

LES APPAREILS DE CALCULS
ET DE SYNCHRO TRANSMISSION

LE CALCUL ELECTROMECHANIQUE

LES LIAISONS SYNCHROS

LES APPAREILS DE CALCUL

INTRODUCTION A L'ETUDE DES CHAINES DE CALCUL



SOMMAIRE

CHAPITRE 1

LE CALCUL ELECTROMECHANIQUE

1.1 - INTRODUCTION	1
1.2 - PRINCIPES GENERAUX APPLICABLES AUX CALCULATEURS ANALOGIQUES A COURANT PORTEUR BF DE LA MARINE	2
1.3 - FORME ET REPRESENTATION DES GRANDEURS	3
1.3.1 - Rotation d'arbre	3
1.3.2 - Tension de calcul	5
1.3.3 - Tensions synchros	6
1.4 - CHANGEMENT DE FORME DE REPRESENTATION DES GRANDEURS	6

CHAPITRE 2

LES LIAISONS SYNCHROS

2.1 - GENERALITES	9
2.1.1 - Les liaisons synchros simples	9
2.1.2 - Les liaisons différentielles	10
2.1.3 - Différentes liaisons possibles	10
2.2 - PRESENTATION DES APPAREILS SYNCHROS	11
2.2.1 - Appareils non différentiels	12
2.2.2 - Appareils différentiels	13
2.3 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES APPAREILS	14
2.3.1 - Le transmetteur	14
2.3.2 - Le récepteur de téléaffichage	19
2.3.3 - Le synchro détecteur	22
2.3.4 - Le transmetteur différentiel	26
2.4 - BORNAGE DES APPAREILS SYNCHROS ET CONVENTIONS DE BASE	31
2.4.1 - Zéro électrique et bornage interne	31
2.4.2 - Sens de rotation positif et conventions de base	32

2.5 - LES LIAISONS SYNCHROS	32
2.5.1 - La liaison simple de téléaffichage	32
2.5.1.1 - Remplacement du transmetteur par un "champ fixe"	34
2.5.2 - Les liaisons différentielles de téléaffichage	35
2.5.3 - Liaison simple de synchro détection	36
2.5.4 - Les liaisons différentielles de synchro détection	38
2.5.5 - Liaisons dégrossissage - précision	39
2.5.6 - Alimentation des liaisons synchros	40
2.5.7 - Repérage des appareils synchros	41
2.5.8 - Caractéristiques électriques des appareils synchros	43
2.5.9 - Tableau des appareils utilisés sur les bâtiments	45
2.6 - ZERO ELECTRIQUE DES APPAREILS SYNCHROS	45
2.6.1 - Mise en accord des liaisons	45
2.6.2 - Mise à la position "Zéro électrique" des appareils	46
2.6.3 - Sens de rotation des synchros	49
2.6.4 - Avarie des liaisons synchros	49

CHAPITRE 3

LES APPAREILS DE CALCUL

3.0 - GENERALITES	53
3.1 - CONDITIONS DE BON FONCTIONNEMENT DES APPAREILS DE CALCUL	54
3.2 - LES POTENTIOMETRES RESISTIFS	55
3.2.1 - Potentiomètres de réglage	56
3.2.2 - Potentiomètres de calcul	56
3.2.3 - Montages particuliers	58
3.2.4 - Décalage d'échelle	60
3.2.5 - Résistance interne	61
3.2.6 - Montage utilisé pour annuler le débit	61
3.3 - LES APPAREILS INDUCTIFS	62
3.3.1 - Transpot et ipot	62
3.3.1.1 - Constitution et schéma électrique	62
3.3.1.2 - Principe de fonctionnement	64
3.3.1.3 - Utilisation avec variable α de signe constant	65
3.3.1.4 - Utilisation lorsque la variable α peut changer de signe	67

3.3.1.5 - Utilisation de la partie négative	68
3.3.1.6 - Alimentation-tension et fréquence	69
3.3.1.7 - Caractéristiques	69
3.3.1.8 - Conventions de base pour l'utilisation et le branchement	70
3.3.1.9 - Zéro électrique de l'appareil	70
3.3.2 - Le linvar	71
3.3.2.1 - Rôle de l'appareil	71
3.3.2.2 - Alimentation	72
3.3.3 - Le variomètre	73
3.3.3.1 - Schéma électrique	73
3.3.3.2 - Principe de fonctionnement	74
3.3.4 - Le résolver type I	78
3.3.4.1 - Généralités	78
3.3.4.2 - Principe de fonctionnement	78
3.3.4.3 - Zéro électrique de l'appareil	79
3.3.4.4 - Utilisation diverses	79
3.3.4.5 - Inconvénients du résolver type I	85
3.3.4.6 - (Bornage et schéma électrique des appareils SADR.CARPEN- TIER et C.S.F utilisés dans la DLTS 4A.)	85
3.3.5 - Le résolver type II	86
3.3.5.1 - Schéma électrique de l'appareil	87
3.3.5.2 - Principe de fonctionnement	87
3.3.5.3 - Compléments sur le résolver type II	89
3.3.5.4 - Utilisation du résolver type II	91
3.3.5.5 - Matériel utilisant des résolveurs type II	95
3.3.5.6 - Codification des résolveurs SAGEM	95
3.3.5.7 - Bornage et schéma électrique des appareils SAGEM	96
3.3.5.8 - Caractéristiques des résolveurs SAGEM utilisés	98
3.4 - LES ADDITIONNEURS	99
3.4.1 - Additionneur à transformateurs	99
3.4.2 - Additionneurs à pont d'impédances	100
3.4.3 - Montages particuliers réalisant une addition	102
3.5 - LES CONDENSATEURS DE CALCUL (C.C)	103
3.5.1 - Généralités	103

3.5.1.1 - Description	104
3.5.1.2 - Liaisons électriques des C.C	105
3.5.1.3 - Sens de rotation positif	106
3.5.1.4 - Fonctions réalisées et représentation schématique	106
3.5.1.5 - Schémas d'utilisation des C.C	107
3.5.1.6 - Le C.C proprement dit	107
3.5.1.7 - Le montage électronique	109
3.5.1.8 - Le montage électromécanique	113
3.5.2 - Les condensateurs linéaires P1	113
3.5.2.1 - Conventions de base	113
3.5.2.2 - Fonction linéaire de signe constant	116
3.5.2.3 - Généralisation	119
3.5.2.4 - Fonction linéaire de signe variable	120
3.5.2.5 - Fonction homographique	123
3.5.3 - Les condensateurs trigonométriques	126
3.5.3.1 - Conventions de base	127
3.5.3.2 - Fonction cosinus	130
3.5.3.3 - Fonction sinus	131
3.5.3.4 - Passage des coordonnées polaires aux coordonnées cartésiennes d'un vecteur \vec{V}	131
3.5.3.5 - Rotation d'axes	132
3.5.3.6 - Passage des coordonnées cartésiennes d'un vecteur aux coordonnées polaires de ce vecteur	134
3.5.3.7 - Fonction $\frac{1}{\cos \alpha}$	135
3.5.3.8 - Fonction tangente	135
3.5.4 - Les condensateurs fonctionnels	138
3.5.5 - Classification des condensateurs et repérage	139
3.6 - LES GENERATRICES TACHYMETRIQUES	140
3.6.1 - Les génératrices de courant continu	141
• 3.6.1.1 - Constitution et type	141
3.6.1.2 - Principe de fonctionnement	141
3.6.1.3 - Caractéristiques électriques	144
3.6.1.4 - Utilisations	144
3.6.1.5 - Conventions de bornage et de branchement	145

3.6.2 - Les génératrices de courant alternatif	146
3.6.2.1 - Constitution	146
3.6.2.2 - Principe de fonctionnement	146
3.6.2.3 - Défauts des génératrices alternatives	147
3.6.2.4 - Caractéristiques électriques des génératrices à 400 Hz taille 20	149
3.6.2.5 - Utilisations	150
3.7 - LES MOTEURS DIPHASES LICENCE "CONTRAVES"	150
3.7.1 - Constitution	151
3.7.2 - Principe	151
3.7.3 - Caractéristiques diverses	153
3.7.4 - Caractéristiques électriques des moteurs 400 Hz taille 20	154
3.7.5 - Caractéristiques mécaniques des moteurs 400 Hz taille 20	154
3.8 - LES MOTEURS-GENERATEURS DU TYPE "CONTRAVES"	155
3.8.1 - Constitution	155
3.8.2 - Identification des M.G.	156
3.8.3 - Disposition des bornes de connexions	156
3.8.4 - Conventions de bornage	157
3.8.5 - Utilisations diverses des 20 M.G4 et 20 M.G6	157
3.8.5.1 - Asservissement de position	157
3.8.5.2 - Asservissement de vitesse (montage "Vélodyne" ou "inté- grateur")	158
3.8.5.3 - Asservissement de calcul (asservissement de zéro)	158

CHAPITRE 4

INTRODUCTION A L'ETUDE DES CHAINES DE CALCUL

4.1 - CHANGEMENTS DE FORME DE REPRESENTATION DES GRANDEURS	161
4.2 - OPERATIONS A RESOUDRE ET APPAREILS UTILISES	164
4.3 - EXEMPLE DE CHAINE DE CALCUL	165
4.4 - PLAN D'ETUDE D'UN CALCULATEUR	172



CHAPITRE 1

LE CALCUL ELECTROMECHANIQUE

1.1 - INTRODUCTION.

Les bâtiments de la marine nationale disposent de moyens défensifs ou offensifs destinés à détruire l'ennemi éventuel. Ces moyens sont :

- Lancement de projectiles à l'aide de canons (obus, mortier).
- Lancement d'engins transportant une charge destructrice (torpilles, fusées diverses).

Dans tous les cas, il est nécessaire d'effectuer des calculs pour déterminer avec la meilleure précision possible la trajectoire qui permettra le rendez-vous ennemi - appareil destructeur. Ces calculs sont faits par des ensembles d'appareils appelés "CALCULATEURS".

On définit deux grandes familles de calculateurs :

- Les calculateurs dits "ANALOGIQUES".
- Les calculatrices dites "ARITHMETIQUES".

Dans la marine la plupart des calculateurs sont analogiques, l'évolution se faisant vers les calculatrices arithmétiques.

Dans les calculateurs analogiques, les éléments du calcul (données, résultats intermédiaires etc...) sont représentés par des grandeurs physiques (tensions électriques, rotation d'arbres etc...).

Il existe différents types de calculateurs analogiques, et l'on peut distinguer :

- Les calculateurs mécaniques, et mécano-électriques dans lesquels tous les éléments du calcul sont connus sous forme mécanique - (exemple : PC de 127 : bloc principal, transfo de coord.).

- Les calculateurs à courant continu qui utilisent une technique particulière aux propriétés de circuits électriques soumis à des tensions continues de niveau variable dans le temps.

- Les calculateurs à courant porteur basse fréquence (ou haute fréquence) utilisant une technique particulière aux propriétés de circuits électriques soumis à des tensions alternatives de fréquence constante (BF ou HF) dont l'amplitude est modulée en fonction de l'élément représenté.

Les calculateurs en service dans la marine sont du type : CALCULATEURS ANALOGIQUES A COURANT PORTEUR BASSE FREQUENCE (60 ou 400 Hz).

On dit aussi qu'il s'agit de calculateurs électromécaniques.

Le présent cours ne traitera que des éléments constituant ces derniers.

1.2 - PRINCIPES GENERAUX APPLICABLES AUX CALCULATEURS ANALOGIQUES A COURANT PORTEUR BF DE LA MARINE.

De tels calculateurs sont conçus pour résoudre un problème particulier. Par exemple : calculateur pour canons de 57 m/m

Dans les limites d'utilisation qui ont été fixées, toutes les solutions ainsi que les calculs à effectuer pour y parvenir sont préétablis. On peut dire que le calculateur possède en "MEMOIRE" tous les résultats. Les données du moment étant les variables, le calculateur délivre le résultat qui concerne ces données du moment et ceci d'une manière continue si l'entrée des données est continue.

Un ensemble calculateur peut se décomposer en un certain nombre d'éléments ayant chacun une fonction particulière. Certains de ces éléments sont chargés de

recevoir les "données" et éventuellement de les mettre sous une forme exploitable par les éléments chargés d'effectuer les "calculs". On trouve enfin les éléments chargés de fournir les résultats sous une forme exploitable.

On est ainsi conduit à définir sous quelle forme sont représentées les grandeurs utilisées.

1.3 - FORME ET REPRESENTATION DES GRANDEURS.

Elles sont au nombre de trois :

- Rotation d'arbre.
- Tension électrique alternative ou "tension de calcul".
- Tension électrique dite "synchro triple".

1.3.1 - Rotation d'arbre.

Les grandeurs angulaires ou autres peuvent toujours être représentées sous forme de rotation d'arbre.

On définit par convention une position initiale pour origine et un sens de rotation positif. On définit également l'échelle de représentation de la grandeur considérée. Cette échelle correspond à la valeur de l'information transmise lorsque l'arbre tourne de un degré.

Lorsque l'information transmise est un angle, la rotation de l'arbre est proportionnelle à l'angle à représenter. Le facteur de proportionnalité est égal à 1 lorsqu'à un degré de rotation de l'arbre correspond un degré de l'angle à représenter. On dit dans ce cas que la rotation se fait en 1/1.

Lorsque le facteur de proportionnalité est égal à "n" c'est-à-dire lorsque la rotation de l'arbre est "n" fois l'angle à représenter, on dit que la repré-

sentation se fait en "n/1" ("n" est presque toujours un nombre entier).

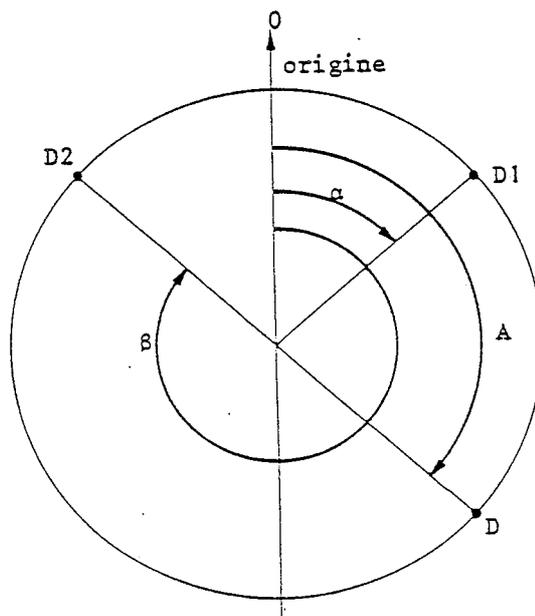
Notons que l'arbre en "n/1" ne représente et ne définit un angle qu'à $\frac{2\pi}{n}$ près.

En général, et pour obtenir une meilleure précision, on utilise deux arbres engrenés, l'un en représentation 1/1, l'autre en n/1. On dit que l'on a un système "Dégrossissage-Précision". L'arbre 1/1 est le dégro, l'arbre n/1 est la précis.

Si une rotation d'arbre représente une grandeur non angulaire, l'échelle est définie par la valeur attribuée à un degré de rotation de l'arbre.

Prenons par exemple le cas de la distance. On sait que dans les calculs, cette distance sera comprise entre les valeurs D1 et D2. On peut donc la représenter par la rotation d'un arbre comprise entre les valeurs α et β qui correspondent aux extrémités d'un secteur pris sur les 360° dont l'arbre peut tourner. Ces valeurs α et β sont comptées à partir d'une origine définie arbitrairement. Chaque valeur de D comprise entre D1 et D2 sera représentée par une position de l'arbre comprise entre α et β et telle que la rotation à partir de l'origine soit proportionnelle à la différence (D - D1). Ce qui donne, si on appelle A la rotation à partir de l'origine :

$$A = \alpha + \frac{(\beta - \alpha)}{(D2 - D1)} \cdot (D - D1)$$



1.3.2 - Tension électrique alternative simple ou "TENSION DE CALCUL".

Il s'agit toujours d'une tension prise entre deux fils ou plus généralement entre un fil et la masse. Trois paramètres définissent une tension alternative :

- La fréquence.
- L'amplitude.
- La phase.

Tous les calculateurs existant (en courant alternatif) utilisent une fréquence fixe. Celle-ci est de 60 Hz ou 400 Hz pour les calculateurs de la marine.

On utilise donc l'amplitude et la phase pour représenter les grandeurs.

L'amplitude est choisie comme variable de calcul et l'on utilise dans ce cas la modulation d'amplitude d'une tension porteuse alternative 60 Hz ou 400 Hz appelée REFERENCE CALCUL. La fréquence de cette modulation doit être beaucoup plus faible que la fréquence de la porteuse. (généralement < 1 Hz)

La tension représentant la valeur absolue de la grandeur considérée est toujours une fraction de la tension de référence (voir Nota).

L'origine est en général la tension zéro volt.

La phase, par rapport à la tension de référence, de la tension représentant la grandeur, doit toujours être 0 ou 180°, c'est-à-dire en phase ou en opposition de phase. On attribue ainsi le signe (+) à une tension en phase avec la référence, et le signe (-) à une tension en opposition de phase. Tous les autres déphasages doivent être corrigés, notamment la composante "IMAGINAIRE", c'est-à-dire, la tension déphasée de $\pm 90^\circ$ par rapport à la référence.

NOTA : La précision du calcul n'est pas influencée par les fluctuations de la référence. Par exemple, si une grandeur X peut varier entre 0 et 30, et que la référence calcul a une amplitude de Y volts. Pour toute valeur absolue de la gran-

deur X nous aurons une tension de calcul $U = X \cdot \frac{Y}{30}$ soit $\frac{X}{30} = \frac{U}{Y}$.

Le rapport $\frac{X}{30}$ de cette proportion ne dépend pas de la tension de référence, par conséquent, le rapport U/Y est lui aussi indépendant. Si la tension de référence Y subit des fluctuations, la tension U subira des fluctuations proportionnelles. Or, c'est son niveau par rapport à la référence qui caractérise une tension de calcul.

1.3.3 - Tensions triples ou "tensions synchrones"

Ces tensions servent exclusivement à la transmission à distance des grandeurs et représentent toujours des rotations d'arbre. Elles sont alternatives, en phase ou en opposition de phase avec une "référence synchro" qui n'est autre que la tension d'alimentation de la liaison. Ces tensions triples sont spécialement étudiées avec les "APPAREILS SYNCHROS".

1.4 - CHANGEMENT DE FORME DE REPRESENTATION DES GRANDEURS.

Il est souvent nécessaire de passer d'une forme de représentation à une autre. On distingue les neuf transformations :

- 1) Rotation d'arbre en tension synchro.
- 2) Tension synchro en rotation d'arbre.
- 3) Tension synchro en tension synchro.
- 4) Rotation d'arbre en tension de calcul.
- 5) Tension de calcul en rotation d'arbre.
- 6) Tension de calcul en tension de calcul.
- 7) Tension synchro en tension de calcul.
- 8) Tension de calcul en tension synchro.
- 9) Rotation d'arbre en rotation d'arbre.

Opérations à résoudre.

Les différents calculs rencontrés se ramènent aux opérations élémentaires suivantes :

- Addition et soustraction.
- Multiplication.
- Division.
- Dérivation-Intégration.
- Formation de fonctions trigonométriques.
- Formation de fonctions quelconques.



CHAPITRE 2

LES LIAISONS SYNCHROS

2.1 - Généralités.

2.1.1 - Les liaisons synchros simples.

Ces liaisons permettent de transmettre à distance, sous forme de tensions synchros triples, des informations ou des grandeurs connues sous forme de rotation d'arbre et de les restituer sous forme de rotation d'arbre.

Une liaison synchro réalisera donc en fait :

- La transformation de l'information connue sous forme de rotation d'arbre en une tension synchro triple. C'est le rôle du "TRANSMETTEUR".
- La transmission de cette tension par une liaison filaire, les "FILS DE PHASE".
- La transformation de la tension synchro en une rotation d'arbre restituant ainsi l'information origine.

Deux cas peuvent se présenter :

1°) L'information restituée se matérialise par la rotation d'une aiguille devant un cadran. On utilise alors un "RECEPTEUR". C'est la liaison de TELEAFFICHAGE.

2°) L'information restituée se matérialise par la rotation d'une masse importante, nécessitant une certaine puissance pour se mouvoir. On fait alors appel au "SYNCHRO DETECTEUR" chargé de piloter un servomécanisme qui fournira la puissance nécessaire. C'est la liaison de "SYNCHRO-DETECTION".

2.1.2 - Les liaisons différentielles.

Ces liaisons sont utilisées lorsque l'on désire transmettre la somme algébrique de deux ou plusieurs grandeurs connues sous forme de rotation d'arbre et restituer cette somme sous forme de rotation d'arbre.

Dans la liaison de synchro-détection, on intercale entre le transmetteur et le synchro détecteur un appareil appelé "TRANSMETTEUR DIFFERENTIEL" qui reçoit une information du transmetteur sous forme de tension synchro triple, lui ajoute une information connue sous forme de rotation d'arbre, et envoie au synchro détecteur la somme algébrique de ces deux informations sous forme de tension synchro triple.

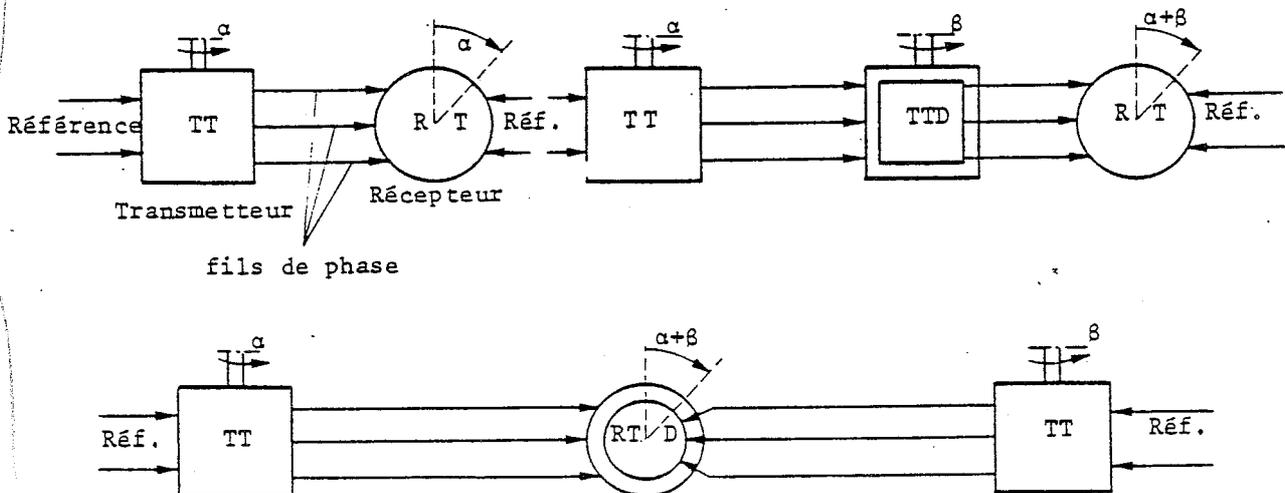
Dans la liaison de téléaffichage, deux solutions sont possibles :

a) On intercale un transmetteur différentiel entre le transmetteur et le récepteur.

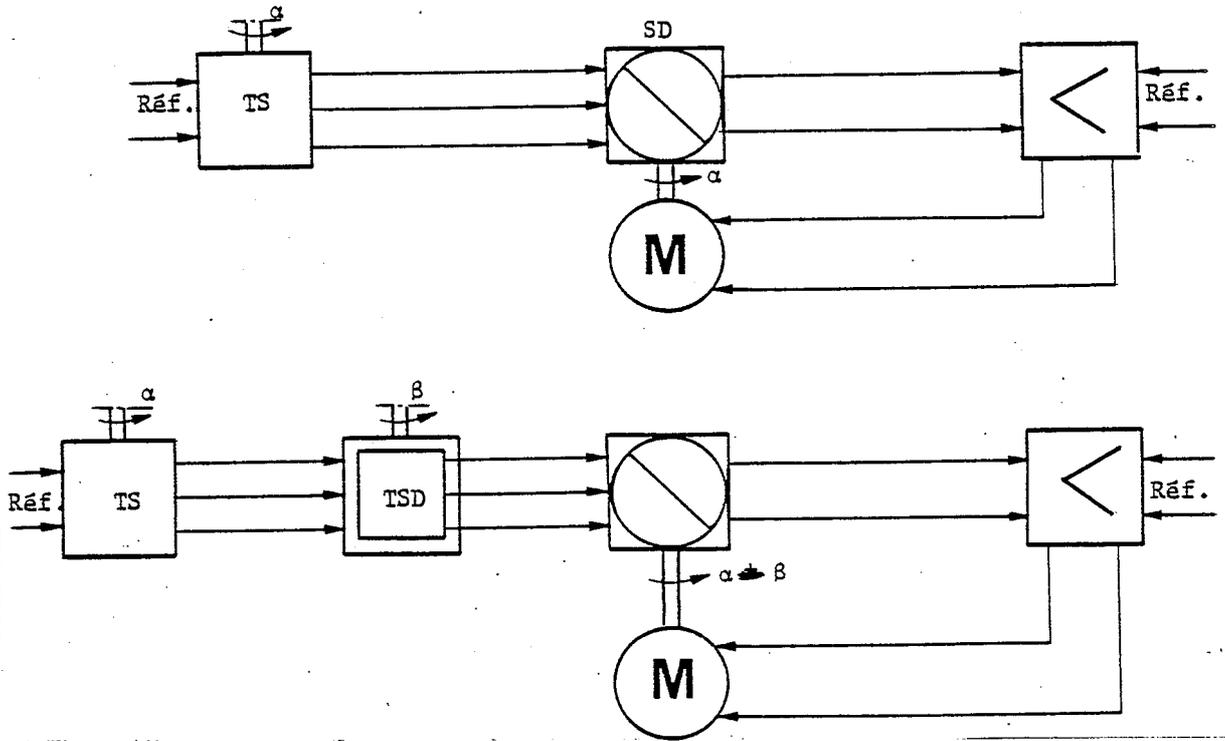
b) On utilise deux transmetteurs qui envoient leur information à un "RECEPTEUR DIFFERENTIEL" chargé de restituer sous forme de rotation d'arbre la somme algébrique des deux informations qu'il reçoit sous forme de tension synchros triples.

2.1.3 - Différentes liaisons possibles.

En téléaffichage :



En synchro-détection.



NOTA : La représentation symbolique des appareils ainsi que la désignation fonctionnelle sont celles qui doivent être utilisées dans tous les schémas.

2.2 - PRESENTATION DES APPAREILS SYNCHROS.

Tous les appareils synchros se présentent sous la forme de petits moteurs électriques dont une extrémité de l'arbre peut recevoir un accouplement mécanique.

Ils comportent tous : un rotor et un stator.

Au point de vue électrique, on peut les classer en :

2.2.1 - Appareils non différentiels :

a) Stator

Le stator des TT, TS, RT et SD est analogue à celui d'un moteur à courant alternatif ordinaire, il est constitué d'une carcasse portant une armature ferromagnétique feuilletée.

Dans les encoches de cette armature sont logées trois bobines identiques dont les axes sont décalés de 120° . Ces trois bobines sont couplées en étoile.

b) Rotor

Le rotor comprend une seule bobine :

- enroulée en navette autour d'un noyau de fer doux pour les appareils TT, RT.

- à enroulements répartis dans les encoches d'un noyau feuilleté pour les appareils TS et SD.

L'axe de cette bobine est perpendiculaire à l'arbre. Elle est réunie aux bornes de câblage par l'intermédiaire de deux frotteurs appuyant sur deux bagues collectrices. L'arbre est monté sur deux roulements à billes pour diminuer les frottements.

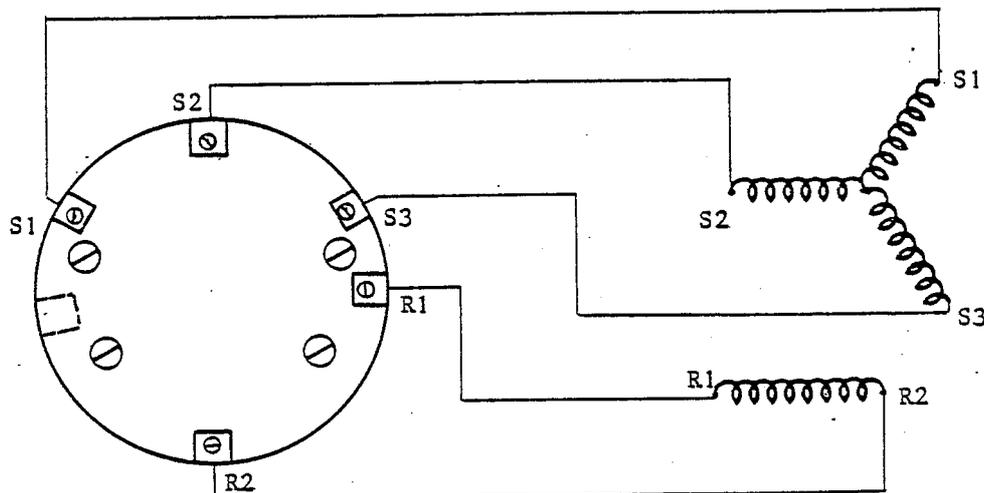
c) Bornage des appareils non différentiels.

La désignation des bornes de connexions est la même pour tous les appareils.

S1, S2, S3 pour les bornes du stator.

R1, R2 pour les bornes du rotor.

Vues de l'arrière de l'appareil, ces bornes sont toujours disposées dans un ordre croissant dans le sens horaire.



2.2.2 - Appareils différentiels.

a) Stator : Il est analogue à celui d'un appareil non différentiel.

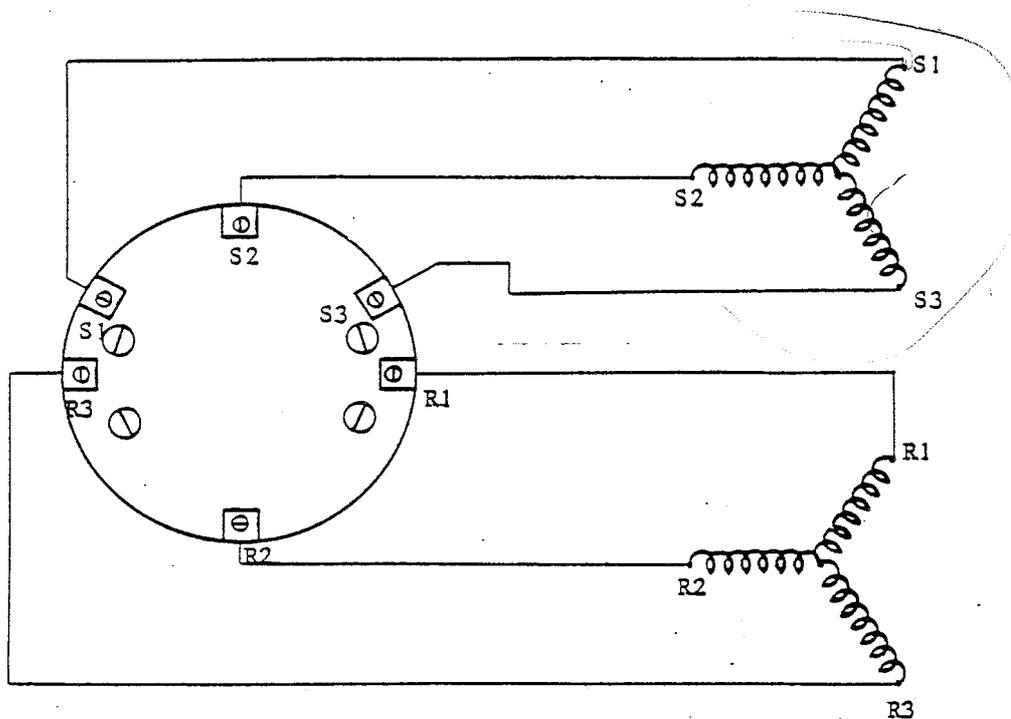
b) Rotor : Le rotor comprend trois bobines identiques logées dans les encoches d'un noyau ferromagnétique feuilleté. Les axes de ces bobines sont décalés de 120° et perpendiculaires à l'axe du rotor. Elles sont branchées en étoile. La liaison avec le câblage est faite grâce à trois balais frottant sur trois bagues collectrices.

c) Bornage :

La désignation des bornes est la suivante :

S1, S2, S3 pour les bornes du stator.

R1, R2, R3 pour les bornes du rotor.



2.3 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES APPAREILS.

Nous étudierons successivement le fonctionnement de chaque type d'appareil.

2.3.1 - Le transmetteur.

Les TS et les TT ont le même principe de fonctionnement.

Soit R1, R2 les extrémités de la bobine du rotor.

S1, S2, S3 les extrémités sorties de chacune des bobines du stator
(point commun inaccessible).

Le rotor d'un transmetteur est alimenté à partir d'un réseau monophasé par une tension de 115 Volts efficaces de fréquence 60 Hz ou 400 Hz. Soit E cette tension.

Appelons K le rapport du nombre de spires d'un enroulement du stator, au

nombre de spires de l'enroulement du rotor. $K = 0,45$

L'axe de la bobine S2 est choisi comme origine des angles.

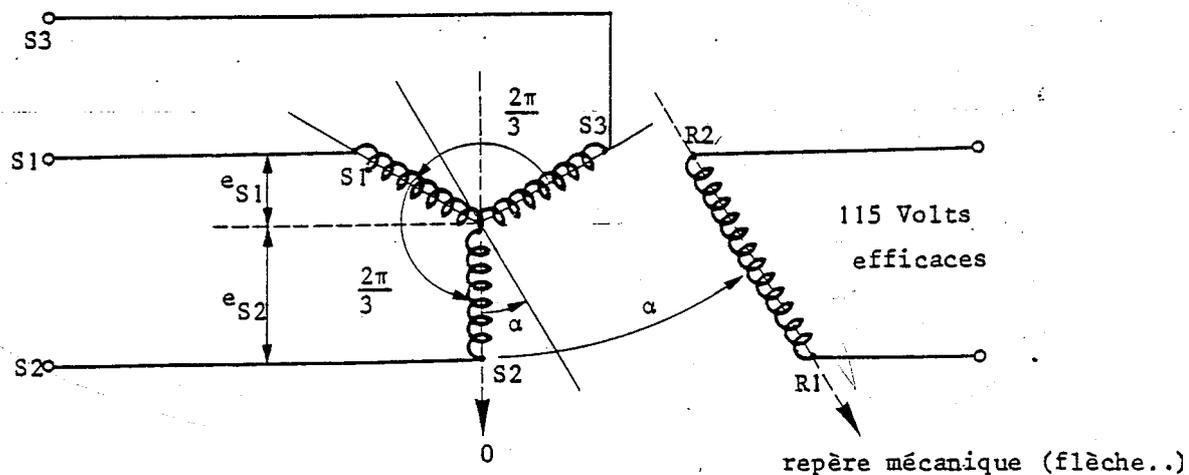
Soit α l'angle que fait l'axe de la bobine R1 - R2 avec l'axe de la bobine S2.

Les tensions induites dans les enroulements du stator par le flux du rotor sont respectivement :

$$\text{dans S2} \rightarrow e_{S2} = K.E. \cos \alpha \quad (1)$$

$$\text{dans S1} \rightarrow e_{S1} = K.E. \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (2)$$

$$\text{dans S3} \rightarrow e_{S3} = K.E. \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \quad (3)$$



La différence de potentiel entre les bornes :

$$\overrightarrow{S2.S1} \text{ est donc } e_{S1} - e_{S2} = KE \left[\cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) - \cos \alpha \right]$$

$$\overrightarrow{S3.S2} \text{ est donc } e_{S2} - e_{S3} = KE \left[\cos \alpha - \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \right]$$

$$\overrightarrow{S1.S3} \text{ est donc } e_{S3} - e_{S1} = KE \left[\cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) - \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

Calculons $\overrightarrow{S1.S3}$ en valeur efficace :

$$\overrightarrow{S1.S3} = KE \left[\cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) - \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$\overrightarrow{S1.S3} = KE \left[\cos \alpha \cos \frac{4\pi}{3} - \sin \alpha \sin \frac{4\pi}{3} - \cos \alpha \cos \frac{2\pi}{3} + \sin \alpha \sin \frac{2\pi}{3} \right]$$

$$\overrightarrow{S1.S3} = KE \left[-\frac{1}{2} \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha \right]$$

$$\overrightarrow{S1.S3} = KE \sqrt{3} \sin \alpha$$

$$\overrightarrow{S1.S3} = K.E. \sqrt{3} \sin \alpha \neq 90 \sin \alpha$$

④

by $\alpha = 0 \Rightarrow S_1, S_3 = 0V$
 $\alpha = 90^\circ \Rightarrow S_1, S_3 = 90V$

puisque $K = 0,45$; $E = 115$ $\sqrt{3} = 1,732$.

et : $\cos (a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$.

$$\text{et que } \cos \frac{4\pi}{3} = -\frac{1}{2} \quad \sin \frac{4\pi}{3} = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} \quad \sin \frac{2\pi}{3} = +\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$\sin (a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$

Par un calcul analogue on obtient :

$$\overrightarrow{S2.S1} = 90 \sin \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)$$
$$\overrightarrow{S3.S2} = 90 \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)$$

⑤

⑥

En résumé :

Les transmetteurs non différentiels transforment les rotations d'arbre en un groupe de trois tensions, respectivement en phase ou en opposition avec la tension d'alimentation, et dont les valeurs efficaces sont des fonctions sinusoïdales de

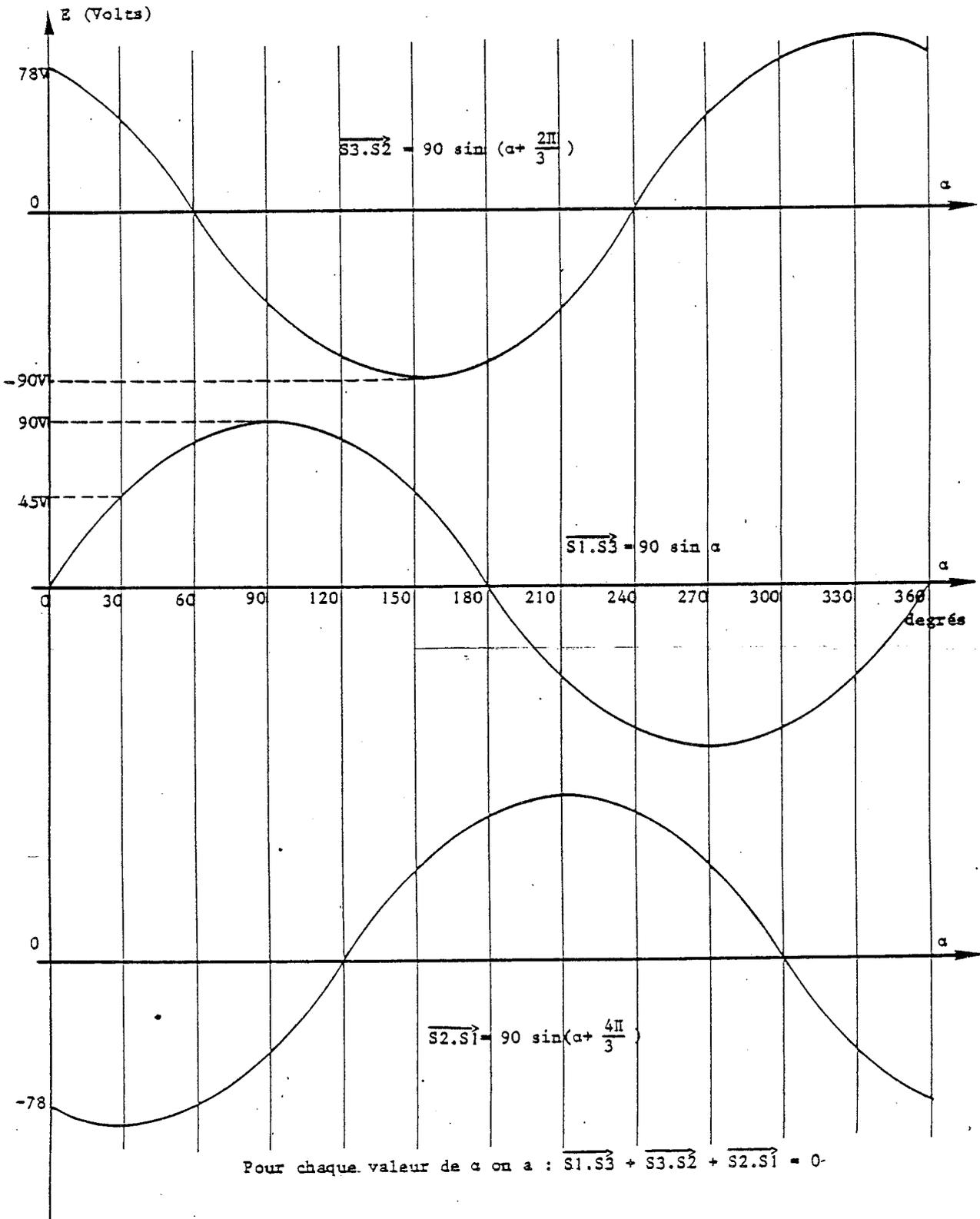
l'angle de décalage du rotor par rapport à la position définie comme référence.

Ces tensions entre phases sont les seules accessibles aux mesures.

La figure suivante donne le relevé de ces tensions dont les expressions mathématiques sont celles des équations 4, 5 et 6.

Notons : - que les valeurs négatives correspondent à une opposition de phase de la tension considérée par rapport à la référence.

