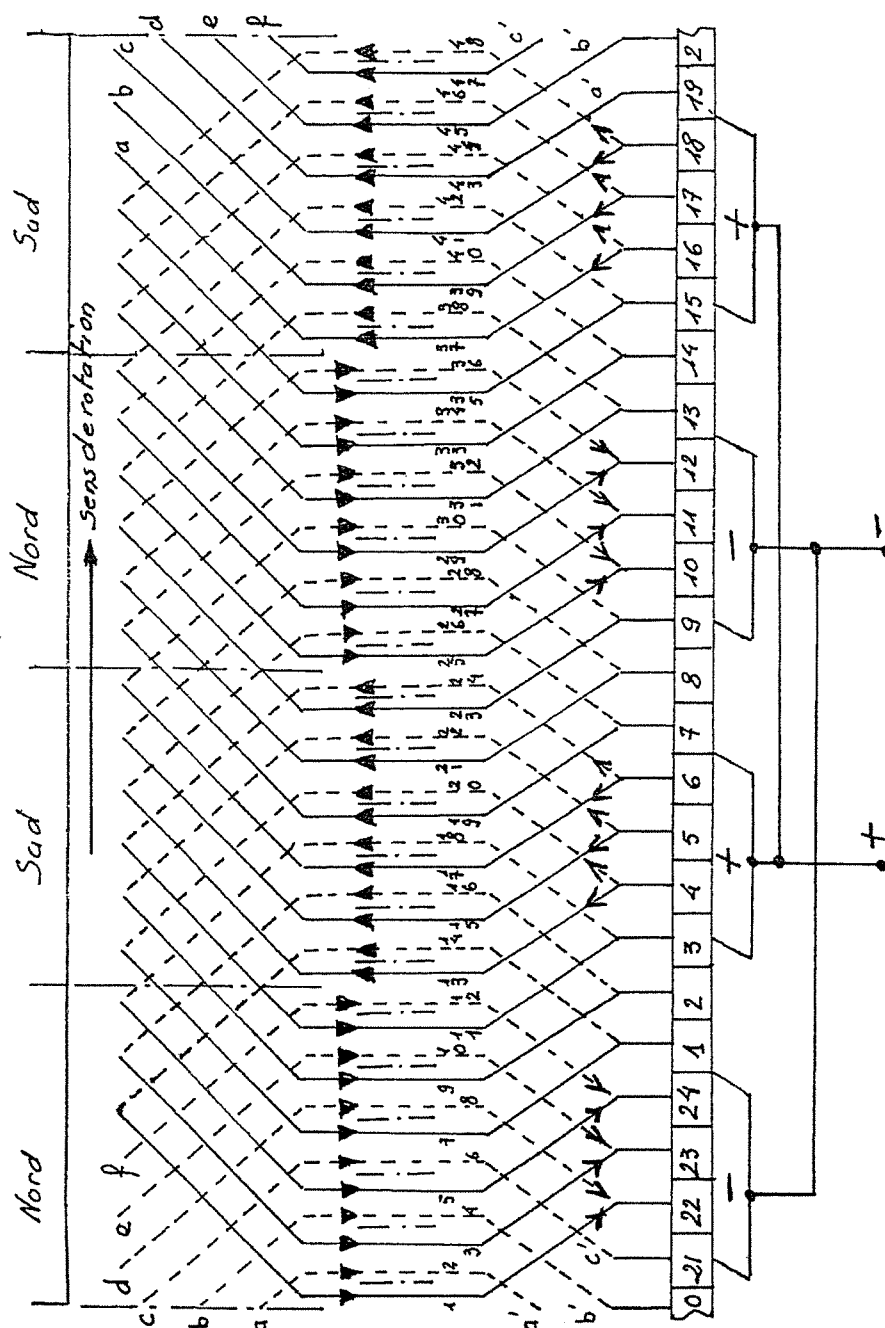
Pas arrière + $Y_1 = +13$			Pas avant $-Y_2 = -7$			Pas au collecteur + $Y_c = +3$
1	→	14	14	→	7	1
7	→	20	20	→	13	4
13	→	26	26	→	19	7
19	→	32	32	→	25	10
25	→	38	38	→	31	13
31	→	44	44	→	37	16
37	→	2	2	→	43	19
43	→	8	8	→	1	22
3	→	16	16	→	9	2
9	→	22	22	→	15	5
15	→	28	28	→	21	8
21	→	34	34	→	27	11
27	→	40	40	→	33	14
33	→	46	46	→	39	17
39	→	4	4	→	45	20
45	→	10	10	→	3	23
5	→	18	18	→	11	3
11	→	24	24	→	17	6
17	→	30	30	→	23	9
23	→	36	36	→	29	12
29	→	42	42	→	35	15
35	→	48	48	→	41	18
41	→	6	6	→	47	21
47	→	12	12	→	5	24

### NOTA

Il y a trois enroulements distincts, fermés sur eux-mêmes. L'enroulement est imbriqué triple « fermé-triple »

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Schéma panoramique



Induit de moteur 4 pôles - 24 encoches- 24 lames enroulement imbriqué « triple progressif »

### NOTA :

1 balai couvre 3,5 lames.

Position et polarité des balais (méthode simpliste)

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Induits à plusieurs faisceaux par encoche

C'est le cas général. Les induits sont pratiquement tous à plusieurs faisceaux par encoche.

Le nombre de lames au collecteur est alors un multiple du nombre d'encoches.

Tout ce qui a été dit et étudié précédemment est applicable. Les calculs de l'enroulement basés sur le nombre de faisceaux sont identiques, les mêmes règles s'appliquent pour le fléchage, la position et la polarité des balais.

## Exemple d'application

- Vous devez réaliser le schéma de bobinage d'un induit de moteur à 4 pôles, le tambour d'induit porte 20 encoches, le collecteur 40 lames, enroulement imbriqué simple progressif.

## Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 40 \times 2 = 80$
- Pas arrière  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{80}{2 \times 2} + 1 = 21$
- Pas avant  $Y_2 = Y_1 - Y = 21 - 2 = 19$
- Pas au collecteur  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1$
- Nombre d'encoches par pôle  $\frac{N}{2p} = \frac{20}{2 \times 2} = 5$

## Remarque

On constate qu'effectivement les calculs sont identiques à ceux effectués précédemment.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## Induits à plusieurs faisceaux par encoche

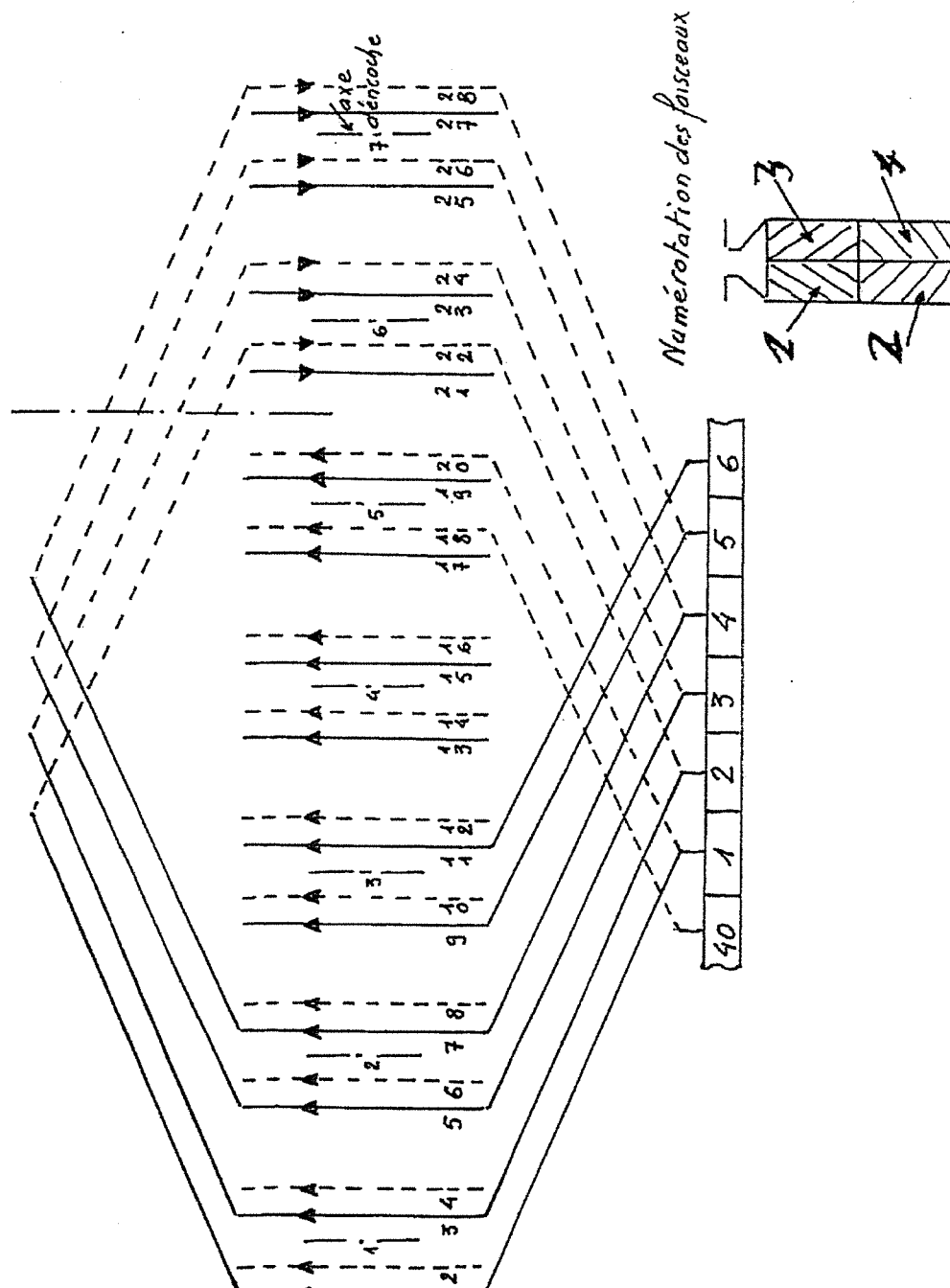


Schéma panoramique partiel, induit 4 pôles - 20 encoches - 40 lames au collecteur

Enroulement imbriqué simple progressif

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## CONNEXIONS EQUIPOTENTIELLES

---

### **- I - Nécessité**

Les machines multipolaire (à enroulements en parallèle) nécessitent des connexions équipotentielles, car, il est difficile d'éviter les dissymétries (inégalités dans le métal constituant le circuit magnétique – différence d'entrefer – inégalité d'ampère – tours).

L'ensemble des dissymétries provoque des différences de variation de flux sous des pôles de même nom.

C'est pour annuler l'effet de ces asymétries et équilibrer les forces électromotrices dans les voies d'enroulement, que l'on ajoute au bobinage des conducteurs (appelé « connexions équipotentielles » qui réunissent deux lames de collecteur ou deux points de l'enroulement induit théoriquement au même potentiel).

Ces connexions fournissent aux courants de circulation des chemins courts, peu résistants et équilibrent les f.e.m.

### **- II - Conditions nécessaires pour placer les connexions équipotentielles**

- A) Enroulements imbriqués (simple et double)
  - Nombre d'encoches par paire de pôles entier
  - Quel que soit le nombre de lames au collecteur
- B) Enroulements ondulés (série simple)
  - Pas de connexion équipotentielle ; il n'y a que deux voies d'enroulement
- C) Enroulements ondulés (série parallèle)
  - $\frac{K}{a}$  et  $\frac{P}{a}$  doivent être des nombres entiers

### **- III - Dispositions des connexions équipotentielles**

Il n'est pas toujours nécessaire de placer des connexions équipotentielles sur toutes les lames, on les dispose sur une fraction de lames seulement (soit une connexion toute les 2.3.4 lames, même davantage).

Lorsqu'il y a plus de deux faisceaux par encoche, on place généralement une connexion équipotentielle par encoche.



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## - IV - Calcul du pas des connexions équipotentiellles

Le pas des connexions est donné par le quotient du nombre de lame (K) par le nombre de paires de pôles (symbole du pas : Ye)

$$Y_e = \frac{K}{p}$$

Le pas est donc égal à l'écartement entre deux balais consécutifs de même polarité.

## - V - Exemple d'application

Induit hexapolaire enroulement imbriqué 48 lames au collecteur

Pas des connexions équipotentiellles

$$Y_e = \frac{K}{p} = \frac{48}{3} = 16 \text{ soit de la lame 1 à la lame 17}$$

En admettant que l'on place une connexion toutes les 4 lames on a :

### cycles des connexions équipotentiellles

1 <sup>er</sup> cycle	1 - 17	17 - 33	33 - 1
2 <sup>ème</sup> cycle	5 - 21	21 - 37	37 - 5
3 <sup>ème</sup> cycle	9 - 25	25 - 41	41 - 9
4 <sup>ème</sup> cycle	13 - 29	29 - 45	45 - 13

### NOTA

- Dans le cas présent, les connexions équipotentiellles se réduisent à 4 cycles.
- Dans chaque cycle, les connexions équipotentiellles court – circuitent 3 lames de collecteur.
- Ces lames sont théoriquement au même potentiel, l'écart entre elles étant égal à l'écartement entre deux balais de même nom (même polarité).

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT IMBRIQUE AVEC CONNEXIONS EQUIPOTENTIELLES

### APPLICATION – RECHERCHE – ETUDE

- Vous devez réaliser le schéma de bobinage d'un induit de génératrice 6 pôles, le tambour d'induit comporte 18 encoches, le collecteur 18 lames, connexions équipotentiels une toutes les deux lames, enroulement imbriqué simple progressif.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement induit
- 2) Tracé du développement panoramique avec fléchage
- 3) Graphique des tensions
- 4) Position et polarité des balais
- 5) Calcul du pas des connexions équipotentiels
- 6) Cycles des connexions
- 7) Tracé des connexions équipotentiels

### SOLUTIONS

#### 1) Calculs enroulement induit

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 18 \times 2 = 36$
- Pas arrière  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{36}{2 \times 3} + 1 = 7$
- Pas avant  $Y_2 = Y_1 - Y = 7 - 2 = 5$
- Pas au collecteur  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1$
- Nombre d'encoches par pôle  $\frac{N}{2p} = \frac{18}{2 \times 3} = 3$

## INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

### 5) Calcul du pas des connexions équipotentielles

$$- Y_e = \frac{K}{p} = \frac{18}{3} = 6$$

### 6) Cycles des connexions équipotentielles

1 <sup>er</sup> cycle	1 - 7	7 - 13	13 - 1
2 <sup>ème</sup> cycle	3 - 9	9 - 15	15 - 3
3 <sup>ème</sup> cycle	5 - 11	11 - 17	17 - 5

#### NOTA

Il y a ici dans chaque cycle, les connexions qui court circuitent des lames (théoriquement) au même potentiel.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 2) Tracé du développement panoramique

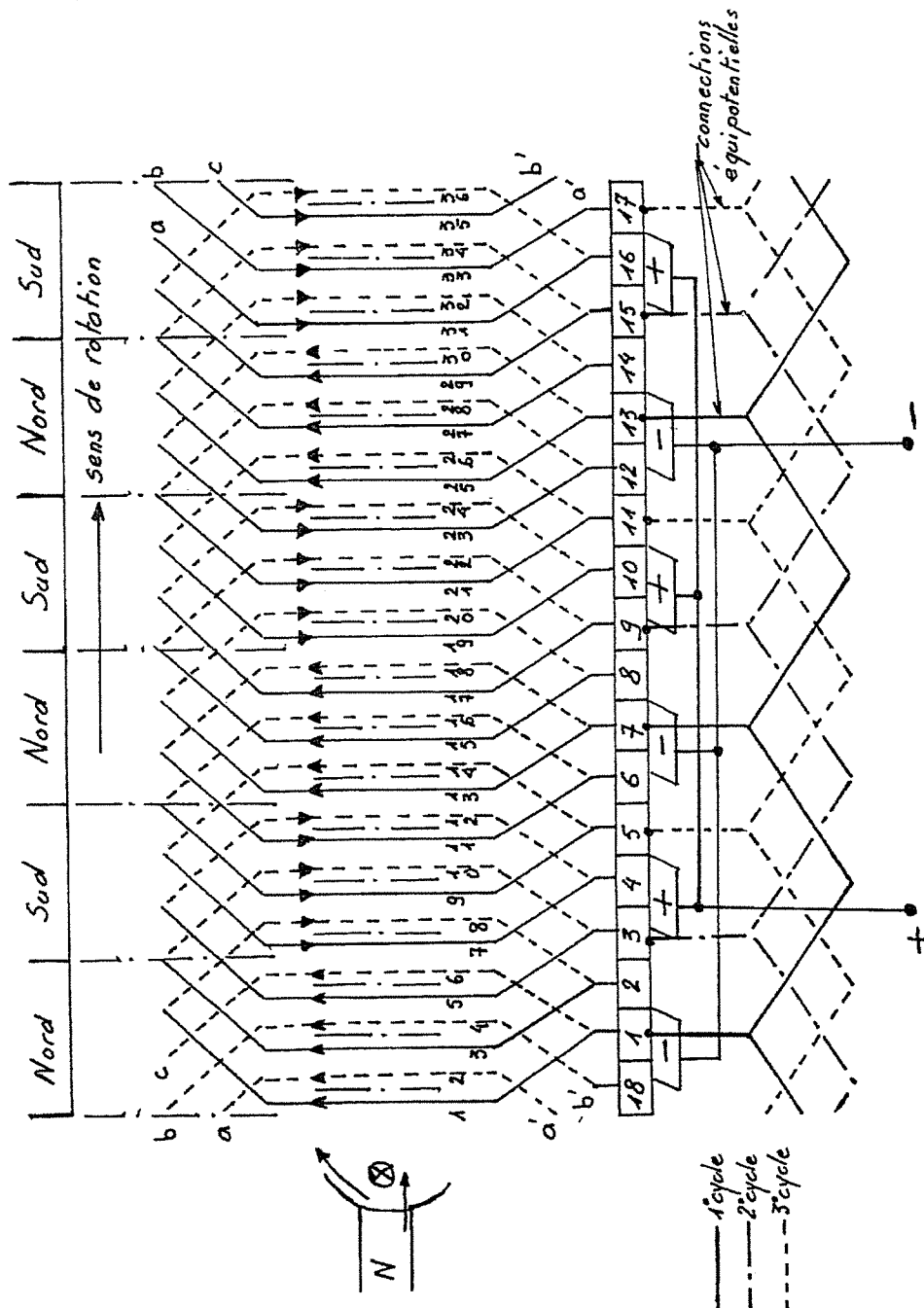
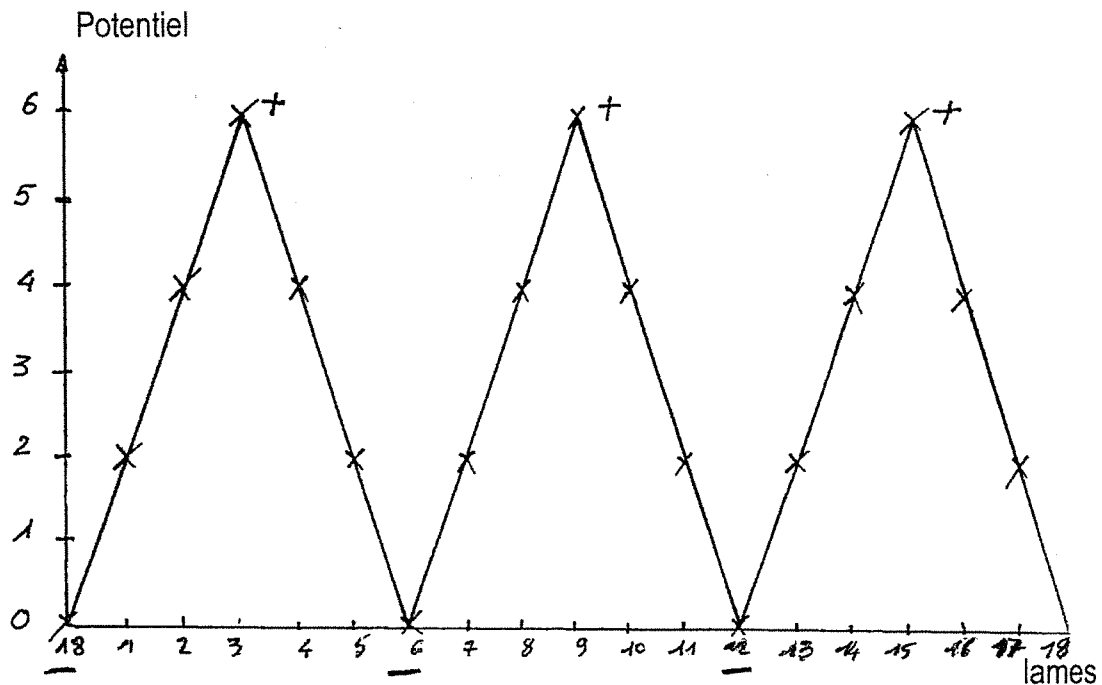


Schéma panoramique induit génératrice 6 pôles enroulement imbriqué simple  
Connexions équipotentielles (1 toutes les 2 lames)

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 3) Graphique des tensions



balais positifs au lame : 3 – 9 – 15

balais négatifs aux lames : 18 – 6 – 12

### Remarque

On peut constater que les lames où sont placées les connexions équipotentielle sont au même potentiel théorique.