- que la somme des tensions : $\overrightarrow{S3.S2} + \overrightarrow{S1.S3} + \overrightarrow{S2.S1} = 0$



2.3.2 - Le récepteur de téléaffichage :

Le rotor d'un récepteur est alimenté par la même source monophasée que le transmetteur qui lui est associé, soit une tension $E = 115$ Volts efficaces appliquée en R1 - R2.

L'axe de la bobine S2 est choisi comme origine des angles.

Le rapport du nombre de spires d'un enroulement du stator au nombre de spires de l'enroulement du rotor est $K = 0,45$.

On applique entre les bornes du stator un groupe de trois tensions provenant d'un transmetteur qui ont pour expression :

$$\overrightarrow{S1.S3} = 90 \sin \alpha$$

$$\overrightarrow{S3.S2} = 90 \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$\overrightarrow{S2.S1} = 90 \sin \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)$$

Ces tensions entre phases déterminent aux bornes de chacune des bobines du récepteur les tensions suivantes, d'après les calculs effectués lors de l'étude du transmetteur :

$$e_{S2} = K.E. \cos \alpha$$

$$K = 0,45$$

$$e_{S1} = K.E. \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$E = 115$$

$$e_{S3} = K.E. \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)$$

Par ailleurs le rotor du récepteur induit (comme pour le transmetteur) des tensions dans le stator du récepteur dont la valeur pour chacune des bobines est fonction de l'angle β que fait le rotor du récepteur par rapport à l'origine (axe de S2). Ces tensions ont pour expression (idem transmetteur).

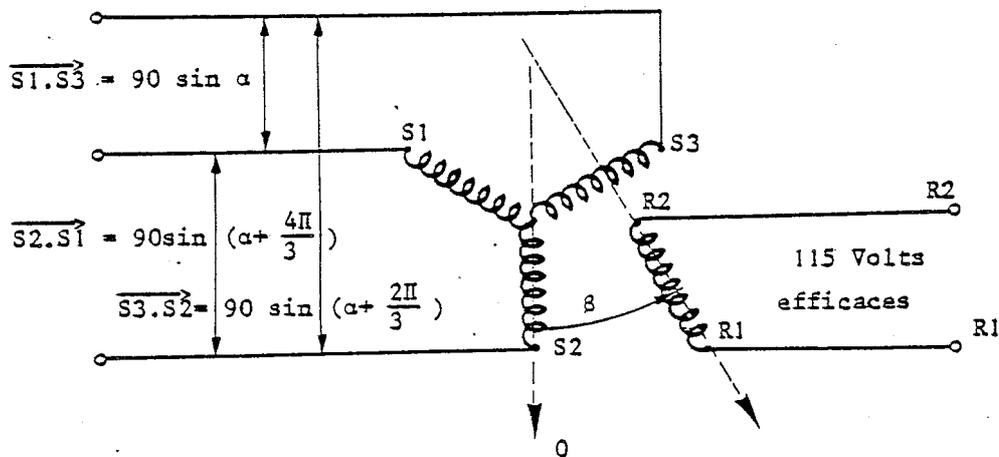
$$e'_{S2} = K.E. \cos \beta$$

$$K = 0,45$$

$$e'_{S1} = K.E. \cos \left(\beta + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$E = 115$$

$$e'_{S3} = K.E. \cos \left(\beta + \frac{4\pi}{3} \right)$$



Les tensions appliquées e_s et les tensions induites e'_s sont opposées si $\alpha - \beta < \pm 90^\circ$.

Si α est différent de β , les tensions e_s et e'_s sont elles-mêmes différentes, il s'ensuit des courants statoriques dans le récepteur et le transmetteur dont l'intensité dépend de la différence entre e_s et e'_s , donc entre α et β .

Ces courants statoriques créent un flux dans les bobines du stator du récepteur (et du transmetteur, mais celui-ci a son rotor calé mécaniquement à l'angle α). Les conducteurs du rotor du récepteur parcourus par un courant, dû à la tension E appliquée au rotor, et placés dans ce flux, sont soumis à un couple électromagnétique (couple moteur) qui a pour effet de faire tourner le rotor de façon à embrasser le plus grand flux possible. Le couple résistant étant négligeable puisque le rotor est libre de tourner.

Lors de cette rotation β se rapproche de α , de ce fait les tensions induites e'_{S1} ; e'_{S2} et e'_{S3} se rapprochent de e_{S1} , e_{S2} et e_{S3} . Les courants statoriques

diminuent également et de ce fait le couple moteur diminue. Il y aura équilibre, c'est-à-dire un couple moteur nul, donc un flux nul et par conséquent des courants statoriques nuls lorsque :

$$e'_{S1} = e_{S1}$$

$$e'_{S2} = e_{S2}$$

$$e'_{S3} = e_{S3}$$

C'est-à-dire lorsque $\hat{\alpha} = \hat{\beta}$.

En réalité deux positions à 180° l'une de l'autre répondent à la condition d'égalité des tensions, mais on remarquera que si $\hat{\alpha} = \hat{\beta} + \hat{\Pi}$ la phase des tensions induites est opposée à celle des tensions reçues. Elles sont égales en valeur absolue. On risque donc une position d'équilibre au "faux zéro". Mais celui-ci est rarement obtenu car pour cette position les courants statoriques sont maximum et ce "faux zéro" est une position très instable.

Remarques :

- a) - si un décalage permanent existe, il y a circulation de courants statoriques tant que le décalage persiste. (risque de détérioration des appareils).
- b) - Le recalage se fait toujours par le plus court chemin. (rotation inférieure à 180°).
- c) - Le couple moteur, ou couple de recalage, diminue avec le décalage.
- d) - Le couple moteur diminue également si des résistances parasites existent dans le circuit des bobines statoriques transmetteur-récepteur. Cette propriété est parfois utilisée pour amortir les oscillations au recalage du récepteur. (Insertion de résistances dans les phases).

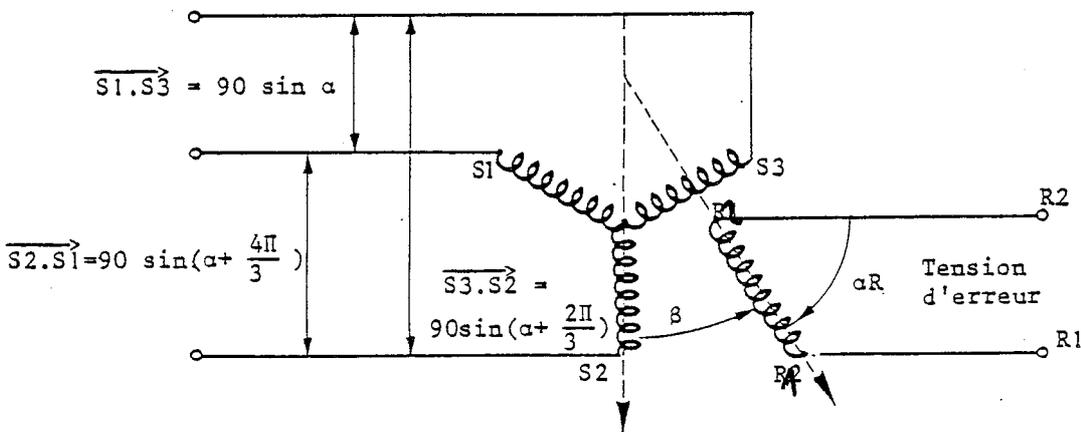
En effet lors d'un recalage important le rotor malgré sa faible inertie dépasse la position de recalage par l'énergie cinétique qu'il emmagasine lors de la rotation. Il y a alors couple de rappel en sens contraire et ainsi de suite. Donc risques d'oscillations. Pour remédier à cet inconvénient, un amortisseur

à inertie, destiné à freiner le mouvement lorsque l'arbre tend à tourner brusquement, est placé dans le récepteur. Il est conçu pour n'agir qu'au cas où le recalage est important.

- e) - Toute diminution du couple moteur entraîne la diminution de la précision du recalage puisque au voisinage de cette position le couple moteur est, par nature, déjà faible.
- f) - Le couple mécanique résistant, doit également être aussi faible que possible si l'on désire garder une bonne précision. En particulier les frottements doivent être minimum, la masse entraînée par le rotor doit être très faible (une aiguille se déplaçant devant un cadran).

2.3.3 - La synchro-détecteur .

Le S.D. a pour rôle de délivrer une tension dite "tension d'erreur position", dont l'amplitude est une fonction sinusoïdale du décalage existant entre l'angle reçu sous forme de tension synchro par son stator et la position angulaire de son rotor. Cette tension est alors utilisée pour piloter un moteur de telle sorte que le rotor du S.D. tourne d'un angle égal à celui reçu sur son stator. La puissance du moteur est choisie en fonction de la masse que l'on désire faire tourner.



D'un côté estator avec lecture d'angle

MANKE dault

Sur le stator on applique les tensions suivantes délivrées par un T.S. ca-
lé à l'angle α .

$$\begin{aligned} \overrightarrow{S1.S3} &= 90 \sin \alpha \\ \overrightarrow{S2.S1} &= 90 \sin \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \\ \overrightarrow{S3.S2} &= 90 \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Ces tensions entre phases déterminent aux bornes de chacune des bobines du stator les tensions suivantes, d'après les calculs effectués dans l'étude du transmetteur :

$$\begin{aligned} e_{S2} &= K.E. \cos \alpha & K &= 0,45 \\ e_{S1} &= K.E. \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) & E &= 115 \\ e_{S3} &= K.E. \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

soit β l'angle déterminé par l'axe de la bobine S2 et l'axe de la bobine du rotor du S.D.

soit K' le rapport du nombre de spires du rotor au nombre de spires d'une bobine du stator $K' \neq 0,73$.

Les tensions induites par chacune des bobines du stator dans le rotor sont respectivement :

Par S2 soumise à la tension e_{S2} :

$$e_{r2} = K'.K.E. \cos \alpha. \cos \beta. \quad (7)$$

Par S1 soumise à la tension e_{S1} :

$$e_{r1} = K'.K.E. \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right). \cos \left(\beta + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (8)$$

Par S3 soumise à la tension e_{S3} :

$$e_{r3} = K'.K.E. \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(\beta + \frac{4\pi}{3} \right) \quad (9)$$

On sait que :

$$\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cdot \cos \frac{p-q}{2}$$

Ecrivons que :

$$\frac{p+q}{2} = \alpha \quad \text{et} \quad \frac{p-q}{2} = \beta$$

d'où

$$p = \alpha + \beta \quad \text{et} \quad q = \alpha - \beta$$

soit :
$$\frac{\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)}{2} = \cos \alpha \cdot \cos \beta$$

de ce fait l'expression (7) s'écrit :

$$e_{r2} = K'.K.E. \cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \left[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta) \right] K'.K.E.$$

L'expression (8) s'écrit en calculant :

$$\frac{p+q}{2} = \alpha + \frac{2\pi}{3} \quad \frac{p-q}{2} = \beta + \frac{2\pi}{3}$$

$$p = \alpha + \beta + \frac{4\pi}{3} \quad q = \alpha - \beta$$

$$e_{r1} = K'.K.E. \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(\beta + \frac{2\pi}{3} \right) = \frac{1}{2} \left[\cos \left(\alpha + \beta + \frac{4\pi}{3} \right) + \cos(\alpha - \beta) \right] K'.K.E.$$

L'expression (9) s'écrit en calculant :

$$\frac{p+q}{2} = \alpha + \frac{4\pi}{3} \quad \frac{p-q}{2} = \beta + \frac{4\pi}{3}$$

$$P = \alpha + \beta + \frac{8\pi}{3} = \alpha + \beta + \frac{2\pi}{3} \quad Q = \alpha - \beta$$

$$e_{r3} = K'.K.E. \cos\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cos\left(\beta + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{1}{2} \left[\cos\left(\alpha + \beta + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos(\alpha - \beta) \right] K'.K.E.$$

La tension totale induite dans le rotor est :

$$e_R = e_{r1} + e_{r2} + e_{r3}$$

soit :

$$e_R = \frac{3}{2} K!K.E. \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} K!K.E. \left[\cos(\alpha + \beta) + \cos\left(\alpha + \beta + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha + \beta + \frac{2\pi}{3}\right) \right]$$

Le second terme du membre de droite est identiquement nul, il vient :

$$e_R = \frac{3}{2} . K!K.E. \cos(\alpha - \beta)$$

Par principe un S.D. doit délivrer une tension nulle lorsque le repère du rotor fait un angle α_R avec l'axe de la bobine S2. En effet dans ce cas le moteur ne recevant plus de commande, est arrêté et il faut que le rotor du S.D. ait tourné de la même valeur que l'angle reçu sur le stator sous forme de tension triple.

La formule précédente montre que pour que cette condition soit remplie il faut que :

$$\alpha_R = \beta - \frac{\pi}{2}$$

On a alors :

$$e_R = \frac{3}{2} K!K.E. \cos(\alpha - \beta) = \frac{3}{2} K!K.E. \sin \left[(\alpha - \beta) + \frac{\pi}{2} \right]$$

$$\text{d'où } e_R = \frac{3}{2} K!K.E. \sin(\alpha - \alpha_R)$$

Lorsque $\alpha_R = \alpha$ on a ainsi $e_R = 0$

La valeur maximum que peut atteindre e_R est donnée lorsque $(\alpha - \alpha_R) = \frac{\pi}{2}$

On a alors :

$$e_R = \frac{3}{2} K'K.E. = \frac{3}{2} \cdot 0,73 \cdot 0,45 \cdot 115$$

$$e_R \approx 57 \text{ Volts}$$

d'où d'une façon générale :

$$e_R = - 57 \sin (\alpha - \alpha_R)$$

Remarques :

- a) La tension d'erreur s'annule lorsque $\alpha_R = \alpha$, or nous avons dit que : $\alpha_R = (\beta - \frac{\pi}{2})$
d'où $\alpha = (\beta - \frac{\pi}{2})$

Rappelons que β est l'angle compris entre l'axe de la bobine S2 prise comme origine et l'axe du rotor. Ainsi l'axe de la bobine du rotor est placée perpendiculairement à la direction donnée par α lorsque la tension d'erreur est nulle.

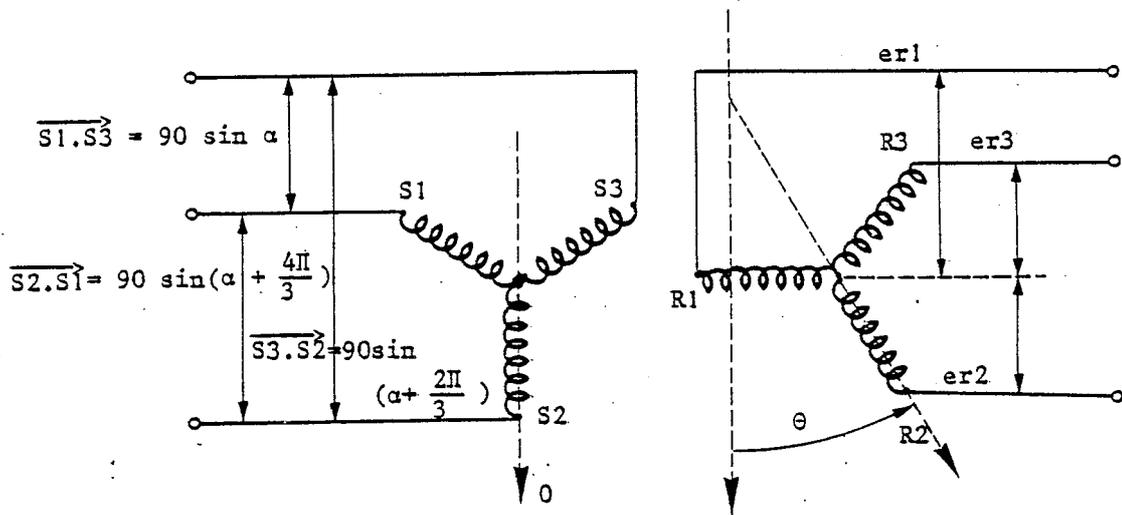
- b) Dans la pratique on considère la tension d'erreur comme étant proportionnelle au décalage $(\alpha - \alpha_R)$ lorsque celui-ci ne dépasse pas environ 50° . On définit ainsi le "gradient de tension" fourni par un S.D. Celui-ci est de 1 Volt par degré de décalage jusqu'à environ 50° .

2.3.4 - Transmetteurs différentiels.

Les appareils différentiels connectés entre transmetteur et récepteur permettent de transmettre sous forme de tension synchro la somme algébrique de l'angle reçu sous forme de tension synchro (provenant du transmetteur) et de l'angle dont tourne leur rotor.

Le fonctionnement de principe d'un TTD ou d'un TSD est identique.

L'origine des angles est définie par l'axe de la bobine S2 du stator. L'axe du rotor est celui de la bobine R2.



On applique au stator les tensions suivantes, délivrées par un TS ou un T.T., calé à l'angle α .

$$\vec{S1.S3} = 90 \sin \alpha$$

$$\vec{S2.S1} = 90 \sin(\alpha + \frac{4\pi}{3})$$

$$\vec{S3.S2} = 90 \sin(\alpha + \frac{2\pi}{3})$$

Ces tensions entre phases déterminent aux bornes de chacune des bobines du stator du TTD les tensions suivantes :

$$e_{S2} = KE \cos \alpha$$

$$K = 0,45$$

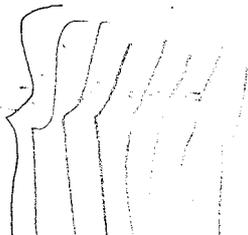
$$e_{S1} = KE \cos(\alpha + \frac{2\pi}{3})$$

$$E = 115$$

$$e_{S3} = KE \cos(\alpha + \frac{4\pi}{3})$$

Soit M le rapport du nombre de spires d'un enroulement du stator au nombre de spires d'un enroulement du rotor. $M \neq 0,666$.

Si θ est l'angle de décalage du rotor, les tensions induites dans les enroulements du rotor par les bobines du stator sont respectivement :



$$e_{r1} = M \left[e_{S1} \cos \theta + e_{S2} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + e_{S3} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (10)$$

$$e_{r2} = M \left[e_{S2} \cos \theta + e_{S3} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + e_{S1} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (11)$$

$$e_{r3} = M \left[e_{S3} \cos \theta + e_{S1} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + e_{S2} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (12)$$

En portant, dans ces équations, les valeurs de e_{S1} , e_{S2} et e_{S3} données par les dernières équations de la page précédente on obtient :

Pour e_{r1} :

$$e_{r1} = M \left[KE \cdot \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \cos \theta + KE \cos \alpha \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + KE \cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$e_{r1} = M \cdot K \cdot E \cdot \left[\underbrace{\cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \cos \theta}_{(A)} + \underbrace{\cos \alpha \cdot \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right)}_{(B)} + \underbrace{\cos \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right)}_{(C)} \right]$$

On sait que :

$$\frac{\cos p + \cos Q}{2} = \cos \frac{p+Q}{2} \cdot \cos \frac{p-Q}{2}$$

L'expression (A) peut s'écrire en posant :

$$\frac{P+Q}{2} = \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \quad \frac{P-Q}{2} = \theta$$

D'où $P = \alpha + \frac{2\pi}{3} + \theta$ $Q = \alpha + \frac{2\pi}{3} - \theta$

$$\cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \theta = \frac{1}{2} \left[\cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} + \theta \right) + \cos \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} - \theta \right) \right] \quad (A1)$$

L'expression (B) s'écrit en posant :

$$\frac{P+Q}{2} = \alpha \quad \frac{P-Q}{2} = \theta + \frac{4\pi}{3}$$

$$\text{d'où} \quad \boxed{P = \alpha + \theta + \frac{4\pi}{3} \quad Q = \alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}}$$

$$\cos \alpha \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{1}{2} \left[\cos\left(\alpha + \theta + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right] \quad \text{(B1)}$$

De même (C) s'écrit en posant :

$$\frac{P + Q}{2} = \alpha + \frac{4\pi}{3} \quad \frac{P - Q}{2} = \theta + \frac{2\pi}{3}$$

$$P = \alpha + \frac{4\pi}{3} + \theta + \frac{2\pi}{3} = (\alpha + \theta) \quad Q = \alpha + \frac{4\pi}{3} - \theta - \frac{2\pi}{3} = (\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3})$$

$$\cos\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{1}{2} \left[\cos(\alpha + \theta) + \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right] \quad \text{(C1)}$$

Donc :

$$e_{r1} = \text{M.K.E.} \frac{1}{2} \left[\cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3} + \theta\right) + \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3} - \theta\right) + \cos\left(\alpha + \theta + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}\right) + \cos(\alpha + \theta) + \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right]$$

$$e_{r1} = \text{M.K.E.} \frac{1}{2} \left[\overbrace{\cos(\alpha + \theta) + \cos\left(\alpha + \theta + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha + \theta + \frac{2\pi}{3}\right)}^{\text{(D)}} + 2 \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$

Dans cette expression la partie (D) est identiquement nulle. D'où :

$$e_{r1} = \text{K.M.E.} \frac{1}{2} \left[2 \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$

$$\text{or } \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) = \cos\left(\alpha - \theta - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$\text{d'où : } e_{r1} = \text{M.K.E.} \frac{1}{2} \left[3 \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right) \right]$$

$$\boxed{e_{r1} = \text{M.K.E.} \frac{3}{2} \cos\left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3}\right)}$$

(13)

Par un calcul analogue on trouverait :

$$e_{r2} = M.K.E. \frac{3}{2} \cos (\alpha - \theta) \quad (14)$$

$$e_{r3} = M.K.E. \frac{3}{2} \cos (\alpha - \theta + \frac{4\pi}{3}) \quad (15)$$

On en déduit puisque :

$$K = 0,45$$

$$M = 0,666$$

$$e_{r1} = 52 \cdot \cos (\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3})$$

$$e_{r2} = 52 \cdot \cos (\alpha - \theta)$$

$$e_{r3} = 52 \cdot \cos (\alpha + \frac{4\pi}{3} - \theta)$$

En comparant les formules établies pour le transmetteur (formules 1, 2 et 3 du paragraphe 231) avec celles ci-dessus, on peut constater qu'aux coefficients près elles sont identiques dans leur forme. On voit que le TD transmet la somme algébrique des deux angles α et θ . L'angle α reçu sous forme de tension synchro et θ rotation de son rotor. Il est bien entendu que si l'on applique ces tensions à un récepteur, celui-ci tournera de l'angle reçu soit $(\alpha - \theta)$ tout comme il tournait lorsqu'il recevait l'angle α d'un transmetteur (voir en 2.3.2).

Comme pour l'étude du transmetteur, on peut passer à la valeur des tensions $\overline{R2.R1}$, $\overline{R3.R2}$ et $\overline{R1.R3}$ délivrées par le T.D., à partir des formules 13, 14 et 15 établies ci-dessus.

En écrivant que $(\alpha - \theta) = \gamma$

On obtient :

$$\overline{R1.R3} = \frac{3}{2} M.K.E. \sqrt{3} \sin \gamma = 90 \sin \gamma$$

$$\overline{R3.R2} = \frac{3}{2} M.K.E. \sqrt{3} \cdot \sin (\gamma + \frac{2\pi}{3}) = 90 \sin (\gamma + \frac{2\pi}{3})$$

$$\overline{R2.R1} = \frac{3}{2} M.K.E. \sqrt{3} \cdot \sin (\gamma + \frac{4\pi}{3}) = 90 \sin (\gamma + \frac{4\pi}{3})$$

Soit :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{R1.R3} &= 90 \sin (\alpha - \theta) \\ \overrightarrow{R3.R2} &= 90 \sin \left(\alpha - \theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \overrightarrow{R2.R1} &= 90 \sin \left(\alpha - \theta + \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Remarque :

- Le stator d'un T.D. devra toujours être relié au transmetteur et le rotor au récepteur ou au S.D.

2.4 - BORNAGE DES APPAREILS SYNCHROS ET CONVENTIONS DE BASE.

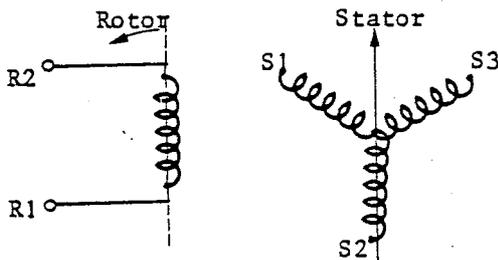
L'utilisation des synchros obéit à des règles et à certaines conventions qu'il est nécessaire de connaître parfaitement.

2.4.1 - Zéro électrique et bornage interne

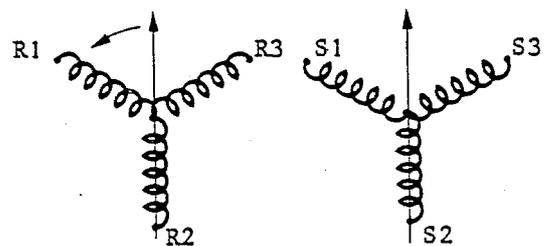
Les synchros fournissent une position angulaire par rapport à une origine des angles. Cette origine est définie pour chaque appareil par la position du rotor par rapport à l'axe de la bobine S2.

Le bornage interne des appareils synchros est réalisé de la façon suivante en représentant chaque appareil dans la position du zéro électrique, rotor et stator vus du côté arbre.

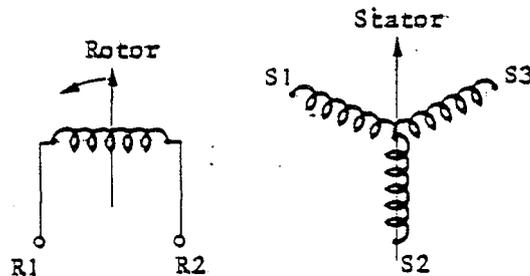
TRANSMETTEUR-RECEPTEUR



TRANSMETTEUR-RECEPTEUR-DIFF.



SYNCHRO-DETECTEUR



2.4.2 - Sens de rotation + et convention de base.

- a) Le sens positif de rotation du rotor d'un appareil synchro est le sens trigo, l'appareil étant vu du côté arbre.
- b) Un champ alternatif tourne dans le sens S1, S2, S3 lorsque les maxims se succèdent dans cet ordre.
- c) Les liaisons des appareils synchrones se font par des fils portant un repérage conventionnel.

1.2. - Alimentation de l'appareil en référence synchro.

3.4.5 - Fils de phase d'une liaison dégro (rapport 1/1)

6.7.8 - Fils de phase d'une liaison précision (rapport n/1)

d'd' - Tension d'erreur fournie par un SD de dégro.

p p' - Tension d'erreur fournie par un SD de précision.

2.5 - LES LIAISONS SYNCHROS

2.5.1 - La liaison simple de téléaffichage.

Une telle liaison comporte toujours : un transmetteur (TT) dont la

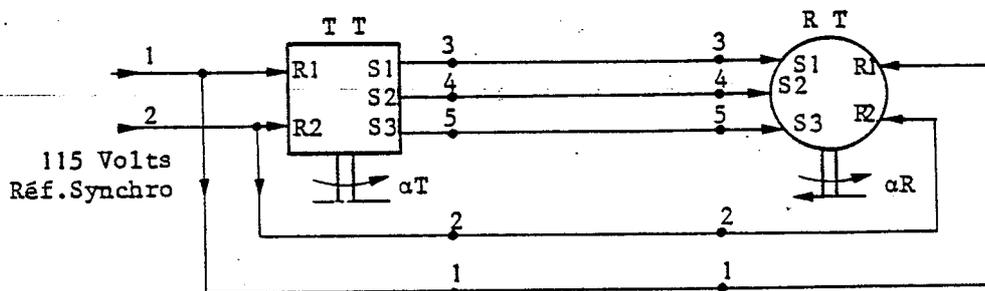
rotation du rotor est proportionnelle à l'élément (ou la grandeur) transmis. Cet appareil est alimenté par la référence synchro et transforme la rotation de son rotor en une information électrique sous forme de tension synchro triple, selon le principe étudié en 2.3.1.

Les fils de phase relient le transmetteur au récepteur (ou à plusieurs récepteurs).

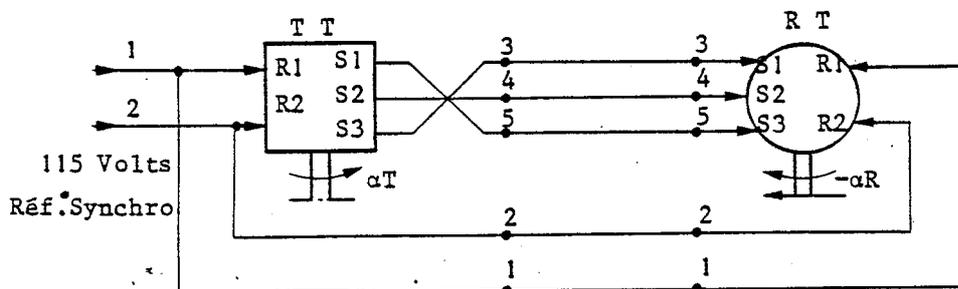
Le récepteur (RT) alimenté à son rotor par la même référence synchro que le TT, reçoit donc cette information sous forme de tension synchro triple et la restitue sous forme de rotation angulaire de son rotor égale à celle du rotor du TT.

En plaçant un cadran devant lequel se déplace une aiguille portée par l'axe du rotor on peut ainsi indiquer à distance toute grandeur ou information.

On rencontre : la liaison directe $\alpha t = \alpha R$



La liaison inverse : $\alpha T = -\alpha R$



Dans la liaison inverse, le fait de permuter S1 et S3 entraîne une rotation en sens inverse puisque le champ tourne alors dans le sens horaire.

Remarques :

- Dans une liaison simple lorsque $\alpha_R = \alpha_T$, il ne circule aucun courant dans les phases.
- Le fait de permuter deux phases autres que S1 et S3 entraîne un décalage de 120° et une rotation en sens contraire.
- La permutation de S1.S3 entraîne simplement une inversion du sens de rotation du rotor du récepteur.
- Le fait de permuter l'alimentation du TT ou du RT entraîne un décalage de 180° du récepteur.
- Différentes avaries, coupure de phases, coupure d'alimentation et permutation diverses, se manifestent par des symptômes qui sont étudiés lors des manipulations.

2.5.1.1 - Remplacement du transmetteur par un "champ fixe".

Il est possible d'obtenir des positions du récepteur de 30° en 30° en alimentant selon un schéma déterminé les phases du récepteur avec une tension fournie par un transfo ou même directement avec la référence. Si l'on appelle 1 et 2 les fils alimentant respectivement les bornes R1 et R2 du récepteur il faut alimenter les phases comme l'indique le tableau ci-dessous :

Position angulaire en degré	Phase 1	Phase 2
0 →	S2 →	S1.S3 →
30 →	S2 →	S1 →
60 →	S2.S3 →	S1 →
90 →	S3 →	S1 →
120 →	S3 →	S1.S2 →
150 →	S3 →	S2 →
180 →	S1.S3 →	S2 →
210 →	S1 →	S2 →
240 →	S1 →	S2.S3 →
270 →	S1 →	S3 →
300 →	S1.S2 →	S3 →
330 →	S2 →	S3 →

(Les angles sont comptés dans le sens + des synchros (sens trigo vu côté arbre) et à partir de la position "zéro électrique").

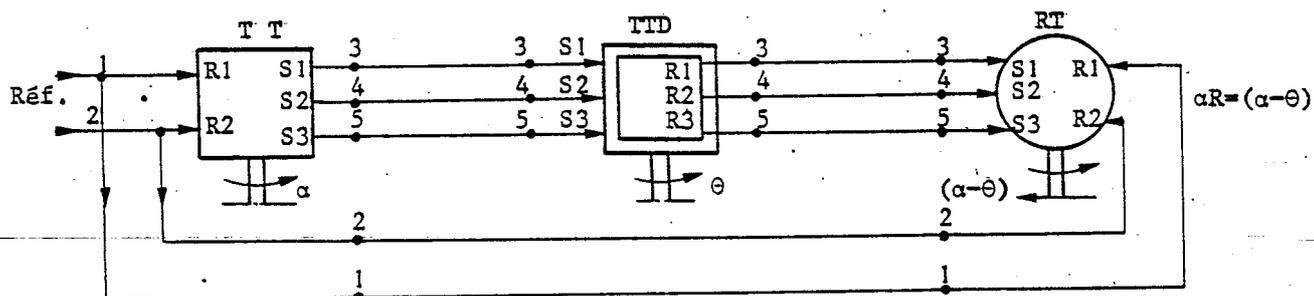
2.5.2 - Liaisons différentielles de téléaffichage.

Dans cette liaison le rôle du T.T. est identique à celui de la liaison simple. Le TTD ajoute algébriquement à l'angle reçu sous forme de tension synchro par son stator, l'angle dont tourne son rotor et transmet au récepteur (ou plusieurs récepteurs) sous forme de tension synchro la somme de ces angles.

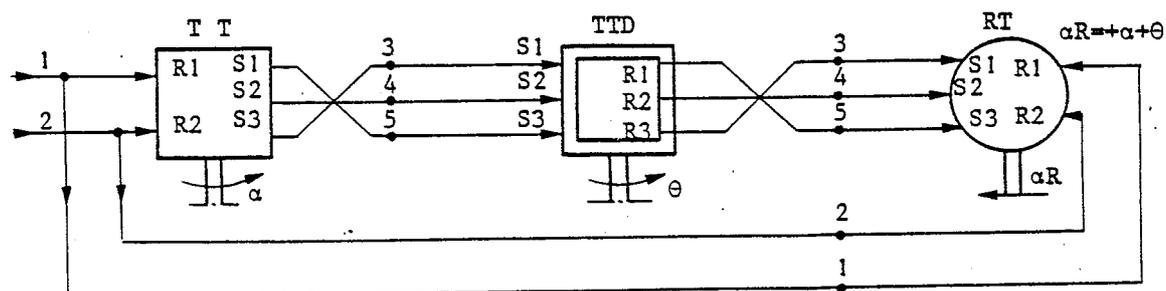
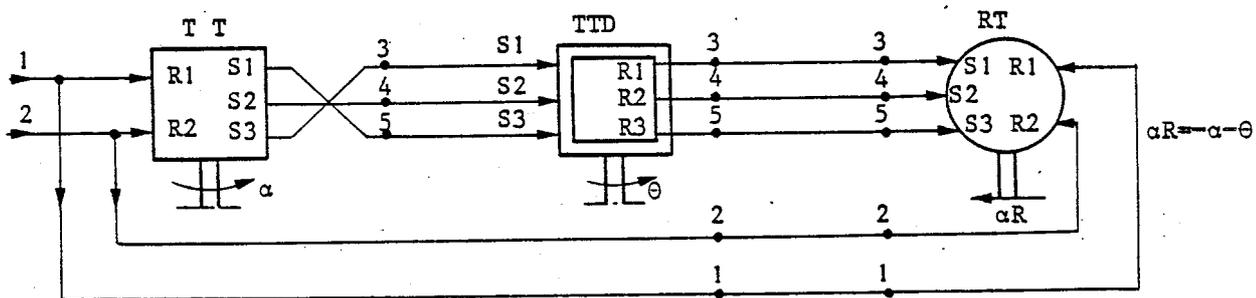
Le récepteur a le même rôle que dans la liaison simple.

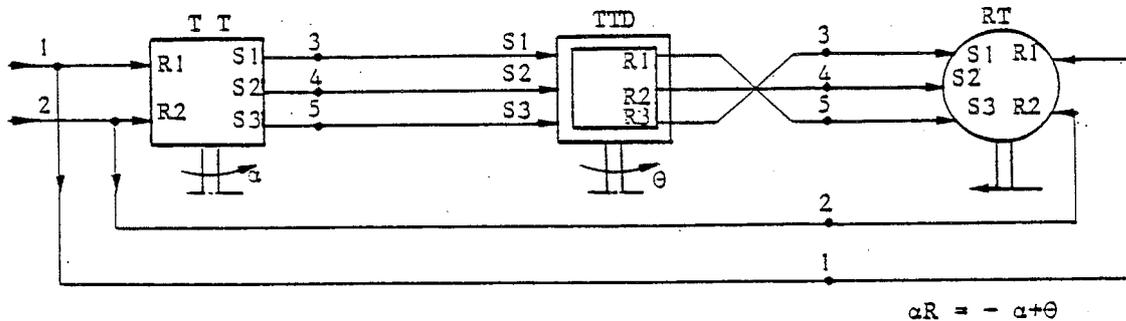
On rencontre les liaisons suivantes :

Liaison directe :



Liaisons inverses :





Remarques :

- Dans une liaison différentielle de téléaffichage, même lorsque le récepteur est recalé, il circule du courant dans les phases. C'est le courant magnétisant du TTD. En effet l'on peut considérer le stator et le rotor du TTD comme constituant respectivement un circuit de charge pour le TT et le RT, considérés alors comme des transfos. Pour diminuer ces courants on peut placer en parallèle sur chaque phase du TT et du RT des capacités identiques qui compensent la self des enroulements. On relève alors le $\cos \phi$ de la liaison. Il demeure toujours un courant watté dû à la résistance du circuit.
- Les avaries sur les liaisons différentielles présentent les mêmes symptômes que ceux de la liaison simple. Toutefois les avaries ayant rapport aux phases de la liaison peuvent se produire en amont ou en aval du TTD. L'on ne peut à priori par la seule observation des symptômes dire si l'avarie est en amont ou en aval. Il faut donc rechercher des deux côtés du TTD.

2.5.3 - Liaison simple de synchrodétection.

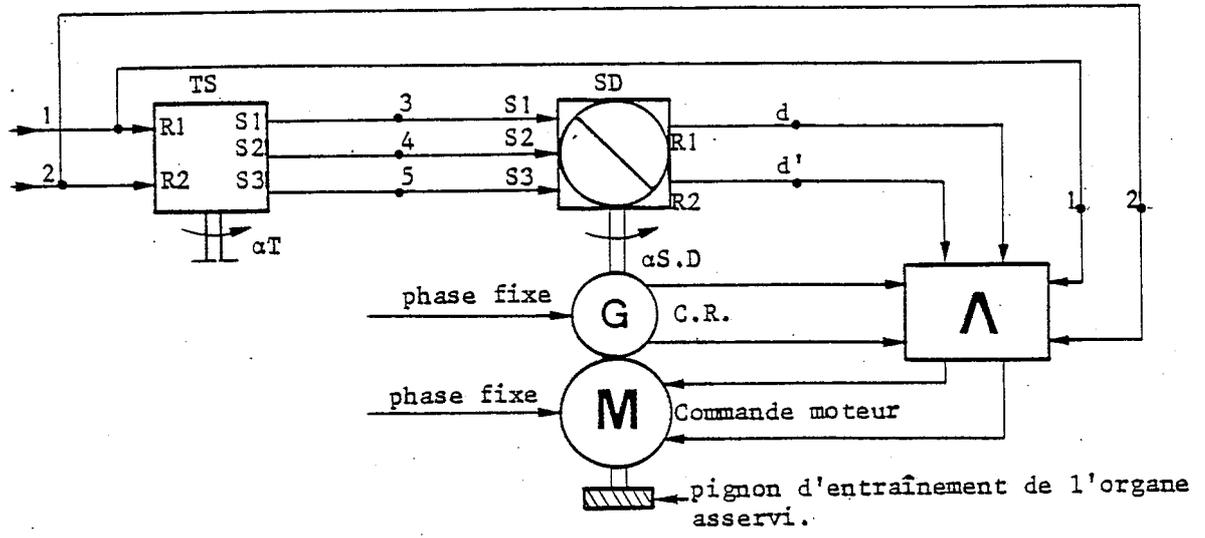
Dans une telle liaison le T.S. a un rôle identique à celui du TT dans la liaison de téléaffichage.

Le S.D. délivre une tension d'erreur dd' , dont l'amplitude est fonction sinusoidale du décalage entre TS et SD et dont la phase par rapport à la référence indique le sens du décalage.

Cette tension, amplifiée, commande un moteur d'asservissement. Le rotor du SD est lié mécaniquement au moteur. Ce dernier tourne tant que l'erreur n'est pas

*faible puissance
forte puissance*

nulle, et entraîne l'organe asservi. On dit qu'il y a "asservissement de position".



La tension d'erreur (dd') peut être : (voir en 2.3.3)

- en phase avec la référence synchro si $\alpha_{SD} < \alpha_T$
- en opposition de phase avec la référence synchro si $\alpha_{SD} > \alpha_T$

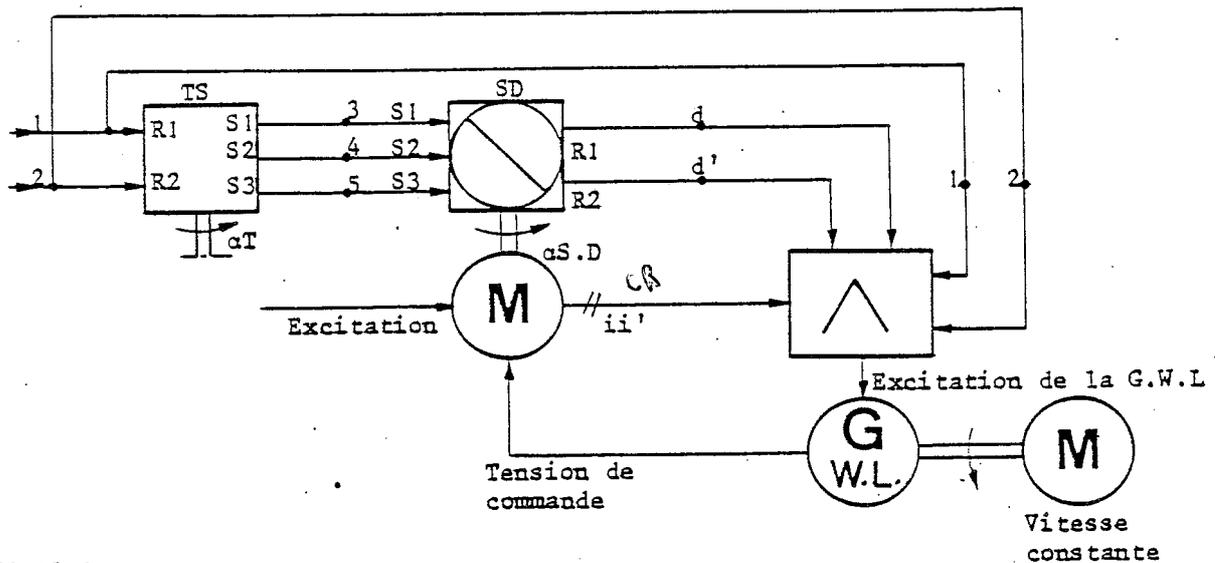
La phase de la tension d'erreur détermine le sens de rotation du moteur, donc le sens du recalage. Celui-ci se fait toujours par le plus court chemin c'est-à-dire une rotation inférieure à 180°.