- 1<sup>er</sup> cycle lames 1 – 7 – 13 potentiel +2
- 2<sup>ème</sup> cycle lames 3 – 9 – 15 potentiel +6
- 3<sup>ème</sup> cycle lames 5 – 11 – 17 potentiel +2

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## APPLICATIONS – RECHERCHE

I) Voir schémas page 10 induit 16 encoches 16 lames 4 pôles

- On désire placer des connexions équipotentielles, 1 toutes les 2 lames

### **TRAVAIL DEMANDE**

- 1) Calcul du pas des connexions équipotentielles
- 2) Cycles des connexions équipotentielles
- 3) Vérifier sur les schémas pages 11 et 16 le respect de la règle

II) Voir schéma induit 15 encoches 15 lames 4 pôles

### **TRAVAIL DEMANDE**

Vérifier (pages 19 et 20) l'impossibilité de placer des connexions équipotentielles

III) Voir schéma induit 22 encoches 22 lames 4 pôles

On désire placer des connexions équipotentielles, 1 toutes les 2 lames

### **TRAVAIL DEMANDE**

- 1) Calcul du pas des connexions équipotentielles
- 2) Cycles des connexions équipotentielles
- 3) Vérifier (pages 31-32) le respect de la règle

IV) Voir schéma induit 4 pôles 16 encoches 16 lames Enroulement imbriqué double

On désire placer des connexions équipotentielles, 1 toutes les 2 lames

### **TRAVAIL DEMANDE**

- 1) Calcul du pas des connexions équipotentielles
- 2) Cycles des connexions équipotentielles
- 3) Vérifier (page 36) le respect de la règle

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

1) Voir schéma induit 4 pôles 24 encoches 24 lames enroulement imbriqué triple

On désire placer des connexions équipotentielles 1 toutes les 3 lames

## TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calcul du pas des connexions équipotentielles
- 2) Cycles des connexions équipotentielles
- 3) Vérifier (page 46) le respect de la règle

## CORRIGE DES APPLICATIONS

1) Induit 16 encoches – 16 lames – 4 pôles

- Pas des connexions équipotentielles :  $Y_e = \frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$
- Cycles des connexions équipotentielles
  - 1<sup>er</sup> cycle 1 – 9 ; 9 – 1
  - 2<sup>ème</sup> cycle 3 – 11 ; 11 – 3
  - 3<sup>ème</sup> cycle 5 – 13 ; 13 – 5
  - 4<sup>ème</sup> cycle 7 – 15 ; 15 – 7

## NOTA

Il y a 4 cycles. Pour chaque cycle les connexions équipotentielles court circuitent des lames au même potentiel (voir graphique des tensions).

- Placement des connexions équipotentielles

## INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

### 2) Induit 15 encoches – 15 lames – 4 pôles

Dans ce cas, il n'y a pas de connexions équipotentielles, le nombre d'encoches par paires de pôles n'étant pas un nombre entier.

On constate également que le graphique des tensions est dissymétrique.

### 3) Induit 22 lames – 22 encoches – 4 pôles

– Pas des connexions équipotentielles :  $Y_e = \frac{K}{p} = \frac{22}{2} = 11$

– Cycles des connexions équipotentielles

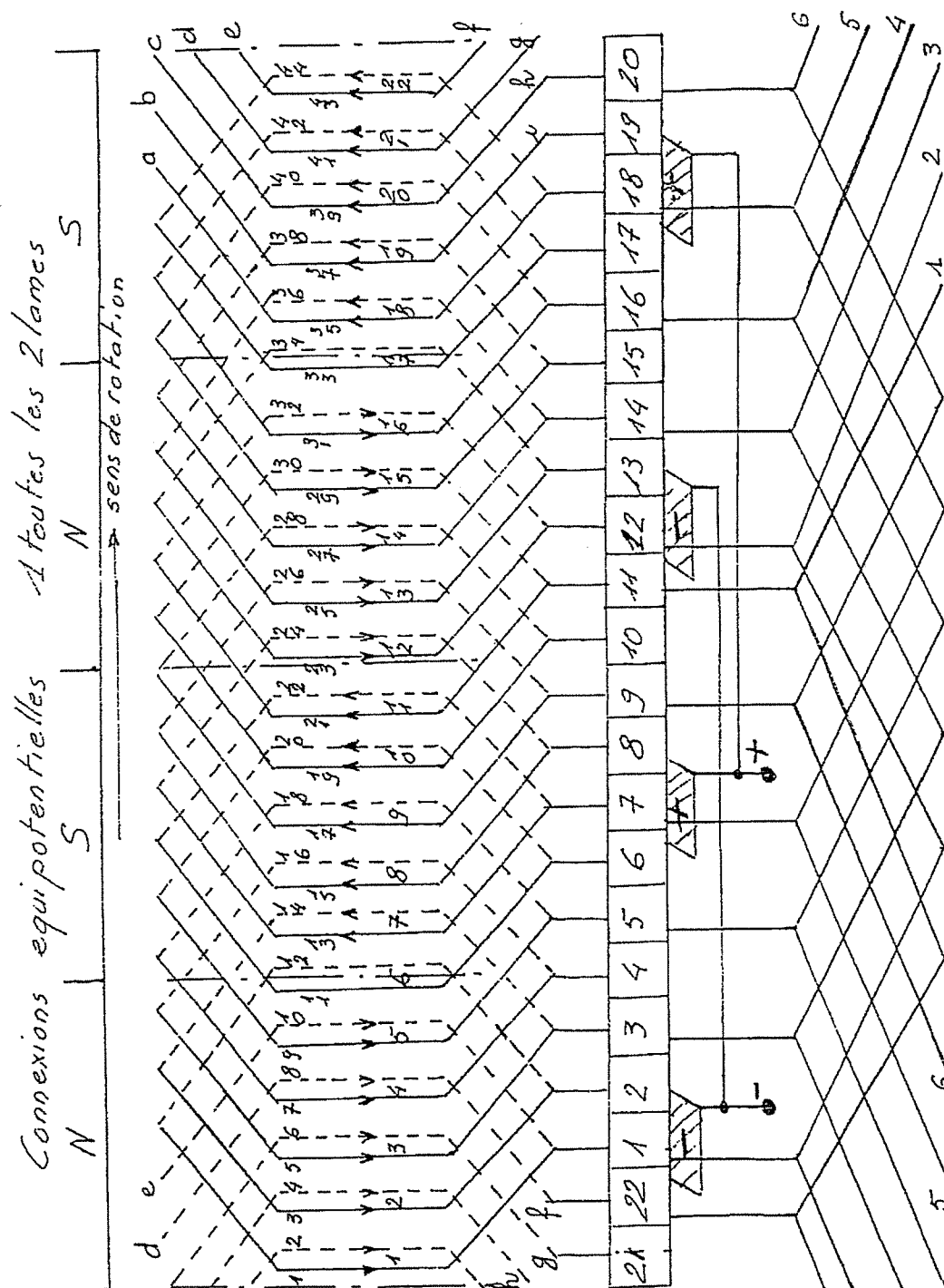
- 1<sup>er</sup> cycle    1 – 12 ; 12 – 1
- 2<sup>ème</sup> cycle    3 – 14 ; 14 – 3
- 3<sup>ème</sup> cycle    5 – 16 ; 16 – 5
- 4<sup>ème</sup> cycle    7 – 18 ; 18 – 7
- 5<sup>ème</sup> cycle    9 – 20 ; 20 – 9
- 6<sup>ème</sup> cycle    11 – 21 ; 21 – 11

### NOTA

Il y a 6 cycles. Les connexions équipotentielles court circuitent des lames de collecteur théoriquement au même potentiel



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU



Induit de moteur à courant continu 4 pôles – 22 encoches – Enroulement imbriqué simple

**Nota :** Calculs de l'enroulement, schéma numérique, graphique des tensions, calculs et cycles des équipotentielles

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## 4) Induit 16 encoches – 16 lames – 4 pôles

- Pas des connexions équipotentielle :  $Y_c = \frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$
- Cycles des connexions équipotentielle
  - 1<sup>er</sup> cycle    1 – 9 ; 9 – 1
  - 2<sup>ème</sup> cycle   3 – 11 ; 11 – 3
  - 3<sup>ème</sup> cycle   5 – 13 ; 13 – 5
  - 4<sup>ème</sup> cycle   7 – 15 ; 15 – 7

### NOTA

Il y a 4 cycles. Pour chaque cycle, les connexions équipotentielles court-circuitent des lames de collecteur théoriquement au même potentiel.