On utilise un moteur déphasé dans le cas où la charge à entraîner est assez faible. L'ampli est alors électronique et délivre une tension de commande déphasée de $\pi/2$ par rapport à la référence ou plus généralement par rapport à la tension qui alimente la phase fixe du moteur.

La génératrice tachymétrique (G) délivre la dérivée du mouvement, destinée à amortir le système, elle est appliquée en contre réaction (CR) dans l'ampli.

Lorsque la puissance nécessaire à l'entraînement de l'organe asservi est grande (supérieure à 200 W) on utilise alors un groupe Ward Léonard qui sert d'ampli de puissance. L'ampli électronique est alors utilisé en préampli et alimente l'inducteur de la génératrice W.L. entraînée à vitesse constante. La G.W.L. délivre une f.é.m. proportionnelle au flux d'excitation, qui est appliquée en tension de commande à l'induit d'un moteur à courant continu à excitation séparée. Comme précédemment le moteur entraîne le rotor du SD ainsi que l'organe asservi jusqu'à ce que $\alpha_{SD} = \alpha_T$

Dans ce montage on utilise généralement la f.c.é.m. du moteur (appelée tension ii' , qui représente également la dérivée du mouvement du moteur, donc sa vitesse de rotation) comme tension tachymétrique appliquée à l'ampli pour stabiliser le système.



Remarques :

- La référence synchro doit être envoyée à l'ampli car il est nécessaire de comparer la phase de dd' par rapport à celle-ci pour déterminer le sens du recalage.
- Dans une telle liaison il circule toujours du courant dans les phases. En effet le TS peut être considéré comme un transfo alimentant un autre transfo (à couplage variable) chargé lui-même par l'impédance d'entrée de l'ampli. Toute l'énergie nécessaire et dissipée est fournie par le TS. Celui-ci est donc conçu en tenant compte de ce fait. C'est ce qui le distingue d'un TT.
- Les avaries sur les liaisons de SD simple sont les mêmes que celles d'une liaison simple de téléaffichage. (En ce qui concerne les synchros bien entendu). Il suffit de considérer l'organe asservi comme le récepteur et d'observer les symptômes sur celui-ci.

2.5.4 - Liaison différentielle de synchrodétection :

Comme en téléaffichage on intercale entre le TS et le SD un ou plusieurs

TSD. Le fonctionnement est identique à celui de la liaison différentielle de téléaffichage (paragraphe 2.5.2). Il suffit de considérer l'ensemble S.D. - ampli-moteur comme étant le récepteur.

Il est toutefois à noter que dans une telle liaison toute l'énergie nécessaire est fournie par le T.S. en tête de chaîne.

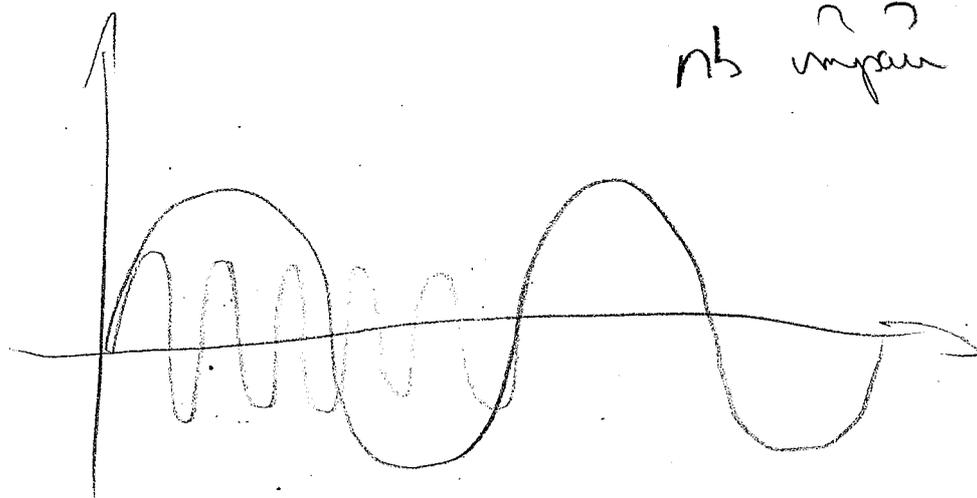
Le T.S.D. se comporte exactement comme un transfo. Aussi celui-ci est conçu avec un nombre de spires au rotor supérieur au nombre de spires du stator dans le but de compenser les pertes à l'intérieur de l'appareil et d'obtenir des tensions au rotor de même niveau que celles du stator. Il faut donc se garder d'alimenter le T.S.D. en R1.R2.R3 et de sortir en S1.S2.S3. En effet, dans ce cas, aux pertes existantes, on ajouterait celle due à un nombre de spires secondaire < que le nombre de spires primaire. La précision de la liaison en serait bien entendu affectée.

2.5.5 - Liaisons dégrossissage - précision.

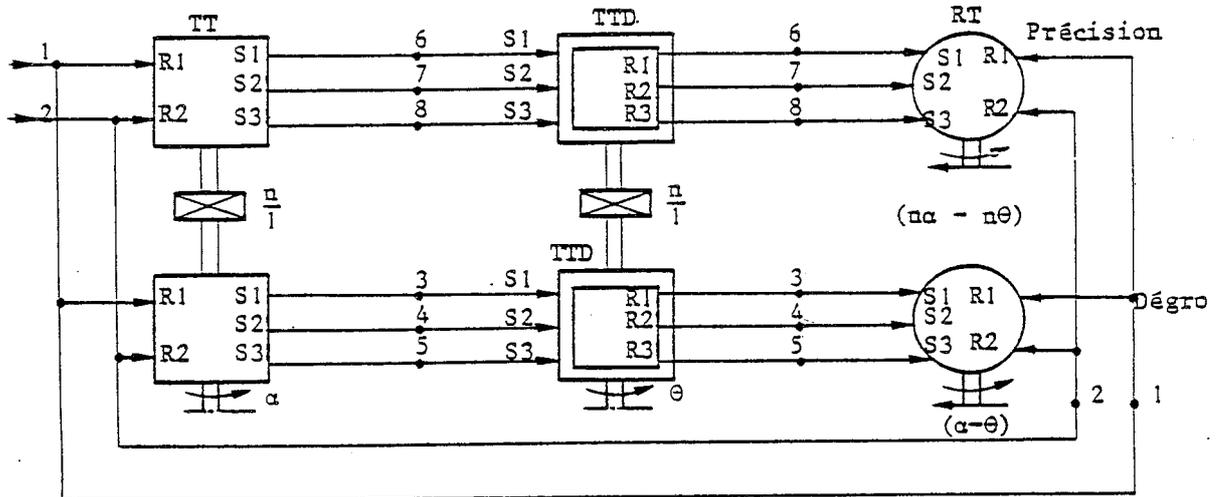
Dans une liaison simple, ou différentielle la précision obtenue dans la restitution de l'élément transmis est fonction de la précision de chacun des appareils utilisés. Si l'on désire obtenir une meilleure précision on utilise une liaison dite "dégrossissage" et "précision". Cela consiste à placer deux liaisons en parallèles électriquement indépendantes, mais liées mécaniquement dans la rotation des rotors des appareils. Cette liaison mécanique constitue une démultiplication de rapport "n".

En général le "dégrossissage" tourne de la valeur α lorsque l'élément transmis est α .

La précision tourne alors de la valeur $n\alpha$. On conçoit que la précision d'une telle liaison est de ce fait multipliée par "n" par rapport à une liaison à un circuit.



En téléaffichage :



Les rotors des récepteurs ne sont bien entendu pas liés mécaniquement.

L'information reçue se lit en faisant d'abord la lecture du dégro à $\frac{360}{n}$ degrés près, et en ajoutant à cette lecture l'indication fournie par la précision.

En synchrodétection :

Le principe est identique mais à la place des récepteurs on place deux SD liés mécaniquement dans le rapport "n" et entraînés tous deux par le moteur d'asservissement.

On obtient alors deux tensions, l'une (dd') le dégro, l'autre (pp') la précision. Ces deux tensions commandent l'ampli, donc le moteur. Elles sont utilisées d'une façon qui sera développée lors de l'étude des "circuits".

On peut toutefois dire d'ores et déjà que la précision est là aussi améliorée en fonction de la valeur "n" (rapport de démultiplication dégro-précision).

2.5.6 - Alimentation des liaisons synchros.

Ces alimentations sont fournies localement à partir de boîtes de fusibles

relatives aux circuits qui utilisent ces liaisons.

Dans la liaison simple de téléaffichage l'alimentation du transmetteur et du récepteur est prise à travers deux fusibles communs aux deux appareils. Ceci afin d'éviter que si l'un des 2 appareils est en avarie, l'autre soit détérioré. Dans les liaisons comportant un transmetteur et plusieurs récepteurs en parallèles, les rotors du transmetteur et des récepteurs sont alimentés en parallèle par une tension de 115 Volts prise en aval de fusibles communs à tous les appareils.

De plus chaque récepteur est protégé par des fusibles sectionneurs sur chacune des lignes de phase et sur l'alimentation de son rotor, de cette façon on peut isoler complètement un récepteur défectueux ou qui ne pourrait pas rallier sa position d'accord. En effet si un récepteur est défectueux il s'ensuit une circulation de courant dans les phases, donc dans le stator du transmetteur qui perturbe la liaison, le récepteur défectueux se comporte comme un transmetteur parasite et la position des autres récepteurs se trouve faussée.

L'alimentation des réseaux de synchrodétection obéit aux mêmes règles, à la différence que le SD n'est pas alimenté mais c'est l'ampli qui utilise la référence, de ce fait les fusibles protégeant le TS et les amplis sont propres à chaque appareil mais la source est commune. Lorsque plusieurs SD sont montés en // sur un TS, on place là aussi des fusibles sectionneurs dans les phases de chaque SD afin de pouvoir isoler un SD défectueux ou lié à un organe asservi qui ne peut rallier sa position d'accord.

2.5.7 - Repérage des appareils synchrones.

Nous avons vu qu'il existe différents appareils synchrones, RT, TT, etc...

Nous savons aussi que deux fréquences sont utilisées, le 60 et le 400 Hz en référence synchro.

D'autre part il existe des synchrones de différentes tailles (la taille est en rapport avec la puissance de l'appareil).

Le repérage des appareils synchro se fait au moyen d'un groupe de chiffres

et de lettres qui indique :

- Pour les deux premiers chiffres :

La taille, c'est-à-dire le diamètre de l'appareil en dixièmes de pouce (ou le chiffre supérieur si ce diamètre n'est pas un nombre entier de dixièmes de pouce). On trouve les tailles suivantes :

18 - 23 - 31 - 37.

- Pour le groupe de lettres qui suit les 2 premiers chiffres.

TT → transmetteur de téléaffichage
TTD → Transmetteur différentiel de téléaffichage
RT → Récepteur de téléaffichage
TS → Transmetteur de synchrodétection
TSD → Transmetteur différentiel de S.D.
SD → Synchro détecteur
RTD → Récepteur différentiel de téléaffichage
E → Transmetteur bivalent
TD → Transmetteur différentiel bivalent.

bivalent = qui peut être employé aussi bien en téléaffichage qu'en synchrodétection.

- Pour le chiffre suivant le groupe de lettres :

4 → appareil alimenté en 400 Hz
6 → appareil alimenté en 60 Hz.

- Pour les lettres suivantes et pour les SD seulement :

Hi → appareil haute impédance
Bi → appareil basse impédance.

Exemple :

23.SD.4.Hi = synchrodétecteur taille 23 utilisé en 400 Hz, appareil haute impédance.

2.5.8 - Caractéristiques électriques des appareils synchrones.

Les caractéristiques essentielles sont :

- les conditions d'alimentations
- les impédances à vide
- les impédances internes ou de court circuit.

L'impédance à vide : C'est l'impédance vue de la source alimentant l'appareil lorsque la sortie de l'appareil est en circuit ouvert.

L'impédance interne : c'est l'impédance vue de la sortie lorsque l'entrée est en court circuit.

Seule l'impédance à vide est mesurable.

Le tableau suivant donne quelques caractéristiques pour les synchrones les plus couramment employés.

2.5.9 - Tableau des appareils utilisés sur les bâtiments.

Appareils à 60 Hz					Appareils à 400 Hz				
Nature	Taille					Taille			
	18	23	31	37		18	23	31	37
TT		X	X			X	X	X	
TTD		X	X				X		
RT	X	X	X	X		X	X		
RTD		X	X						
TS		X	X				X	X	
TSD	X	X	X				X	X	
SD	Hi	Hi				Hi Bi	Hi Bi		
T	X			X					X
TD				X					X

2.6 - ZERO ELECTRIQUE DES APPAREILS SYNCHROS.

On définit sur chaque appareil une position du rotor par rapport au stator correspondant à la position du zéro électrique.

Ceci a pour but :

- de définir une origine pour la mesure en grandeur et en sens du calage du rotor par rapport au stator.
- de permettre la mise en accord des liaisons.

2.6.1 - Mise en accord des liaisons.

La façon générale de procéder est la suivante :

- relier mécaniquement les rotors des appareils aux éléments mécaniques qui les

commandent ou qu'ils commandent.

- Placer ces éléments mécaniques à la position correspondant au zéro de l'élément transmis.

- Faire tourner les stators des appareils synchrones jusqu'à ce que chaque stator vienne à la position correspondant au zéro électrique de l'appareil. Cette position ne peut être déterminée avec précision qu'électriquement et selon les indications données ci-dessous.

- Tous les appareils étant ainsi placés au zéro électrique, brider les stators dans leur logement.

- Connecter alors les appareils entre eux suivant les règles de branchement indiquées pour chaque liaison.

2.6.2 - Mise à la position du zéro électrique des appareils.

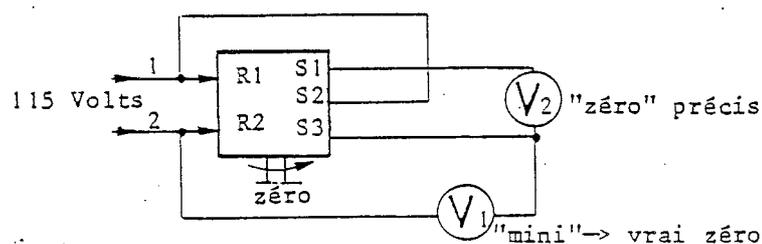
Cette position est obtenue approximativement quand on place un trait marqué sur le bout d'arbre du rotor en regard d'un repère porté par le stator.

En pratique, les appareils synchrones sont placés dans les coffrets et l'arbre du rotor est accouplé à un engrenage (transmetteur) ou à un index (récepteur), ils sont placés de telle sorte que seule la partie arrière du synchro portant les connexions, apparait. Les repères ne sont donc accessibles que pour un appareil sorti de son coffret.

Appareils transmetteurs : (TT ou TS)

- Placer l'organe mécanique pilotant l'appareil au zéro.

- Effectuer le montage suivant qui a pour but de vérifier que la tension $\overline{S2.S3}$ est en phase avec $\overline{R1.R2}$ (Voltmètre V1) et que la tension $\overline{S1.S3}$ est nulle (Voltmètre V2)



Tourner le stator jusqu'à lire environ 37 V sur V1.

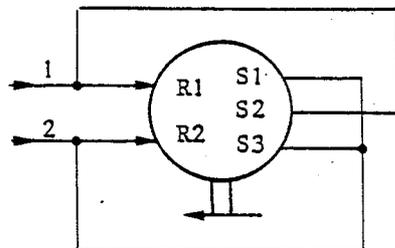
Tourner le stator jusqu'à lire zéro Volt sur V2.

Resserrer les brides de fixation de l'appareil en s'assurant que V2 ne bouge pas.

NOTA : si les repères du rotor et du stator sont visibles, les amener en concordance et vérifier seulement que la tension $\overline{S1.S3}$ est nulle.

Récepteurs.

Effectuer le montage suivant :



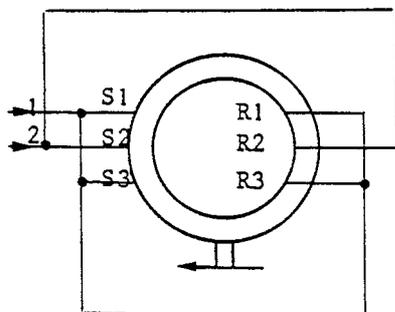
Avec ce montage le rotor du RT vient de lui-même à la position du zéro électrique. Il suffit alors de tourner le stator jusqu'à amener l'aiguille devant le repère zéro du cadran ou bien de désaccoupler l'aiguille et de l'accoupler ensuite devant le repère zéro du cadran.

On peut également utiliser un transmetteur déjà réglé au zéro et placé à zéro. On fait alors une liaison normale TT → RT et il suffit de procéder comme ci-dessus puisque le rotor vient de lui-même au zéro.

Appareils différentiels :

- Récepteurs -

Faire le montage suivant :



Le rotor vient de lui-même à la position du zéro électrique. Il suffit de procéder comme pour le récepteur.

Si les deux transmetteurs qui sont normalement liés au RTD sont déjà réglés au zéro électrique. Placer l'organe mécanique pilotant chaque TT au zéro. On est ainsi ramené au cas précédent après avoir fait

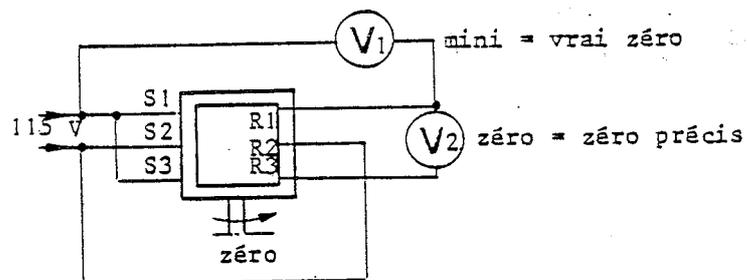
une liaison directe des TT et du RTD.

Transmetteur différentiel.

La tension $\overrightarrow{S1.S2}$ doit être en phase avec la tension $\overrightarrow{R1.R2}$ et la tension $\overrightarrow{R1.R3}$ doit être nulle lorsque l'appareil est alimenté entre S2 et les bornes S1.S3 réunies.

- Placer l'organe mécanique pilotant l'appareil dans la position zéro.

Réaliser le montage suivant :



- Tourner le stator de manière à obtenir une tension minimum sur V1 (37 Volts environ).

- Tourner le stator jusqu'à avoir zéro Volt sur V2.

- Bloquer mécaniquement le stator.

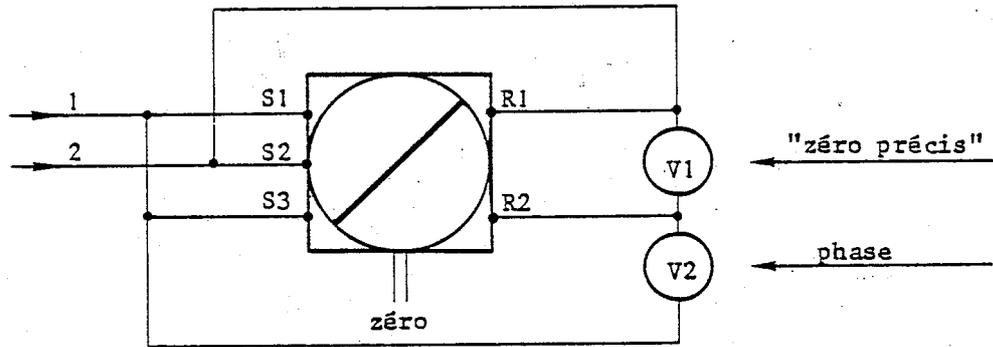
SYNCHRO-DETECTEUR.

Un SD est dans la position du zéro électrique lorsque :

- la tension est nulle en R1.R2.

- si on décale légèrement le rotor dans le sens trigo il apparait entre les bornes R1.R2 une tension d'erreur en phase avec la référence $\overrightarrow{1.2}$.

Effectuer le montage suivant :



- Placer l'organe mécanique lié au SD à la position zéro.
- Tourner le stator du SD jusqu'à lire zéro Volt sur V1.
- Tourner le stator dans le sens horaire la tension indiquée par V2 doit diminuer. Si elle augmente faire un demi tour avec le stator et rechercher la valeur zéro sur V1.
- Bloquer le stator.

NOTA : Toutes les manoeuvres de mise au zéro doivent s'effectuer le plus rapidement possible. En effet, on applique sur les stators, entre phases, une tension de 115 Volts alors que la tension normale maximum est de 90 Volts.

2.6.3 - Sens de rotation des synchronos.

Après avoir réglé chacun des synchronos d'une liaison au zéro électrique il faut vérifier si les sens de rotation sont ceux désirés. On établit les liaisons entre phases en tenant compte des sens de rotation positifs de chaque appareil pour un élément transmis croissant. On se rappellera qu'il faut :

- permuter S1.S3 pour obtenir une rotation inverse,
- effectuer toutes les permutations entre les bornes du synchro et la lière barrette à bornes c'est-à-dire celle du coffret qui contient le synchro.

2.6.4 - Avaries des liaisons synchronos.

Il ne sera énuméré ici que les avaries d'une liaison simple de téléaffichage,

en liaison directe et pour un sens de rotation + c'est-à-dire sens trigo pour un élément transmis croissant.

Toutes les avaries des autres liaisons peuvent se déduire de celles-ci.

Circuit d'alimentation du transmetteur, coupé.

Le récepteur chauffe. Le couple au rotor du récepteur est mou mais il suit normalement.

Rotor d'un récepteur coupé.

Le transmetteur chauffe. Couple mou au récepteur qui suit normalement.

Rotor d'un SD ou du TS coupé.

La tension d'erreur est toujours nulle.

Rotor d'un T en court-circuit.

Le T et le R chauffent, les fusibles fondent.

Rotor d'un R en court-circuit.

Le T et le R chauffent, les fusibles du R fondent.

Rotor d'un SD en court-circuit.

La tension d'erreur est toujours nulle.

S1.S2 en court-circuit.

Le R reste sur 120 ou 300° et passe parfois brusquement de l'une à l'autre position. Les appareils ronflent et s'échauffent lorsque le T se trouve entre 80 et 340° et entre 160 et 260°.

S2.S3 en court-circuit.

Le R demeure à 60 ou 240°. Idem ci-dessus pour le ronflement lorsque le T est entre 100 et 200° ou 280 et 20°.

S1.S3 en court-circuit.

Le R demeure à 0 ou 180°. Idem ci-dessus si le T est entre 40 et 140° ou 220 et 320°.

S1.S2 et S3 en court-circuit.

Le récepteur ne suit pas du tout ou bien il s'emballe. Les deux appareils chauffent et ronflent.

S1 coupé.

Si le T est au zéro, le R a un couple mou entre 0 et 300°. La rotation du R s'inverse lorsque le T passe à 150 ou 330°.

S2 coupé

Si le T est au zéro le R peut se coupler à 0 ou 180°. Si le T tourne la rotation du R s'inverse lorsque le T passe à 90 ou 270°.

S3 coupé.

Couple mou du R dans le secteur 0 à 60° si le T est au zéro. La rotation du R s'inverse si le T passe à 30 ou 210°.

2 ou 3 fils de phases coupés.

Le R ne suit pas du tout.

S1.S2 inversés.

Le récepteur tourne à l'envers. Lorsque le T est à 0 le R indique 240°

S2.S3 inversés.

Le R tourne à l'envers et indique 120° lorsque le T est au zéro.

S1.S3 inversés.

Le R tourne à l'envers, les zéros concordent.

S1 et S2; S2 et S3; S3 et S1 permutés.

Sens de rotation correct. Le R indique 120° si le T est à zéro.

S1 et S3; S2 et S1; S3 et S2 permutés.

Sens de rotation correct. Le R indique 240° si le T est à zéro.

R1 et R2 inversés au récepteur ou au transmetteur.

Sens de rotation correct. Décalage de 180° entre le R et le T.

R1.R2 inversés ainsi que S1.S2.

R1.R2 inversés ainsi que S2.S3.

R1.R2 inversés ainsi que S1.S3.

R1.R2 inversés ainsi que S1 → S2

S2 → S3

S3 → S1

R1.R2 inversés ainsi que S1 → S3

S3 → S2

S2 → S1

Sens de rotation inverse au R. Lorsque le T est à zéro le R indique 60°.

Sens de rotation inverse du R. Lorsque le T est à zéro le R indique 300°.

Sens de rotation inverse du R. Lorsque le T est à zéro le R indique 180°.

Sens de rotation correct. Lorsque le T est à zéro le R indique 60°.

Sens de rotation correct. Lorsque le T est à zéro le R indique 300°.

CHAPITRE 3

LES APPAREILS DE CALCUL

3.0 - GENERALITES.

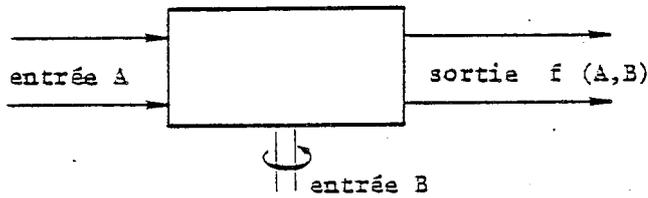
Dans les calculateurs analogiques à courant porteur basse fréquence, les calculs effectués se ramènent aux opérations élémentaires suivantes :

- addition et soustraction
- multiplication et division
- dérivation et intégration.
- formation de fonctions trigos ou quelconques.

Nous rappelons ici (voir en 1.3.2) que la porteuse est une tension de "référence calcul" de fréquence fixe et d'amplitude en principe constante.

Les calculs portent sur des grandeurs représentées sous forme de tensions de calcul ou de rotations d'arbres. Toute tension de calcul est issue de la référence calcul et son niveau par rapport à cette référence représente la valeur absolue de la grandeur considérée. Le signe de cette grandeur étant représenté par la phase ou l'opposition de phase de la tension par rapport à la référence.

Nous allons étudier les appareils de calcul utilisés dans les calculateurs analogiques de la marine. Sauf cas très particuliers tous les appareils de calcul utilisés sont électromécaniques c'est-à-dire que pour chacun d'eux il y aura représentation de deux grandeurs sous forme électrique et d'une grandeur sous forme mécanique. On trouvera donc toujours un stator et un rotor. Généralement on a une entrée électrique, une autre entrée mécanique et la sortie ou résultat est obtenue sous forme électrique.



La sortie sera toujours une fonction de A et de B.

Ces appareils de calcul peuvent se grouper en familles selon la propriété physique qui est exploitée dans l'appareil. On distingue :

- a) - Les appareils utilisant la variation de résistance d'un conducteur en fonction de sa longueur. Exemple potentiomètre ($R = \rho \frac{l}{S}$) utilisable en continu et en ω .
- b) - Les appareils utilisant les phénomènes de l'induction, Fém induite dans une bobine selon la valeur du flux traversant cette bobine ou du nombre de spires de cette bobine placée dans un flux donné ($e = n \frac{d\phi}{dt}$). Appareil exclusivement utilisable en ω .
- c) - Les appareils utilisant la variation de capacité d'un condensateur en fonction de la surface de ses armatures en regard ($c = K \cdot \frac{S}{e}$).

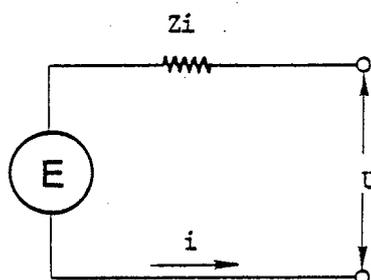
La propriété (a) est utilisée dans tous les calculateurs, par contre les propriétés (b) et (c) ne le sont pas. Selon les constructeurs on utilisera soit les phénomènes de l'induction, soit la variation de capacité.

C'est ainsi que la propriété (b) est utilisée dans les calculateurs pour artillerie de 127 mm. - la direction de lancement de torpilles (DLTK2B ou DLTL3A et DLTS4A. La propriété (c) est utilisée dans les calculateurs pour artillerie de 57, de 100 et les calculateurs de guidage des Malafons (BGD_S) ainsi que dans les calculateurs de direction de lancement mortier et roquette (D.L.M et D.L.R).

3.1 - CONDITIONS DE BON FONCTIONNEMENT DES APPAREILS DE CALCUL.

- Un appareil de calcul ne doit pas débiter.

En effet pour que la tension recueillie à ses bornes de sortie représente exactement la grandeur cherchée il faut que la chute interne soit nulle.



$$U = E - Z_i \cdot I$$

On cherche à réaliser $U = E$

Il faudra donc que l'impédance interne soit le plus faible possible. Et que l'impédance de charge soit la plus grande possible pour que le débit soit nul ou tout au moins le plus faible possible.

- Un appareil de calcul ne doit pas introduire de déphasage. Nous savons qu'une tension de calcul doit être en phase ou en opposition de phase avec la référence. Si un appareil introduit un déphasage autre que 0 ou 180° celui-ci devra être compensé.
- Le couple mécanique nécessaire pour entraîner le rotor de l'appareil de calcul devra être aussi faible que possible.

Un couple résistant important nuira à la précision dans le positionnement angulaire du rotor, surtout si ce positionnement est assuré par un servomécanisme.

- La présence de butées mécaniques entraîne des servitudes.

Beaucoup d'appareils de calcul ne peuvent être utilisés que sur un secteur < 360° de rotation de leur rotor. Il est donc nécessaire de ne pas aller au delà de ces limites et de placer des butées mécaniques.

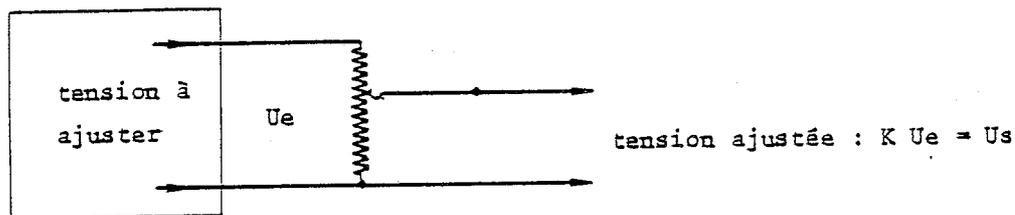
3.2 - LES POTENTIOMETRES RESISTIFS.

Les potentiomètres résistifs sont classés en 2 catégories, selon leur utilisation :

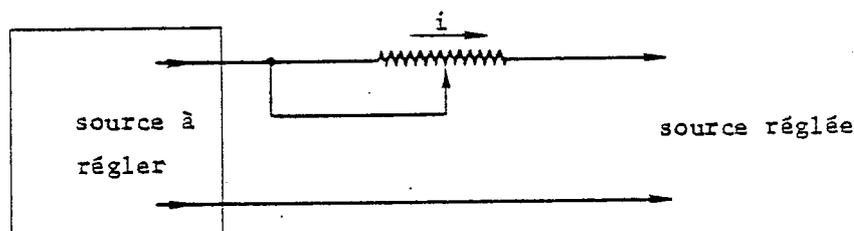
- Les potentiomètres de réglage.
- les potentiomètres de calcul.

3.2.1 - Les potentiomètres de réglage.

Ils sont utilisés dans tous les montages nécessitant un réglage (circuit R.C - contre réaction - Polarisation - etc...) pour obtenir une tension variable (montage potentiométrique).



ou pour obtenir une intensité variable (montage en rhéostat)



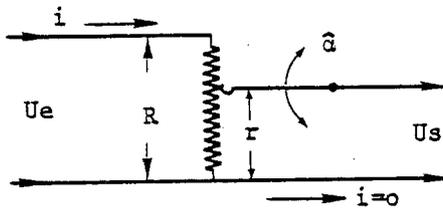
Les potentiomètres de réglage se caractérisent par leur résistance (quelques $\frac{1}{10}$ Ω à plusieurs M Ω) et par leur puissance (quelques $\frac{1}{10}$ W à quelques centaines de W)

Certains de ces potentiomètres sont munis d'un dispositif de blocage permettant d'éviter un dérèglement à la suite de chocs (vibrations etc...)

3.2.2 - Les potentiomètres de calcul.

Ce sont des potentiomètres de précision, de grande résistance (quelques K Ω) et de faible puissance. Ils sont bobinés, de construction soignée pour obtenir une linéarité aussi parfaite que possible. On les accouple à des mécanismes grâce à un axe très exactement centré, qui entraîne le curseur. La rotation est en général continue (absence de butées), le mécanisme d'entraînement pouvant faire plusieurs tours.

Principe



Si $i = 0$, on a $I = \frac{U_e}{R} = \frac{U_s}{r}$

$\frac{U_e}{R} = \frac{U_s}{r}$, d'où $U_s = U_e \frac{r}{R}$

R est constant, donc

$U_s = K r U_e$. $K = \frac{1}{R}$

r est fonction du déplacement α du

curseur, d'où

$$U_s = K U_e f(\alpha)$$

NOTA : Les résultats ci-dessus ne sont valables que parce que le débit (i) dans le circuit de sortie est nul. Si ce débit n'est pas nul, la précision du calcul est affectée.

La relation $U_s = K U_e f(\alpha)$ nous montre que :

- Si U_e est constant, on obtient $U_s = K U_e f(\alpha)$, c'est-à-dire que l'on effectue une transformation rotation d'arbre - tension de calcul.
- Si U_e représente une grandeur, U_s est le résultat du produit de cette grandeur par la grandeur (α).

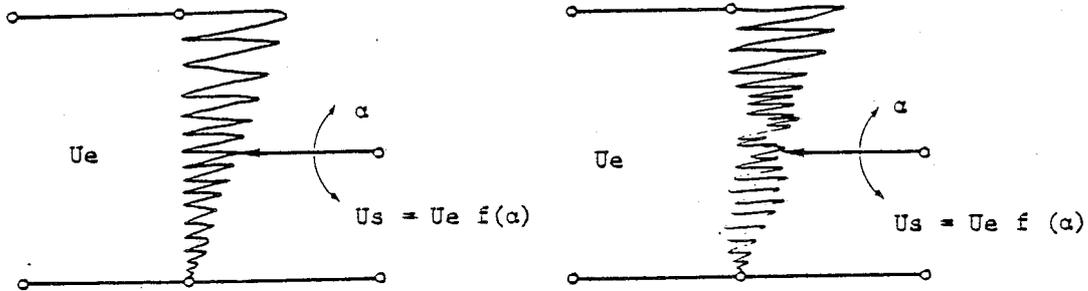
NOTA : On peut dire qu'on effectue toujours le produit de la grandeur U_e par $f(\alpha)$.
Le signe du produit est constant.

Classification.

On distingue :

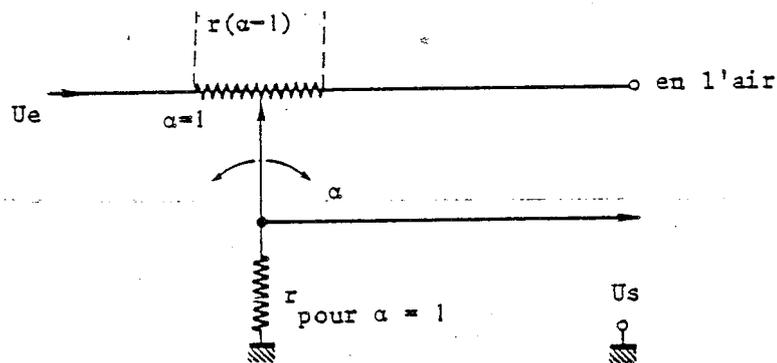
- Les potentiomètres linéaires : La variation de r est proportionnelle à α (rotapote, helipote).
- Les potentiomètres non linéaires où la variation de r est fonction de α et de la

forme du bobinage. (potentiomètres logarithmiques, fonctionnels).



3.2.3 - Montages particuliers.

Soit le montage suivant :



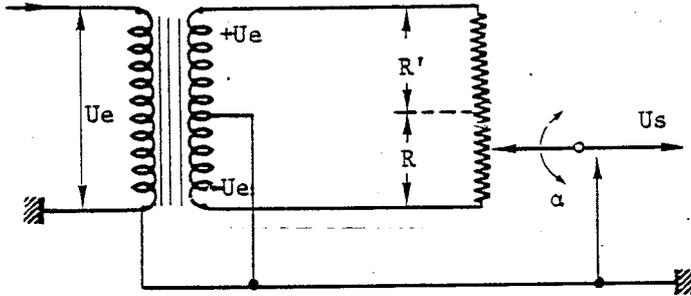
Si r représente la variation de résistance du potentiomètre pour un déplacement unitaire de la grandeur α , on obtient :

$$U_s = U_e \frac{r}{r(\alpha - 1) + r} = U_e \frac{r}{r\alpha - r + r}$$

$$U_s = U_e \frac{r}{r\alpha} = \frac{U_e}{\alpha}$$

On effectue donc le quotient de la grandeur U_e par la grandeur α (α doit toujours être ≥ 1).

Soit le montage suivant :



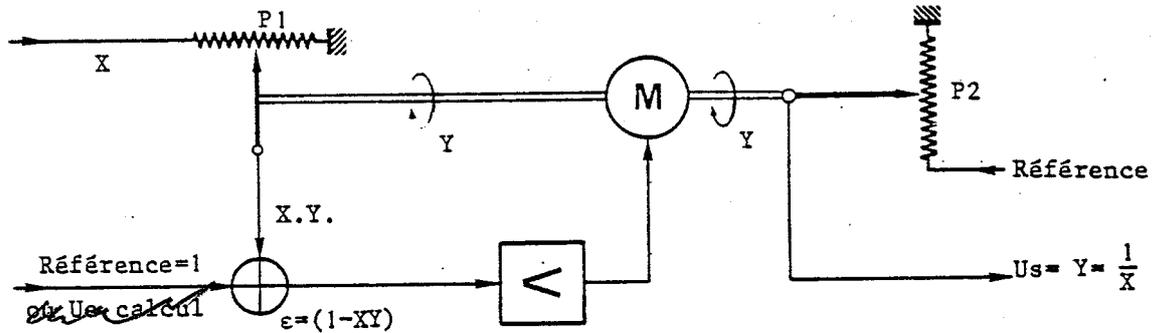
$$U_s = \pm K U_e f(\alpha)$$

Ce montage permet d'obtenir le produit d'une grandeur de signe variable par une grandeur de signe variable.

Montage diviseur.

$$\text{Fonction } Y = \frac{1}{X}$$

La grandeur X étant connue sous forme de tension de calcul, on réalise le montage suivant :



Le potentiomètre P2 sert à transformer le résultat Y en tension de calcul.

Pour réaliser la fonction $Y = \frac{Z}{X}$, le montage est identique, il suffit d'appliquer la tension de calcul Z au lieu et place de la référence sur le différentiel électrique.

Transformation en tension de calcul rotation d'arbre

$U_s = f(\alpha)$ *montage de calcul*

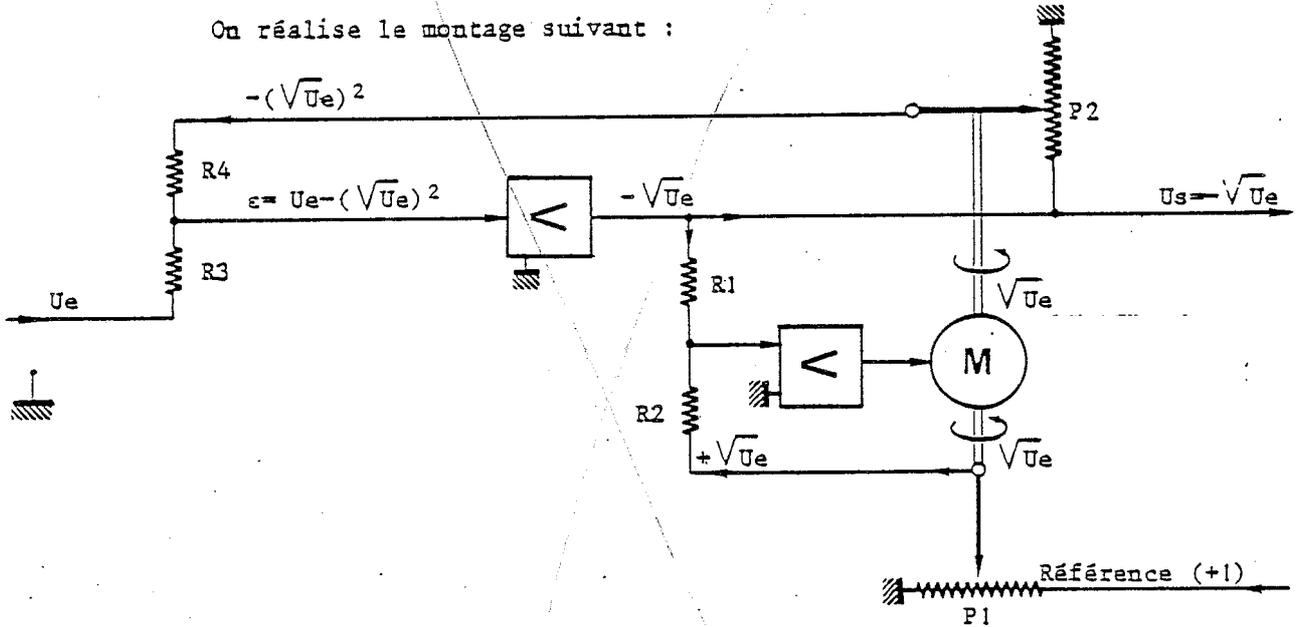
$E = U_e - K f(\alpha) \Rightarrow E = 0$

$U_e = K f(\alpha)$

$f(\alpha) = \frac{U_e}{K}$

Racine carrée.