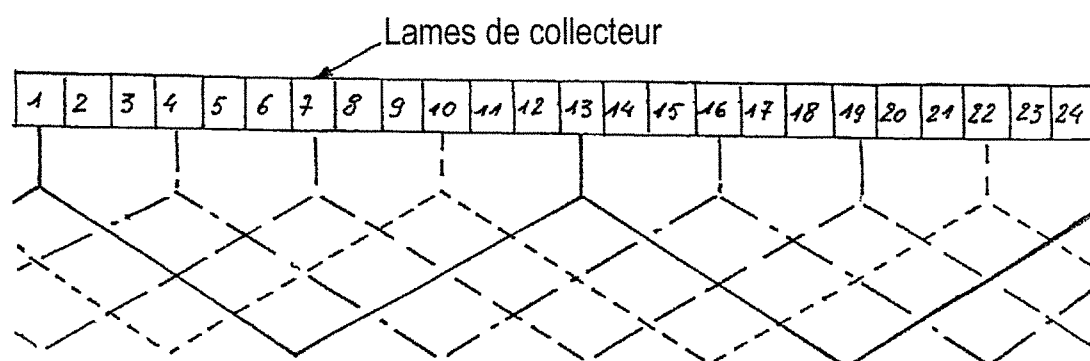
## 5) Induit 24 encoches – 24 lames – 4 pôles

- Pas des connexions équipotentielles  $Y_e = \frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$
- Cycles des connexions équipotentielles
  - 1<sup>er</sup> cycle    1 – 13 ; 13 – 1
  - 2<sup>ème</sup> cycle   4 – 16 ; 16 – 4
  - 3<sup>ème</sup> cycle   7 – 19 ; 19 – 7
  - 4<sup>ème</sup> cycle   10 – 22 ; 22 – 10

### NOTA

Il y a 4 cycles. Pour chaque cycle, les connexions équipotentielles court-circuitent des lames de collecteur théoriquement au même potentiel

- Placement des connexions équipotentielles



# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## RECHERCHE DE SCHEMA

### PROBLEME

- Vous devez réaliser le bobinage de l'induit d'un moteur à 8 pôles, le tambour d'induit porte 32 encoches, le collecteur 96 lames, l'enroulement est imbriqué double progressif. On place des connexions équipotentiellles ; 1 toutes les 3 lames.

### TRAVAIL DEMANDE

- 1) Calculs de l'enroulement induit
- 2) Représentation partielle de l'induit
- 3) Calcul du pas des connexions équipotentiellles
- 4) Cycles des connexions équipotentiellles

#### 1) Calculs de l'enroulement

- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 96 \times 2 = 192$
- Pas arrière  $Y_1 = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{192}{2 \times 4} + 1 = 25$
- Pas avant  $Y_2 = Y_1 - Y = 25 - 4 = 21$
- Pas au collecteur  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{4}{2} = 2$
- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{32}{2 \times 4} = 4$

#### 3) Pas des connexions équipotentiellles

- $Y_e = \frac{K}{p} = \frac{96}{4} = 24$

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

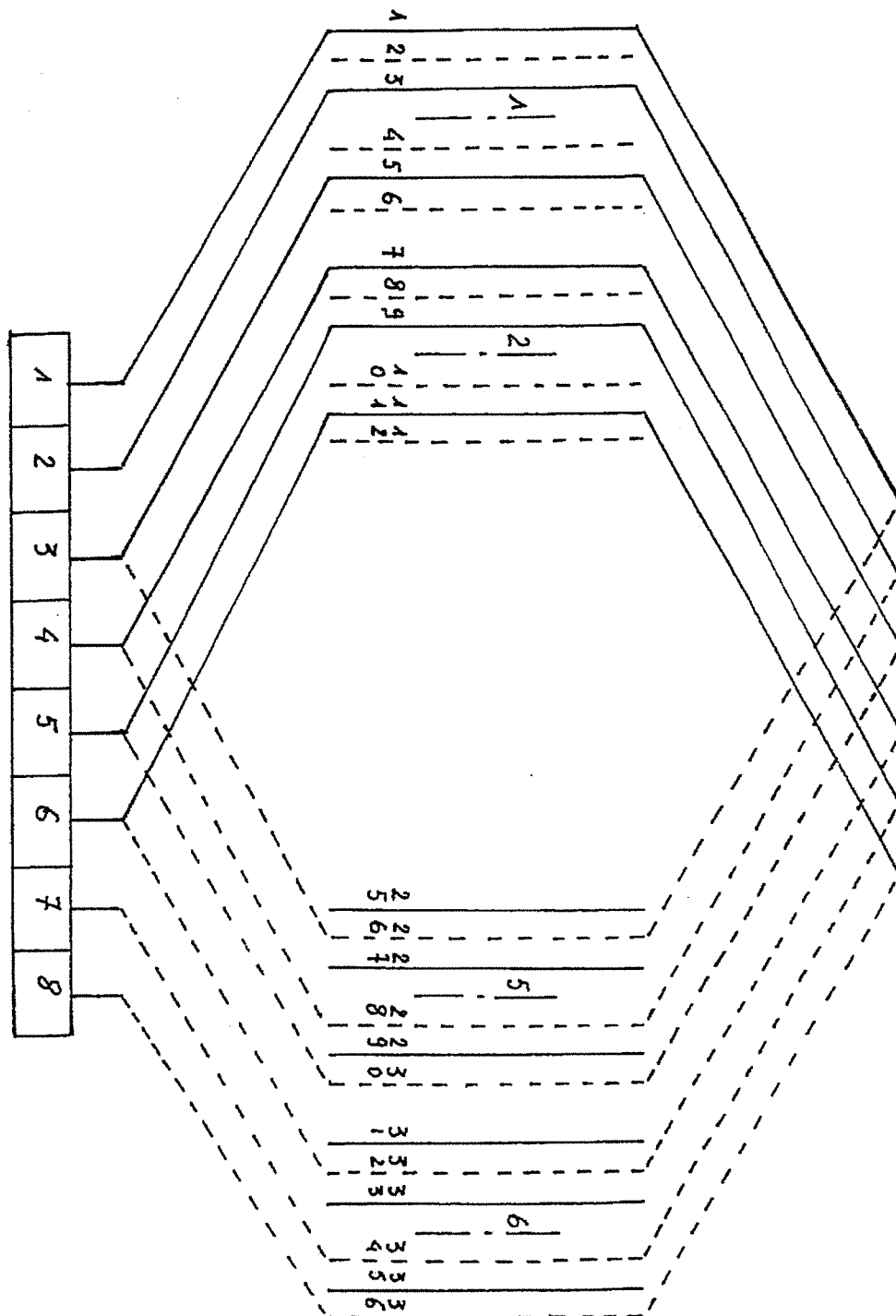
## 4) Cycles des connexions équipotentiels

- |  |  |
|--|--|
| - 1 <sup>er</sup> cycle 1-25 ; 25-49 ; 49-73 ; 73-1    | - 5 <sup>ème</sup> cycle 13-37 ; 37-61 ; 61-85 ; 85-13 |
| - 2 <sup>ème</sup> cycle 4-28 ; 28-52 ; 52-76 ; 76-4   | - 6 <sup>ème</sup> cycle 16-40 ; 40-64 ; 64-88 ; 88-16 |
| - 3 <sup>ème</sup> cycle 7-31 ; 31-55 ; 55-79 ; 79-7   | - 7 <sup>ème</sup> cycle 19-43 ; 43-67 ; 67-91 ; 91-19 |
| - 4 <sup>ème</sup> cycle 10-34 ; 34-58 ; 58-82 ; 82-10 | - 8 <sup>ème</sup> cycle 22-46 ; 46-70 ; 70-94 ; 94-22 |

### NOTA

- Il y a 8 cycles.
- Par cycle, 4 connexions équipotentiels qui court circuitent des lames de collecteur théoriquement au même potentiel.

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU



Représentation partielle :

Induit de moteur 8 pôles – 32 encoches – 96 lames enroulement imbriqué double progressif

**Nota :** Il y a 6 faisceaux pas encoche

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## DECALAGE DE LA MISE AU COLLECTEUR

Certains moteurs ou générateurs destinés à des affectations spéciales bien définies ont des porte-balais fixés collés sur l'axe des pôles. Si on veut obtenir une bonne commutation de ces machines, il est nécessaire de décaler dans un sens approprié d'une ou plusieurs lames, la mise au collecteur du bobinage.

### NOTA

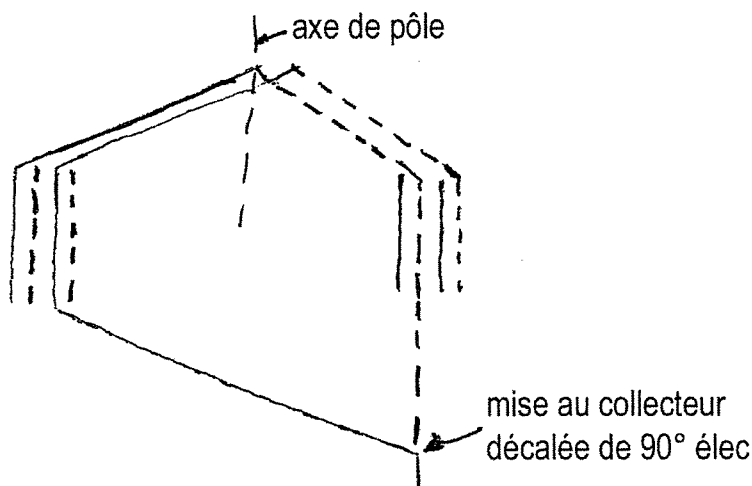
En cas de réparation d'un tel induit, il faut tenir compte de ce décalage lors du relevé de schéma avant le démontage. Il faut absolument repérer la mise au collecteur et respecter impérativement la mise au collecteur initiale lors de rebobinage.

#### ↳ Cause du décalage

Pour des raisons d'accessibilité aux balais et de simplification, on dispose les balais de certaines machines à  $90^\circ$  électriques de l'axe des pôles. Ils sont dans ce cas placés sur la ligne neutre.

Ce dispositif entraîne une mise au collecteur décalée de  $90^\circ$  également.

#### ↳ Exemple



### NOTA

Ce décalage s'effectue dans le cas d'enroulement imbriqué simple.

Application : induit 4 pôles 24 encoches 48 lames, imbriqué simple progressif

Machine à courant continu induits spéciaux

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT ONDULE

L'enroulement ondulé est généralement utilisé pour les machines de petite puissance ; il n'est utilisé que pour les machines multipolaires. Il est dit enroulement en tension

### Types d'enroulement ondulé

#### ↳ a) Ondulé série simple

Un enroulement est dit ondulé série simple lorsque le nombre de voies d'enroulement est égal à 2 quel que soit le nombre de pôles on a  $2a = 2$

N'ayant que 2 voies d'enroulement on peut théoriquement réduire à 2 le nombre de lignes de balais. Mais dans la pratique on place autant de lignes de balais qu'il y a de pôles.