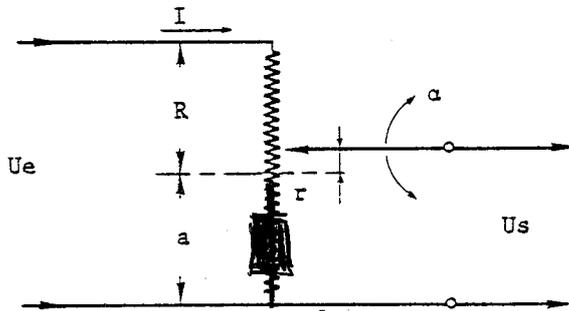
On réalise le montage suivant :



L'entrée étant U_e , on désire connaître $U_s = -\sqrt{U_e}$. La variable U_e est obligatoirement de signe constant. Il reste à effectuer un changement de signe de la sortie pour avoir $+\sqrt{U_e}$ (transfo).

3.2.4 - Décalage d'échelle.

Soit le montage suivant :



$$I = \frac{U_e}{R + a}$$

$$U_s = \frac{U_e}{R + a} (a + r)$$

$$U_s = U_e \left[\frac{a}{R + a} + \frac{r}{R + a} \right]$$

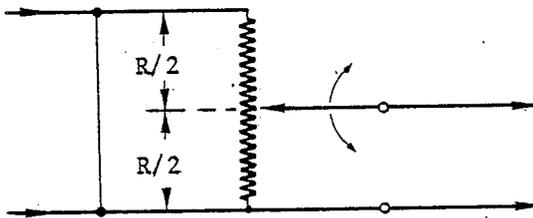
$$U_s = U_e \left[K' + K f(\alpha) \right]$$

Dans ce montage, lorsque $\alpha = 0$, la tension U_s représente la valeur $U_e K'$.

En choisissant convenablement (a) on réalise le décalage de l'origine de la grandeur que l'on désire. Si U_e est constant, U_s est de la forme :

$$y = ax + b$$

3.2.5 - Résistance interne.

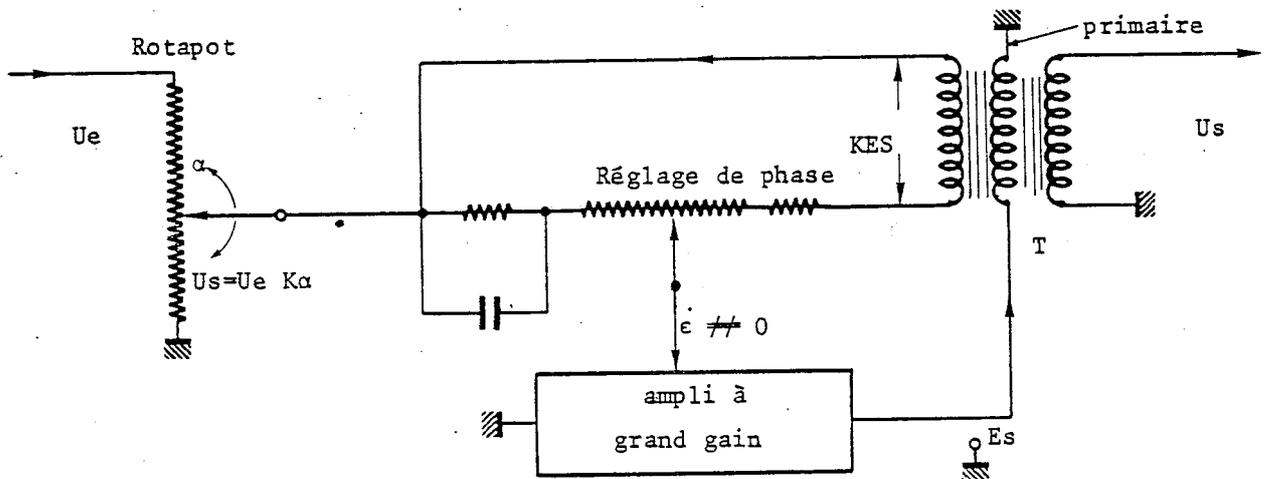


Si R est la résistance d'un potentiomètre, sa résistance interne varie de 0 à $R/4$. La valeur $R/4$ est atteinte lorsque le curseur est au milieu de R . On voit que cette résistance interne peut être grande puisque R fait plusieurs milliers d'ohms. Si un courant de sortie existait, aussi faible soit-il, il causerait une chute de tension aux bornes

de sortie, préjudiciable à la précision du calcul.

Les potentiomètres de calculs devront donc être chargés par de très fortes impédances (amplificateurs). D'autre part, un potentiomètre de calcul ne constitue jamais pour l'appareil de calcul placé en amont, une forte impédance, d'où nécessité d'intercaler entre eux un amplificateur qui fournit la puissance nécessaire (donc de faible impédance interne).

3.2.6 - Montage utilisé pour annuler le débit dans le circuit de sortie et obtenir une tension de sortie pouvant alimenter un autre potentiomètre de calculs.



1299

- 62 -

L'ampli a un gain (A) très grand et alimente le primaire du transfo (T) par une tension E_s .

Un secondaire délivre une tension $K E_s$ appliquée en contre réaction sur l'ampli. La tension délivrée par le rotapot est mise en opposition avec cette contre réaction.

La commande de l'ampli est $e = U_s - K E_s$.

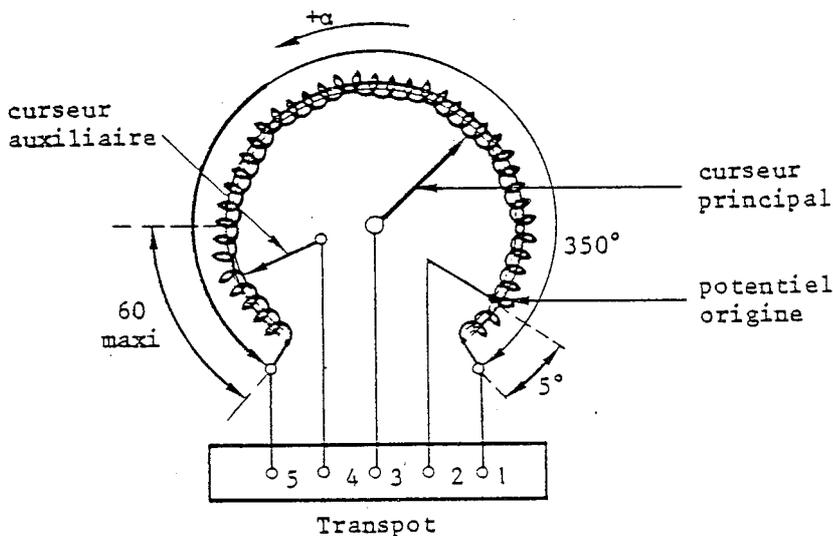
Lorsque $U_s \neq K E_s$, $e \neq 0$ et le débit du rotapot est nul. Les réglages sont tels que l'on obtient alors U_s sur l'autre secondaire du transformateur. L'ampli fournit la puissance. De plus, il y a séparation des impédances entre le rotapot et l'appareil de calcul qui sera alimenté par U_s .

3.3 - LES APPAREILS INDUCTIFS.

3.3.1 - Transpot et Ipot.

Ces deux appareils sont des autotransformateurs de grande précision. Ils assurent les mêmes fonctions mais sont de construction un peu différente. L'ipot est de fabrication anglaise, le transpot de fabrication française.

3.3.1.1 - Constitution et schéma électrique.



L'appareil est représenté vu du côté opposé au bouton de manoeuvre du curseur auxiliaire.

Bobinage et circuit magnétique.

Le circuit magnétique de ces deux appareils est constitué par un ruban de mumétal enroulé en spirale, formant un tore de section rectangulaire à haute perméabilité. Le bobinage réalisé en fil de cuivre émaillé est bobiné très régulièrement sur un mandrin isolant entourant le circuit magnétique, à raison de 3 spires par degré. Le bobinage est réparti sur environ 350° pour le transpot et 345° pour l'ipot.

Curseur principal : Le curseur principal est entraîné par la rotation de l'arbre représentant la grandeur variable α . Il porte un galet sur lequel on recueille la tension de sortie de l'appareil. Ce galet, en carbone, roule sur une piste circulaire formée par une partie dénudée du bobinage sur la périphérie de la couronne.

- Dans l'ipot la course du curseur est limitée à 345°.

- Dans le transpot la course n'est pas limitée. Le bras est équilibré et porte de plus un balai en feutre destiné à essuyer les poussières de carbone au passage du curseur. Du fait que le curseur peut tourner continuellement (pas de butées) la liaison du curseur avec la borne de sortie se fait grâce à un frotteur portant sur une bague.

Par ailleurs il existe deux variantes de transpot, selon la disposition du galet :

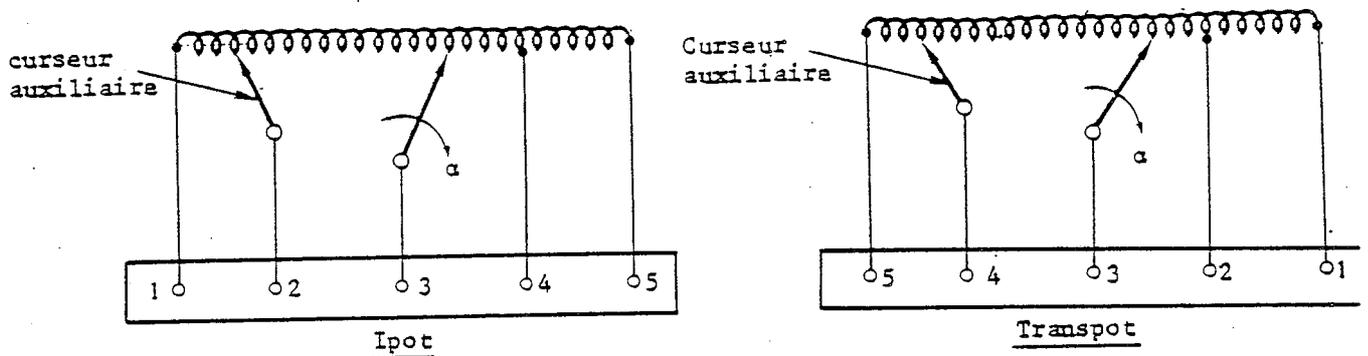
- La variante A (curseur pouvant tourner en permanence) l'axe de rotation du galet est selon le rayon de giration du curseur.
- La variante B (transpot utilisé pour les affichages) l'axe de rotation du galet est légèrement incliné par rapport au rayon de giration du curseur.

NOTA : Dans la variante A la tension recueillie par le curseur varie par palier de spire à spire. Dans la variante B la tension recueillie varie de manière plus continue du fait que le galet commence à porter sur une nouvelle spire lorsqu'il en quitte une. Toutefois l'usure du galet est plus rapide puisqu'il y a nécessairement frottement.

Curseur auxiliaire. Il existe sur les deux appareils un curseur auxiliaire portant un galet en carbone qui roule sur une piste formée par une partie dénudée de la face

intérieure du bobinage. La course est de 60° maximum. Ce curseur ne sert qu'au réglage. Il est commandé par un bouton de manoeuvre situé sur l'un des flasques de l'appareil et pouvant être bloqué. Le réglage porte sur le nombre de spires primaires.

Plaque à bornes. Sur chaque appareil on trouve cinq bornes numérotées de 1 à 5. La numérotation de l'ipot est l'inverse de celle du transpot.



Aspect extérieur :

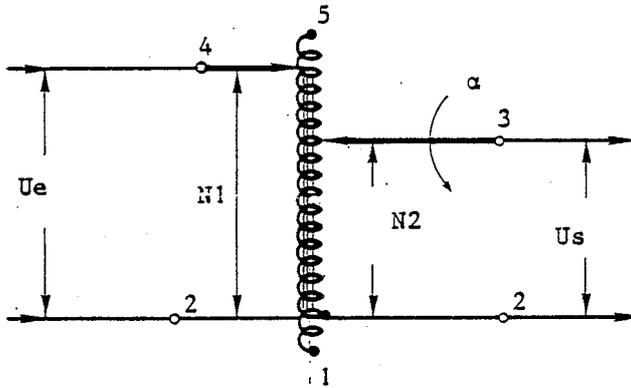
L'ipot est de forme octogonale (rayon du cercle circonscrit 90 mm environ - hauteur 58 mm).

Le transpot est cylindrique (diamètre 128 mm - hauteur 57 mm).

3.3.1.2 - Principe de fonctionnement.

C'est un autotransformateur dont on fait varier le rapport de transformation.

Schéma de principe avec un transpot :



$$\text{On a : } \frac{N1}{N2} = \frac{Ue}{Us} \quad \text{si } N1 = K$$

$$\text{et } N2 = f(\alpha)$$

$$\text{on obtient : } Us = \frac{Ue f(\alpha)}{K}$$

$$\text{ou encore avec } K1 = \frac{1}{K}$$

$$Us = K1 Ue. f(\alpha)$$

On voit que le curseur auxiliaire permet de faire varier le nombre de spires primaires donc $K1$ et par conséquent la tension Us pour une valeur de Ue et de α donnée. Cette variation peut atteindre $\pm 10\%$. On règle ainsi l'échelle de représentation (en Volts par degré) de la grandeur représentée par la rotation d'arbre α .

3.3.1.3 - Utilisation avec variable (α) de signe constant.

Soit un transpot branché selon le schéma de principe ci-dessus.

- a) - Si Ue est une tension constante (tout ou partie de la référence calcul), l'appareil réalise la transformation rotation d'arbre \rightarrow tension de calcul proportionnelle. On dit que l'appareil est en tête d'une chaîne de calcul

$$Us = K2 f(\alpha)$$

- b) - Si Ue représente une grandeur variable sous forme de tension de calcul, l'appareil réalise le produit de cette variable par celle matérialisée sous forme de rotation d'arbre α du rotor. Le résultat est :

$$Us = K. Ue. f(\alpha)$$

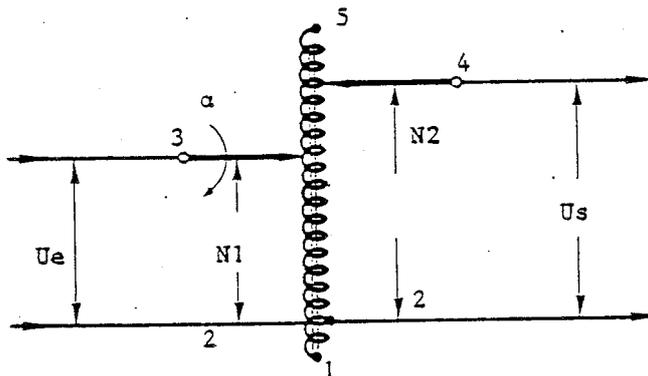
On dit qu'il est en série dans une chaîne de calcul.

Montage diviseur.

On peut obtenir l'inverse d'une grandeur connue sous forme de rotation

d'arbre, ou bien le quotient de deux grandeurs dont l'une est sous forme électrique et l'autre sous forme de rotation d'arbre.

On réalise alors le branchement suivant :



On alimente l'appareil entre le curseur principal et la borne 1 ou 2. On recueille la tension de sortie entre la borne 4 et la borne 1 ou 2.

On obtient :

$$\frac{U_e}{U_s} = \frac{N_1}{N_2} \text{ avec } \begin{cases} N_1 = f(\alpha) \\ N_2 = K \end{cases}$$

$$U_s = K \cdot \frac{U_e}{f(\alpha)}$$

Si $U_e = \text{constante}$ on obtient l'inverse de α soit $U_s = K1 \frac{1}{f(\alpha)}$

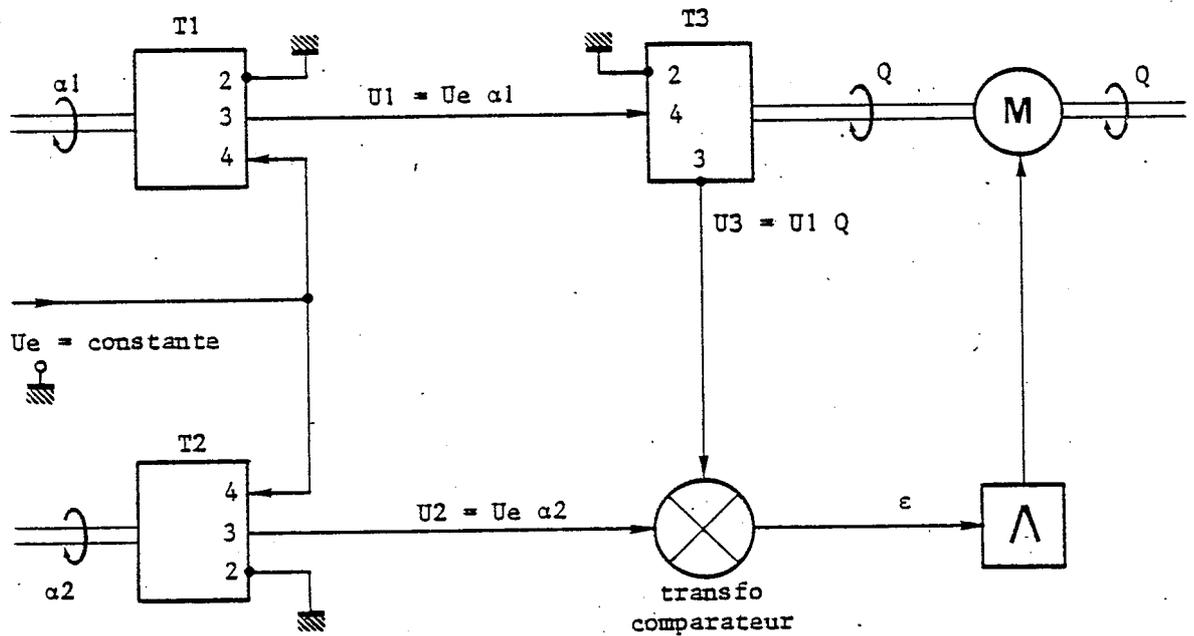
Si $U_e = \text{variable}$ on obtient le quotient de la variable U_e par la variable α soit

$$U_s = K \frac{U_e}{f(\alpha)}$$

NOTA : Le montage diviseur est assez peu utilisé car il y a risque de court-circuit à l'entrée si α tend vers zéro. La tension U_e doit de toutes façons être assez faible.

Pour éviter cet inconvénient on peut réaliser le montage suivant (avec par exemple des transpots).

Les deux variables doivent être connues sous forme de rotation d'arbre soit α_1 et α_2 ces variables. Le quotient s'obtient sous forme de rotation d'arbre qu'il est facile de transformer en tension de calcul.



T1 délivre $U_1 = U_e \alpha_1$
 T2 délivre $U_2 = U_e \alpha_2$

T3 délivre $U_3 = U_1 \cdot Q = U_e \alpha_1 \cdot Q$

Dans le transfo on fait la différence $U_3 - U_2 = \epsilon$
 soit $\epsilon = -U_e \alpha_2 + U_e \cdot \alpha_1 \cdot Q = (\alpha_1 Q - \alpha_2) U_e$

Cette tension ϵ amplifiée commande la rotation du moteur, celui-ci tourne jusqu'à ce que $\epsilon \neq 0$. On a alors $\epsilon = \alpha_1 Q - \alpha_2 \neq 0$ soit :

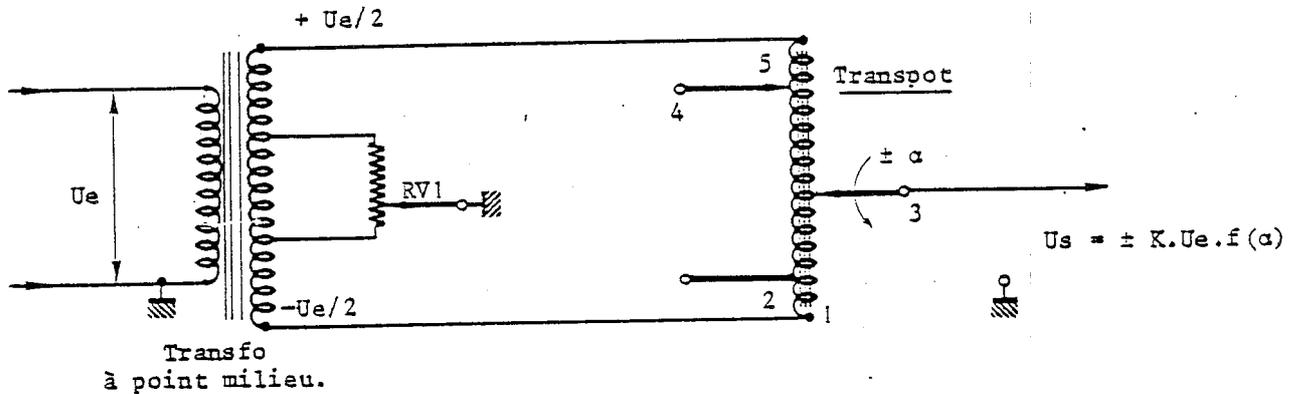
$$Q = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

Il faut bien entendu que la variable α_1 ne puisse pas s'annuler. Mais à part cela les appareils sont utilisés normalement et la division est possible pour toutes les valeurs de α_1 en adaptant bien entendu les échelles de représentation.

3.3.1.4 - Utilisation lorsque la variable α peut changer de signe.

Ces appareils ne possédant pas de point milieu sorti, on réalise le montage

suisant :



NOTA : Il est recommandé, dans ce montage d'alimenter l'appareil par les bornes 5 et 1, car on obtient de la sorte la plus grande amplitude possible pour la rotation α et d'autre part on ne risque pas de dérégler le zéro par une manoeuvre du curseur auxiliaire.

Dans ce Montage la tension U_s est nulle lorsque le curseur se trouve exactement à égale distance des points 5 et 1. La tension recueillie est en phase ou en opposition de phase avec la référence selon le signe de α . L'amplitude de rotation représentant α ainsi que la tension U_s maximum sont égales à la moitié de celles normales.

Le RV1 permet de régler avec précision le zéro c'est-à-dire une tension $U_s = 0$ pour une position milieu du curseur. Il peut également servir à faire un décalage d'échelle c'est-à-dire à déplacer le zéro de manière à obtenir une amplitude de α plus grande pour un signe que pour l'autre.

3.3.1.5 - Utilisation de la partie négative (Pour un transpot).

Lorsque l'appareil est alimenté entre les bornes 2 et 4 par la tension U_e et que la sortie se fait par conséquent entre 2 et 3, il existe une partie dite "négative" comprise entre les bornes 2 et 1. Lorsque le curseur se trouve dans cette partie (5° environ) la tension recueillie est en opposition de phase avec la tension de référence. Ceci est utilisé par exemple dans un asservissement piloté par un transpot et arrivant près du zéro ou à zéro. Si l'asservissement dépasse cette position zéro il se trouve

ramené vers le zéro par la tension recueillie entre 2 et 1 qui est en opposition de phase avec celle commandant la rotation initiale. Les butées sont ainsi protégées car sans cela la commande serait "en l'air" et sur inertie ou commande parasite l'asservissement tournerait.

3.3.1.6 - Alimentation - tension et fréquence.

Les transpots et ipots sont utilisables sous différentes fréquences et différentes tensions maximum.

Fréquences	50	60	400	1000
Tensions	40	50	115	115

3.3.1.7 - Caractéristiques.

- Précision : La courbe $V_s = f(\alpha)$ pour U_e constant est pratiquement linéaire, l'erreur relative maxi est de $2^\circ/00$.
- Impédance externe : Le noyau étant à très haute perméabilité, le coefficient de self (L) est grand si l'on n'atteint pas la saturation (limitation de la tension d'alimentation). L'impédance est donc très grande. Les pertes fer et cuivre sont très faibles (tore). Ainsi le courant absorbé est de 4 à 5 mA maxi. A 400 Hz l'impédance est d'environ 30 K Ω .
- Impédance interne : Celle-ci est maxi lorsque le curseur se trouve à mi-course (comme pour le rotapot). La partie résistive est alors égale à $R/4$ soit 30 Ω environ. La partie réactive est due au flux de fuite et reste très faible de l'ordre de 4 à 60 j selon la fréquence d'utilisation.
- Couple d'entraînement : Celui-ci reste faible, dans certains cas on enlève le feutre essuie piste pour diminuer le couple résistant. Ceci ne doit pas être fait si la rotation du curseur est continue. Le couple d'entraînement reste de l'ordre de 100 à 200 cmgr.

CONCLUSIONS : Ces appareils sont d'utilisation très souple du fait que l'on peut :

- les utiliser sous différentes fréquences.
- Avec des puissances de sortie de l'ordre du Watt sans que la précision en soit sensiblement altérée.
- Les utiliser en cascade, puisqu'ils ont des impédances externes grandes, sans ampli intermédiaire.

Inconvénients :

- Encombrement et poids importants.
- encrassement de la piste par les poussières de carbone du galet qui provoquent des crachements.

3.3.1.8 - Conventions de base pour l'utilisation et le branchement

- Le sens positif de rotation est le sens trigo, l'appareil étant vu du côté opposé au bouton de manoeuvre du curseur auxiliaire. L'appareil doit toujours tourner dans le sens positif pour un élément transmis croissant. Ceci n'est pas gênant car l'appareil porte un accouplement sur ses deux faces

3.3.1.9 - Zéro électrique de l'appareil.

- Pour le transport : Le zéro électrique est obtenu lorsque l'appareil étant alimenté entre 2 et 4 la tension entre les bornes 2 et 3 est nulle. Dans cette position on doit pouvoir introduire une clavette trapézoïdale portée par un flasque, dans un logement prévu à cet usage sur l'axe du curseur et sur le flasque porteur de la clavette.
- Pour l'ipot : L'appareil étant alimenté en 2 et 4 la tension en 3.4 doit être nulle. Dans cette position une clavette spéciale doit pouvoir être engagée dans des encoches prévues à cet usage et portées par le disque d'accouplement et le flasque en regard.

Branchement des appareils.

Différents branchements sont possibles selon l'utilisation que l'on désire

faire de l'appareil. On se reportera à ce qui a été dit dans cette étude. Le schéma de principe permet d'ailleurs de voir toutes les possibilités.

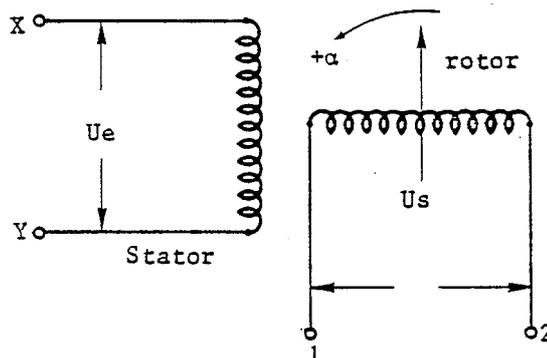
Matériel utilisant les ipots et transpots :

- Conduite de tir de 127.
- Direction de lancement de torpilles type K2B et DLTS4A.
- utilisable également dans les asservissements pour fournir un terme opposition ou de commande.

3.3.2 - Le Linvar

Le Linvar (de variomètre linéaire) est un appareil de construction anglaise; il se présente sous la forme d'un petit moteur électrique, (diamètre 68 m/m, longueur 129 m/m). C'est un transformateur à couplage variable constitué d'un primaire (le stator) et d'un secondaire (le rotor). La liaison du rotor avec le circuit extérieur se fait au moyen de deux balais en carbone qui frottent sur deux bagues collectrices. L'axe du rotor sort d'un côté de l'appareil, de l'autre côté se trouvent les bornes de raccordement.

Le schéma électrique et le repérage des bornes sont les suivants :



Le Linvar représenté ainsi est vu du côté arbre, dans la position du zéro électrique. Le sens positif de rotation est le sens trigonométrique.

3.3.2.1 - Rôle de l'appareil.

Le Linvar est généralement utilisé pour transformer une rotation d'arbre de signe variable en tension de calcul.

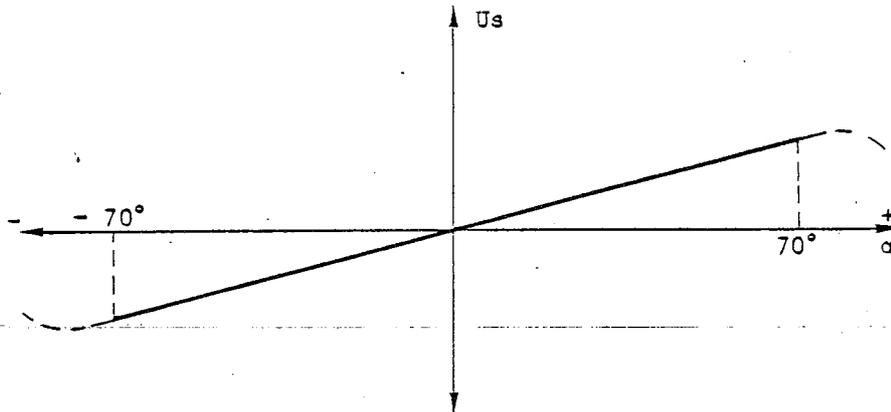
Le bobinage est réalisé de telle manière que pour une rotation de $\pm 70^\circ$ de

part et d'autre du zéro, la tension délivrée par le rotor est proportionnelle à la rotation α et de phase variable selon le signe de la rotation. On a ainsi : $U_s = \pm U_e f(\alpha)$.

3.3.2.2 - Alimentation.

Le Linvar peut être alimenté en 115 V efficaces au maximum, et en 50, 60 ou 400 Hz selon le type. La tension d'alimentation est toujours appliquée en X, Y. C'est : ou bien soit une tension fixe si le Linvar est en tête d'une chaîne de calcul, (dans ce cas il réalise la transformation rotation d'arbre \rightarrow tension de calcul) ou bien soit une tension de calcul issue d'un autre appareil de calcul et représentant une grandeur variable; il réalise alors le produit de cette grandeur par la grandeur représentée sous forme de rotation de son rotor.

Sortie.



La tension de sortie est toujours recueillie aux bornes baptisées 1, 2.

PRECISION.

La précision du Linvar est de l'ordre de 3°/00.

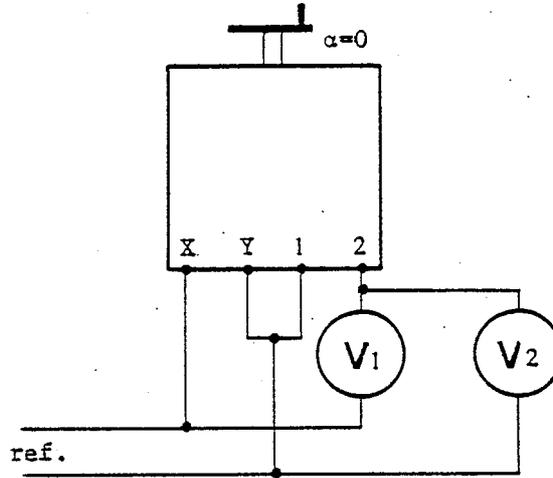
Réglage au zéro électrique.

L'appareil est au zéro électrique lorsque, quand il est alimenté en X, Y, la tension en 1, 2 est nulle et que si on tourne le rotor dans les sens +, la tension prélevée en $\overrightarrow{1,2}$ est en phase avec la référence appliquée en $\overrightarrow{Y,X}$.

Montage à réaliser pour effectuer le réglage du Linvar au zéro électrique.

L'appareil étant lié mécaniquement, placer l'organe mécanique à zéro. Tourner

le stator jusqu'à lire 0 sur V1. Décaler le stator dans le sens horaire, V2 doit diminuer. Sinon, faire 1/2 tour et annuler V1.



Le zéro approximatif peut être obtenu en introduisant une clavette spéciale dans les encoches dont l'une est portée par le rotor et l'autre par le stator.

3.3.3 - Le Variomètre.

Généralités.

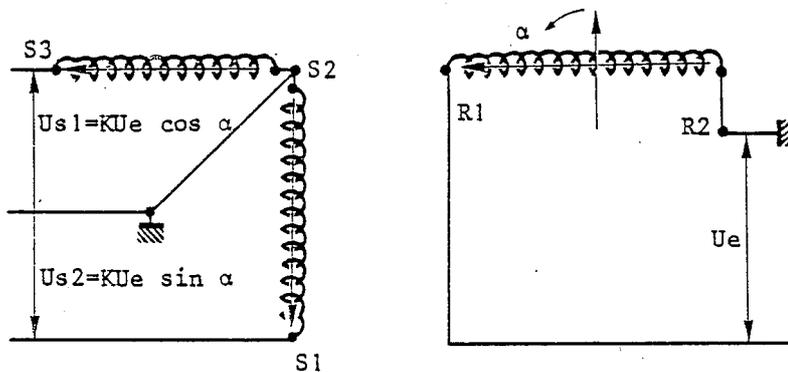
Le variomètre est un transformateur à couplage variable. Il se présente sous le même aspect extérieur que les appareils synchrones. Il en existe deux types :

Le 31 V4 (taille 31 - Variomètre - en 400 Hz

Le 37 V6 (taille 37 - Variomètre - en 60 Hz

La tension maximum d'alimentation est de 115 V dans les deux cas.

3.3.3.1 - Le schéma électrique est le suivant :



L'appareil est représenté vu du côté arbre, dans la position du zéro électrique.

Le sens positif de rotation est le sens trigo, rotor

vu du côté arbre.

Il est composé d'une bobine au rotor (le primaire qui reçoit l'alimentation) et de deux bobines au stator, dont les axes sont décalés de 90° .

NOTA : Le 37 V6 comporte en réalité deux bobines au rotor, décalées de 90° et deux bobines au stator également décalées de 90° . Les bornes R1-R2 (et R3 pour le 37 V6) sont reliées au rotor grâce à des frotteurs portant sur des bagues collectrices.

3.3.3.2 - Principe de fonctionnement.

L'appareil étant alimenté aux bornes R1-R2, on recueille sur les bornes du stator les tensions suivantes :

$$\text{- en } S3.S2 \rightarrow K U_e \cos \alpha = U_{s1}$$

$$\text{- en } S1.S2 \rightarrow K U_e \sin \alpha = U_{s2}$$

$$K = 1 \text{ si l'appareil débite sur une charge de } 1000 \Omega$$

NOTA : La charge doit être selfique pour que le déphasage de U_s soit minimum.

Les tensions U_{s1} et U_{s2} seront en phase ou en opposition de phase avec la référence, selon le signe de la rotation α . Tout ceci à condition de prendre pour origine de α la position du rotor où l'enroulement R1.R2 est parallèle à S3.S2.

Utilisation : Le variomètre est assez rarement utilisé comme appareil de calcul pour former les fonctions sinus et cosinus (sauf dans la D.L.T. et dans le repère gyroscopique). Le plus généralement on l'utilise pour transformer une rotation d'arbre en tension de commande d'un système asservi. On considère que la tension qu'il délivre est sensiblement proportionnelle à la rotation de son rotor si celle-ci n'exède pas 45° à 50° . Dans cette utilisation l'erreur commise est d'ailleurs sans importance pratique.

On trouvera ainsi :

- un variomètre pour fournir le terme vitesse de commande dans une installation de pointage manuel d'un télépointeur ou d'une tourelle.

- Des variomètres pour fournir un terme de commande de freinage progressif, lorsque, dans une télécommande l'organe asservi arrive près des butées de fins de course.

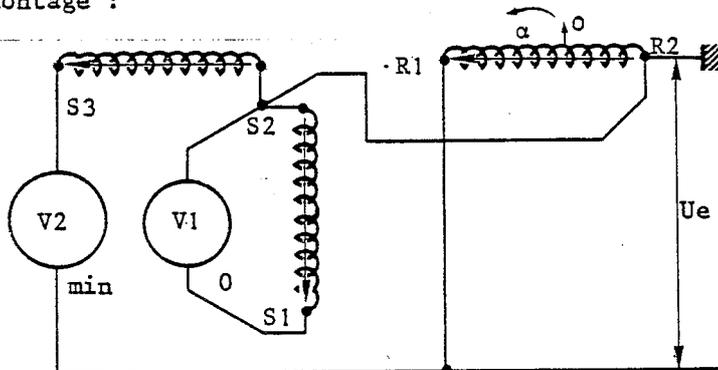
- Un variomètre pour fournir un terme d'opposition dans une télécommande de position, dans la stabilisation des anciens P.D.O. par exemple.

Zéro électrique :

Etant alimenté en 115 Volts en R1.R2, l'appareil est au zéro électrique lorsque :

- la tension est nulle en S1.S2.
- la tension $\overrightarrow{S3.S2}$ est en phase avec $\overrightarrow{R1.R2}$.

Montage :



La tension V1 doit être nulle et la tension V2 doit être minimum.

NOTA : La tension induite en $\overrightarrow{S1.S2}$ est en phase avec $\overrightarrow{R1.R2}$ si l'on tourne le rotor dans le sens trigonométrique.

Le zéro approximatif peut être obtenu en plaçant un repère porté par l'axe du rotor en regard d'un repère porté par le stator.

Branchement : Selon le sens de rotation positif de l'arbre qui entraîne le rotor du variomètre on peut réaliser les fonctions $+\sin \alpha$ et $-\sin \alpha$, ainsi que les fonctions

+ cos et - cos α , selon l'enroulement considéré et le point commun avec la référence.

Conventions de branchement :

a) - Des variomètres de pointage (31 V4).

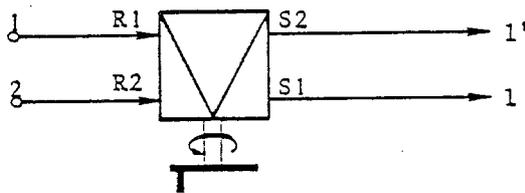
Ces variomètres délivrent une tension de commande vitesse de l'organe mené à partir du pointage. Ceci sous forme de tension \sim d'amplitude fonction de la vitesse commandée et de phase fonction du sens de la rotation ordonnée.

Les liaisons sont repérées :

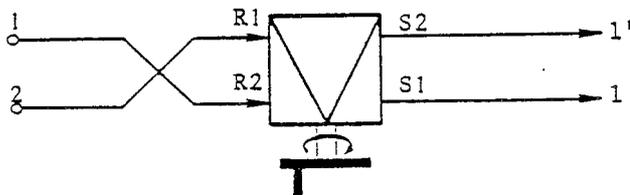
- 1-2 \rightarrow alimentation 115 Volts \rightarrow bornes R1.R2 du Vario.
- 11' \rightarrow terme vitesse ordonnée \rightarrow bornes S1.S2 du Vario.

Une tension $\vec{11'}$ en phase avec la référence $\vec{1.2}$ correspond à un mouvement de pointage dans le sens horaire pour l'organe mené. (En considérant le câblage correct dans l'ampli et le Ward-Léonard).

On a ainsi deux montages :



$\vec{11'}$ en phase avec $\vec{1.2}$ ou $\vec{S2.S1}$ en phase avec $\vec{R2.R1}$. Lorsque le variomètre tourne dans le sens trigo pour une rotation sens horaire de l'organe mené.



$\vec{11'}$ en phase avec $\vec{1.2}$ ou $\vec{S2.S1}$ en phase avec $\vec{R2.R1}$ lorsque le variomètre tourne dans le sens négatif (horaire) pour une rotation sens horaire de l'organe mené.

b) - Variomètres de fins de course : (31 V4).

On trouvera toujours deux varios de F.d.C. pour un mouvement de rotation du

matériel considéré. A savoir, la F.d.C. positive qui correspond à celle d'un mouvement dans le sens + de l'organe mené et la F.d.C. négative correspond à un mouvement dans le sens négatif.

Le variomètre placé avant une F.d.C. est commandé de telle sorte que, la tension qu'il délivre, en dehors de la zone où l'on désire freiner, est maximum (115 Volts). A partir de la zone où l'on désire freiner la tension diminue progressivement. Cette diminution de tension entraîne le freinage progressif puis le blocage du mouvement (voir étude des coffrets de télécommande divers, l'effet des F.d.C.).

Les liaisons sont repérées :

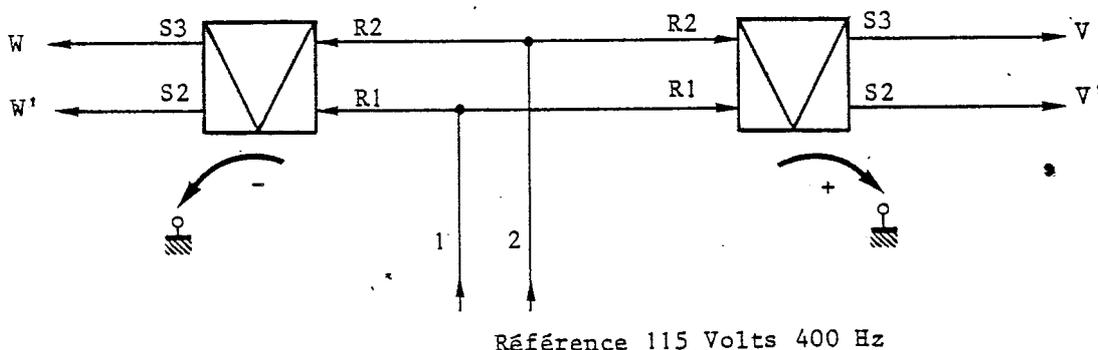
1.2 → alimentation 115 Volts → bornes R1.R2 du vario.