#### ↳ b) Ondulé série parallèle

L'utilisation de ce type d'enroulement est peu fréquente. Dans ce cas, on a un nombre de voies d'enroulement différent du nombre de pôles  $2a < 2p$

Il faut que  $\frac{K}{a}, \frac{P}{a}, \frac{N}{a}$  soient des nombres entiers  $Y_1$  et  $Y_2$  doivent être impairs, ils peuvent être égaux ou inégaux.

### Remarque

#### a) Enroulement imbriqué :

- Enroulement imbriqué simple  $2a = 2p$
- Enroulement imbriqué double  $a = 2p$
- Enroulement en **quantité** (en intensité)

#### b) Enroulement ondulé série simple $2a = 2$

- Enroulement en **tension**

#### c) Enroulement ondulé série parallèle $2a < 2p$ mais $2a > 2$

- C'est la combinaison des deux précédents

### NOTA

Voir tirage calcul caractéristiques machine suivant le type d'enroulement de l'induit

# INDUITS DE MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT ONDULE SERIE SIMPLE

On a deux voies d'enroulement donc par voie 60 conducteurs en série et deux voies en parallèle

### Calculs

- $Fem = E = Nn \varnothing \frac{P}{a}$   
 $= 120 \times 20 \times 0,1 \times \frac{3}{1} = \underline{720 \text{ Volts}}$
- Intensité débitée  $\rightarrow I = I_{\text{voie}} \times 2 = 20 \times 2 = 40 \text{ Ampères}$
- Puissance électrique totale =  $EI \rightarrow \underline{720 \times 40 = 28800 \text{ watt}}$

## ENROULEMENT ONDULE SERIE PARALLELE

On a 4 voies d'enroulement donc par voie 30 conducteurs en série et 4 circuits en parallèle

### Calculs

- $fem = E = Nn \varnothing \frac{P}{a}$   
 $= 120 \times 20 \times 0,1 \times \frac{3}{2} = 360 \text{ Volts}$
- Intensité débitée  
 $I = I_{\text{voie}} \times 4 = 20 \times 4 = 80 \text{ Ampères}$
- Puissance électrique totale  $EI \rightarrow \underline{360 \times 80 = 28\,800 \text{ watt}}$

### Conclusion

Le type d'enroulement de l'induit modifie les caractéristiques tension et intensité aux bornes de la machine mais la puissance reste toujours la même.



# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## COMPARAISON SUR LES CARACTERISTIQUES SUIVANT LES TYPES D'ENROULEMENT INDUIT

---

### CONSTITUTION GENERATRICE

Exemple :

Culasse 6 pôles. Flux par pôle 0,1Wb

- Induit 60 encoches 60 lames au collecteur
- 120 conducteurs actifs
- intensité par conducteur 20 ampères
- vitesse de rotation 20 tours par seconde

NOTA :

Ces valeurs restent constantes

### ENROULEMENT IMBRIQUE SIMPLE

On a 6 voies d'enroulement donc par voie 20 conducteurs en série et 6 circuits en parallèle

Calculs

- $Fem = E = Nn\varnothing \frac{P}{a} = 120 \times 20 \times 0,1 \times \frac{3}{3} = 240 \text{ Volts}$
- Intensité débitée
  - $I = I_{\text{voie}} \times 6 = 20 \times 6 = 120 \text{ ampères}$
- Puissance électrique totale
  - $EI = 120 \times 240 = 28\,800 \text{ Watts}$

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT IMBRIQUE DOUBLE

On a 12 voies d'enroulement donc par voie 10 conducteurs en série et 12 circuits en parallèle.

### Calculs

- $Fem = E = Nn\phi \frac{P}{a} = 120 \times 20 \times 0,1 \times \frac{3}{6} = 120 \text{ volts}$
- Intensité débitée :
  - $I = I_{\text{voie}} \times 12 = 20 \times 12 = 240 \text{ Ampères}$
- Puissance électrique totale :
  - $EI = 120 \times 240 = 28\,800 \text{ Watts}$

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT ONDULE : APPLICATIONS

---

### 1) ONDULE SERIE SIMPLE

Induit 19 encoches – 19 lames – 4 pôles

#### Calculs de l'enroulement

- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{19}{2 \times 2} = 4,75$
- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 19 \times 2 = 38$
- Pas résultant  $Y = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{38 \pm 2}{2}$  20 ou 18
- Avec  $Y = 18$  on  $Y_2 > Y_1$  donc  $Y_2 = 11$   $Y_1 = 9$

#### NOTA

- On choisit  $Y_1 = 9$  car il est proche du pas polaire
- Pas au collecteur :  $Y_c = \frac{Y}{2}$  ou  $\frac{K + 1}{2} = \frac{20}{2} = 10$

### 2) ONDULE SERIE PARALLELE

Induit 24 encoches – 24 lames – 6 pôles

#### Calculs enroulement

- Nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6$
- Nombre de faisceaux :  $F = K \times 2 = 24 \times 2 = 48$

## LES MACHINES A COURANT CONTINU

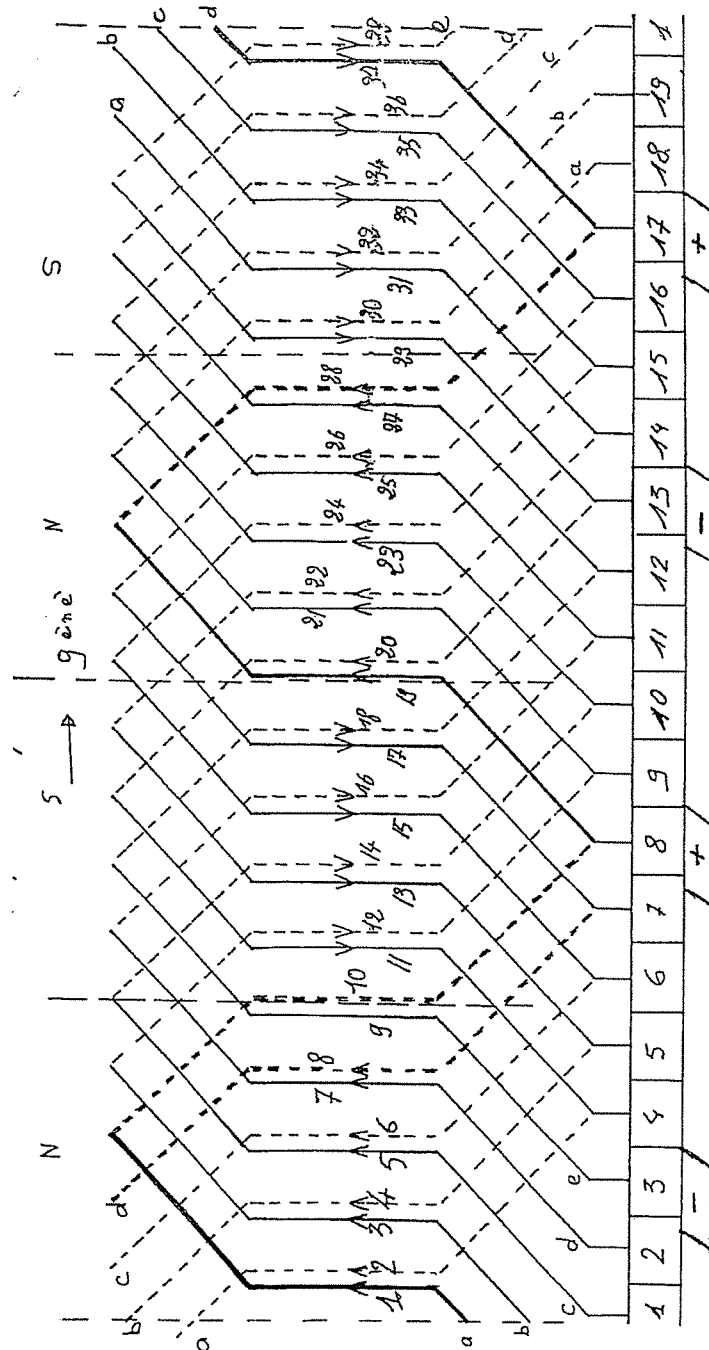
– Pas résultant :  $Y = \frac{F+2a}{p} = \frac{48+6}{3} = 18$

– D'où  $Y_1 = Y_2 = \frac{18}{2} = 9$

– Et  $Y_c = \frac{Y}{2} = \frac{18}{2} = 9$

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

Induit enroulement ondulé série simple 4 pôles – 19 encoches 19 sections – 2 faisceaux par encoches –  
19 encoches au collecteur



Pas

$$Y = \frac{F - 2}{2} = 18$$

$$Y_1 = 9 \quad Y_2 = 9$$

$$Y_c = \frac{K - 1}{2} = \frac{19 - 1}{2} = 9$$

Pas raccourci

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## INDUIT AVEC SECTION MORTE

---

### Préambule

- La multiplicité des types de machines électriques (P.U.I.) conduit les fabricants à rechercher dans un nombre limité de modèles d'induits, la possibilité de réaliser les bobinages les plus divers.
- On sait que suivant le mode de couplage des conducteurs de l'induit on obtient des tensions et des intensités différentes.
- Malgré ces possibilités, il arrive qu'en calculant le pas Y d'un enroulement ondulé on se rende compte que le bobinage n'est pas réalisable « Y étant impair »
- Cela se présente parfois lorsqu'il y a plus de deux faisceaux par encoche.
- Dans ce cas, on retranche une section (2 faisceaux) des calculs afin de rendre Y pair.
- La section retranchée des calculs est appelée « section morte »
- Elle est logée dans le circuit magnétique mais elle n'est pas reliée au collecteur

### Application

(à rechercher, voir pas rationnel)

### Disposition dans l'enroulement

Voir croquis

## **APPLICATION**

Induit 12 encoches ,24 sections, 48 faisceaux, 4 faisceaux par encoches, 4 pôles, 23 lames, enroulement ondulé série simple

### Calculs

$$\text{-- Pas résultant : } Y = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{48 \pm 2}{2} = 25 \text{ ou } 23$$

Y impair l'enroulement est impossible

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

En retranchant une section donc 2 faisceaux

– On a  $Y = \frac{46 \pm 2}{2} = 24$  ou 22 l'enroulement est possible

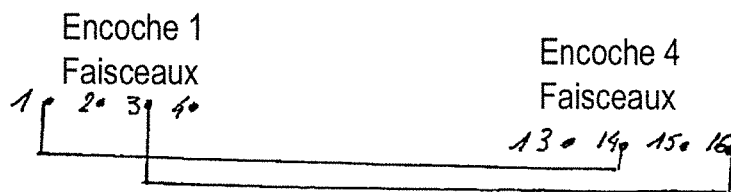
Avec  $Y = 24$  on a  $Y_1 = 13$   $Y_2 = 11$   $Y_c = 12$  pas allongé