VV' → tension délivrée par le vario (bornes S2.S3) correspondant à la F.d.C. dans le sens +.

WW' → tension délivrée par l'autre vario (bornes S3.S2) correspondant à la F.d.C. dans le sens négatif.

Les tensions VV' et WW' sont toujours en phase avec 1.2. Une diminution de WW' correspond à une butée rencontrée dans le sens décroissant.

Une diminution de VV' correspond à une butée rencontrée dans le sens croissant.



3.3.4 - Le Résolver type I.

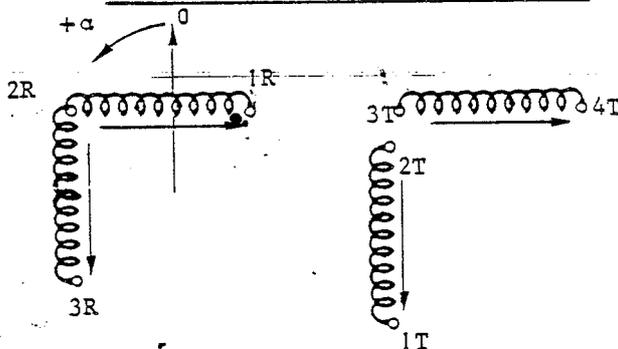
3.3.4.1 - Généralités.

Le résolver type I est un appareil d'origine anglaise; Il se présente sous la forme d'un petit moteur (plusieurs caillies sont actuellement construites).

C'est un transformateur à couplage variable. Le primaire (rotor) comporte deux bobines d'axes décalés de 90° et ayant un point commun, qui sont reliées aux bornes R1.R2.R3 par l'intermédiaire de balais en carbone portant sur des bagues collectrices.

Le secondaire (stator) comporte lui aussi deux bobines d'axes décalés de 90° mais indépendantes, (bornes 1T - 2T - 3T - 4T). L'axe du rotor sort d'un seul côté : le côté opposé portant les bornes de liaison de l'appareil.

Schéma électrique de l'appareil :



L'appareil ainsi représenté est vu du côté arbre, dans la position du zéro électrique.

Le sens de rotation + est le sens trigo, appareil vu du côté arbre.

Il existe des résolvers type I fonctionnant à 50 ou 60 Hz et un autre modèle fonctionnant à 400 Hz.

Dans les deux cas la tension d'alimentation maximum est de 50 Volts.

3.3.4.2 - Principe de fonctionnement.

L'appareil étant alimenté en 1R.2R (par exemple) par une tension de calcul U_e , on recueille sur les bornes du stator deux tensions :

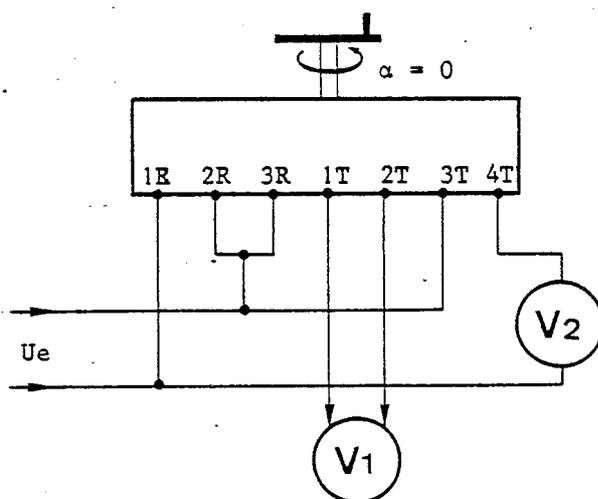
- L'une varie comme le cosinus de l'angle α dont tourne le rotor.
- L'autre varie comme le sinus de l'angle α dont tourne le rotor.

Ces tensions sont en phase ou en opposition de phase avec la référence selon le signe de $\cos.\alpha$ ou $\sin.\alpha$. L'angle α est bien entendu mesuré à partir d'une position origine définie comme étant le zéro électrique.

3.3.4.3 - Zéro électrique de l'appareil.

L'appareil est dans la position du zéro électrique lorsque se trouvant alimenté en 1R.2R :

- La tension en 1T.2T est nulle.
- La tension en $\overrightarrow{3T.4T}$ est en phase avec $\overrightarrow{2R.1R}$.

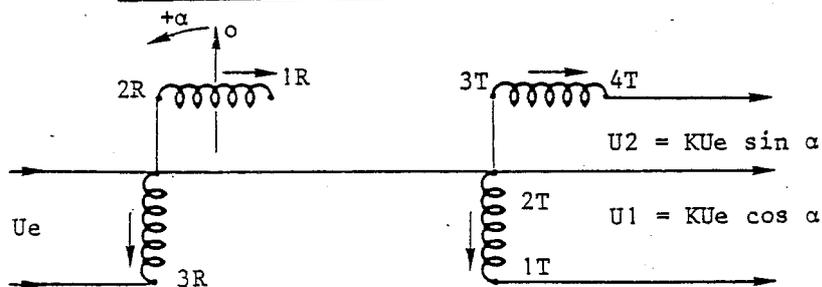


La tension V1 doit être nulle. La tension V2 doit être minimum.

La position du zéro électrique est obtenue approximativement en plaçant une clavette prévue à cet usage dans deux encoches dont l'une est portée par le rotor et l'autre par le stator.

3.3.4.4 - Utilisations diverses.

a) - Formation des fonctions sinus ou cosinus :

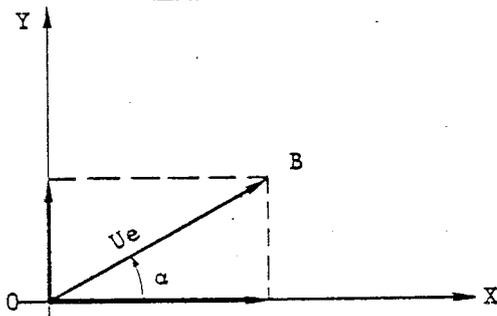


Soit U_e la tension de calcul représentant la grandeur dont on désire faire le produit par la fonction \sin . ou \cos . de l'angle α connu sous forme de rotation d'arbre. Cette tension est appliquée (par exemple en 2R.3R). Avec le montage précédent on obtient :

$$\begin{aligned} \text{en 1T.2T} &\rightarrow U_1 = KU_e \cos \alpha \\ \text{en 3T.4T} &\rightarrow U_e = KU_e \sin \alpha \end{aligned} \quad (K = 1,17)$$

Si l'on désire obtenir la fonction $-\sin$ ou $-\cos$ il suffit de croiser la sortie correspondante.

b) - Passage des coordonnées polaires d'un point aux coordonnées cartésiennes du même point dans un même système d'axes.



Les coordonnées polaires du point sont représentés par :

- la tension U_e pour le module du segment OB.
- par la rotation α pour l'argument

On désire connaître :

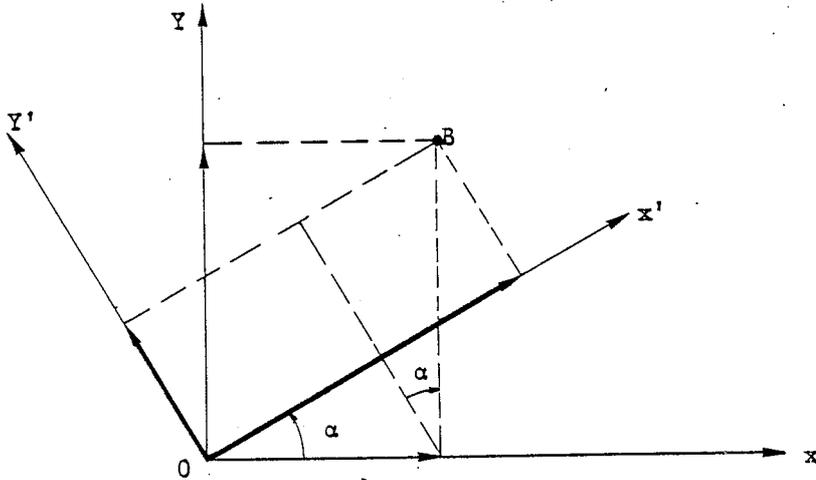
- la coordonnée $OX = OB \cos \alpha$
- la coordonnée $OY = OB \sin \alpha$

On effectue le montage identique au précédent et l'on obtient avec U_e représentant \vec{OB} :

$$\begin{aligned} OX &= U_1 = KU_e \cos \alpha \\ OY &= U_2 = KU_e \sin \alpha \end{aligned}$$

c) - Passage des composantes cartésiennes d'un vecteur dans un système d'axes OXY, aux composantes cartésiennes de même origine, du même vecteur dans

un système d'axe $OX'Y'$ décalé du précédent de l'angle α .



On a :

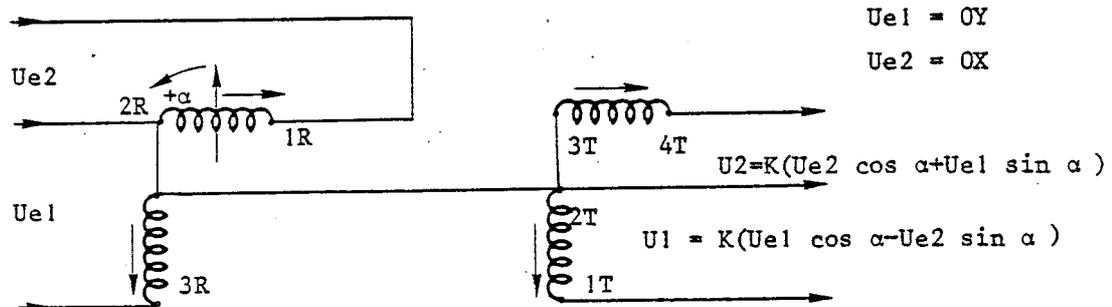
$$OX' = OX \cos \alpha + OY \sin \alpha$$

$$OY' = OY \cos \alpha - OX \sin \alpha$$

OX et OY composantes de \vec{OB} dans le système d'axes OXY sont connues sous forme de tension de calcul et α est connu sous forme de rotation d'arbre.

On appelle $OY = Ue1$
 $OX = Ue2$

On réalise le montage suivant :



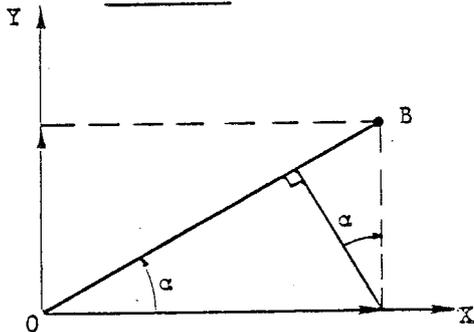
On obtient ainsi deux tensions de calcul :

$$U2 = K (OX \cos \alpha + OY \sin \alpha)$$

$$U1 = K (OY \cos \alpha - OX \sin \alpha)$$

qui représentent les composantes cartésiennes du vecteur OB dans le système d'axes OX'Y'.

d) - Passage des coordonnées cartésiennes d'un vecteur OB aux coordonnées polaires de ce vecteur dans le même système d'axes.



Les composantes OY et OX sont connues sous forme de tensions de calcul.

$$OX = Ue1$$

$$OY = Ue2$$

On désire connaître

$$\alpha \text{ et } \vec{OB}$$

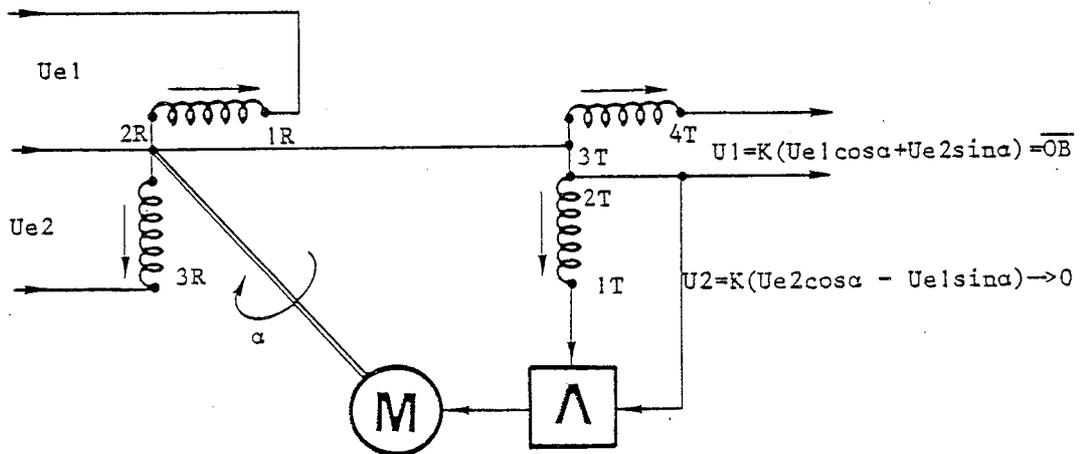
On pose les équations suivantes :

$$\vec{OB} = OX \cos \alpha + OY \sin \alpha$$

$$0 = OY \cos \alpha - OX \sin \alpha$$

qui seront exactes lorsque α sera connu.

On réalise le montage suivant :



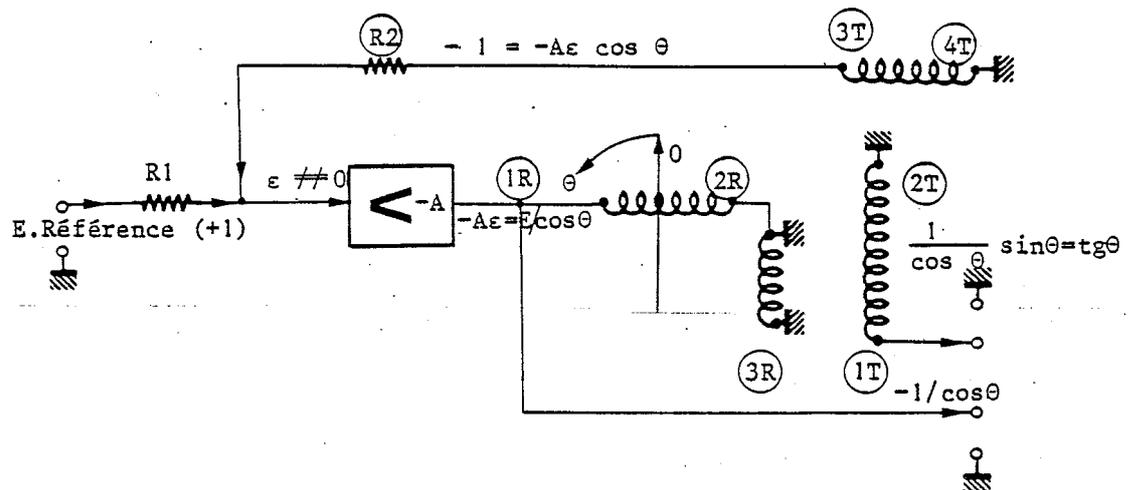
La tension U2 commande, après amplification, un moteur qui entraîne le rotor du résolver jusqu'à ce que l'on ait $U_2 = 0$ soit $U_{e2} \cos \alpha = U_{e1} \sin \alpha$. Ceci n'est réalisé que si l'arbre tourne de la valeur α .

On a alors les coordonnées polaires de \vec{OB}

- Le module sous forme de tension de calcul U1
- L'argument sous forme de rotation d'arbre α .

e) - Fonction $\frac{1}{\cos \theta}$ et Fonction $\text{tg } \theta$.

On réalise le montage suivant :



On a en 4T.3T : $-A\epsilon \cos \theta$

A l'entrée de l'ampli $\epsilon \neq 0 = E - A\epsilon \cos \theta$

Si A est très grand $\epsilon \neq 0$ et $E = A\epsilon \cos \theta$

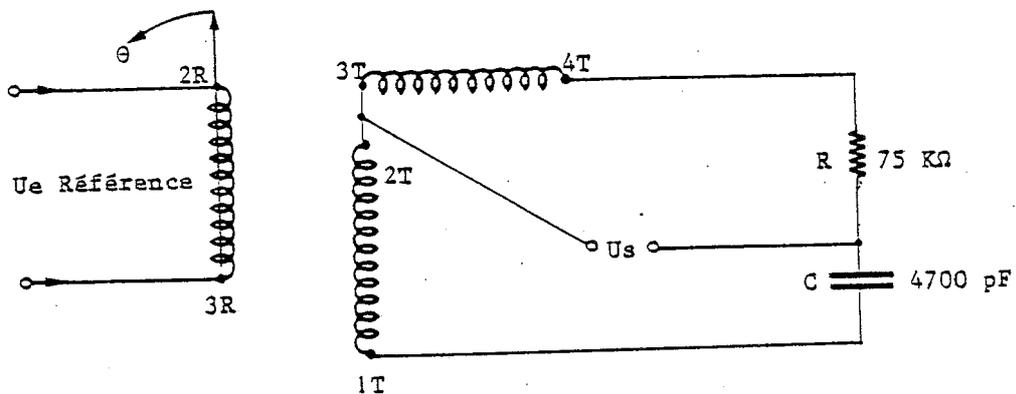
$E = 1$ d'où $A\epsilon = \frac{1}{\cos \theta}$ qui alimente $\vec{1R.2R}$

En $\vec{2T.1T}$ on recueille $\frac{1}{\cos \theta} \cdot \sin \theta = \text{tg } \theta$.

NOTA : Ce montage permet de réaliser la fonction $\frac{1}{\cos \theta}$ seule. La sortie 1T.2T est alors laissée en l'air.

f) - Montage déphaseur :

On peut à l'aide d'un résolveur, obtenir une tension d'amplitude constante et dont la phase varie de 0 à 360° par rapport à la référence alimentant l'appareil. La phase varie comme la rotation θ reçue par l'appareil.



(Résolveur MJIRHEAD 400 Hz)

La condition $RC\omega = 1$ doit être remplie.

NOTA : Un moyen simple et pratique pour trouver le signe des relations que représentent les tensions de sortie en fonction :

- des tensions d'entrée
- du sens de rotation α
- du montage effectué

consiste à utiliser le procédé suivant :

L'appareil étant représenté dans la position du zéro électrique, on trace un vecteur sur chaque bobine en prenant comme origine la borne reliée à la phase commune des tensions.

Si les vecteurs portés par les bobines du stator sont de sens opposé à ceux du rotor dans la position du zéro électrique, ou tendent à le devenir dès qu'une rotation du rotor apparaît dans le sens choisi comme positif, il faut faire précéder les

relations donnant la tension de sortie, pour l'entrée et la sortie considérée, du signe -

A partir de ce moyen on peut réaliser le branchement convenable pour n'importe quelle relation donnée, cohérente.

3.3.4.5 - Inconvénients du résolveur type I.

Les limites d'utilisation de cet appareil proviennent du fait :

- a) - que sa faible impédance externe (de l'ordre de 2000Ω) interdit de l'alimenter à travers un potentiomètre et oblige à utiliser des sources puissantes (ipot et transpot).
- b) - Que le déphasage de la tension de sortie par rapport à l'entrée varie en fonction de la température et de l'amplitude de la tension d'entrée.

En effet le schéma équivalent comprend, en série une résistance R et une réactance L. Or L varie avec la tension d'alimentation (μ variant) et R varie avec la température. Ainsi le déphasage $\text{tg } \varphi = \frac{L\omega}{R}$ varie et peut atteindre une dizaine de degrés à 400 Hz.

- c) - Que le rapport de transformation varie avec la température, R variant fait varier l'intensité donc le flux primaire et par conséquent la tension induite au secondaire.

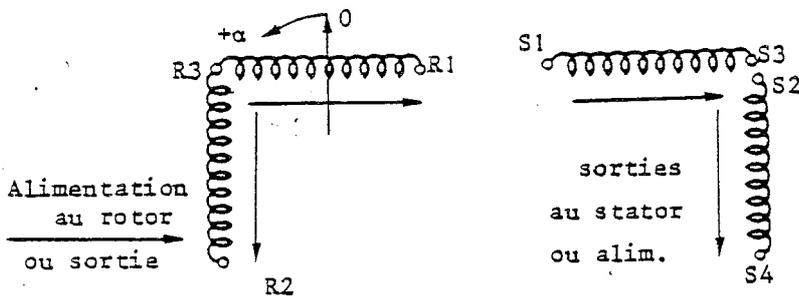
Remarque : Lorsque l'une des entrées est inutilisée, celle-ci doit être court-circuitée afin d'éviter les inductions parasites.

3.3.4.6 - Bornage et schéma électrique des appareils SADIR-CARPENTIER ET C.S.F. utilisés dans la DLTS 4A.

La DLTS 4A des sous-marin utilise des résolveurs du type I fabriqués par les maisons SADIR-CARPENTIER et C.S.F., se présentant sous l'aspect d'un appareil synchro. Il en existe différentes tailles, mais ceux utilisés sont du type 23R6. C'est-à-dire :

- taille 23 en 1/10 de pouce
- R comme résoudre
- 6 utilisable en 60 Hz.

La tension nominale d'utilisation est 50 Volts. Le schéma électrique de l'appareil, vu dans la position du zéro électrique, du côté arbre, est le suivant :



NOTA : Les flèches indiquent les points en phase. Par exemple :

$$\overrightarrow{R3.R1} \text{ avec } \overrightarrow{S1.S3}$$

$$\overrightarrow{R3.R2} \text{ avec } \overrightarrow{S2.S4}$$

Le rapport de transformation rotor/stator est de 1,06; le déphasage U_s/U_e est de $+ 18^\circ$ environ.

Le sens + de rotation est le sens trigo, appareil vu du côté arbre.

La résistance en continu des enroulements est :

$$S1.S3 = S2.S4 \neq 550\Omega \text{ et } R1.R3 = R2.R4 \neq 700\Omega$$

3.3.5 - Le résoudre type II

Généralités.

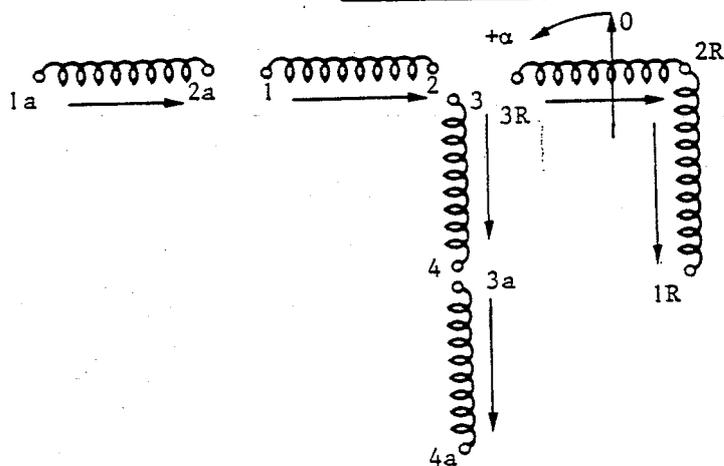
Pour remédier aux inconvénients du résoudre type I, c'est-à-dire sa faible impédance interne, le déphasage introduit ainsi que la variation du rapport de transformation on a construit le résoudre type II.

C'est également un appareil d'origine anglaise (également construit actuellement en France sous l'appellation 23 RS ou 37 RS selon la taille). Il se présente sous le même aspect que le résolver type I en ce qui concerne la version anglaise et sous l'aspect d'un appareil synchro de taille 37, 23 et même 18 en ce qui concerne la version française.

Contrairement au résolver type I, c'est sur le rotor que l'on recueille les tensions de sortie. Celui-ci comporte deux enroulements orthogonaux ayant un point commun. Les tensions d'entrée sont appliquées au stator sur des enroulements dits "principaux".

Par ailleurs le stator comporte deux enroulements supplémentaires dits "auxiliaires" ou de "contre réaction". Chacun de ces enroulements est bobiné sur le même noyau que l'un des enroulements principal. Ils sont donc eux aussi en quadrature entre eux.

3.3.5.1 - Schéma électrique de l'appareil.

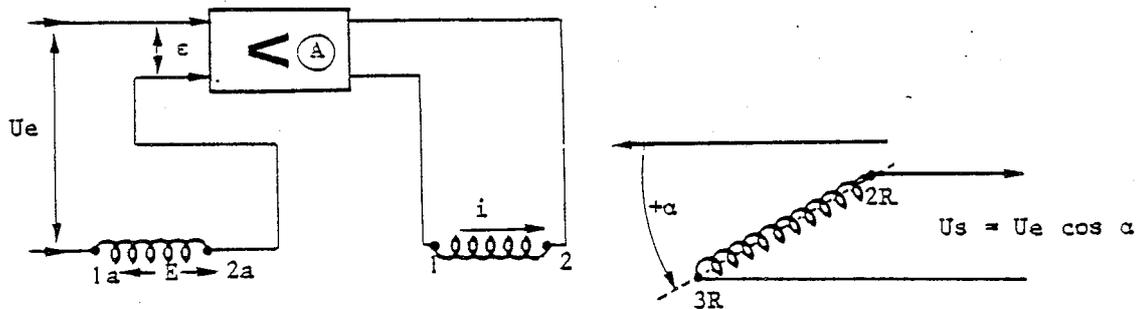


L'appareil est représenté vu du côté arbre, dans la position du zéro électrique. Le sens de rotation + est le sens trigo lorsque l'appareil est vu du côté arbre.

Ces appareils sont prévus pour fonctionner en 50, 60 et 400 Hz et avec une tension maxi de 50V.

3.3.5.2 - Principe de fonctionnement.

Pour simplifier l'exposé on ne considère qu'un jeu d'enroulement stator et un seul enroulement rotor. Soit le montage suivant :



La tension U_e représente une donnée du calcul, elle est mise en opposition avec une tension (E) recueillie sur l'enroulement auxiliaire. La résultante de ces tensions soit $\epsilon = U_e - E$ est appliquée à un ampli à très fort gain (en boucle ouverte). Cet ampli est chargé par l'enroulement principal (1.2) qui est alors parcouru par un courant (i). Ce courant donne naissance à un flux qui fait apparaître aux bornes (1a-2a) la fém induite (E). (L'axe des bobines 1a-2a et 1.2 est confondu). Par ailleurs si l'enroulement de sortie est branché sur une Z très grande (I_s négligeable) on recueille aux bornes de l'enroulement 3R.2R une tension U_s proportionnelle au cosinus de l'angle α que fait l'axe de cette bobine avec l'axe de la bobine 1.2. et au flux produit par l'enroulement 1.2 donc à l'intensité (i).

Si A est très grand on obtient $\epsilon = U_e - E \neq 0$. On voit donc que pour un U_e donné la tension E recueillie doit toujours être égale à U_e et ceci se produit par l'intermédiaire du flux donc de l'intensité délivrée par l'ampli. On contrôle ainsi le flux dans l'appareil et on l'asservit à être proportionnel à U_e . La tension U_s qui est elle aussi proportionnelle à ce flux (et au cosinus de α) se trouve donc être asservie à U_e .

Le gain global en boucle fermée est sensiblement égal à 1 du fait de la C.R. unitaire (E).

Avantages d'un tel montage :

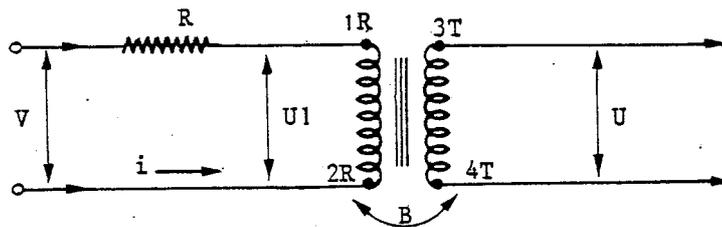
- a) - L'appareil fournissant U_e ne débite pratiquement pas puisque l'on a toujours $U_e = E$, le débit est pratiquement nul. Par ailleurs on commande un ampli et l'impédance d'entrée est celle d'un tube à vide. On voit qu'ici l'inconvénient de la faible

impédance interne du résolver type I n'existe pas.

b) - Si à la suite d'une variation de R de l'enroulement 1.2, due à une variation de la température, le courant (i) vient à varier, la tension E induite dans la-2a va varier également et comme l'égalité $U_e - E = 0$ demeure, l'ampli fournira une sortie (i) telle que E redevienne égale à U_e . Tout ceci par l'intermédiaire du flux produit par l'enroulement 1.2. Ainsi la variation de R est sans effet sur U_s qui comme E est proportionnelle au flux.

3.3.5.3 - Compléments sur le résolver type II

Considérons d'abord un résolver type I et pour simplifier prenons un enroulement primaire (rotor) et un enroulement secondaire (stator) au couplage maximum. Le circuit équivalent est le suivant :



La tension aux bornes de la self 1R.2R est : $U_1 = V - Ri$
 $U_1 = jL\omega.i$

d'où $i = \frac{U_1}{jL\omega}$

et $U_1 = V - R \frac{U_1}{jL\omega}$

soit : $U_1 jL\omega = V jL\omega - R U_1$

$U_1 jL\omega + U_1 R = V jL\omega$

$$U_1 = \frac{V jL\omega}{jL\omega + R} = \frac{V}{1 + \frac{R}{jL\omega}}$$

Si B est le rapport de transformation primaire-secondaire on a :

$$U = B U_1 = \frac{B V}{1 + \frac{R}{jL\omega}}$$

Ceci revient à multiplier BV qui serait égal à U si le transfo était parfait (absence de R donc self pure) par un coefficient complexe égal à :

$$\frac{1}{1 + \frac{R}{jL\omega}} = \frac{jL\omega}{R + jL\omega} = K$$

Le module de ce coefficient complexe (K) est nécessairement inférieur à 1. En effet le module d'un quotient est égal au quotient des deux modules, et

$$|K| = \frac{L\omega}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$$

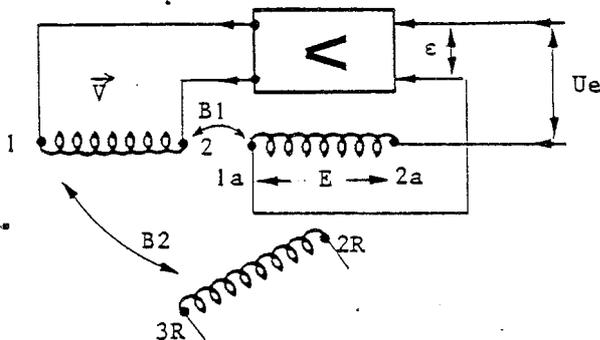
On voit que ce module varie avec (L) donc avec l'amplitude de la tension Ue et avec la température comme (R).

Le déphasage lui aussi varie de même puisque l'argument du coefficient K est égal à la différence des arguments du numérateur et du dénominateur.

$$\text{On a } -\theta = \frac{\pi}{2} - \phi \text{ avec } \text{tg } \phi = \frac{L\omega}{R}$$

Ceci illustre ce qui a été dit pour le résoudre type I.

Pour le résoudre type II :



$$\text{Nous avons } B1 \neq \frac{1a \ 2a}{1.2} = \frac{1}{2}$$

$$\epsilon = Ue - E$$

$$E = KV B1$$

En appelant K le coefficient complexe défini plus haut et B1 le rapport de transformation entre 1.2 et 1a.2a ($\neq \frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned}
 V &= A\varepsilon \\
 V &= A (U_e - KVB_1) = AU_e - AKVB_1 \\
 AU_e &= V + AKVB_1 = V (1 + AKB_1) \\
 V &= \frac{AU_e}{1 + AKB_1} \quad \text{et} \quad U_e = \frac{V (1 + AKB_1)}{A}
 \end{aligned}$$

Par ailleurs :

$$\begin{aligned}
 U_s &= KVB_2 \cos \alpha \quad \text{avec } K \text{ coefficient complexe défini plus haut et } B_2 \neq \frac{1}{2} \\
 B_2 &= \frac{\overrightarrow{2R.3R}}{1.2} \neq \frac{1}{2} \quad \text{rapport de transformation entre 1.2 et 2R.3R.}
 \end{aligned}$$

$$\text{D'où } \frac{U_s}{U_e} = \frac{K.V.B_2 \cos \alpha}{V \left(\frac{1 + AKB_1}{A} \right)}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = KB_2 \cos \alpha \cdot \frac{A}{1 + AKB_1}$$

divisons par AKB_1 :

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{AKB_2 \cos \alpha}{AKB_1 \left(1 + \frac{1}{AKB_1} \right)} = \frac{B_2}{B_1} \cos \alpha \quad \text{si } A \gg \gg 0$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{B_2}{B_1} \cos \alpha \quad \text{d'où} \quad \boxed{U_s = U_e \frac{B_2}{B_1} \cos \alpha}$$

Nous voyons qu'avec ce montage le coefficient K a disparu et par conséquent la tension U_s ne dépend que de U_e , de $\cos \alpha$ et du rapport $\frac{B_2}{B_1}$ qui est constant ($\frac{B_2}{B_1} = 0,97 =$ rapport de transformation global).

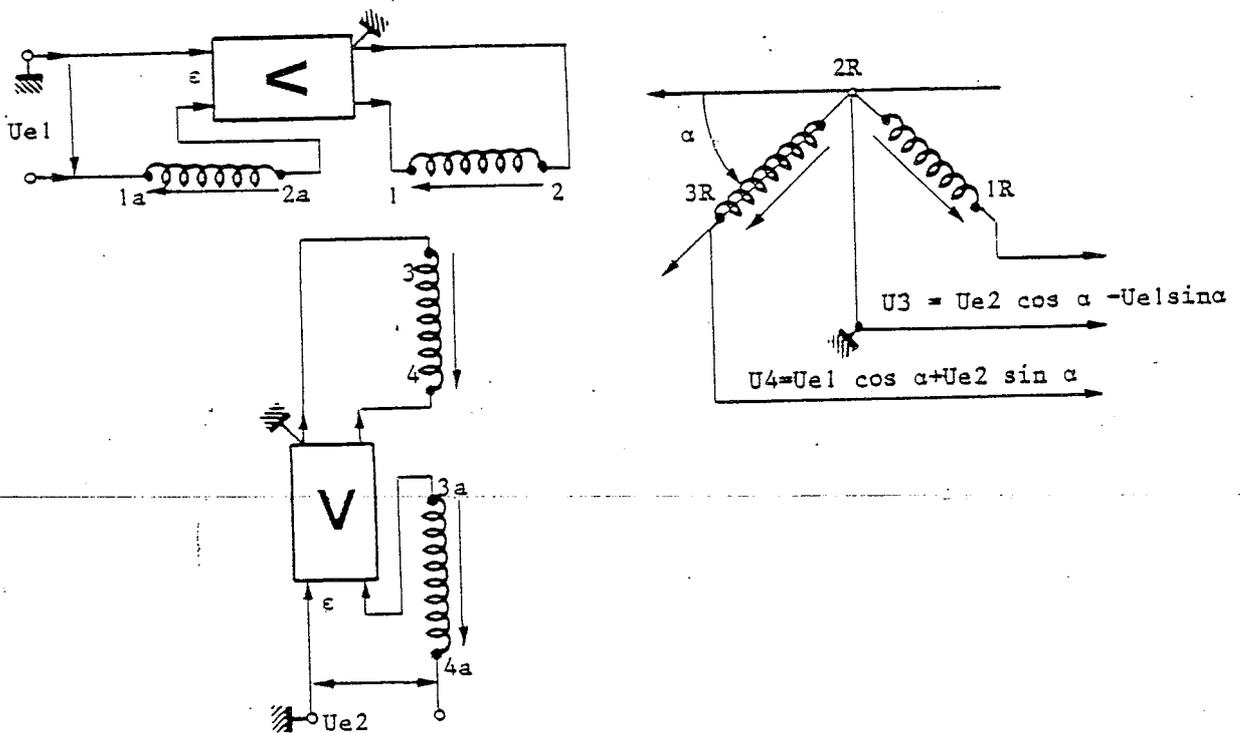
3.3.5.4 - Utilisations du résolver type II

- On distingue les utilisations suivantes :

a) - Le résolver type II en chaîne directe.

On peut alors effectuer les mêmes opérations qu'avec le résolver type I, (sinus, cosinus, rotation d'axes, transformations de coordonnées).

Exemple de branchement :



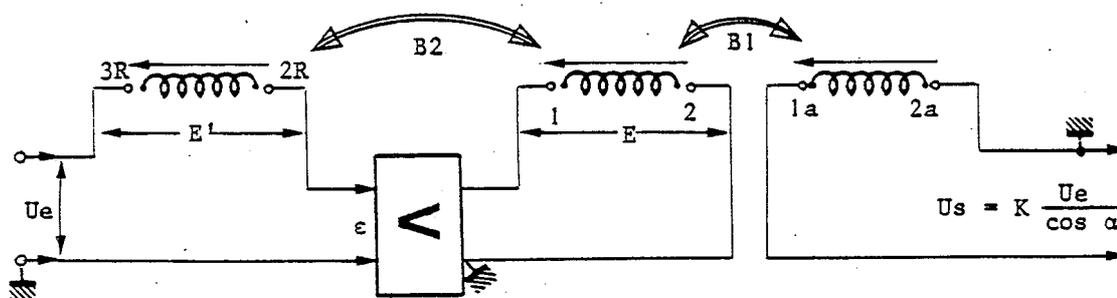
Remarques :

L'emploi du résolver type II est indissociable de celui des amplis prévus à cet effet. Notamment en ce qui concerne les signes des tensions de sortie il faut tenir compte de la borne d'entrée de l'ampli qui est à la masse, de la borne de sortie qui s'y trouve également (très souvent à travers la haute tension de l'ampli). Par ailleurs si l'on désire inverser le signe d'un terme de sortie il suffit d'inverser le branchement de l'enroulement principal qui fournit le terme considéré. Il faut alors impérativement inverser le branchement de l'enroulement auxiliaire.

b) - Le résolveur type II en chaîne inverse.

En plus des utilisations du résolveur type I, le résolveur type II permet de réaliser la fonction inverse $U_s = K \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$ ou bien d'effectuer le quotient d'une grandeur connue sous forme de tension de calcul par le cosinus d'un angle connu sous forme de rotation d'arbre α . On peut bien entendu effectuer les fonctions $\frac{1}{\sin \alpha}$. Dans ces deux cas il y a une précaution à prendre c'est que le dénominateur ne s'annule pas, donc que $\alpha < 90^\circ$ dans le cas du cosinus et que $\alpha > 0$ dans le cas du sinus.

Le montage est le suivant : (une seule voie peut être utilisée pour cette réalisation).



On utilise l'enroulement auxiliaire comme sortie, la contre réaction (variable avec le cosinus α) est prélevée sur le rotor. C'est toujours l'enroulement 1.2 qui sert à l'excitation.

Nous avons $E' = K.E.B2 \cos \alpha$ ①

avec K = coefficient complexe défini précédemment et $B2 \neq \frac{1}{2}$ rapport de transformation entre enroulements 1.2 et 3R.2R.

D'autre part :

$$E = A\varepsilon \text{ et } \varepsilon = U_e - E' \text{ donc } E = A (U_e - E')$$

$$U_s = KEB1 \text{ d'où } E = \frac{U_s}{KB1} \text{ (avec } B1 = \text{rapport de transformation entre 1.2 et 1a.2a) } \neq \frac{1}{2}$$

$$\text{D'où : } A (U_e - E') = \frac{U_s}{KB1}$$

Portons la valeur de E' trouvée en ①

$$A (U_e - KB2 \cos \alpha) = \frac{U_s}{KB1} \quad \text{or } E = \frac{U_s}{KB1}$$

D'où :

$$A (U_e - K \frac{U_s}{KB1} \cdot B2 \cdot \cos \alpha) = \frac{U_s}{KB1}$$

$$AU_e - \frac{AKU_s B2 \cos \alpha}{KB1} = \frac{U_s}{KB1}$$

$$AU_e K B1 = U_s + AKU_s B2 \cos \alpha = U_s (1 + AK B2 \cos \alpha)$$

Divisons les deux membres par AK B2, il vient :

$$\frac{AU_e K B1}{AK B2} = U_s \left(\frac{1 + AK B2 \cos \alpha}{AK B2} \right)$$

$$U_e \cdot \frac{B1}{B2} = U_s \left(\frac{1}{AK B2} + \cos \alpha \right) \quad \text{si } A \gg 0 \quad \text{le terme } \frac{1}{AK B2} \text{ devient négligeable}$$

et :

$$U_s = U_e \cdot \frac{B1}{B2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Dans cette expression $\frac{B1}{B2}$ est constant ($\neq 1,03$) c'est là aussi le rapport de transformation global. Si U_e est constant on obtient bien la fonction :

$$U_s = K1 \frac{1}{\cos \alpha}$$

Si U_e est une variable ou réalise le quotient $U_s = K2 \frac{U_e}{\cos \alpha}$

Dans ce montage le coefficient complexe (K) est également supprimé et le rapport entre U_e et U_s pour un angle donné (α) reste constant en fonction des variations de R et de l'amplitude de U_e .

NOTA : Comme pour le résolver type 1 utilisé pour réaliser la fonction $\frac{1}{\cos \alpha}$, ce montage permet d'obtenir en 1R.2R une tension égale à $\frac{K2 U_e}{\cos \alpha}$. $\sin \alpha$ soit $KU_e \operatorname{tg} \alpha$.