Avec  $Y = 22$  on a  $Y_1 = 11$   $Y_2 = 11$   $Y_c = 11$  pas raccourci

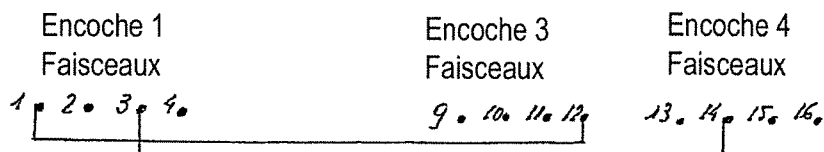
On a donc le choix

1) Pas allongé  $Y_1 = 13$

Choix



2) Pas raccourci  $Y_1 = 11$

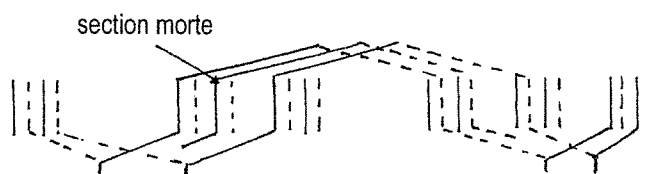


## NOTA

Ici avec le pas raccourci, on chevauche sur trois encoches ce n'est pas rationnel, on choisit donc le pas allongé

↳ Placement section morte

On place la section morte n'importe où « disposition dans un bobinage »



# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT AVEC SPIRE DE FERMETURE

---

### NOTA

- Ce procédé est rarement utilisé car il faut pouvoir loger la section supplémentaire dans deux encoches. Ce qui est pratiquement impossible compte tenu du remplissage des encoches.
- C'est une autre solution qui permet de rendre réalisable un enroulement ondulé.
- Pour rendre Y pair on ajoute une spire (2 faisceaux)
- Cette section supplémentaire s'ajoute dans deux encoches aux faisceaux déjà en place.
- La section du conducteur est la même que celle des autres.
- Cette section supplémentaire se relie au collecteur

### EXEMPLE D'APPLICATION

Induit 12 encoches 24 sections 48 faisceaux 4 pôles 25 lames au collecteur + 1 spire de fermeture = 50 faisceaux

#### Ondulé série simple

#### ↳ Calculs des pas

Avec 50 faisceaux actifs

- Pas résultants  $Y = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{50 \pm 2}{2} = 26 \text{ ou } 24$
- Pas  $Y_1 = Y_2$  avec  $Y = 26$  d'où  $Y_1 = 13$   $Y_2 = 13$   $Y_c = 13$  solution adoptée
- Pas  $Y_1 > Y_2$  avec  $Y = 24$  d'où  $Y_1 = 13$  et  $Y_2 = 11$  et  $Y_c = 12$  réalisable



# LES MACHINES A COURANT CONTINU

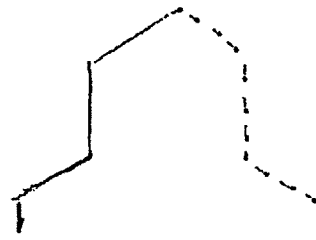
## INDUIT A SECTIONS GABARIEES

Rappel : 2 types d'enroulement

imbriqué



ondulé



### ATTENTION

- En imbriqué : possibilité de décalage de la mise au collecteur.
- On compte :
  - le nombre d'encoches
  - le nombre de la lame au collecteur
  - le pas aux encoches
- La polarité est égale au :  $\frac{\text{nombre d'encoches}}{\text{pas aux encoches}}$

Le nombre de lames nous donne le nombre des faisceaux  $F = K \times 2$  (F faisceau, K lames) ce qui permet de déterminer le nombre de faisceaux entre eux.

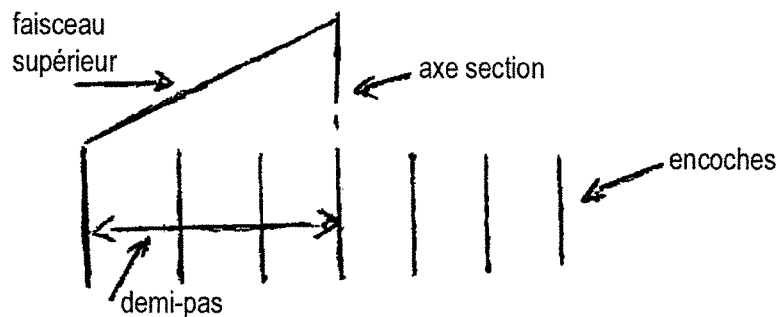
# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## Relevé en roulement imbriqué

### NOTA

- L'enroulement peut être progressif ou rétrograde, il peut être : Imbriqué, simple ou double
- Pour vérifier la mise au collecteur, il faut découpler la mise au collecteur de quelques faisceaux supérieurs et vérifier la continuité à l'ohmètre à pile ou à lampe témoin.

## Relevé du pas aux encoches



### ↳ Exemple

- Ici le demi pas = 3

- LE PAS AUX ENCOCHES =  $3 \times 2 = 6$  DONC DE 1 A 7

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT INDUIT DE MACHINE A COURANT CONTINU

### INDUIT A SECTIONS GABARIEES

#### Enroulement ondulé

- On compte :
  - Le nombre d'encoches
  - Le nombre de lames
  - Le pas aux encoches
- La polarité est égale au :  $\frac{\text{nombre d'encoches}}{\text{pas aux encoches}}$

#### NOTA

##### Relevé pas aux encoches

le nombre de lames nous donne le nombre de faisceaux ce qui permet de déterminer le nombre de faisceau par encoche.

##### Remarque

Généralement, l'enroulement est ondulé série simple, mais il peut y avoir une section morte éventuellement, l'enroulement peut être ondulé série parallèle.

Pour vérifier le pas au collecteur, on découple quelques faisceaux supérieurs et on vérifie la continuité donc le pas à l'ohmètre à pile ou la lampe témoin.

#### IMPORTANT

Tout relevé de schéma d'induit implique une représentation partielle.

#### CAS PARTICULIER

Les induits bobinés à la main pour ce cas particuliers (voir induits spéciaux).

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## REPRESENTATION INDUSTRIELLE DES SCHEMAS « INDUIT » DE MACHINE A COURANT CONTINU

### NOTA

La liaison entre les faisceaux donc les liaisons au collecteur étant toujours réalisée au même pas ; les pas entre les faisceaux étant toujours identiques pour un induit donné, il n'est pas nécessaire de représenter la totalité de l'enroulement.

### Documents

Pour réaliser le bobinage d'un induit il faut disposer :

- 1) Du plan de section qui indique :
  - le pas aux encoches
  - le pas aux collecteurs
- 2) Le plan de bobinage
- 3) Le plan d'encoches
- 4) Le pas des spires équipotentielles et l'écart entre deux connexions

### Remarque

L'encoche de départ et la lame de départ sont repérées.

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT DES INDUITS, DES PETITS INDUITS, DES PETITS MOTEURS

---

- Le bobinage industriel des petits induits se fait soit à la machine à bobiner, soit au moyen de bobines gabariées, soit à fils passés.
- Quand il s'agit d'un rebobinage, celui-ci s'effectue souvent en utilisant l'enroulement à boucles.

### Remarque

Ces induits sont ceux des moteurs série universel, ceux de petites machines à courant continu.

L'enroulement des induits bipolaires se fait généralement avec un pas raccourci, dit « pas à corde » qui évite de cintrer les têtes de bobines autour de l'arbre. Ce procédé diminue sensiblement le volume des têtes de bobines.

En utilisant le pas à corde, on réduit celui de la section de 20% du pas normal.

### ↳ Exemple

Induit bipolaire 24 encoches, on a un pas polaire

- aux encoches de  $\frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 1} = 12$  soit de 1 à 13
- avec un pas à corde on a un pas de  $0,80 \times 12 = 9,6$  soit 10 donc de 1 à 11

### Procédés d'enroulement des petits induits

- Enroulement à boucles à deux faisceaux par encoche
- Enroulement à boucles à plusieurs sections par encoche
- Enroulement avec plusieurs fils en main
- Enroulement à boucles à pas divisé
- Enroulement à boucles avec bobines en V
- Enroulement avec bobines parallèles

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT A BOUCLES A DEUX FAISCEAUX PAR ENCOCHE

- Ce bobinage a l'inconvénient de former des bobines de dimensions inégales qui déséquilibrent l'induit, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique (la résistance ohmique variant de l'une à l'autre).
- Malgré ces dissymétries, cet enroulement est couramment réalisé en adoptant la progression à « main droite » ou à « main gauche »

### Remarque

- Avant de réaliser le bobinage on isole les faces latérales du tambour d'induit (les extrémités du CM).
- On isole également l'arbre sur toute la partie qui peut entrer en contact avec les têtes de bobines.
- Les encoches étant isolées on débute le bobinage.

### NOTA

- L'enroulement à boucles s'effectue avec le procédé du fil passé par la fente. (en utilisant une bobine de fil de cuivre émaillé)
- Le bobinage se réalise entièrement sans couper le fil ; on boucle simplement les extrémités des sections sur une longueur suffisante pour permettre la connexion au collecteur.
- Au cours du bobinage, il est recommandé d'isoler les parties frontales en glissant un isolant entre chaque tête de bobine, afin d'éviter un court-circuit entre sections (fonction isolant conducteur).