3.3.5.5 - Matériel utilisant des résolveurs type II

- Résolver type II de fabrication anglaise (MUIRHEAD)
 - Postes à calculs de 127 (BACA - BABF, parallaxeur)
 - Postes à calculs pour torpilles (DLTK 2B, 1B, 1c)
- Résolver type II de fabrication française (SAGEM)
 - Postes à calculs pour torpilles (DLTL 3A)
 - Postes à calculs pour torpilles (DLTS 4a, b, c, d.)

Le paragraphe suivant donne les renseignements concernant les résolveurs type II "SAGEM".

3.3.5.6 - Codification des résolveurs SAGEM

Chaque résolver est défini par :

- un nombre de 2 chiffres indiquant la taille en 1/10 de pouce.
- Un symbole générique R ou RS
- Un nombre de trois chiffres définissant, de gauche à droite :
 - la fréquence 3 → 30 Hz 5 → 50 Hz 6 → 60 Hz 4 → 400 Hz
 - Le type de schéma réalisé 1, 2 ou 3 (voir le paragraphe 3.3.5.7)

- 1 → résoudre du type 1
- 2 → résoudre du type 2
- 3 → variomètre (1 seul enroulement 1R.2R)

- un chiffre (1 ou 2 selon le cas)

1 = impédances primaires < 500 Ω

2 = impédances primaires > 500 Ω

- un chiffre placé à la suite d'un tiret indique le modèle dans le type.

Exemple : 11 RS 422 - 3

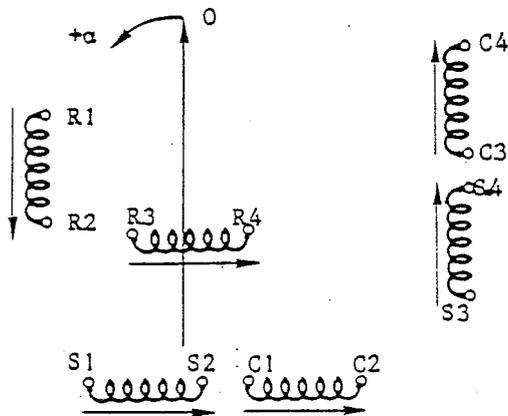
- taille 11, résoudre fonctionnant en 400 Hz, du type;II (avec compensation), impédances primaires > 500 Ω, troisième réalisation du type 11RS 422.

3.3.5.7 - Bornage et schéma électrique des appareils SAGEM.

Le sens positif de rotation de ces appareils est le sens trigonométrique, l'appareil étant vu du côté arbre.

Les appareils sont représentés dans la position du zéro électrique, vu du côté arbre.

23RS422-4 (utilisés dans le DLTL 3A).



NOTA : Les flèches indiquent les points en phase.

Par exemple :

$\overrightarrow{R1.R2}$ en phase avec $\overrightarrow{S3.S4}$

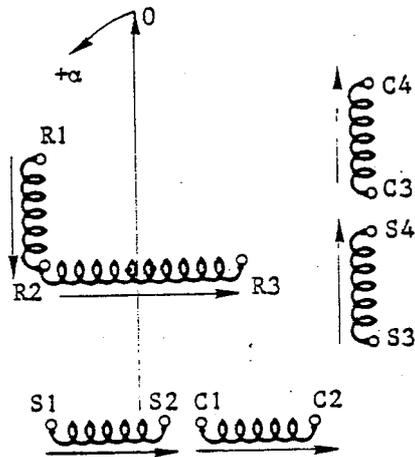
$\overrightarrow{R3.R4}$ en phase avec $\overrightarrow{S1.S2}$

$\overrightarrow{C1.C2}$ en phase avec $\overrightarrow{S1.S2}$

etc ...

Schéma 2 (4 bagues au rotor)

37RS622 1a (utilisés dans la DLTS 4A)



Les flèches indiquent les points en phase.

Schéma 2 (3 bagues au rotor)

23RS 612,2 ou 18RS 412,2

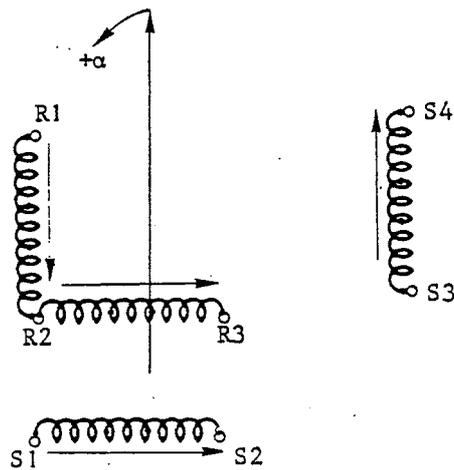


Schéma 1 (résolver type 1)

91 a. b. c.

- 98 -

Variomètre :

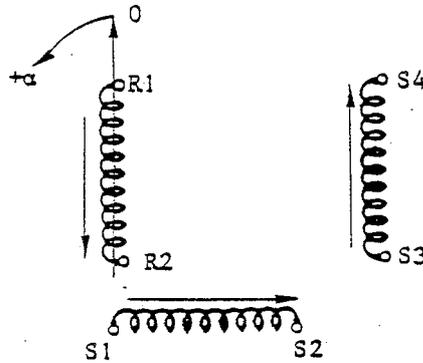


Schéma 3

3.3.5.8 - Caractéristiques des résolveurs SAGEM utilisés.

Dans la DLTL 3A ils sont du type 23RS 422,4

- fréquence 400 Hz
- tension nominale d'utilisation 40 Volts
- Impédance d'entrée (stator) $420 + j 2350$
- rapport de transformation rotor/stator = $1,01 \pm 0,02$
- rapport de transformation contre-réaction/stator = $1,02$
- déphasage entre secondaire et référence, $3^{\circ}15 \pm 1$
- résistance en continu :
 - enroulement C1.C2 et C3.C4 = 295Ω
 - enroulement S1.S2 et S3.S4 = 178Ω
 - enroulement R1.R2 et R3.R4 = 146Ω

Dans la DLTS 4A les résolveurs utilisés sont du type 37 RS 622.1a.

- fréquence 60 Hz
- tension nominale d'alimentation 50 Volts
- résistance en courant continu :

- enroulement C1.C2 et C3.C4 = 200 Ω
- enroulement S1.S2 et S3.S4 = 45 Ω
- enroulement R1.R2 et R2.R3 = 50 Ω

3.4 - LES ADDITIONNEURS.

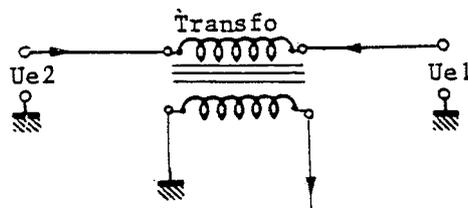
On entend par là tous montages destinés à effectuer une somme algébrique de deux ou plusieurs termes connus sous forme de tension de calcul. Les circuits permettant de les réaliser sont électriques et passifs.

On distingue deux sortes d'additionneurs.

3.4.1 - Additionneur à transformateurs. (utilisables en \sim seulement)

soit deux termes dont on désire faire la somme algébrique.

Deux montages possibles:



$$U_s = K(U_{e1} - U_{e2})$$

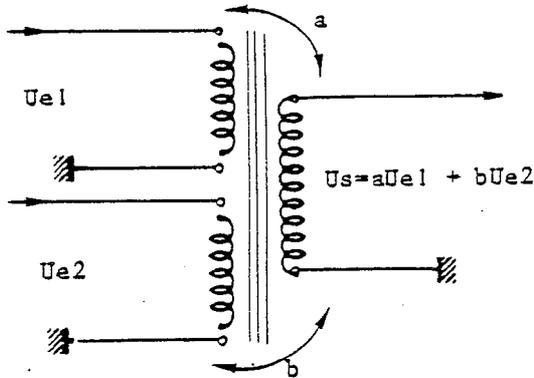
$$y = a(x+y)$$

Au secondaire du transfo on recueille une tension $U_s = K (U_{e1} - U_{e2})$ K étant le rapport de transformation. Dans ce montage les appareils qui fournissent U_{e1} et U_{e2} sont couplés. Le coefficient K affecte les deux termes et l'on ne peut que doser le poids de U_s . On peut réaliser $U_s = K (U_{e2} - U_{e1})$ en croisant les con-

nexions du primaire ou du secondaire. Pour réaliser $U_s = K (U_{e1} + U_{e2})$ il suffit d'appliquer les tensions U_{e1} et $-U_{e2}$ c'est-à-dire de changer le signe de U_{e2} avant de l'appliquer. (tension de sortie d'un ampli en opposition de phase ou passage à travers un transfo). Dans ce montage même si le débit de U_s est nul les sources U_{e1} et U_{e2} doivent pouvoir délivrer le courant magnétisant.

Si l'on désire séparer les impédances de charge des sources U_{e1} et U_{e2} et pouvoir régler séparément le poids de chaque terme c'est-à-dire effectuer une somme

pondérée de la forme $y = ax + by$ on réalise le montage suivant :



a et b étant les rapports de transformation de chaque entrée avec le secondaire.

On peut également effectuer la somme ou la différence des termes $Ue1$ et $Ue2$ et aussi changer le signe de Us . Il suffit pour cela de croi-

ser l'entrée de l'un ou l'autre terme ou bien les deux.

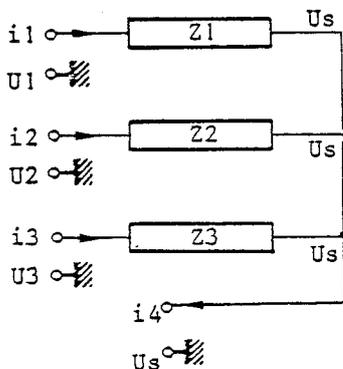
Lorsque l'on désire faire la somme algébrique de plus de deux termes il suffit de mettre autant de primaires que de termes.

NOTA : On peut aussi effectuer l'opération $y = ax + b$ connaissant (x) . Le terme (a) sera dosé par le rapport de transformation, le terme (b) sera introduit grâce à une tension constante appliquée soit en $Ue1$ du premier montage soit en $Ue1$ sur le second montage, et convenablement dosée pour obtenir (b) à l'échelle voulue.

3.4.2 - Additionneurs à pont d'impédances :

Ces impédances pourront être soit des résistances, soit des capacités (plus rarement des selfs). Dans tous les cas pour un additionneur donné les éléments sont de même nature (déphasage).

Soit le montage suivant :



nous avons $i1 + i2 + i3 = i4 = 0$

Si l'impédance sur laquelle débite Us est infinie (grille d'un ampli par exemple).

$$\text{Or } i1 = \frac{U1 - Us}{Z1}$$

$$i2 = \frac{U2 - Us}{Z2}$$

$$i3 = \frac{U3 - Us}{Z3}$$

$$\text{D'où } \frac{U_1 - U_s}{Z_1} + \frac{U_2 - U_s}{Z_2} + \frac{U_3 - U_s}{Z_3} = 0$$

$$\frac{U_1}{Z_1} + \frac{U_2}{Z_2} + \frac{U_3}{Z_3} = U_s \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right)$$

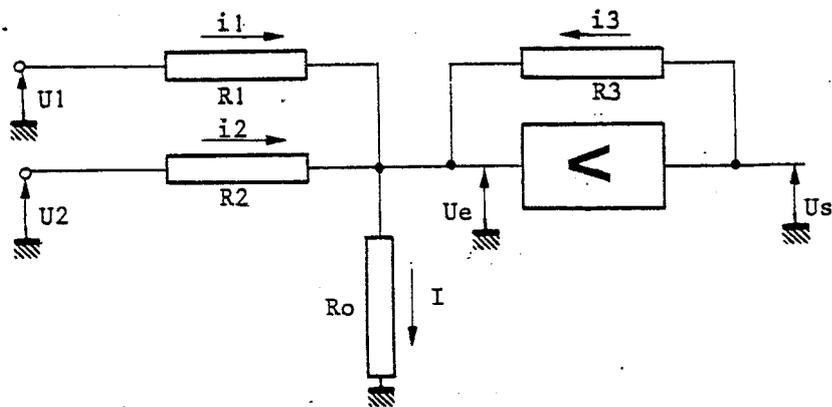
Pour un montage donné le terme $\left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) = K = \frac{1}{K_1}$

$$\text{d'où } \boxed{U_s = K_1 \left(\frac{U_1}{Z_1} + \frac{U_2}{Z_2} + \frac{U_3}{Z_3} \right)}$$

La tension U_s représente donc la somme des tensions U_1 , U_2 et U_3 . On dit que cette somme est pondérée puisque chaque terme est affecté d'un poids $\left(\frac{1}{Z_1}, \frac{1}{Z_2} \text{ ou } \frac{1}{Z_3} \right)$.

Remarques : Il est possible d'ajouter autant de termes que l'on désire. On peut ajouter une constante ($y = ax + by + c^{\text{te}}$) en rendant fixe une des tensions.

Il faut remarquer qu'en modifiant Z_1 , Z_2 ou Z_3 , on règle seulement le poids du terme d'entrée sur l'impédance considérée.



$$i_1 + i_2 + i_3 = I$$

$$I = \frac{U_e}{R_o} = \frac{-U_s}{\frac{A}{R_o}}$$

$$i_1 = \frac{U_1 - U_e}{R_1} = \frac{U_1 + \frac{U_s}{A}}{R_1} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_s}{A} \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{U_2 - U_e}{R_2} = \frac{U_2 + \frac{U_s}{A}}{R_2} = \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_s}{A} \cdot \frac{1}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{U_s - U_e}{R_3} = \frac{U_s + \frac{U_s}{A}}{R_3} = \frac{U_s}{R_3} + \frac{U_s}{A} \cdot \frac{1}{R_3}$$

$$-\frac{U_s}{A} \cdot \frac{1}{R_0} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_s}{R_3} + \frac{U_s}{A} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$0 = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_s}{R_3} + \frac{U_s}{A} \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Par hypothèse, A étant grand, $\frac{U_s}{A} \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$ peut être négligé.

$$\text{Il vient : } 0 = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_s}{R_3} \text{ ou}$$

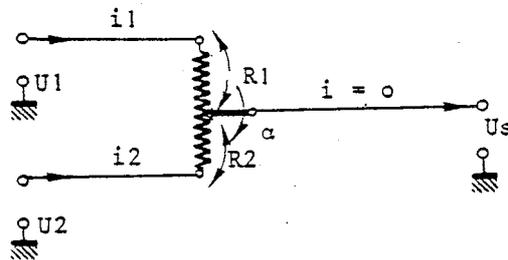
$$\frac{U_s}{R_3} = - \frac{U_1}{R_1} - \frac{U_2}{R_2}$$

$$- U_s = R_3 \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \right) \text{ ou}$$

$$- \frac{1}{R_3} = K_1$$

$$\text{donc } U_s = K_1 \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \right)$$

3.4.3 - Montages particuliers réalisant une addition.



On a $i_1 + i_2 = i = 0$

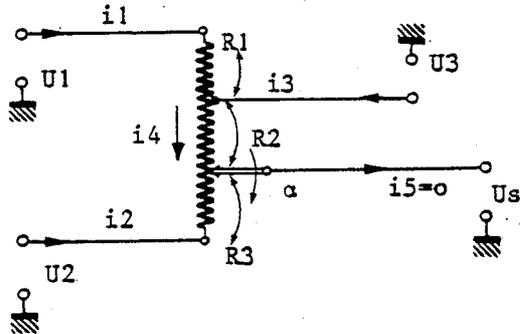
$$R_1 + R_2 = R$$

$$\frac{U_1 - U_s}{R_1} = i_1 \quad \frac{U_2 - U_s}{R_2} = i_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = U_s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$U_1 R_2 + U_2 R_1 = U_s (R_2 + R_1) = R U_s$$

$$U_s = \frac{U_1 R_2 + U_2 R_1}{R}$$



On a $i_1 + i_3 = i_4$

$i_4 + i_2 = i_5 = 0$

$$\frac{U_1 - U_3}{R_1} = i_1$$

$$\frac{U_3 - U_s}{R_2} = i_4$$

$$\frac{U_2 - U_s}{R_3} = i_2$$

$$\frac{U_2 - U_s}{R_3} + \frac{U_3 - U_s}{R_2} = 0$$

$$U_s = \frac{U_2 R_2 + U_3 R_3}{K} \quad \text{puisque } R_2 + R_3 = K$$

On voit que U_1 est sans influence lorsque le curseur du potentiomètre est dans la plage $R_2 + R_3$. Si le curseur va au delà du point A en R_1 , le même raisonnement s'applique en remplaçant $R_2 + R_3$ par R_1 et en remplaçant R_1 par $R_2 + R_3$. L'intérêt d'un tel montage provient du fait que U_1 et U_2 sont généralement de signes contraires. On obtient alors à la sortie la somme pondérée de $U_2 + U_3$ ou $U_3 - U_1$ par exemple.

3.5 - LES CONDENSATEURS DE CALCUL (C.C)

aussi appelés RKO à l'origine (RECHEN-KONDENSATOR)

3.5.1 - Généralités.

On désigne sous cette appellation les appareils de calcul électromécaniques utilisant des condensateurs dont la propriété physique est de varier de capacité en fonction de la surface des armatures qui se trouvent en regard.

La fabrication de ces appareils est d'origine Suisse (maison "CONTRAVES"), ils sont maintenant construits en France (sans licence) par différentes usines (BRETIN-SACM etc...)

3.5.1.1 - Description.

Un C.C est un condensateur variable à air, comportant une armature fixe, constituée de deux plaques circulaires ou stator, qui enveloppent l'armature mobile ou rotor.

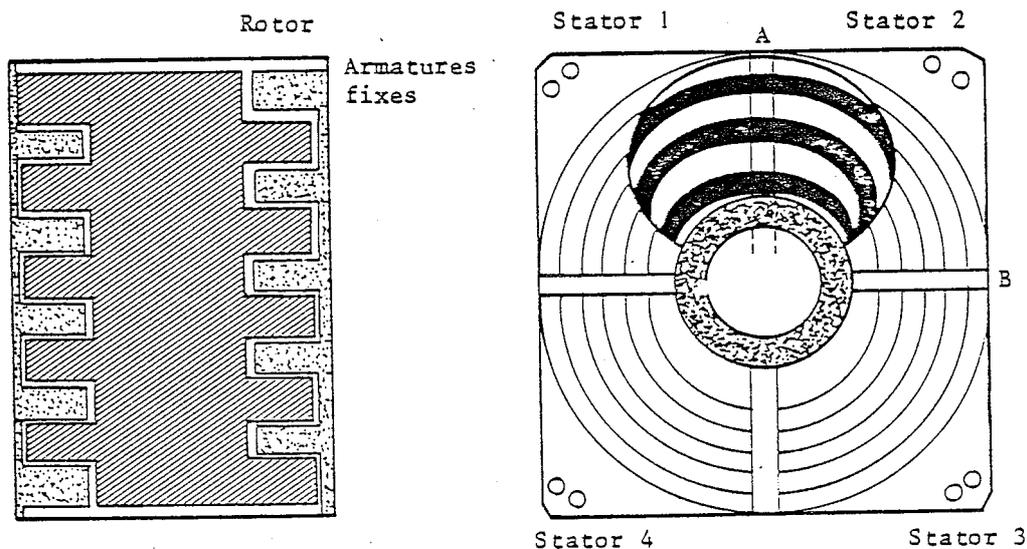
Les faces internes du stator et les deux faces du rotor comportent des nervures concentriques destinées à augmenter la capacité sans augmenter l'encombrement. Elles évitent aussi le gauchissement des plaques.

Les nervures du rotor et du stator s'imbriquent afin de diminuer l'épaisseur du diélectrique et l'encombrement.

Le centrage du rotor doit être aussi parfait que possible afin que l'épaisseur du diélectrique (air) soit constante.

Selon le type de condensateur le stator est divisé en deux secteurs de 180° ou en quatre secteurs de 90° isolés électriquement les uns des autres.

Le rotor reçoit une rotation mécanique α qui représente une grandeur de calcul. La forme du rotor est variable selon la fonction que l'on désire effectuer (analogie avec les cames).



L'alimentation de l'appareil se fait toujours sur le stator (une, deux ou quatre entrées). La tension de sortie est prélevée sur le rotor par l'intermédiaire de deux pointes de contact frottant sur une bague argentée portée par le rotor. Les deux pointes de contact sont portées par une lamelle ressort solidaire de la partie fixe permettant ainsi la liaison électrique du rotor.

Les C.C sont presque toujours "doubles" : c'est-à-dire que l'on place deux C.C accolés l'un à l'autre électriquement indépendant l'un de l'autre et séparés par un blindage électrostatique (corps du condensateur) qui doit être réuni au potentiel de la masse. Les deux C.C sont en général de fonctions identiques, leurs rotors sont donc identiques, ainsi que leurs stators.

Les deux rotors sont liés mécaniquement et tourneront de la même valeur α , mais l'un est toujours décalé de 180° par rapport à l'autre. Ceci évite le balourd sur l'axe de rotation.

3.5.1.2 - Liaisons électriques des C.C.

Un C.C comporte en réalité deux C.C indépendants électriquement, mais liés mécaniquement. La meilleure façon de les distinguer est de définir :

- Une partie antérieure (voir "a")

ayant comme bornes :

- Entrée (stator) bornes 1. 2. 3. 4

- Sortie (rotor) bornes "a"

- Une partie postérieure (voie "b")

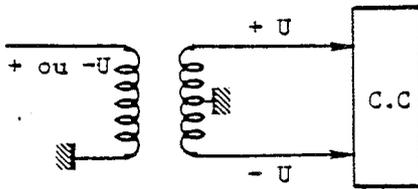
ayant comme bornes :

- Entrée (stator) bornes 5. 6. 7. 8

- Sortie (rotor) bornes "b"

Les bornes du stator reçoivent des tensions représentant une grandeur de calcul ou bien la référence de calcul. On a très souvent besoin d'alimenter un C.C avec les tensions + U et - U, et la plupart du temps on ne possède que la tension + U ou -U.

Dans ce cas on réalise le montage suivant :



On dispose d'un transformateur au secondaire duquel est prélevé + U et - U (rapport de transformation global en général égal à 2).

Comme tous les appareils de calcul, le C.C ne doit pas débiter. La sortie sera toujours faite sur un ampli dont l'impédance d'entrée sera très grande.

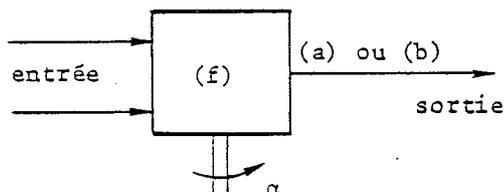
3.5.1.3 - Sens de rotation positif.

Le sens de rotation positif du rotor est le sens horaire lorsque l'appareil est vu du côté de la voie "a" (bornes 1. 2. 3. 4 vers soi)

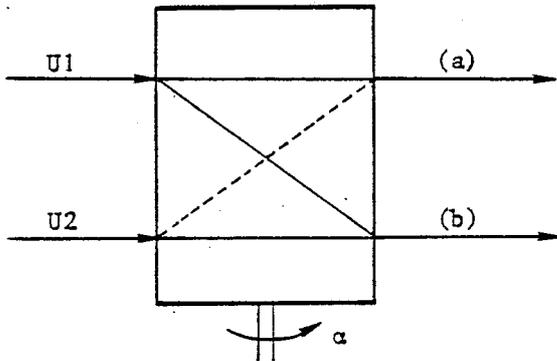
3.5.1.4 - Fonctions réalisées et représentation schématique.

- a) - fonction linéaire de signe constant
- fonction linéaire de signe variable
- fonction inverse ou fonction homographique
- fonction sinus
- fonction cosinus
- fonction tangente
- fonctions diverses
- fonction sécante = $1/\cos X$

Pour toutes ces fonctions on utilise un seul C.C que l'on représente par un carré et sa fonction est inscrite dans ce carré.



b) - Fonction sinus et cosinus ou transformations de coordonnées diverses.



On utilise deux C.C, soit les deux voies d'un C.C double.

On représente alors un rectangle avec les entrées U1 et U2 correspondant aux deux C.C et les sorties (a) et (b).

A l'intérieur du rectangle :

- les traits horizontaux signifient cosinus
- les traits en diagonales signifient sinus

De plus les traits pleins signifient que la fonction est positive, un trait pointillé que la fonction est négative. Ainsi le schéma, en (a) on recueille :

$$U1 \cos \alpha - U2 \sin \alpha$$

en (b) on recueille : $U2 \cos \alpha + U1 \sin \alpha$.

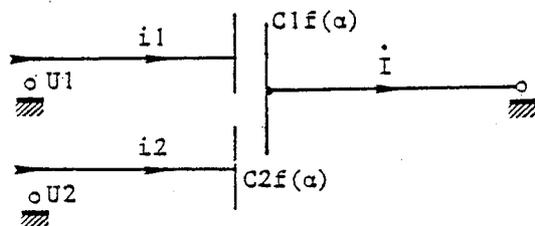
3.5.1.5 - Schémas d'utilisation des C.C.

Un C.C. est toujours utilisé dans un montage à contre-réaction avec un ampli à grand gain en boucle ouverte. La condition de nullité du débit du C.C. peut être réalisée par deux montages à contre réaction que nous étudierons après avoir étudié le C.C. proprement dit.

3.5.1.6 - Le C.C. proprement dit.

Nous allons considérer un C.C. isolément et prendre pour l'exemple un C.C. à armature fixe à deux stators.

La rotor étant à la masse on applique une tension U_1 sur le stator 1 et la tension U_2 sur l'autre stator.



La capacité C_1 formée entre le stator alimenté en U_1 et le rotor est une fonction de α , l'angle de rotation du rotor par rapport à une origine. (également du profit selon lequel ce rotor est taillé). De même

C_2 est fonction de α .

$$\text{Le courant } I = i_1 + i_2$$

$$\text{donc } I = U_1 C_1(\alpha) j\omega + U_2 C_2(\alpha) j\omega.$$

En généralisant et quel que soit le nombre de stators le courant I sera toujours la somme des courants passant entre chaque stator et le rotor. Chacun de ces courants dépend de la tension qui alimente le stator considéré et de la capacité formée entre le rotor et le stator considéré qui est fonction de α .

D'une manière générale on peut donc écrire :

$$I = j\omega \sum U_i C_i(\alpha)$$

Dans cette expression le terme $\sum U_i C_i(\alpha)$ signifie qu'il faut toujours considérer la somme des courants passant de chaque stator vers le rotor et que ces courants élémentaires sont fonction de la tension appliquée au stator considéré et de la capacité formée entre ce stator et le rotor en tenant compte de la position de ce dernier, donc de α .

Par ailleurs si les stators sont tous à un même potentiel on peut dire que la somme des capacités formées entre le rotor et chaque stator est égale à la capacité maximum. Elle est constante. En effet quel que soit α le rotor sera toujours en regard du stator qui est totalement au potentiel U_1 par exemple. Le courant $I =$

$$j\omega U_1 \left[\underbrace{C_1(\alpha) + C_2(\alpha)}_{\sum C_i(\alpha)} \right]$$

On écrit que $\sum C_i \alpha = C_m$.

C_m ne dépend que du profil selon lequel le rotor est taillé.

Remarque : Si l'on considère tous les stators à la masse et que le rotor est au potentiel "e" le courant I' circulant du rotor vers les stators réunis est aussi de la forme :

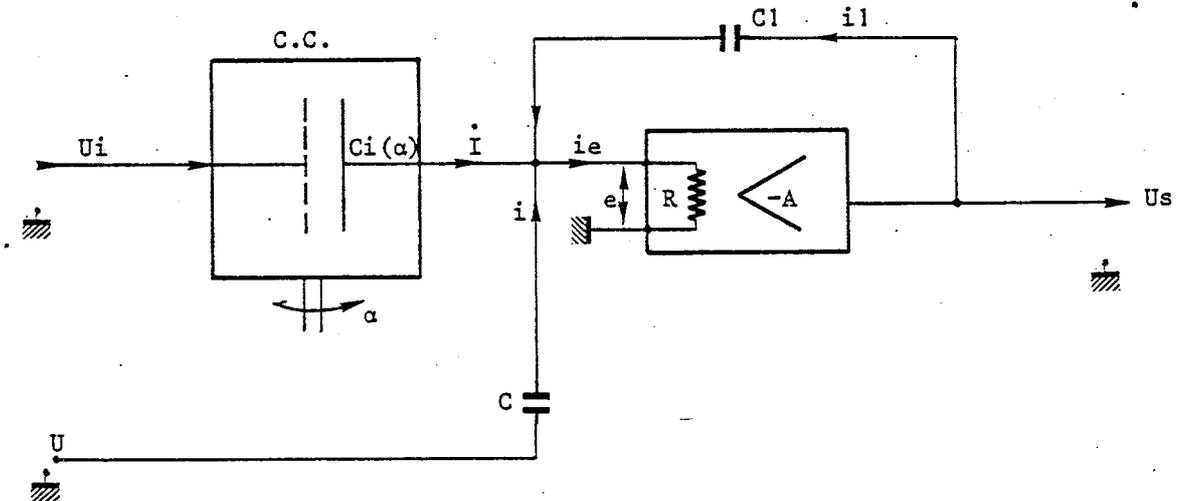
$$I' = j\omega e \sum C_i(\alpha)$$

La somme des capacités formées entre le rotor et les stators réunis est bien entendu là aussi égale à C_m . On aura donc :

$$I' = j\omega e.C_m$$

3.5.1.7 - Le montage électronique.

soit le montage suivant :



- U_i désigne d'une manière générale un groupe de tensions alimentant les stators du C.C.
- $C_i(\alpha)$ désigne d'une manière générale un groupe de capacités formées entre le rotor et chaque stator du C.C.
- Nous avons vu (en 421) que $I = j\omega \sum C_i(\alpha).U_i$.
- A est le gain de l'ampli en boucle ouverte (très grand).
- R désigne l'impédance d'entrée de l'ampli, généralement résistive et très grande.
- "e" est la tension à l'entrée de l'ampli.

- C1 est la capacité qui ramène Us en contre réaction à l'entrée de l'ampli.
- C est une capacité qui permet d'obtenir une tension de sortie égale à la somme pondérée de U d'une part et des tensions symbolisées par Ui, en fonction de α d'autre part.

La présence de C n'est pas indispensable à cette démonstration mais sa présence dans les montages réels est très fréquente, c'est ce qui justifie sa présence ici.

$$\text{On peut écrire : } i_e = I + i_l + i = \frac{e}{R}$$

$$\text{Soit : } (U-e) jC\omega + \sum (U_i - e) jC_i(\alpha) \omega + (U_s - e) jC_1\omega = \frac{e}{R}$$

Divisons chaque terme par $j\omega$ et effectuons, il vient :

$$UC - eC + \sum U_i C_i(\alpha) - \sum e C_i(\alpha) + U_s C_1 - eC_1 = \frac{e}{Rj\omega}$$

$$\text{On a par ailleurs : } e = -\frac{U_s}{A}$$

$$\text{d'où : } UC + \frac{U_s}{A} C + \sum U_i C_i(\alpha) + \sum \frac{U_s}{A} C_i(\alpha) + U_s C_1 + \frac{U_s}{A} C_1 = \frac{-U_s}{ARj\omega}$$

groupons les termes semblables :

$$U_s \left(\frac{C}{A} + \sum \frac{C_i}{A}(\alpha) + C_1 + \frac{C_1}{A} + \frac{1}{ARj\omega} \right) = - \left(UC + \sum U_i C_i(\alpha) \right)$$

Dans cette expression le terme $\frac{\sum C_i(\alpha)}{A} = \frac{C_m}{A}$ (Voir Nota)

$$\text{D'où } U_s = \frac{- \left[UC + \sum U_i C_i(\alpha) \right]}{\frac{C + C_m + C_1}{A} + C_1 + \frac{1}{ARj\omega}}$$

ou encore :

$$- U_s = \frac{UC + \sum U_i C_i(\alpha)}{\frac{C + C_m + C_1}{A} + C_1 \left(1 + \frac{1}{ARj\omega C_1} \right)}$$

NOTA : En effet comme il a été vu dans la "remarque" du paragraphe 3.5.1.6, il s'agit ici de la tension $\frac{U_s}{A}$ appliquée au rotor et l'on considère alors les stators comme étant réunis à la masse.

Dans un condensateur dont les armatures sont aux potentiels U_i et "e" on écrit que le courant est proportionnel à la ddp aux bornes soit $U_i - e$ par exemple. Donc $I = j\omega C (U_i - e)$. Soit $I = j\omega C U_i - j\omega C e$. Ceci revient à considérer I comme étant la différence d'un courant i_1 dû à la tension U_i seule, donc avec l'autre armature à la masse, et d'un courant i_2 dû à "e" seule avec l'autre armature à la masse. C'est ce que l'on fait dans cette démonstration et par conséquent on a le droit d'écrire que $\sum \frac{U_s}{A} C_i(\alpha) = \frac{U_s}{A} C_m$.

Par contre on n'a pas le droit d'écrire que $\sum U_i C_i(\alpha) = U_i C_m$, en effet U_i et C_i désignent comme il a été dit, un groupe de tensions et de capacités différentes entre elles.

Si A est très grand, U_s ne dépend pratiquement pas de A , le terme $\frac{C + C_l + C_m}{A}$ étant négligeable devant C_l .

Dans ces conditions aussi le déphasage ϕ de U_s par rapport aux tensions d'entrée est très faible, on a en effet : $\text{tg } \phi = \frac{1}{A \cdot R \omega C_l}$ très petit puisque A est grand.

Le déphasage θ de U_s est alors : $\theta = \frac{\pi}{2} - \text{arc tg } \phi \approx \frac{\pi}{2}$

puisque le déphasage de U_s est égal au :

- déphasage du numérateur - déphasage du dénominateur. Le numérateur est purement capacitif dont $\phi = \frac{\pi}{2}$. Le dénominateur est $C_l + \frac{1}{ARj\omega}$ puisque $\frac{C_l + C_m + C}{A} \neq 0$.

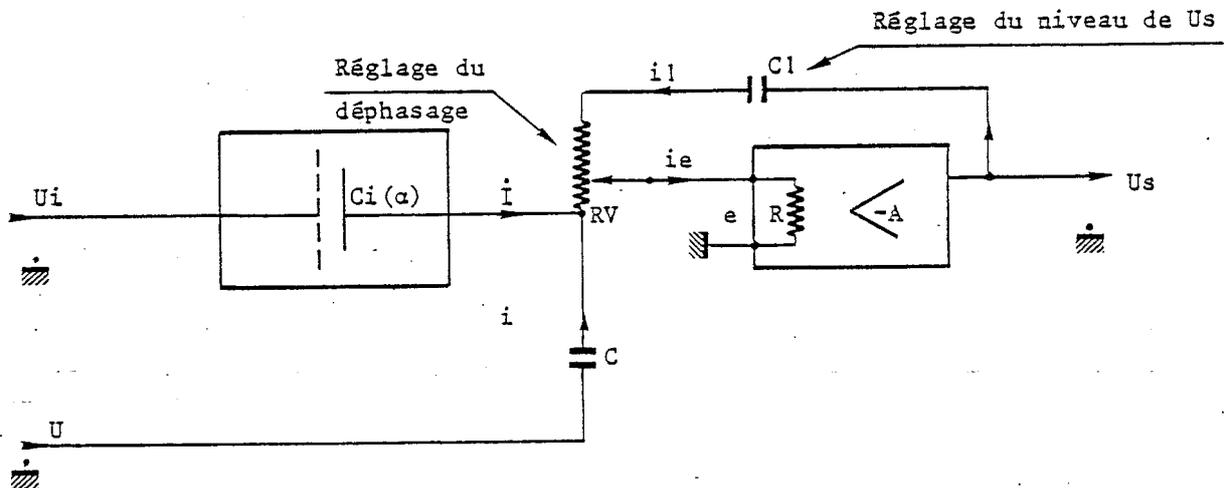
donc $\text{tg } \phi$ du dénominateur est :

$$\text{tg } \phi = \frac{b}{a} \text{ puisque } C_l + \frac{1}{ARj\omega} = C_l - \frac{j}{AR\omega} = a + jb$$

$$\text{tg } \phi = \frac{1}{AR\omega C_l} \quad \text{C.Q.F.D.}$$

Le déphasage de U_s peut être compensé et il l'est généralement en introduisant un potentiomètre de faible valeur (4,7 ou 10 $K\Omega$) comme il est indiqué ci-dessous. Une autre cause de déphasage plus importante est due au transformateur situé généralement devant la C.C. Le sens du déphasage ne peut être prévu et le potentiomètre permet de rattraper le déphasage dans un sens ou dans l'autre.

D'autres montages dérivés de celui-ci, en particulier en utilisant un C.C. en contre réaction à la place de C_1 et en disposant un condensateur fixe en série (réalisation des fonctions inverses) sont également utilisés et seront examinés par la suite.



Remarque : $-U_s = Ae$. Si A est très grand " e " est très petit, le courant i_e est également très faible et même négligeable puisque R est très grand.

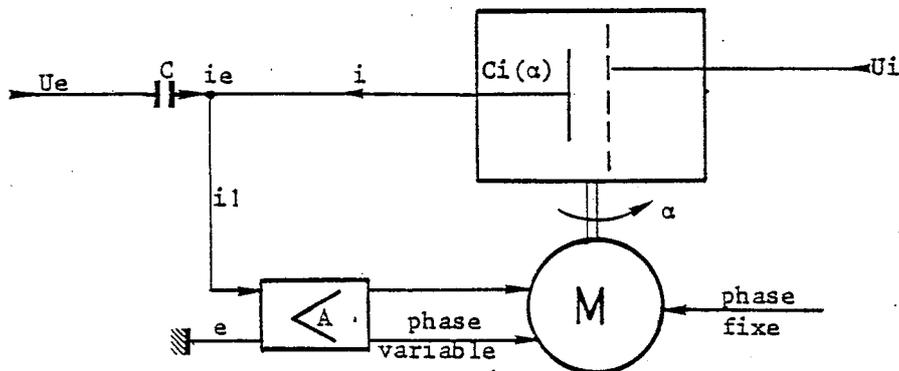
Si l'on considère (e) comme égal à zéro, on peut dire que l'entrée de l'ampli est à la masse. C'est une masse fictive (ou virtuelle) qui fait dire que le C.C. débite en court-circuit le courant I puisque le rotor est à cette masse virtuelle. Cette hypothèse est celle qui nous a servie en 421 pour étudier le C.C. isolément.

Ceci montre également qu'aucune mesure et en particulier celle de U_s ne doit être faite sur le rotor ou à l'entrée de l'ampli, on n'y trouverait d'ailleurs qu'une tension résiduelle comportant de très nombreuses harmoniques qui n'ont rien à voir avec la tension de calcul U_s . Celle-ci doit toujours être mesurée à la sortie de l'ampli (qui est un ampli sélectif de la fréquence de la tension de calcul).

3.5.1.8 - Le montage électro-mécanique.

Ce montage permet de positionner un arbre à un angle α qui est fonction de la tension d'entrée U_e ou de la somme pondérée de plusieurs tensions d'entrée.

On a le montage suivant :



En considérant le gain A très grand et l'impédance d'entrée de l'ampli comme infinie on a :

$$i_l = i_e + i = 0$$

$$\text{d'où } U_e \cdot C \cdot j\omega + j\omega \sum U_i \cdot C_i(\alpha) = 0$$

$$U_e \cdot C + \sum U_i C_i(\alpha) = 0$$

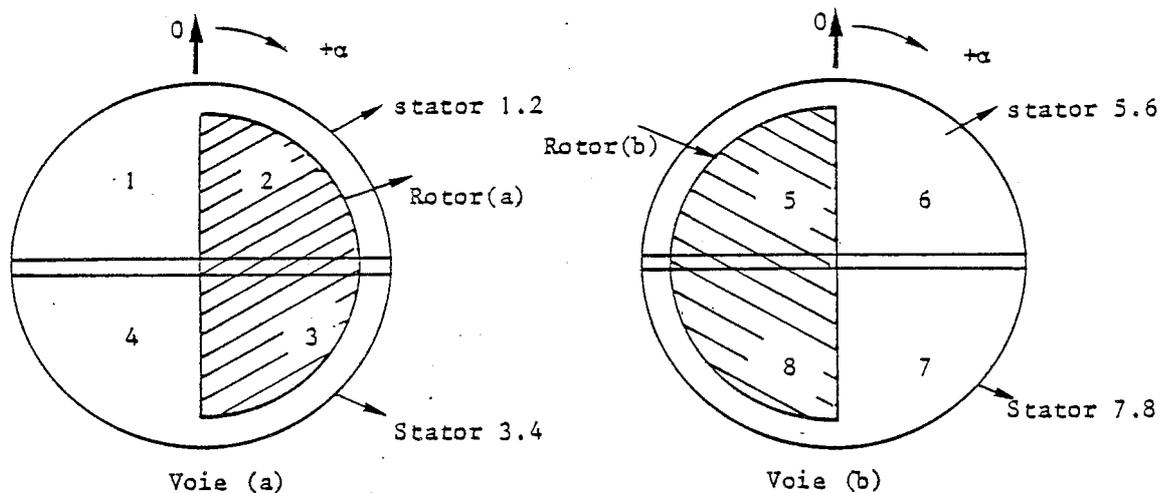
Le moteur tournera jusqu'à ce que la tension (e) soit nulle et l'on aura alors la relation ci-dessus qui définit l'angle α en fonction de U_e . Il s'agit on le voit de transformer une tension de calcul U_e en rotation d'arbre α . Le terme fourni par le C.C. est un terme d'opposition, l'ensemble se comporte comme un asservissement "position" de tension.

3.5.2 - Les condensateurs linéaires P1 (désignation Contraves 34/35)

3.5.2.1 - Conventions de base.

a) - Constitution.