### ↳ Exemple

Induit bipolaire 12 encoches – 12 lames

### Calcul

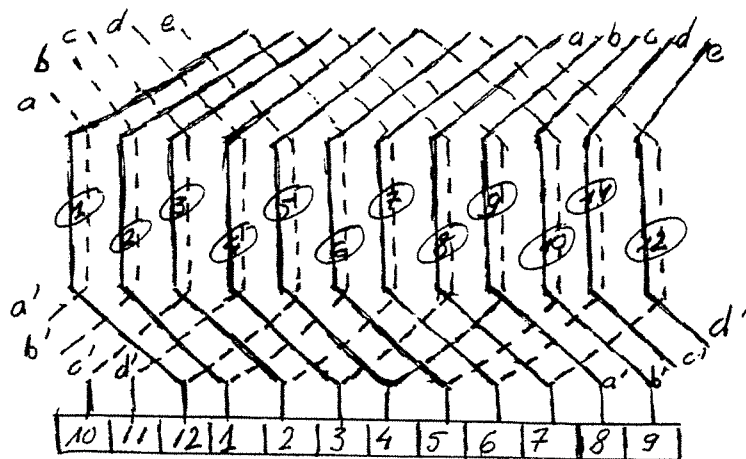
- Pas polaire aux encoches :  $Y_p = \frac{N}{2p} = \frac{12}{2 \times 1} = 6$
- En utilisant le pas dit « à corde » environ 80% du pas polaire on a  $Y_r$  (pas réel) =  
 $Y_p \times \frac{80}{100} = 6 \times 0,8 = 4,8$  soit 5 d'où 1 à 6
- Après avoir placé la moitié des conducteurs dans l'encoche on reprend l'encoche suivante,  
...

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## Schéma numérique

AUX ENCOCHES (E)		AUX FAISCEAUX (F)		CONNEXION AUX LAMES
E	F	E	F	Liaisons aux lames
				Lames
1	1 $\swarrow$ E	6	12	12 - 3 $\rightarrow$ 1
2	3	7	14	14 - 5 $\rightarrow$ 2
3	5	8	16	16 - 7 $\rightarrow$ 3
4	7	9	18	18 - 9 $\rightarrow$ 4
5	9	10	20	20 - 11 $\rightarrow$ 5
6	11	11	22	22 - 13 $\rightarrow$ 6
7	13	12	24	24 - 15 $\rightarrow$ 7
8	15	1	2	2 - 17 $\rightarrow$ 8
9	17	2	4	4 - 19 $\rightarrow$ 9
10	19	3	6	6 - 21 $\rightarrow$ 10
11	21	4	8	8 - 23 $\rightarrow$ 11
12	23	5	10 $\swarrow$ S	10 - 1 $\rightarrow$ 12
1	1 $\downarrow$ E		10 $\searrow$ S	

## Schéma panoramique



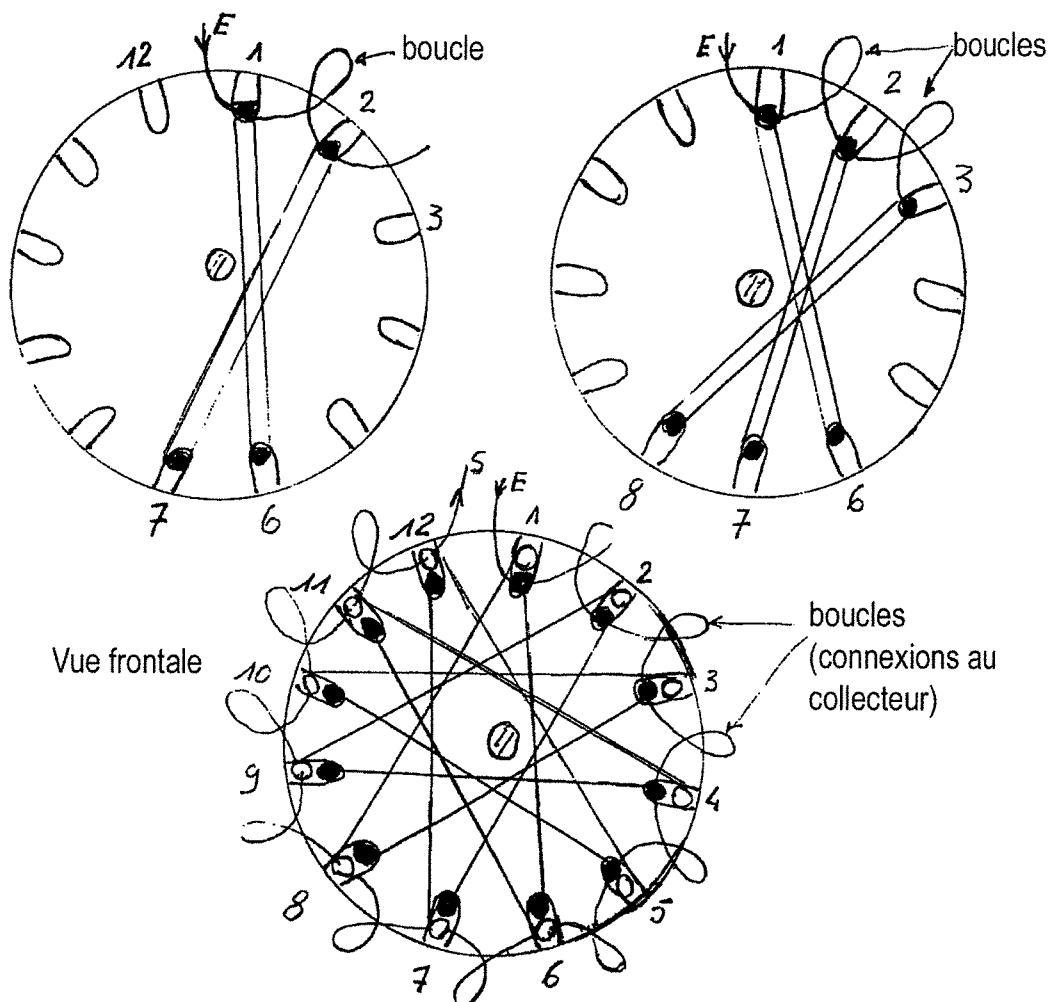
# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ENROULEMENT DES PETITS INDUITS

### Enroulement à boucles à 2 faisceaux par encoche

Induit 2 pôles 12 encoches 12 lames au collecteur

(voir calculs page précédente)



### Remarque

Dans la plupart des bobinages des petits induits, on doit prévoir un amarrage de la dernière ou des deux dernières bobines au moyen d'une ficelle.

L'amarrage se fait en plaçant la ficelle sous les têtes de bobines précédentes, puis quand la dernière est en place, on attache fortement les bobines ensemble.

Côté collecteur on fait une frette en ficelle du circuit magnétique au collecteur.



# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## Enroulement à boucles à plusieurs sections par encoche

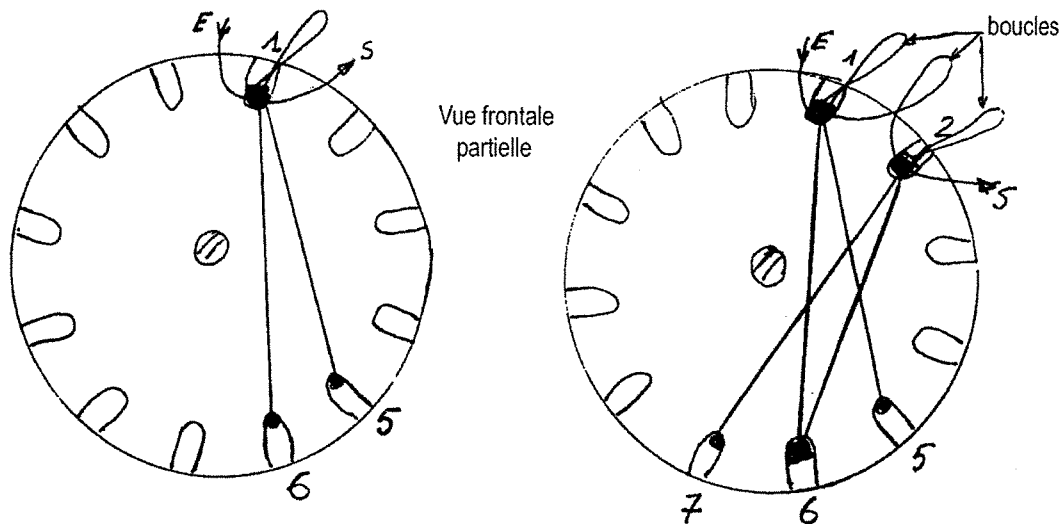
- Ce bobinage s'exécute comme s'il s'agissait d'un enroulement normal à boucles en divisant les spires contenues dans l'encoche, de façon à réaliser deux, trois ou quatre sections.
- Après avoir placé les spires d'une première section, on exécute une boucle, puis on continue à remplir la même encoche avec une deuxième section dont on boucle la sortie.
- Cette sortie constituera l'entrée d'une troisième section s'il y a trois sections par encoche sinon la boucle servira de liaison avec les conducteurs de la rainure suivante,...
- Dans ces induits, le nombre de lames au collecteur est un multiple du nombre d'encoches, le nombre de lames est généralement égal au nombre de sections.

### ↳ Exemple

Enroulement bipolaire d'un induit 12 encoches, 24 lames bobinage à boucles, à pas divisé

- Pas d'encoche normal :  $\frac{12}{2} = 6$
- Avec un pas à corde  $0,8 \times 6 = 4,8$

Soit de 1 à 5 pour la petite section, de 1 à 6 pour la plus grande boucle.



### NOTA

On débute par l'encoche 1 qui reçoit en premier lieu la moitié des conducteurs qui lui sont destinés, tandis que les encoches 5 et 6 n'en reçoivent qu'un quart. On boucle la sortie 5 et on continue par l'encoche 2 et ainsi de suite.

## LES MACHINES A COURANT CONTINU

### Enroulement avec plusieurs fils en main

- Pour exécuter ce bobinage, on installe sur une barre de fer rond, deux, trois ou quatre bobines de fils, dont on réunit les extrémités pour former deux, trois ou quatre sections qui seront placées ensemble dans la même encoche.
- Ce procédé nécessite toutefois la suppression des boucles, afin de permettre le repérage des entrées et des sorties des sections.
- Pour cela, on coupe les fils à la sortie des encoches, afin de distinguer les extrémités de chaque section qui recevront une gaine teintée d'une couleur pour les entrées et d'une autre couleur pour les sorties.
- Lors de la mise au collecteur, on devra avoir recours à une lampe témoin ou à ohmmètre à pile pour vérifier la mise en série des sections de chaque encoche.

### **ATTENTION**

Le repérage des entrées et sorties de chaque section est très important. Il faut bien vérifier la bonne continuité du circuit lors de la mise au collecteur, attention aux inversions.