L'armature fixe de ces C.C. est divisée en deux secteurs repérés 1.2 pour l'un et 3.4 pour l'autre et pour la voie (a) [on a 5-6 et 7-8 pour la voie (b)]. Chaque rotor est taillé selon un profil demi-circulaire afin que la capacité formée entre chaque rotor et les stators correspondants varie selon une loi linéaire en fonction de α , calage du rotor.



C.C. voie (a) et (b) linéaires représentés dans la position du zéro électrique, vu du côté du rotor (a).

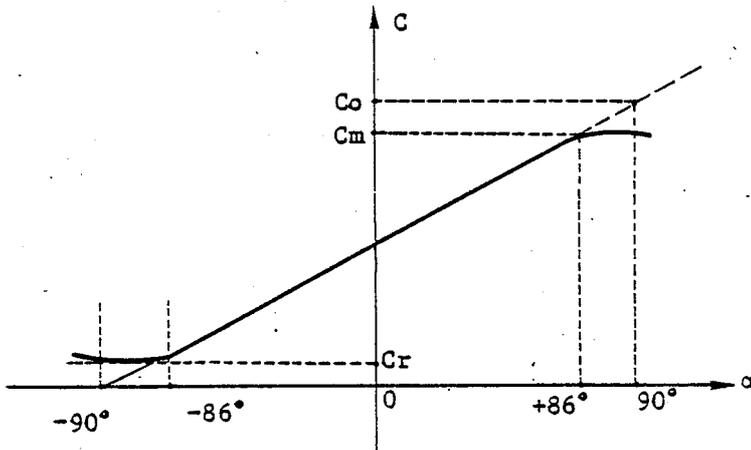
b) - Zéro électrique des C.C. linéaires.

On définit sur chaque appareil une position du rotor par rapport au stator qui correspond au zéro électrique. Pour ces C.C. on alimente les stators 1.2 et 3.4 avec respectivement les tensions $+U_1$ et $-U_1$. On fait tourner le rotor jusqu'à ce que la tension apparaissant sur le rotor (a) soit nulle. Deux positions, décalées de 180° , correspondent à cette définition. L'observation du repère du rotor par rapport à celui du stator permet de lever le doute.

Pour la voie (b) le rotor est bien entendu à 180° de la position du rotor (a). Au zéro électrique le rotor (a) se trouve ainsi sous les stators 2 et 3. Les capacités formées entre le stator 2 et le rotor et le stator 3 et le même rotor sont égales.

Pour la voie (b) le rotor se trouve sous les stators 5 et 8.

c) - Loi de variation de capacité d'un C.C. linéaire en f (α)



Le C.C. linéaire ne l'est que sur une plage de $\pm 86^\circ$ autour du zéro électrique.

Il possède une capacité résiduelle stator-rotor appelée C_r qui interdit de les utiliser sur une plage de $\pm 90^\circ$.

Par ailleurs il existe une zone de non linéarité due à

la présence de la zone de séparation des deux stators.

C_m est la capacité maximum lorsque par exemple le rotor est entièrement en regard du stator 3.4. soit $\alpha = 90^\circ$.

On définit une capacité maximum théorique C_o qui est obtenue en prolongeant la droite $C = f(\alpha)$ et pour la valeur $\alpha = 90^\circ$. Cette capacité théorique C_o vaut environ **200 pF**. Elle sert à définir le gradient de capacité qui est de $\frac{200}{180}$ pF/ $^\circ$ ou encore :

$$\frac{C_o}{\pi} \text{ en pF/radian.}$$

Pour un C.C. tournant dans le sens positif à partir de la position du zéro électrique et en tenant compte du gradient de capacité. La capacité formée par chacun des stators avec le rotor en fonction de α est :

$$\text{pour } C(1-2) = C(7-8) = \frac{C_o}{2} - \frac{C_o \times \alpha}{180}$$

$$\text{soit } C(1-2) = C(7-8) = \frac{C_o}{2} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) \text{ en pF/rad.}$$

avec α en radian

$$\text{Pour } C(3-4) = C(5-6) = \frac{C_o}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi}\right) \text{ en pF/rad.}$$

$$(C_{12}) = \frac{C_o}{2} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) = C(78)$$

$$(C_{34}) = \frac{C_o}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi}\right) = C(56)$$

NOTA : La plage de linéarité des C.C. fabriqués par Contraves est de $\pm 86^\circ$ soit 172° .
Celle des C.C. fabriqués en France est de $\pm 84^\circ$ soit 168° .

d) - Utilisation des C.C. linéaires.

On doit se souvenir qu'au zéro électrique (pour $\alpha = 0$) du C.C. linéaire le rotor forme avec les stators 2 et 3 des capacités égales et que α ne doit varier que de $\pm 84^\circ$ autour du zéro électrique (ou $\pm 86^\circ$ dans le cas de C.C. Contraves).

3.5.2.2 - Fonction linéaire de signe constant.

Dans ce cas la grandeur de calcul α reçue par le rotor du C.C. ne peut pas changer de signe. La tension d'entrée sera la référence calcul (ou bien une fraction constante de celle-ci) ou encore une tension de calcul représentant une grandeur donnée issue d'un appareil placé en amont. Appelons U_e cette tension en général.

- Si $U_e =$ référence ou K réf on effectue à l'aide du C.C. linéaire la transformation rotation d'arbre \rightarrow tension de calcul proportionnelle.
- Si $U_e =$ tension de calcul on effectue le produit de la grandeur représentée par U_e par la grandeur représentée sous forme de rotation d'arbre α . Le produit est donné sous forme de tension de calcul.

Prenons par exemple la distance.

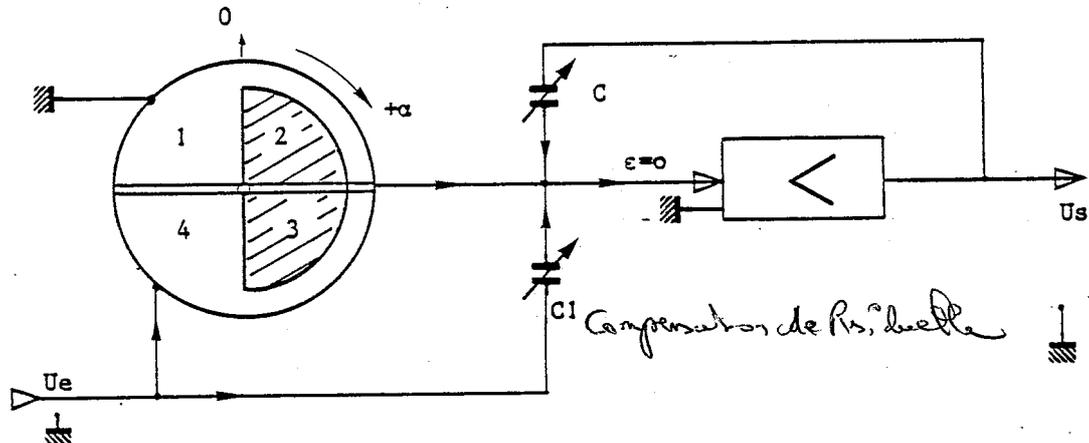
La plage utile est supposons comprise entre 1500 et 30.000 mètres. (tir permis entre ces distances) Il faudra placer le zéro électrique du C.C. (c'est-à-dire $\alpha = 0$) pour une valeur de la distance égale à la moitié de la plage utile soit pour $D =$

$$\frac{1500 + 30000}{2} = 15.750 \text{ mètres}$$

Si par ailleurs l'échelle de D est de 60.000 mètres par tour (pour 360° ou 2π radians de α) la correspondance entre α en radians et D en mètres est donnée par l'expression :

$$\alpha = \frac{(D - 15750) \pi}{30000}$$

Réalisons le montage suivant :



Si on considère $\epsilon = 0$ (A infini).

$$U_e C_1 + U_e \left[\frac{C_0}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi} \right) \right] + U_s \cdot C = 0$$

Remplaçons α par la valeur définie ci-dessus :

$$U_e C_1 + U_e \frac{C_0}{2} + U_e C_0 \left(\frac{D - 15750}{30000} \right) + U_s \cdot C = 0$$

$$U_e C_1 + U_e \frac{C_0}{2} + \frac{U_e C_0 D}{30000} - \frac{15750 U_e C_0}{30000} + U_s \cdot C = 0$$

$$\frac{U_e C_0 D}{30000} + U_s \cdot C = - U_e \left(C_1 + \frac{C_0}{2} - \frac{15750 C_0}{30000} \right)$$

Si l'on prend $C_1 = \frac{C_0}{40}$ le membre de droite est nul.

$$\frac{C_0}{40} + \frac{C_0}{2} - \frac{15750 C_0}{30000} = \frac{750 C_0 + 15000 C_0 - 15750 C_0}{30000} = 0$$

Il reste :

$$U_s = - U_e \frac{C_0}{C} \cdot \frac{D}{30.000}$$

- La capacité C_0 est constante et = 200 pF, c'est la capacité maximum théorique déjà définie.

- La capacité C permet de régler U_s c'est la capacité de contre réaction qui règle

le gain en boucle fermée. Si $C = C_0$ soit 200 pF le gain est égal à 1.

- La capacité C_1 permet de compenser la résiduelle et d'effectuer le décalage d'échelle voulu.

Dans ce cas $C_1 = \frac{C_0}{40}$ soit $\frac{200}{40} = 5$ pf.

Autre exemple :

Soit une vitesse V toujours positive, pouvant varier entre 0 et 700 m/sec.

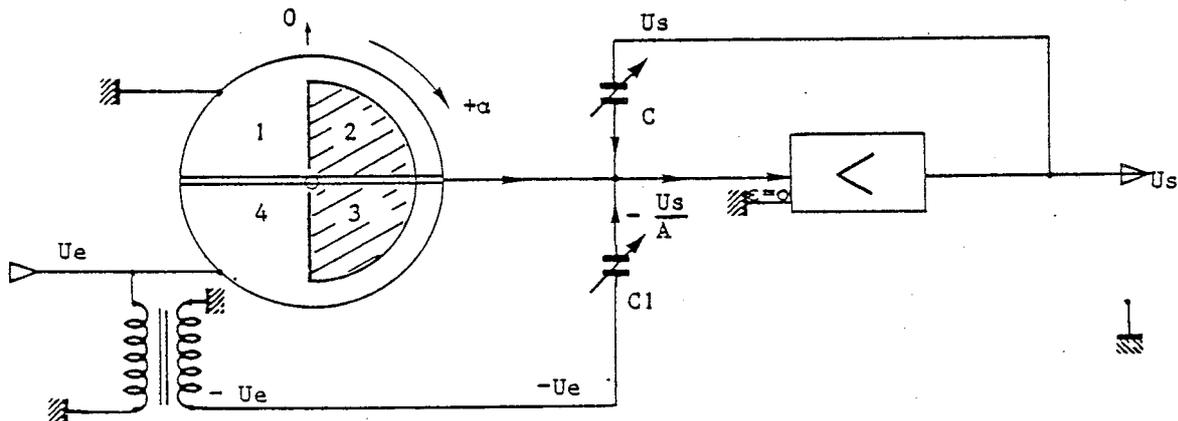
Le zéro électrique du C.C. (soit $\alpha = 0$) devra correspondre à :

$$V = \frac{0 + 700}{2} = 350 \text{ m/sec.}$$

Si l'échelle de représentation est de 1500 m/tour (pour 360° ou 2π radians de α), la correspondance entre α en radians et V en mètres est donnée par l'expression :

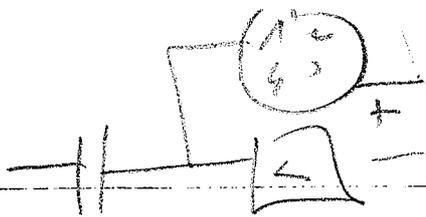
$$\alpha = \frac{(V - 350) \pi}{750}$$

Réalisons le montage suivant :



$$- U_e C_1 + U_s C + U_e \left[\frac{C_0}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi} \right) \right] = 0$$

Portons la valeur de α en fonction de V .



$$- U_e C_1 + U_s C + U_e \frac{C_0}{2} + U_e C_0 \left(\frac{V - 350}{750} \right) = 0$$

$$- U_e C_1 + U_s C + U_e \frac{C_0}{2} + \frac{U_e C_0 V}{750} - \frac{U_e C_0 350}{750} = 0$$

$$+ U_s C + \frac{U_e C_0 V}{750} = U_e \left(C_1 - \frac{C_0}{2} + \frac{C_0 350}{750} \right)$$

Le 2ème membre sera nul si $C_1 = \frac{C_0}{30}$

d'où :

$$U_s = - U_e \frac{C_0}{C} \cdot \frac{V}{750}$$

- Par C on règlera le gain c'est-à-dire la valeur de U_s pour une U_e et une vitesse donnée.
- Par $C_1 = \frac{C_0}{30}$ soit 6,66 pF on compense la résiduelle et éventuellement on introduit un décalage d'échelle.

Remarque : Entre les deux montages cités en exemple le signe de la tension appliquée à C_1 est contraire. Les calculs effectués dans la démonstration pour déterminer la valeur de C_1 en fonction de C_0 permettent de déterminer ce signe. En effet supposons que l'on ait mis $+ U_e$ dans le 2ème exemple, on aurait trouvé alors $C_1 = - \frac{C_0}{30}$ ce qui est bien sûr impossible, mais qui signifie simplement que le signe choisi pour U_e appliquée à C_1 doit être changé.

3.5.2.3 - Généralisation.

Soit x et y les limites supérieures et inférieures d'une grandeur Z représentée sous forme de rotation d'arbre α .

Le zéro électrique du C.C. soit pour $\alpha = 0$ devra correspondre à une valeur de $Z = \frac{X + Y}{2}$

Si Q représente la valeur par tour de la grandeur Z (soit pour 360° ou 2π radians de α) la correspondance entre α et une valeur de Z est :

$$\frac{Z - \left(\frac{X + Y}{2} \right)}{\alpha} = \frac{Q}{2\pi} \text{ soit } \alpha \text{ rad} = \frac{\left[Z - \left(\frac{X + Y}{2} \right) \right] 2\pi}{Q}$$

avec α en radian.

Par ailleurs on devra toujours avoir

$$Q \leq \frac{(Y - X) 360}{168}$$

sachant que α ne peut varier que de $\pm 84^\circ$ soit 168° .

On réalise alors un montage indiqué dans les deux exemples précédents et le calcul nous donne :

- la valeur de C_1 (en fonction de C_0) capacité de compensation de la résiduelle.
- la valeur de C (capacité de contre-réaction) selon le gain, en boucle fermée, désiré.
- le signe de la tension que l'on doit appliquer à C_1 .

3.5.2.4 - Fonction linéaire de signe variable.

Dans ce cas la grandeur de calcul α reçue par le rotor du C.C. peut prendre le signe (+) ou (-).

La tension d'entrée sera là aussi, la référence calcul (ou une fraction constante de celle-ci) ou bien une tension de calcul représentant une grandeur donnée. D'une manière générale soit U_e cette tension d'entrée.

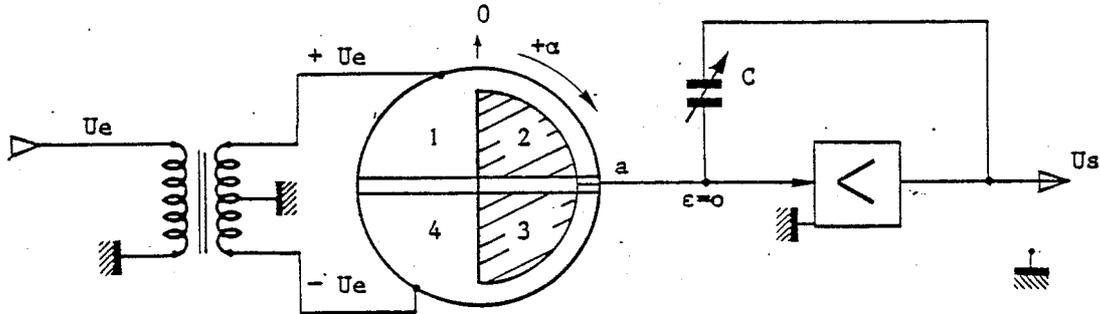
Comme pour le signe constant on réalisera la transformation rotation d'arbre \rightarrow tension de calcul ou bien le produit de U_e par la grandeur α .

On distingue :

1) La fonction linéaire symétrique.

C'est le cas de λ ou μ par exemple dans le P.C. de 100.

On réalise le montage suivant :



Si A est infini et l'impédance d'entrée de l'ampli également on a :

$$U_e \frac{C_0}{2} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) - U_e \frac{C_0}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi}\right) + U_s C = 0 \quad (\text{voir en 3521})$$

soit :

$$U_e \frac{C_0}{2} - U_e \frac{C_0 \alpha}{\pi} - U_e \frac{C_0}{2} - \frac{U_e C_0 \alpha}{\pi} + U_s C = 0$$

$$- 2 \frac{U_e C_0 \alpha}{\pi} = - U_s C$$

$$U_s = \frac{C_0}{C} \cdot U_e \cdot \frac{2\alpha}{\pi}$$

α est exprimé en radian.

Dans cette expression l'on voit que :

- la capacité C permet de régler le gain (contre réaction) en dosant le niveau de U_s .
- le signe de la tension U_s est fonction du signe de α .
- Pour $\alpha = 0$ on a $U_s = 0$

Remarque : Pour la fonction linéaire symétrique le zéro électrique du C.C. correspond au zéro de la grandeur α (donc pas de résiduelle). La valeur par tour, de la grandeur représentée, soit Q cette valeur doit là aussi répondre à la condition :

$$Q \ll \frac{[\bar{x} - (-x)] 360}{168}$$

avec $\pm X$ représentant les valeurs limites de la grandeur.

2) Fonction linéaire dissymétrique.

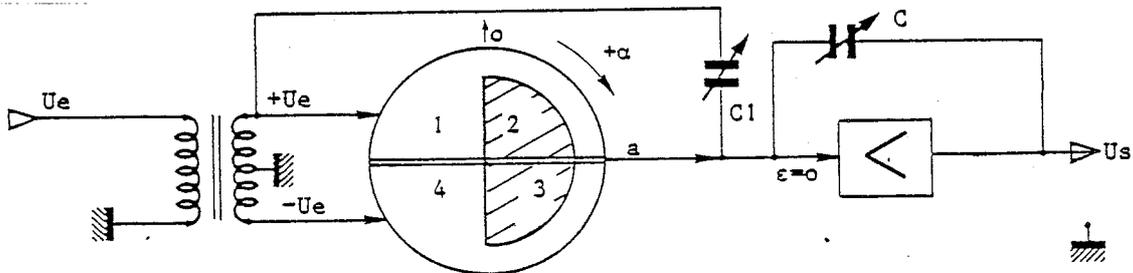
C'est le cas lorsque la variable représentée sous forme de rotation d'arbre α peut changer de signe et lorsque l'amplitude de variation autour de la valeur zéro n'est pas égale. Exemple : la vitesse radiale en tir contre avion qui peut varier de - 570 à + 170 m/sec.

Dans tous les cas le zéro électrique du C.C. correspondra à la valeur moyenne de la grandeur soit X et Y les valeurs limites, on aura la position du zéro électrique qui correspondra à $\frac{X + Y}{2}$.

Dans le cas de la radiale en a : $\frac{- 570 + 170}{2} = - 200$ m/sec.

Pour obtenir une tension de sortie nulle lorsque la radiale est nulle il faut donc réaliser une translation de + 200 m/sec.

On réalise le montage suivant :



Au zéro électrique du C.C. on a $U_s = - 200$ m/sec.

La relation entre α et la grandeur ρ est :

$$\alpha = \frac{(\rho + 200) \pi}{720}$$

puisque l'échelle est de 180 m/sec pour 360° de α ou 2π radians

(± 86)

On écrit :

$$U_e \left[\frac{C_0}{2} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} \right) + C_1 \right] - U_e \frac{C_0}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi} \right) + U_s \cdot C = 0$$

$$U_e \frac{C_0}{2} - \frac{U_e C_0 \alpha}{\pi} + U_e C_1 - \frac{U_e C_0}{2} - \frac{U_e C_0 \alpha}{\pi} = - U_s C$$

$$+ \frac{2 U_e C_0 \alpha}{\pi} - U_e C_1 = + U_s C$$

Remplaçons α par sa valeur en fonction de ρ

$$\frac{2 U_e C_0}{\pi} \left(\frac{\rho + 200}{790} \right) \pi - U_e C_1 = + U_s \cdot C$$

$$\frac{U_e C_0 \rho}{395} - U_s \cdot C = U_e C_1 - 2 U_e C_0 \cdot \frac{200}{790}$$

Si $C_1 = \frac{200}{395} \cdot C_0$ le membre de droite est nul et il vient :

$$U_s = U_e \frac{C_0}{C} \cdot \frac{\rho}{395}$$

Dans ce montage on prendra donc :

$$- C_1 = \frac{200}{395} \cdot 200 = 106,66 \text{ pF pour réaliser la translation de } 200 \text{ m/sec.}$$

- La capacité C règlera le gain.

3.5.2.5 - Fonction homographique ($\frac{a}{\alpha} = U_s$)

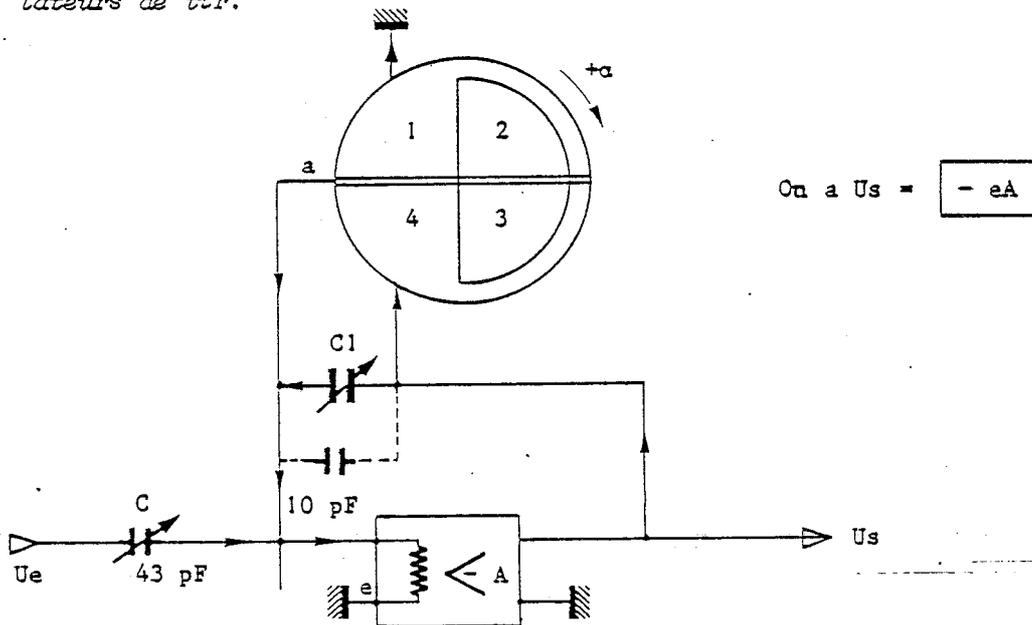
On notera tout de suite que la valeur α ne doit pas s'annuler chaque fois que α représente une grandeur à variation linéaire. En effet dans ce cas le rapport $\frac{a}{\alpha} \rightarrow \infty$.

D'autre part la grandeur α ne doit pas changer de signe puisque dans ce cas elle passerait par zéro et il y aurait discontinuité de U_s qui passerait de $+\infty$ à $-\infty$ ou vice versa.

Pour réaliser une fonction inverse on place le C.C. en contre réaction sur l'amplificateur de calcul. La tension d'entrée étant amenée par un condensateur fixe.

On réalise le schéma suivant :

NOTA : On prendra comme exemple la fonction $\frac{1}{D}$ très souvent réalisée dans les calculateurs de tir.



Preons D pouvant varier entre 1500 et 30000 mètres. Le zéro électrique de l'appareil correspondra à $D = \frac{1500 + 30.000}{2}$ soit 15.750 m.

Par ailleurs si pour $\alpha = 360^\circ$ ou 2π radians correspond une échelle de 60Km par tour nous aurons $\alpha = f(D)$

$$\alpha = \frac{(D - 15750) \pi}{30.000} \quad \text{avec } \alpha \text{ en radians.}$$

Nous pouvons écrire :

$$(U_e - e) j\omega C + (U_s - e) \left[j\omega C_1 + j\omega \frac{C_0}{2} \left(1 + \frac{2\alpha}{\pi}\right) \right] = e \left[\frac{1}{R} + j\omega \frac{C_0}{2} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) \right]$$

$$U_e j\omega C - e j\omega C + U_s j\omega C_1 - e j\omega C_1 + U_s j\omega \frac{C_0}{2} + U_s j\omega \frac{C_0 \alpha}{\pi} - e j\omega \frac{C_0}{2} - e j\omega \frac{C_0 \alpha}{\pi} = \frac{e}{R}$$

$$+ e j\omega \frac{C_0}{2} - e j\omega \frac{C_0 \alpha}{\pi}$$

En divisant les deux membres par $j\omega$ il vient :

$$U_e C - eC + U_s C1 - eC1 + U_s \frac{Co}{2} + U_s \frac{Co\alpha}{\pi} - e \frac{Co}{2} = \frac{e}{Rj\omega} + e \frac{Co}{2}$$

soit en remplaçant e par $-Us/A$:

$$U_e C + \frac{UsC}{A} + U_s C1 + \frac{Us C1}{A} + U_s \frac{Co}{2} + U_s \frac{Co\alpha}{\pi} + \frac{Us Co}{2A} = -Us \left(\frac{1}{ARj\omega} + \frac{Co}{2A} \right)$$

$$U_e C = -Us \left(\frac{C}{A} + C1 + \frac{C1}{A} + \frac{Co}{2} + \frac{Co}{A} + \frac{1}{ARj\omega} \right) - Us \frac{Co\alpha}{\pi}$$

$$U_e C + Us \frac{Co\alpha}{\pi} = -Us \left(\frac{C + C1 + Co}{A} + \frac{1}{ARj\omega} + \frac{Co}{2} + C1 \right)$$

Remplaçons α par sa valeur en fonction de D.

$$U_e C + Us Co \left(\frac{D - 15.750}{30.000} \right) = -Us \left(\dots \dots \dots \right)$$

$$\textcircled{1} \quad U_e C + \frac{Us CoD}{30.000} = -Us \left(\frac{C + C1 + Co}{A} + \frac{1}{ARj\omega} + \frac{Co}{2} + C1 - \frac{15.750 Co}{30.000} \right)$$

L'observation du schéma montre que la contre réaction est variable avec D. En particulier, lorsque D est faible la C.R. est faible. Il n'est donc plus permis de supposer A constant et très grand, comme cela a été fait auparavant. Lorsque D tend vers zéro, la C.R. tend également vers zéro, de ce fait, la tension d'entrée qui jusqu'ici a toujours été très faible, ($\epsilon \neq 0$ du fait de la C.R. en particulier) devient non négligeable (et l'on arrive même à la saturation), donc le gain diminue. En effet, jusqu'ici, le gain A (très grand) a été considéré pour des valeurs de ϵ faible. Ceci n'est plus vrai si l'on entre dans le domaine de la saturation.

Cet inconvénient d'avoir un gain A non infini ne permet plus de négliger le terme $\frac{C + C1 + Co}{A}$, par contre, s'il est stable, on peut en tenir compte. A cet effet, on utilise dans les montages un amplificateur spécial, (type A.S.C) dont le gain propre est stabilisé par un certain nombre de contre réactions internes. D'autre part, cet ampli permet par un réglage, de réaliser une impédance d'entrée R pratiquement infinie. Dans ce cas on peut négliger le terme $\frac{1}{jAR\omega}$.

Si le membre de droite de l'équation (1) devient nul nous aurons :

$$U_e C = - U_s C_o \cdot \frac{D}{30.000} \quad \text{soit}$$

$$U_s = - U_e \cdot \frac{C}{C_o} \cdot \frac{30.000}{D}$$

Ce membre s'annule si :

$$\frac{C + C1 + C_o}{A} + \frac{C_o}{2} + C1 - \frac{15.750 C_o}{30.000} = 0$$

soit :

$$30.000 \left(\frac{C + C_o}{A} \right) + 15.000 C_o + 30.000 C1 - 15.750 C_o + 30.000 \frac{C1}{A} = 0$$

$$30.000 \left(\frac{C + C_o}{A} \right) - 750 C_o + 30.000 C1 \left(1 + \frac{1}{A} \right) = 0$$

$$\frac{C + C_o}{A} - \frac{C_o}{40} + C1 \left(1 + \frac{1}{A} \right) = 0$$

$$\text{et } C1 \left(1 + \frac{1}{A} \right) = \frac{C_o}{40} - \frac{C + C_o}{A}$$

On réglerà donc C1 pour obtenir cette relation. La capacité C permet de régler le gain, en effet si l'on désire un gain de 1 on a :

$$U_s = - U_e \frac{C}{C_o} \frac{30.000}{D} \quad \text{or } C_o = 200 \text{ pF} \quad \text{on prend donc } C = 200 \text{ pF}$$

Dans ce cas il faut régler C1 à la valeur :

$$C1 \left(1 + \frac{1}{A} \right) = \left(5 - \frac{400}{A} \right) \text{ pF}$$

$$C1 = \frac{5A - 400}{A + 1} \cdot \text{pF}$$

NOTA : C1 permet aussi de tenir compte du décalage d'échelle.

3.5.3 - Les condensateurs trigonométriques.

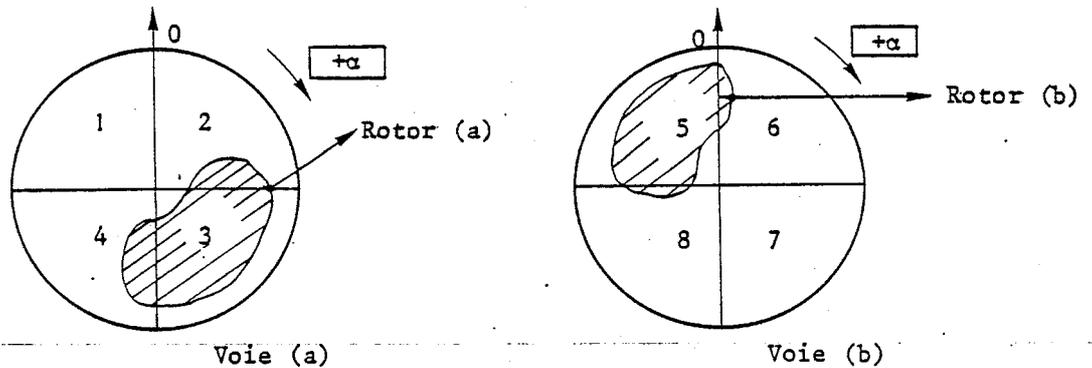
Ils portent le repère P2 (ou 34/41 selon Contravès)

3.5.3.1 - Conventions de base.

a) - Constitution.

L'armature fixe de ces C.C. est divisée en quatre secteurs identiques repérés 1, 2, 3 et 4 pour la voie (a) et 5, 6, 7 et 8 pour la voie (b).

Le rotor est taillé en forme de haricot afin que la capacité formée entre chaque rotor et les stators correspondants varie selon une loi sinusoïdale en fonction de α (calage du rotor) en degrés.



C.C. trigo. voie a et b représentés dans la position du zéro électrique, vu du côté du rotor (a).

b) - Zéro électrique des C.C. trigonométriques.

On définit sur chaque appareil une position du rotor par rapport au stator qui correspond au zéro électrique. On alimente les stators 2 et 4 respectivement en $+U_1$ et $-U_1$, les stators 1 et 3 étant réunis à la masse. On fait tourner le rotor jusqu'à ce que la tension de sortie U_s soit nulle; deux positions du rotor répondent à cette définition, le doute est levé lorsque les repères portés par le rotor et le stator coïncident.

Pour la voie b le rotor est décalé de 180° par rapport à celui de la voie a.

Au zéro électrique on a donc le rotor (voie a) en face du stator 3 et débordant de façon égale sur les stators 2 et 4. De même, pour la voie b, le rotor est en face du stator 5 et déborde de façon égale sur les stators 6 et 8.

c) - Loi de variation de capacité d'un C.C. trigo.

Ces C.C. doivent bien entendu pouvoir tourner de $2 K \Pi + \alpha$ radians.

Ils ne possèdent pas de capacité résiduelle.

Pour un C.C. tournant dans le sens positif (sens horaire) à partir de la position du zéro électrique on obtient les variations de capacité indiquées par le graphique de la page 129.

NOTA : Ce graphique ne donne que l'allure des variations de capacité.

Le profil du rotor est tel que :

$$C3 - C1 = C5 - C7 = C_0 \cos \alpha$$

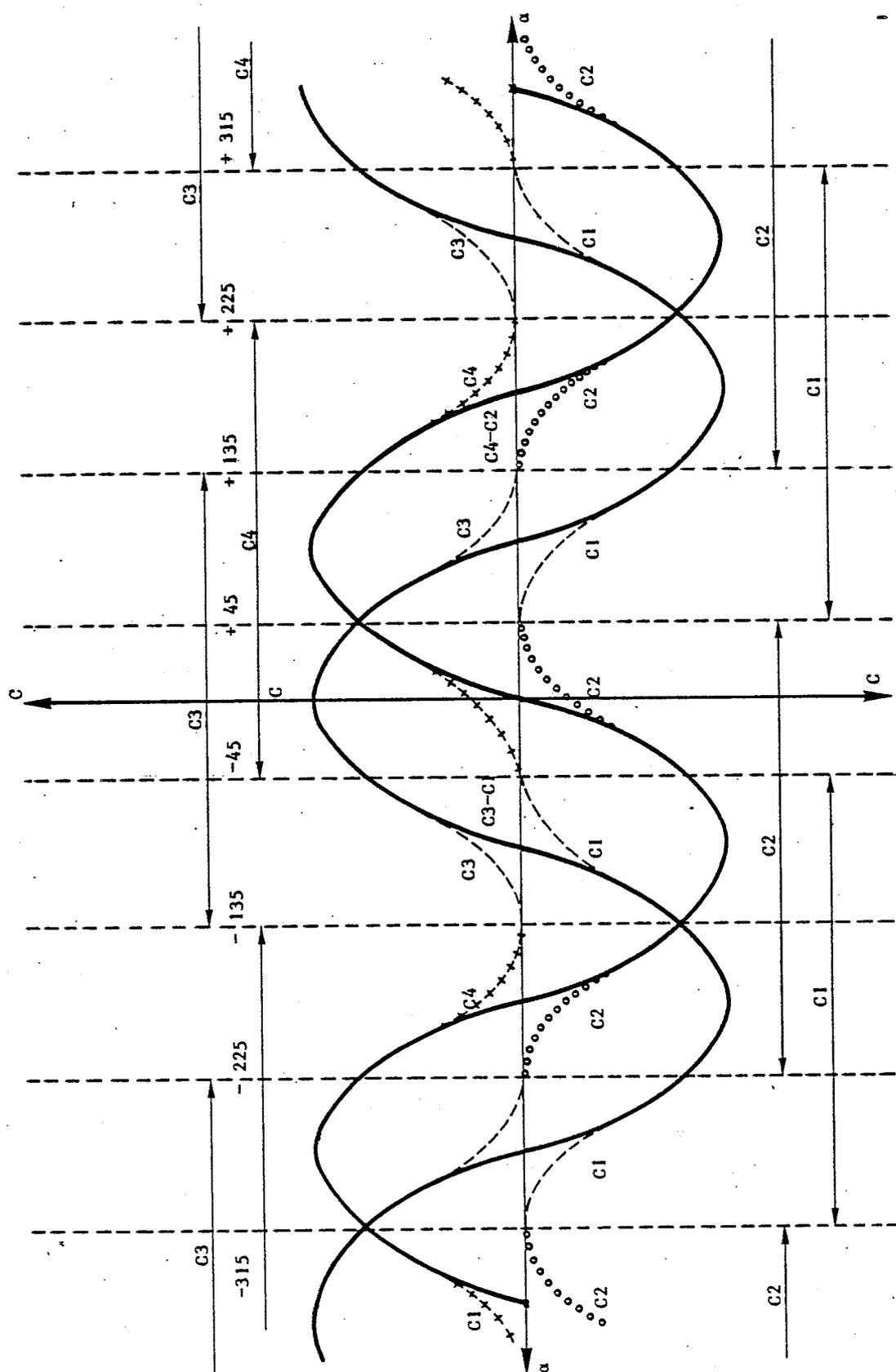
$$C4 - C2 = C6 - C8 = C_0 \sin \alpha$$

Par ailleurs on a toujours : $C1 + C2 + C3 + C4 = C_m$

: $C5 + C6 + C7 + C8 = C_m$

C_m étant la capacité maximum entre le rotor et les stators. Elle est de l'ordre de 116 pF.

On définit la capacité C_0 comme étant la capacité la plus grande, formée entre le rotor et l'un des stators.



ALLURE DE LA VARIATION DES CAPACITES DES CC TRIGO en f (alpha)

La capacité C_0 est de l'ordre de 82 pF.

d) - Utilisation des C.C. trigonométriques.

On se souviendra qu'au zéro électrique (pour $\alpha = 0$) le rotor forme avec le stator 3 la capacité C_0 et que les capacités C_2 et C_4 formées entre le rotor et les stators 2 et 4 sont égales. Ceci pour la voie a. Pour la voie b le rotor forme avec le stator 5 la capacité C_0 et on a $C_6 = C_8$.

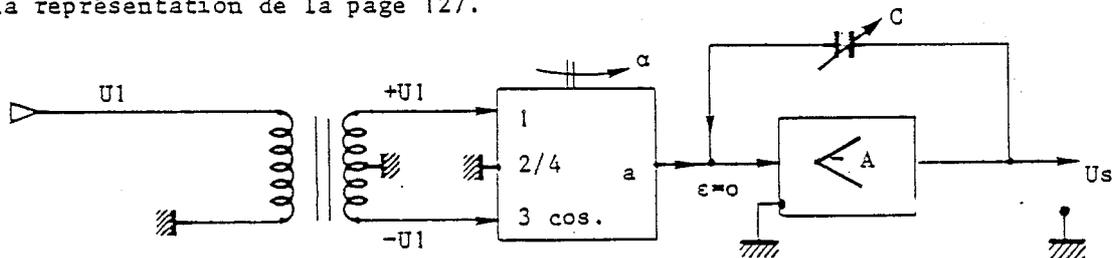
Pour tous les C.C. trigos il est nécessaire de former les tensions $+U_1$ et $-U_1$ à partir d'une tension U_1 devant alimenter l'appareil. On trouvera donc toujours, placé en amont, un transformateur à secondaire à point milieu destiné à fournir $+$ et $-U_1$. La sortie (voie a ou b) sera bien entendu faite sur un ampli et une contre réaction appliquée par un condensateur réglable permettra de régler le gain en boucle fermée.

3.5.3.2 - Fonction cosinus.

On désire effectuer le produit d'une grandeur, représentée par une tension de calcul U_1 , par le cosinus d'un angle α représenté sous forme de rotation d'arbre.

Le montage à réaliser est le suivant :

Le C.C. est représenté schématiquement, on fera, avec profit, le raisonnement avec la représentation de la page 127.



$$\text{On a } +U_1 C_1 - U_1 C_3 + U_s.C = 0$$

$$-U_1 (C_3 - C_1) + U_s.C = 0 \quad \text{or } C_3 - C_1 = C_0 \cos \alpha$$

d'où :

$$U_s = U_1 \cdot \frac{C_0}{C} \cdot \cos \alpha$$

La capacité C permet de doser le niveau de U_s .

NOTA : Si l'on désire obtenir $U_s = -U_1 \cos \alpha$. K. il suffit d'inverser les connexions 1 et 3 du C.C.

3.5.3.3 - Fonction sinus.

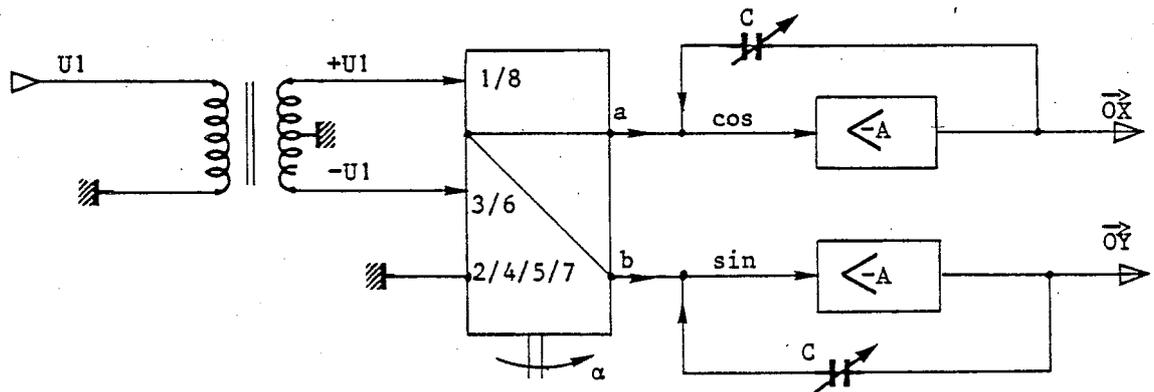
Pour réaliser une fonction sinus il suffit de mettre les bornes 1 et 3 à la masse et de relier le + U_1 à la borne 2 et le - U_1 à la borne 4. Le montage est par ailleurs identique à celui du schéma ci-dessus.