## LES MACHINES A COURANT CONTINU

### Enroulement à boucles avec bobines en V

- Cet enroulement s'emploie avantageusement lorsque la distance entre l'arbre et le fond des encoches est réduite. Les bobines se plaquent aisément sur les faces latérales du tambour d'induit (C.M.).
- Ce type d'enroulement facilite l'équilibrage de l'induit, il est donc recommandé lorsque les moyens d'équilibrer l'induit sont limités voir inexistants.
- On réalise le bobinage soit en coupant le fil après avoir placé chaque section, et en enfilant une gaine teintée différemment pour les entrées et les sorties, soit en bouclant le bobinage.
- Dans ce dernier cas, on glisse, sur le fil qui servira au bobinage, autant de gaines teintées différemment, qu'il y a d'entrées et de sorties de sections.
- A la fin de chaque section, on laisse dans la boucle deux gaines qui permettront de distinguer les entrées des sorties.
- Ce type d'enroulement peut être exécuté quel que soit le nombre d'encoches.

### **ATTENTION**

Lors de la mise au collecteur, il faut vérifier la lampe témoin ou à l'ohmmètre à pile la bonne continuité de l'enroulement, attention également aux inversions.

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## ↳ Exemple

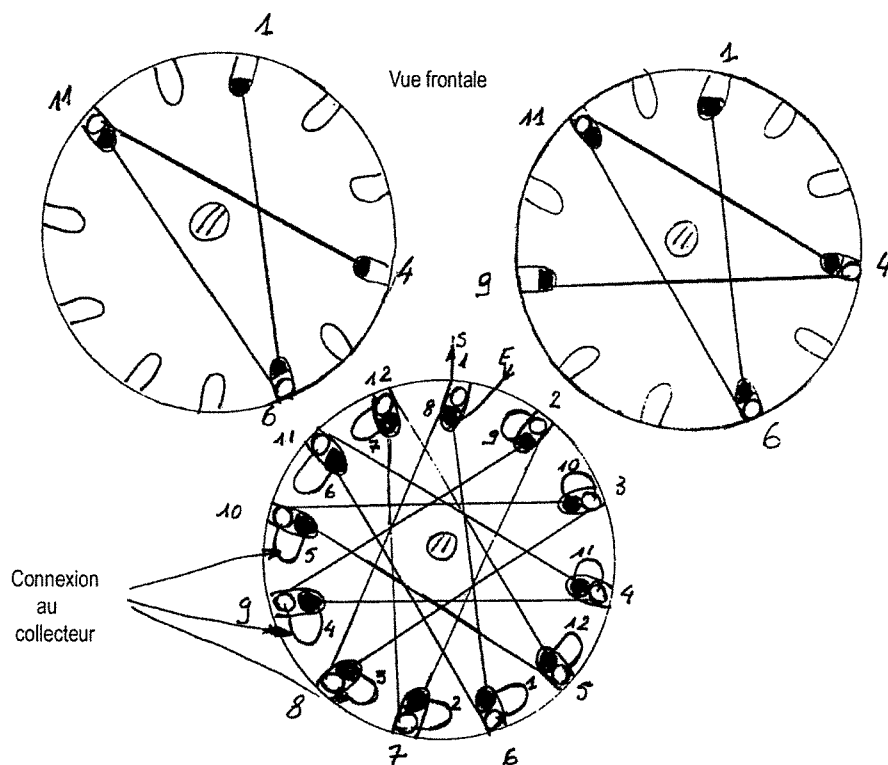
Bobinage d'un induit bipolaire 12 encoches 12 lames

### Enroulement à boucles avec bobines en V

bobinage à la main en V

### Calcul :

- pas normal aux encoches  $Y_p = \frac{N}{2p} = \frac{12}{2 \times 1} = 6$
- On utilise le « pas à corde » d'où  $Y_r = Y_p \times \frac{80}{100} = 6 \times 0,8 = 4,8$  soit 5 donc 1 à 6



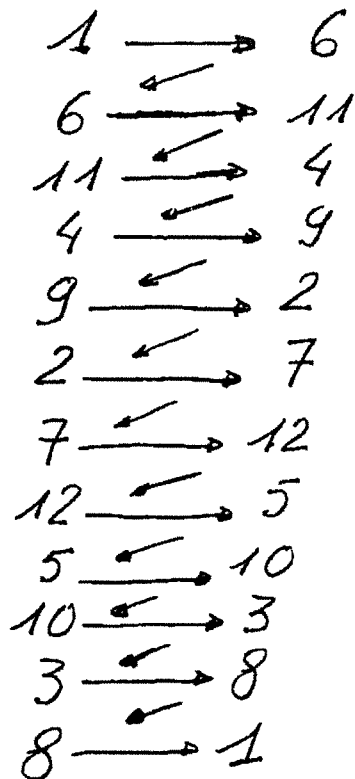
### NOTA

En débutant par les encoches 1 et 6, on place la moitié des conducteurs dans l'encoches 1, et on continue le remplissage de l'encoche 6 en repartant à l'encoche 11. Etc.

Application (voir schéma numérique et équivalent)

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## Schéma numérique aux encoches



### NOTA

- Ce schéma indique clairement l'ordre de bobinage de l'enroulement de l'induit.
- Il est impératif de repérer les entrées et sorties de sections pour la mise au collecteur.
- Le pas est un pas à corde ; il est donc raccourci.
- Ce pas à corde est généralement utilisé pour le bobinage des induits à la main.

### Application

Induit 15 encoches, 30 lames, 2 pôles bobinage en V pas de 7

Schéma numérique aux encoches → à rechercher

### Remarque

On constate sur le document que la mise au collecteur est décalée

# LES MACHINES A COURANT CONTINU

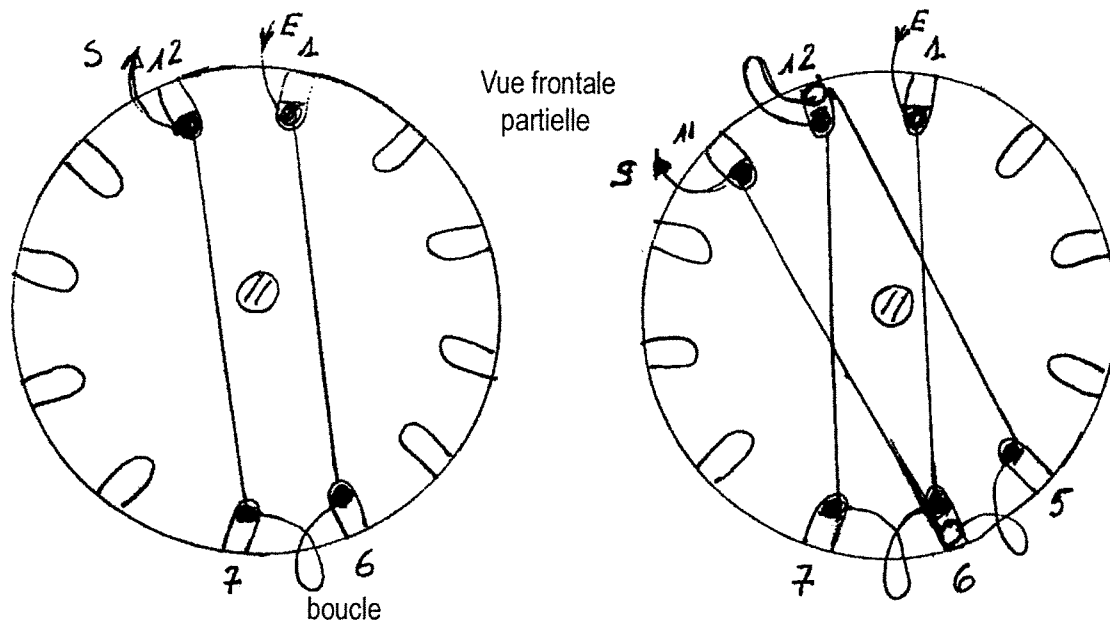
## Enroulement à bobines parallèles

- Les bobines disposées parallèlement deux à deux sur les faces de l'induit, donnent un bon équilibrage mécanique.
- La résistance ohmique entre bobines est également mieux partagée que dans les précédents modes d'enroulement, où chaque bobine a une longueur différente de celle de sa voisine. En effet, avec l'enroulement à bobines parallèles deux à deux, on a deux groupes identiques qui possèdent la même longueur de fil.
- Le bobinage de ces induits se fait avec ou sans boucles.
- Dans ce dernier cas, on coupe le fil après la mise en place de chaque section, et on glisse deux gaines teintées différemment aux extrémités libres, pour marquer l'entrée et la sortie.

### ↳ Exemple

Enroulement bipolaire à bobines parallèles d'un induit bipolaire 12 encoches

Bobinage au pas de corde  $Y = 5$  donc de 1 à 6 (aux encoches)



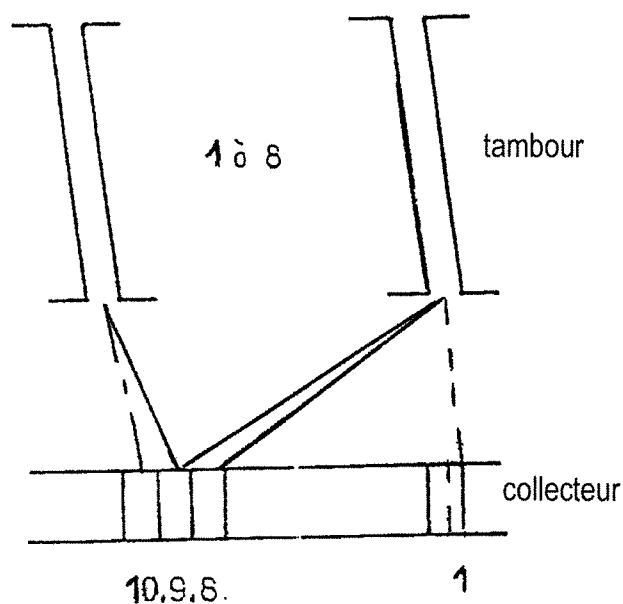
# LES MACHINES A COURANT CONTINU

## DOCUMENTATION

---

### Bobinage d'un induit de moteur RAGONOT MC4

Conformément aux indications du schéma ci-dessous



Bobinage en V

Spire par section : 13

Fils par spire : 2

Diamètre du fil : 71/100

Isolation masse Mylar ou

Fermeture encoche : cale Bakalisée

Les bobines sont immobilisées par un fil fouet :

- Côté collecteur, par une frette
- Côté pignon, par amarrage sur l'arbre

Les soudures au collecteur ne seront pas limées.