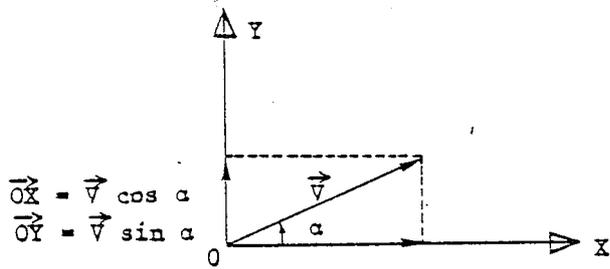
On obtient :
$$U_s = U_1 \frac{C_0}{C} \sin \alpha$$

3.5.3.4 - Passage des coordonnées polaires aux coordonnées cartésiennes d'un vecteur \vec{V} .

Soit U_1 le module du vecteur, représenté sous forme de tension de calcul et α l'argument connu sous forme de rotation d'arbre.

On réalise le montage suivant à l'aide d'un C.C. trigo en utilisant les voies (a) et (b).

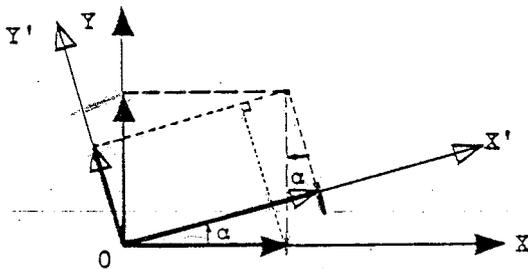




Il s'agit en fait d'un condensateur (celui de la voie a) réalisant la fonction cosinus et d'un C.C. (celui de la voie b) réalisant la fonction sinus.

3.5.3.5 - Rotation d'axes.

Connaissant les coordonnées cartésiennes d'un vecteur dans un système d'axes OXY, on désire connaître les coordonnées cartésiennes du même vecteur mais dans un système d'axes OX'Y' décalé du précédent de l'angle α connu sous forme de rotation d'arbre.



Les relations utilisées sont :

$$OX' = OX \cos \alpha + OY \sin \alpha$$

$$OY' = OY \cos \alpha - OX \sin \alpha$$

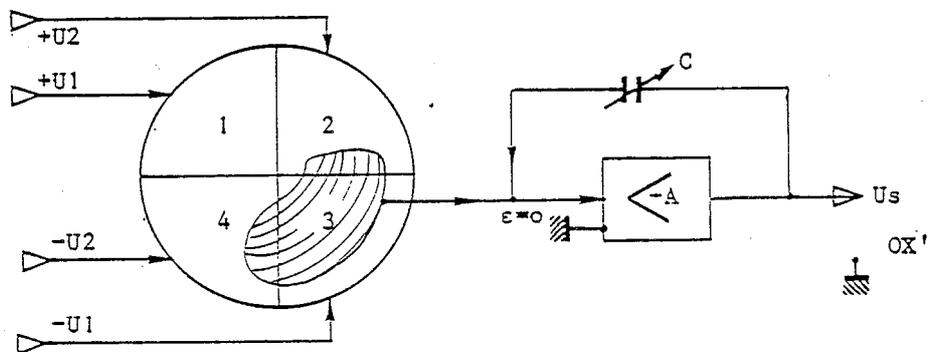
soit $U1 = OX$

$U2 = OY$

Les tensions de calcul U1 et U2 représentent les valeurs connues de OX et OY.

On utilise les voies a et b d'un condensateur trigo pour résoudre ce problème.

Considérons tout d'abord la voie (a) alimentée ainsi :



$$- U_1 C_3 - U_2 C_4 + U_1 C_1 + U_2 C_2 + U_s C = 0$$

$$- U_2 (C_4 - C_2) - U_1 (C_3 - C_1) + U_s C = 0$$

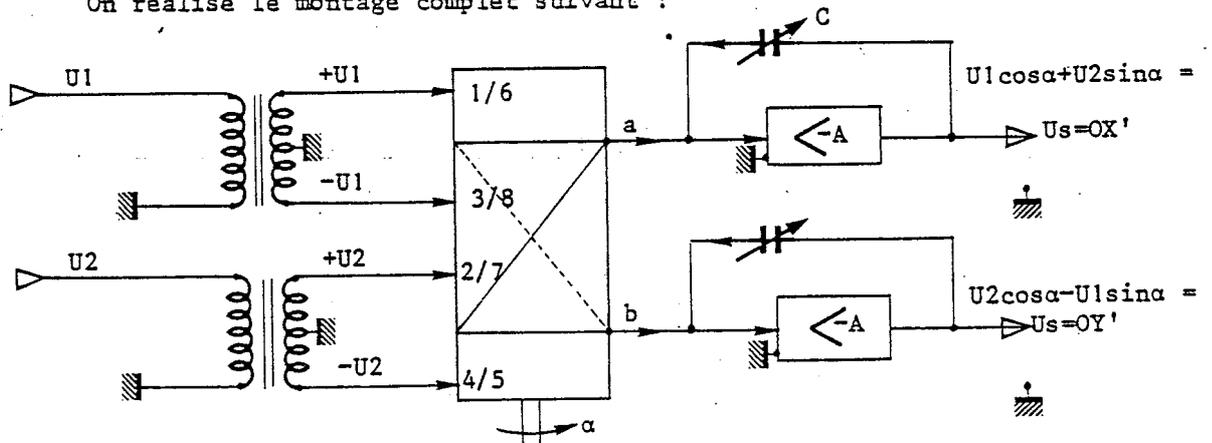
or $C_4 - C_2 = C_0 \sin \alpha$ et $C_3 - C_1 = C_0 \cos \alpha$

$$\text{d'où } U_s = U_1 \frac{C_0}{C} \cos \alpha + U_2 \frac{C_0}{C} \sin \alpha$$

$$U_s = \frac{C_0}{C} (U_1 \cos \alpha + U_2 \sin \alpha)$$

Le condensateur C permet de doser U_s et l'on voit que U_s représente la coordonnée OX' .

On réalise le montage complet suivant :



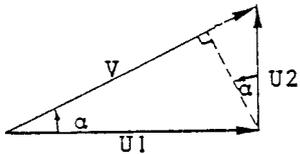
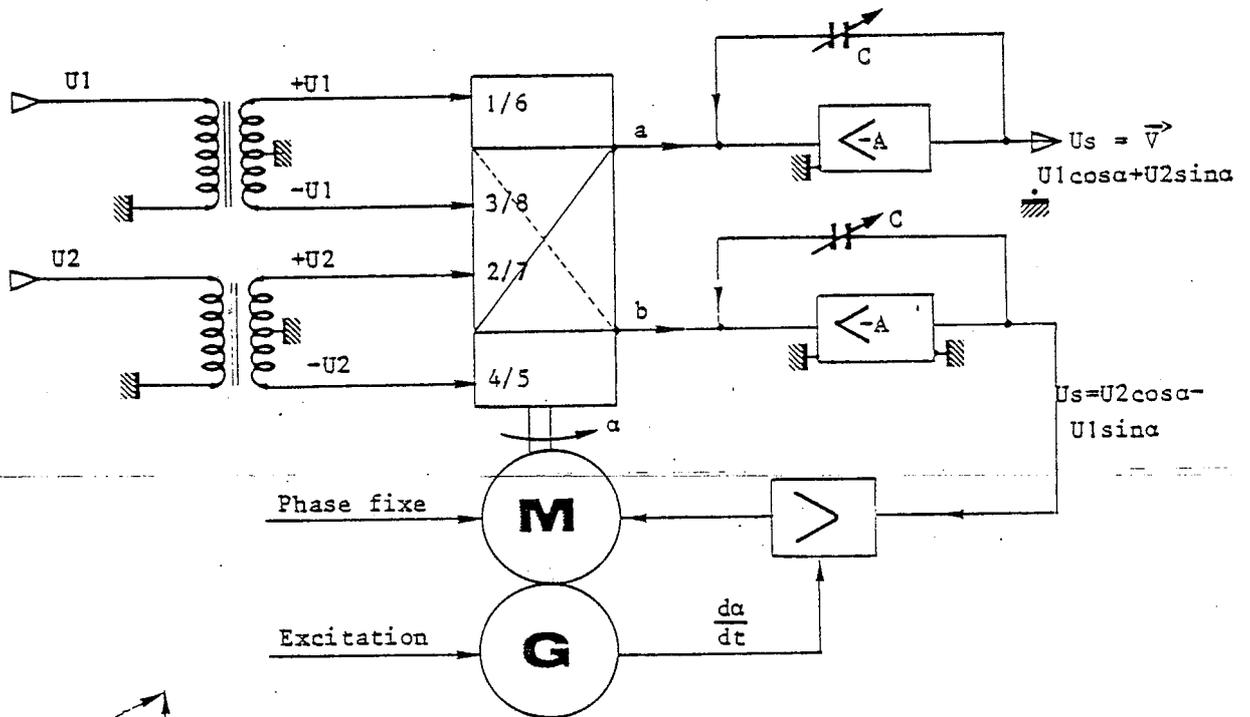
NOTA : Comme dans tous les montages indiqués dans ce cours le signe des fonctions réalisées tient compte du fait que l'ampli change le signe de sa tension de commande.

Si l'on désire réaliser le même genre de fonction mais avec des signes différents il suffit d'inverser correctement l'alimentation du C.C.

3.5.3.6 - Passage des coordonnées cartésiennes d'un vecteur aux coordonnées polaires de ce vecteur.

Les coordonnées cartésiennes sont connues sous forme de tensions de calcul U_1 et U_2 . On désire connaître le module en tension de calcul et l'argument sous forme de rotation d'arbre (α).

On réalise le montage suivant :



On utilise les relations :

$$U_1 \cos \alpha + U_2 \sin \alpha = \vec{V}$$

$$U_2 \cos \alpha - U_1 \sin \alpha = 0 \rightarrow \alpha$$

Sur la voie a on obtient le module du vecteur sous forme de tension de calcul.

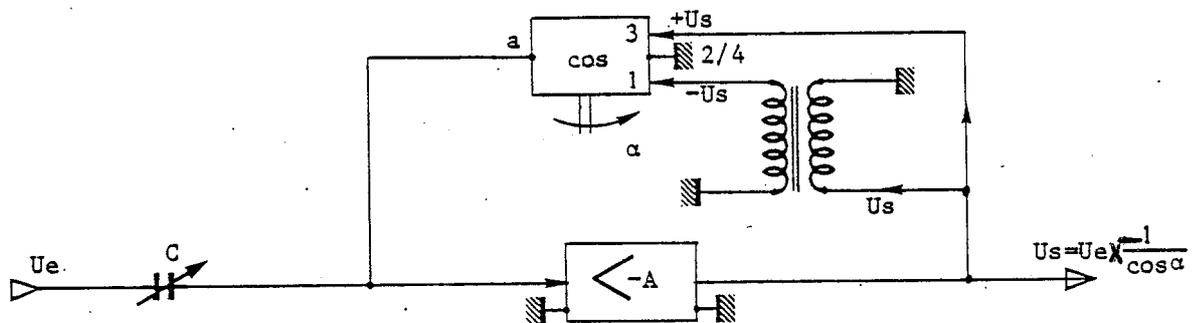
Sur la voie (b) on recueille une tension que l'on utilise pour commander la rotation d'un moteur en α . En effet ce moteur tournera jusqu'à ce que sa commande soit nulle, donc lorsque :

$$U_2 \cos \alpha = U_1 \sin \alpha \quad \text{soit} \quad \text{tg } \alpha = \frac{U_2}{U_1}$$

3.5.3.7 - Fonction $\frac{1}{\cos \alpha}$

Il s'agit d'obtenir la fonction inverse de $\cos \alpha$. Il faut donc placer le C.C. dans la boucle de contre réaction. Dans un tel montage α ne devra pas prendre la valeur 90° ($\alpha < 90^\circ$).

On utilise un C.C. branché en "fonction-cosinus" mais placé en C.R. sur l'ampli.



On peut écrire :

$$U_s C_3 - U_s C_1 + U_e C = 0$$

$$U_s (C_3 - C_1) = - U_e C \quad \text{or} \quad C_3 - C_1 = C_0 \cos \alpha$$

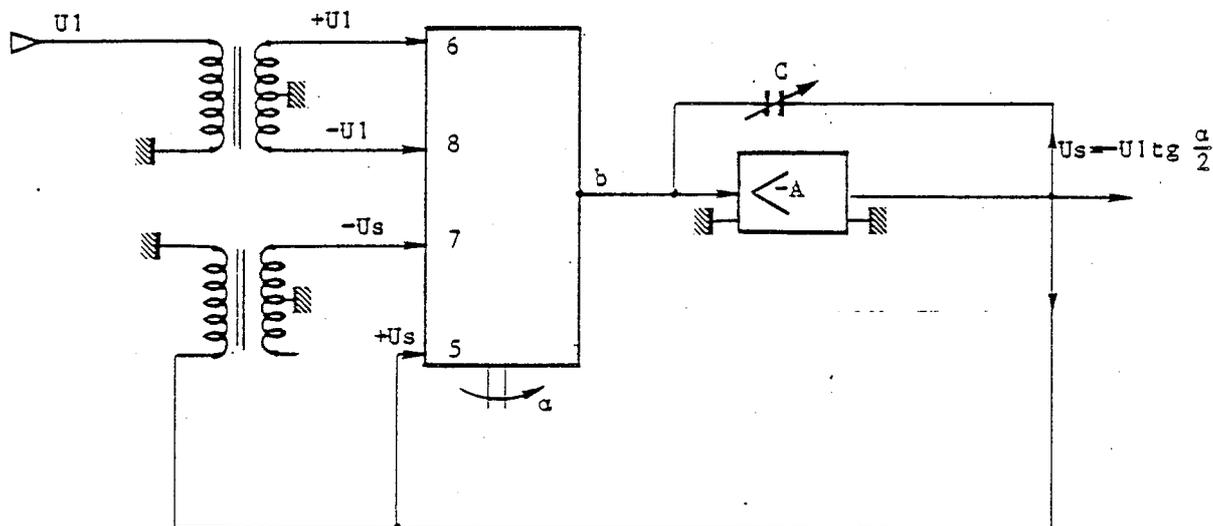
d'où

$$U_s = - U_e \frac{C}{C_0} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

3.5.3.8 - Fonction (tg) tangente.

Différentes méthodes sont utilisées.

- 1) On possède une grandeur α sous forme de rotation d'arbre et l'on désire connaître $\text{tg} \frac{\alpha}{2}$. Pour des raisons diverses on ne peut pas obtenir mécaniquement l'angle $\frac{\alpha}{2}$. On réalise alors le montage suivant à l'aide d'un C.C. sinus-cosinus (voie b par exemple).



Nous pouvons écrire :

$$U1 C6 + Us C5 - U1 C8 - Us C7 + Us C = 0$$

$$U1 (C6 - C8) + Us (C5 - C7) + Us C = 0 \quad \text{or } (C6 - C8) = Co \sin \alpha$$

$$\text{et } (C5 - C7) = Co \cos \alpha$$

d'où : $U1 Co \sin \alpha + Us Co \cos \alpha + Us C = 0$

$$U1 Co \sin \alpha = - Us (C + Co \cos \alpha) \quad \text{et} \quad Us = - \frac{U1 Co \sin \alpha}{C + Co \cos \alpha}$$

Divisons haut et bas par Co , il vient :

$$Us = - \frac{U1 \sin \alpha}{\frac{C}{Co} + \cos \alpha}$$

Exprimons $\sin \alpha$ et $\cos \alpha$ en fonction de la tangente de l'arc moitié.

On sait que :

$$\sin 2a = \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 + \operatorname{tg}^2 a} \quad \text{et} \quad \cos 2a = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 a}{1 + \operatorname{tg}^2 a}$$

Posons : $a = \frac{\alpha}{2}$ soit $\alpha = 2a$

Il vient : $\sin \alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$ et $\cos \alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$

Portons ces valeurs dans l'équation de U_s :

$$U_s = \frac{-U_1 \left(\frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} \right)}{\frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} + \frac{C}{C_0}} = \frac{-U_1 \left(\frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} \right)}{\frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{C}{C_0} (1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2})}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}}$$

Si par réglage on fait $C = C_0$ soit $C = 82 \text{ pF}$ on obtient $\frac{C}{C_0} = 1$ et en simplifiant il vient :

$$U_s = -U_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

2) On désire obtenir la tangente d'un angle α pouvant varier de $\pm 70^\circ$ environ. C'est-à-dire un angle α pouvant prendre une valeur importante. On opère alors en deux fois.

- On effectue le produit de la tension de calcul U_e par $\sin \alpha$ grâce à un montage classique (voir en 3.5.3.3), soit $U_e \sin \alpha$.
- On divise ensuite cette tension par $\cos \alpha$ grâce à un montage diviseur en $\cos \alpha$ (voir en 3.5.3.7)

On obtient donc :

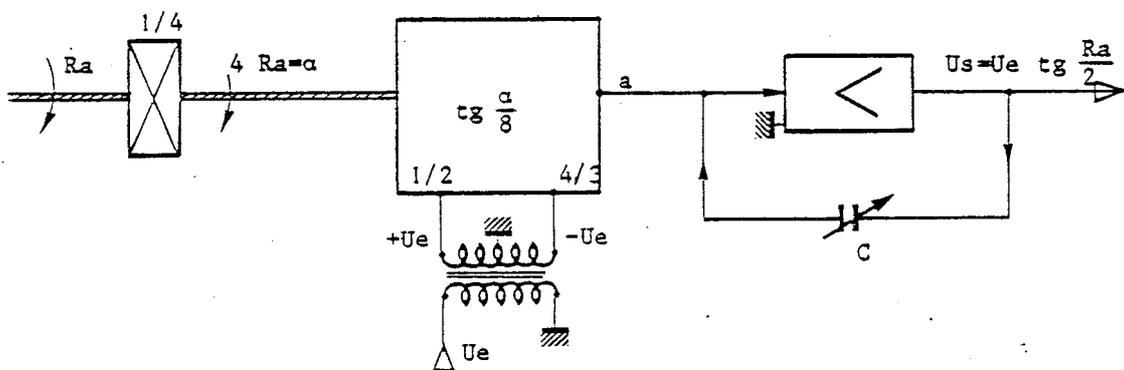
$$U_e \sin \alpha \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = U_e \operatorname{tg} \alpha.$$

3) On utilise un condensateur dont le profil du rotor est taillé de manière que la capacité entre le rotor et les stators correspondants varie suivant une loi $\operatorname{tg} \alpha$ ou plus généralement $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{K}$.

Ces C.C. comportent deux stators de 180° .

Par exemple les C.C. tg utilisés dans la transformation des coordonnées en roulis et tangage.

- le rotor est taillé pour réaliser $tg \frac{\alpha}{8}$ or on désire réaliser $tg \left(\frac{Ra}{2}\right)$ Pour ce faire il faut que l'on réalise $4Ra = \alpha$ grâce à un rapport de pignons entre l'arbre Ra et la rotation α du condensateur. On aura :



NOTA : Ce procédé n'est utilisé que lorsque l'angle α est relativement petit. De plus le rotor est taillé en $tg \frac{\alpha}{K}$ ce qui permet une meilleure précision. On notera toutefois que plus K sera grand, plus α devra être petit.

3.5.4 - Les condensateurs fonctionnels.

L'armature fixe de ces C.C. est divisée en deux secteurs. Le rotor est taillé de manière à réaliser, en fonction de son calage α , la loi exigée.

Ils s'utilisent dans les mêmes conditions que les C.C. linéaires de signe constant. (voir en 3.5.2.3) Ils possèdent dans le montage un réglage de "résiduelle" comme les C.C. linéaires de signe constant.

La position du zéro électrique de ces C.C. est obtenue en procédant comme indiqué en 3.5.2.1. Le constructeur donne pour chaque C.C. un "angle de bascule" permettant de calculer quelle valeur de la variable X correspond à la position zéro électrique du C.C. considéré. La variable X étant ce que représente la rotation d'arbre qui entraîne le rotor du C.C.

3.5.5 - Classification des condensateurs et repérage.

On distingue trois classes de C.C. selon l'erreur de linéarité (ou de conformité pour les C.C. non linéaires).

Classe 1/2 → erreur < à 1°/00

Classe 1 → erreur < à 2°/00

Classe 2 → erreur < à 5°/00

On définit cette erreur de la manière suivante :

Pour un C.C. parfait, la courbe de la tension délivrée en fonction de la rotation α du rotor suit exactement la fonction spécifiée. En réalité la courbe s'écarte toujours de la courbe théorique. L'écart maximum relevé est l'écart de linéarité ou de conformité, la tension maxi de sortie du C.C. étant prise égale à 1000°/00. On a ainsi $\frac{\Delta U_s}{U_s \text{ max}} = X°/00$.

Repérage : Chaque C.C. porte une plaquette portant la mention : "Licence Contraves C.C. n° ".

Une autre plaquette indique :

- la classe (1/2, 1 ou 2)
- la fonction du rotor a
- la fonction du rotor b
- le constructeur.

} Voir identification de la fonction.

exemple : 1/2 - 1/2 P2 - P2 - (SACM)

Une troisième plaquette indique le n° de série.

Identification de la fonction d'un C.C.

La fonction d'un C.C. est repérée selon un code comportant la lettre P

suivie d'un numéro. Ainsi :

P1 = C.C. linéaire (repère 34/35 pour C.C. Contraves)

P2 = C.C. trigonométrique (repère 34/41 pour C.C. Contraves)

P3 = C.C. $\text{tg } \frac{\alpha}{8}$

P4 = C.C. $\sin \frac{\alpha}{4}$ (arbre en j du BVA)

Spéciaux
au
BTAm

P5 = C.C. $\text{tg } \frac{\alpha}{4,8}$ (sur l'arbre de hausse β).
P59-P61-P57-P58-P62-P63 respectivement g_3, g_4, g_1, g_2, g_5 et g_6 de la hausse (β).
P53-P56-P54-P55-P51-P52 respectivement $f_1, f_3, f_6, f_2, f_4, f_5$ de la durée de trajet (T).

Spéciaux
au BTAA

P41-P44-P43-P42 respectivement L_0, A_0, A_1 et L_1 de la durée de trajet (T).

Spéciaux
au BTCs

P21-P31-P32-P33 respectivement B, H, F et G de l'évent sous marin (Be) en degrés.

3.6 - LES GENERATRICES TACHYMETRIQUES.

But : Fournir sous forme de tension électrique la vitesse angulaire de rotation d'un arbre ou bien effectuer le produit de cette vitesse par un terme connu sous forme de tension électrique.

On distingue deux sortes de génératrices :

- les génératrices tachymétriques de courant continu.

- les génératrices tachymétriques de courant alternatif.

3.6.1 - Les génératrices de courant continu.

3.6.1.1 - Constitution et type.

Il existe deux catégories selon le mode d'excitation.

- à aimants permanents : (du type GA) se composant d'un induit qui tourne dans le champ constant d'un aimant permanent.
- à excitation séparée : (du type GE) se composant d'un induit qui tourne dans le champ créé par un bobinage d'excitation, alimenté par une source extérieure de courant continu.

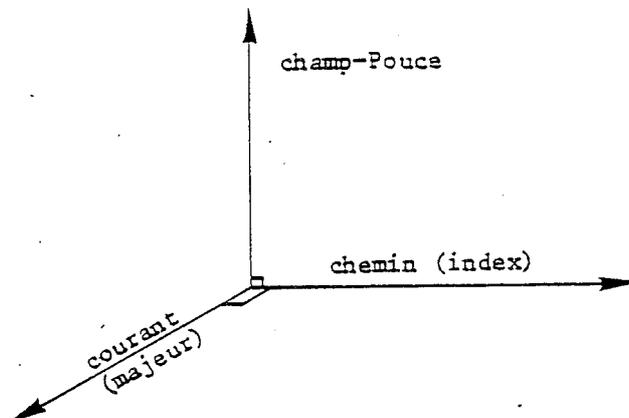
Ces deux catégories se répartissent elles-mêmes en plusieurs types en fonction de la vitesse nominale de rotation, soit :

Aimants permanents	{	type GA 60 → 60 tr/mn de vitesse nominale
		type GA 100 → 100 tr/mn de vitesse nominale
		type GA 400 → 400 tr/mn de vitesse nominale
		type GA3000 → 3000 tr/mn de vitesse nominale
Excitation séparée	{	type GE 60 → 60 tr/mn de vitesse nominale
		type GE 400 → 400 tr/mn de vitesse nominale

L'encombrement de ces génératrices est relativement important, surtout pour les G 60.

3.6.1.2 - Principe de fonctionnement.

C'est celui d'une dynamo. Les déplacements de conducteurs à une vitesse (V) perpendiculairement à un champ magnétique uniforme, donne naissance dans ces conducteurs à une Fém induite tendant à faire circuler un courant dans le sens indiqué par la règle des trois doigts de la main gauche.



L'artifice du collecteur permet de recueillir un courant, d'autant plus continu, que le nombre de lames de ce collecteur est plus grand.

Les génératrices tachymétriques de courant continu comportent un collecteur à grand nombre de lames, les harmoniques sont ainsi grandement diminuées.

La Fém induite à pour valeur : $E = \frac{P}{a} \frac{N}{60} n \phi$ avec E en Volts.

P = nombre de paires de pôles.

a = nombre de voies d'enroulement.

N = nombre de tours par minute.

n = nombre de conducteurs périphériques.

ϕ = le flux en Weber.

Posons $K = \frac{P}{a} n$; on obtient $E = K N \phi$.

La Fém recueillie à vide est donc proportionnelle à la vitesse de rotation N et au flux ϕ . Si celui-ci est constant comme avec un aimant permanent on a :

$$E = K'N \quad (K' = K \phi)$$

En charge la tension recueillie est :

$$U = E - R_g I = R_c I$$

avec U tension de sortie en Volts.

R_g = résistance interne de la génératrice en Ω (induit).

R_c = résistance de charge.

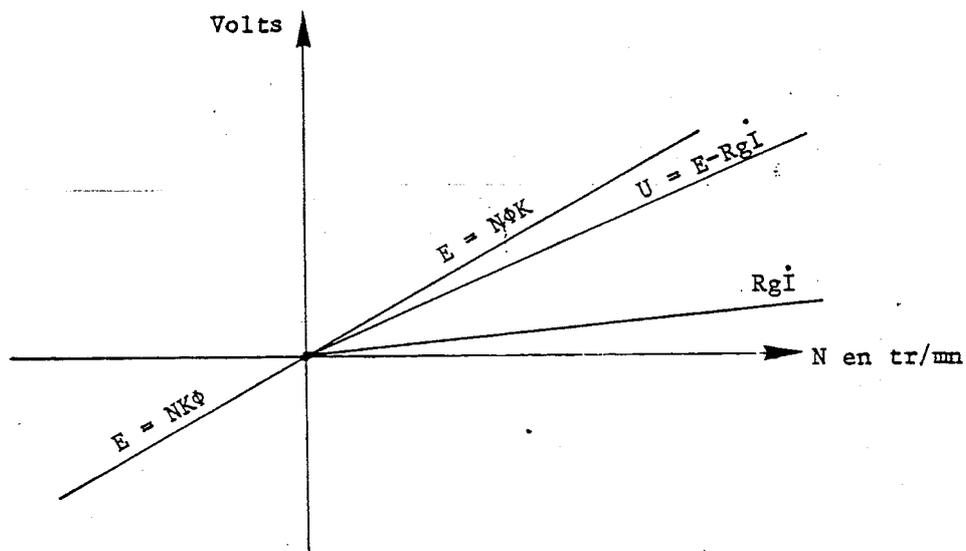
I = courant débité.

Pour une charge constante on obtient donc une tension :

$$E = U + R_g I = I (R_c + R_g)$$

puisque si $R_c + R_g = K$ on a I proportionnel à E donc à N .

La polarité de la tension recueillie change lorsque le sens de rotation change.



3.6.1.3 - Caractéristiques électriques.

Caractéristiques	Unité	Type de génératrice					
		G A				G E	
		60	100	400	3000	60	400
Vitesse nominale	tr/mm.	60	100	400	3000	60	400
Fem à vide	Volts	50	100	52	180	42	44
Résistance interne	Ω	410	620	105	115		
Résistance de charge nominale	Ω	1000	2000	1000	2000	1000	1000
Tension U en charge pour R de charge nominale	Volts	36	75	48	160	30	40
Courant nominal	m A	36	37,5	48	80	30	40
Excitation	A					1	1
Excitation (puissance)	Watts					10	10

3.6.1.4 - Utilisations.

On utilise les génératrices tachymétriques de courant continu à divers usages.

Génératrices à aimants permanents.

- 1) - Fournir une tension, fonction de la vitesse de l'organe mené, utilisé en contre réaction ou terme d'amortissement dans un asservissement ou une télécommande de position.

Exemple : régulateur de fréquence des groupes 440/60 → 115/400

- 2) - Fournir un signal continu représentant une commande impulsivelle, dans une télécommande vitesse, lorsque l'on désire faire varier la vitesse ordonnée. Ceci afin d'accélérer l'établissement du nouveau régime de vitesse, donc de diminuer le temps de réponse. On peut assimiler cette commande à une commande en accélération.

Exemple : terme gg' dans le pointage aidé des TT et des tourelles.

- 3) - Fournir l'ordre vitesse (tt'), fonction de la vitesse de rotation de l'arbre menant à une télécommande ou un asservissement vitesse.

Exemple : terme vitesse tt' en circulaire et élévation pour tourelle de 127. - Terme vitesse tt' pour asservissement en δE et δC des transformateurs de coordonnées de 127.

Génératrices à excitation séparée.

- Utilisées pour effectuer un produit d'un terme représenté sous forme de tension continue, par une vitesse de variation d'un terme représenté sous forme de rotation d'arbre. La tension continue alimente alors l'enroulement d'excitation.

Exemple : calcul de $(pF.Vt)$ dans le repère gyro.

3.6.1.5 - Conventions de bornage et de branchement.

Pour les GA : deux fils de sortie.

- un rouge \rightarrow pôle + de l'induit

- un noir \rightarrow pôle - de l'induit

ceci lorsque la génératrice, vue du côté arbre, tourne dans le sens trigo.

- Une tension tt' négative (t' négatif par rapport à t) correspond à une vitesse positive, c'est-à-dire à un élément transmis croissant.

Ces conventions permettent de réaliser les branchements voulus en fonction des cas considérés.

Pour les GE : deux fils de sortie :

- rouge → pôle + de l'induit
- noir → pôle - de l'induit

ceci si la génératrice tourne dans le sens trigo vu du côté arbre et pour un branchement correct de l'excitation.

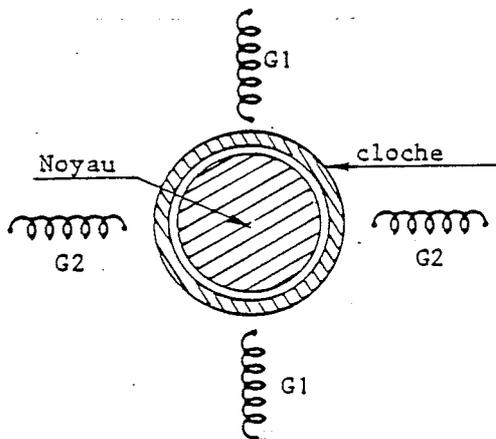
3.6.2 - Les génératrices de courant alternatif.

Nous n'étudierons ici que celles du type "CONTRAVES" fabriquées en France par "C S F", "SADIR-CARPENTIER", COMI, les plus répandues dans les calculateurs.

3.6.2.1 - Constitution :

- Un stator comportant deux enroulements dont les axes sont perpendiculaires.

- l'enroulement d'excitation (G1) alimenté par une tension alternative d'amplitude constante.



- L'enroulement (G2) sur lequel on recueille la tension de sortie.

- Un rotor : à cage d'écureuil ou plus généralement constitué d'une cloche cylindrique en cuivre. Ceci afin d'obtenir une inertie minimum de la partie tournante. Dans le cas où il

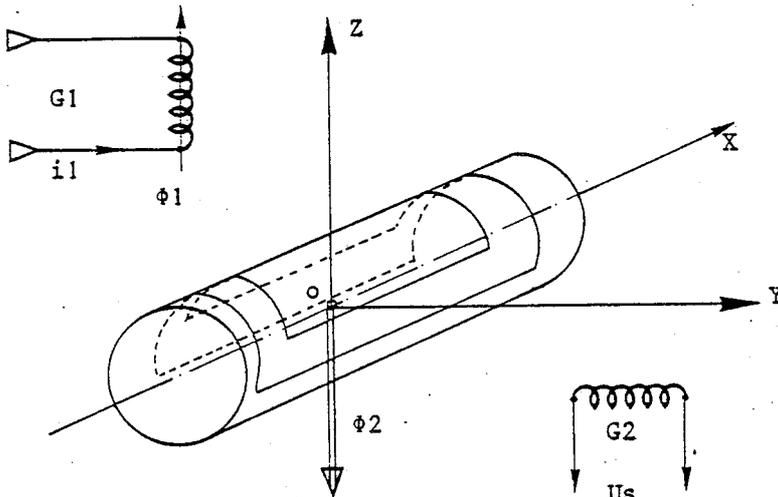
y a une cloche on trouve un noyau magnétique enfermé dans la cloche et solidaire de la carcasse de la génératrice, mais pouvant tourner par rapport à cette dernière, afin de procéder au réglage.

3.6.2.2 - Principe de fonctionnement.

Le courant d'excitation $i_1 = I_1 \cos \omega t$ traverse l'enroulement G1 et

produit un flux ϕ_1 selon l'axe de la bobine G1.

Si la cloche est immobile, celle-ci peut être considérée comme l'ensemble



d'une infinité de spires obtenues en coupant le cylindre supposé parfait par des plans parallèles au plan XOY.

Chaque spire est parcourue par un courant alternatif induit, (courant de Foucault) de même pulsation que le courant i_1 . Ce courant induit produit un flux ϕ_2 somme des flux ϕ élémentaires de chaque spire. Il est en opposition avec ϕ_1 (loi de LENZ). Par conséquent ϕ_2 et ϕ_1 auront une composante

nulle selon l'axe de la bobine G2 et celle-ci ne sera le siège d'aucune Fém induite.

NOTA : Le flux ϕ_2 présente un certain retard de phase par rapport à ϕ_1 .

Si la cloche est en rotation Ω , cette rotation provoque une déviation du champ Ω_2 dans le sens de la rotation et ceci d'autant plus que la vitesse Ω est plus grande. Le champ Ω_2 n'étant plus perpendiculaire à l'enroulement G2, ce dernier est le siège d'une Fém induite. La construction de la génératrice est telle que cette Fém est proportionnelle à la vitesse Ω .

Cette tension recueillie est déphasée de 30° environ en arrière par rapport à la tension d'excitation. La phase s'inverse de 180° avec le sens de rotation.

3.6.2.3 - Défauts des génératrices alternatives.

- Tension de sortie : celle-ci varie avec :

- la température ambiante (12% environ pour $25^\circ < \theta < 80^\circ$)
- la fréquence de la tension d'excitation (4% pour Δf de 10%).

De plus cette tension comporte le plus souvent une composante imaginaire (tension déphasée de 90° par rapport à la tension de sortie réelle). Cette tension imaginaire varie également avec la fréquence (10% pour un Δf de 10%).

La phase de U_s varie peu en fonction de la vitesse ($\pm 3^\circ$ environ), elle varie en fonction de la température et de la fréquence. On sait qu'elle est déphasée de 30° par rapport à la tension d'excitation.

Tension résiduelle :

Lorsque la génératrice est à l'arrêt on constate la présence d'une tension résiduelle dont l'amplitude varie en fonction de la position de la cloche. Elle est due à deux causes :

- l'axe de G2 n'est pas exactement perpendiculaire au flux ϕ_1 . La tension induite de ce fait est indépendante de la position de la cloche. On y remédie en construisant le noyau magnétique placé à l'intérieur de la cloche d'une manière asymétrique et orientable. On parvient ainsi en faisant tourner le noyau à déformer les lignes de force du flux ϕ_1 jusqu'à le rendre \perp à G2

Voir Nota page 149.

- Une tension variable se superpose à la tension indiquée ci-dessus.

Elle est due à un défaut de symétrie de la cloche (imparfaitement cylindrique). De ce fait la normale aux spires considérées comme formant la cloche et portant ϕ_2 , n'est plus selon l'axe de G1 et donc n'est plus perpendiculaire à G2.

Le flux ϕ_2 induit donc lui aussi une tension dans G2 qui varie avec la position de la cloche. Cette tension ne peut, de ce fait, être compensée.

On classe donc les génératrices "contravés" en deux types selon la tension résiduelle qu'elles présentent.

- Soit : - le type G → résiduelle = 60 mV ± 10
 - le type S → résiduelle = 30 mV ± 3

NOTA : Un nouveau type de génératrice vient d'apparaître, il s'agit de la génératrice type A construite par CSF.

Ces génératrices sont compensées en température (0,2% de variation de la tension de sortie de 22 à 75°). Une tension de compensation de la résiduelle en phase est élaborée par un enroulement de compensation et dosée par une résistance variable extérieure à la génératrice (RV3 des ASF dans le BVa). Le noyau de ces génératrices ne doit pas être tourné sous peine de détérioration de l'appareil.

3.6.2.4 - Caractéristiques électriques des génératrices à 400 Hz taille. 20.

Caractéristiques	Unité	Type G		Type S		Type A	
		Bobine G1	Bobine G2	Bobine G1	Bobine G2	Bobine G1	Bobine G2
Tension d'excitation nominale.	Volt	64		64		115	
Tension de sortie à 3000 t/mn.	Volt		6		6		2,85
Déphasage de Us par rapport à U excitation.	degrés		33°		33°		30°
Tension de sortie résiduelle.	mV.		60±10		30±3		2
Résistance à 20° en continu .	Ω	210	450	210	450		
Impédance (environ).	Ω	570		570			

Il existe des génératrices utilisables en 50 et 60 Hz et d'autres utilisables en 400 Hz. Par ailleurs, différentes tailles existent allant de 05, 11, 08 et 20 en 1/10 de pouces.

3.6.2.5 - Utilisation.

Les génératrices type "Contravés" taille 20 sont utilisées en association avec des moteurs, diphasés, d'asservissement dont elles sont solidaires. On les trouve dans les calculateurs de :

DLTL3A	→ fabriquées par COMI
PC de 100 mm	→ fabriquées par CSF
BTCs	→ fabriquées par SADIR-CARPENTIER
PC de 57 mm	→ fabriquées par CONTRAVES
BGDs	→ fabriquées par CSF et SADIR-CARPENTIER
DLTS4A(P.RR.-GZ2)	→ fabriquées par CSF

On les utilise pour fournir sous forme de tension alternative, d'amplitude et de phase variable, la vitesse de rotation d'un arbre. Ce terme est utilisé :

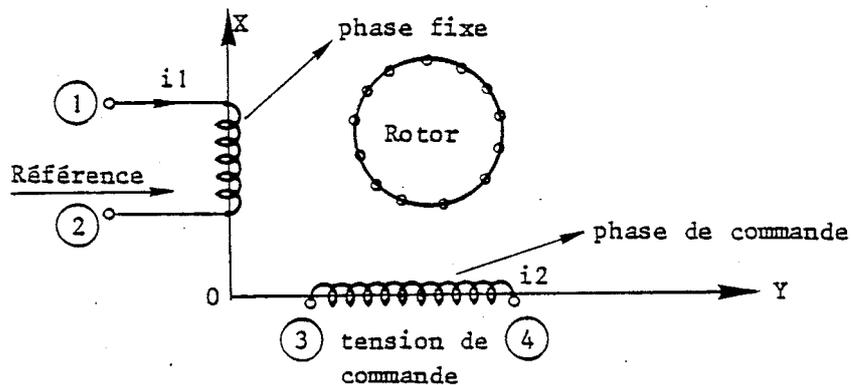
- en terme "d'amortissement" dans un asservissement de position.
- en terme "d'opposition" dans un asservissement vitesse utilisé en intégrateur (voir montage Vélodyne).
- en terme de commande vitesse après amplification et démodulation (cas de tt' de la télécommande en C, E et B du 100 mm par exemple).

3.7 - LES MOTEURS DIPHASES LICENCE " CONTRAVES ".

Ces moteurs sont utilisés dans les asservissements dont la puissance nécessaire n'exède pas quelques Watts. C'est le cas dans tous les asservissements de calcul et dans les différentes transformations des données ou des représentations de ces données. (Construites par CSF - SADIR CARPENTIER - COMI pour les moteurs rencontrés dans les calculateurs).

3.7.1 - Constitution.

- Un rotor à cage d'écureuil.
- Un stator comportant des bobines dont les axes sont perpendiculaires (le nombre de bobines est variable selon le nombre de paires de pôles).



3.7.2 - Principe.

Un groupe de bobines alimentées en permanence sous une tension d'amplitude constante (tension de référence) constitue la phase fixe. Elle est parcourue par un courant $i_1 = \dot{I}_1 \cos \omega t$.

L'autre groupe de bobines alimentées sous une tension d'amplitude variable, délivrée par un amplificateur, constitue la phase de commande ou phase variable. La tension qui alimente cette phase est en quadrature (avant ou arrière) avec la tension de référence. Le courant qui parcourt ces bobines est de la forme :

$$i_2 = \dot{I}_2 \cos \left(\omega t \pm \frac{\pi}{2} \right) = \pm \dot{I}_2 \sin \omega t.$$

Le courant i_1 produit un flux ϕ_1 selon OX :

$$\phi_1 = K i_1 = K \dot{I}_1 \cos \omega t \text{ soit } \frac{\phi_1}{K I_1} = \cos \omega t \quad (1)$$

Le courant i_2 produit un flux ϕ_2 selon OY :

$$\phi_2 = K i_2 = \pm K \dot{I}_2 \sin \omega t \text{ soit } \frac{\phi_2}{\pm K I_2} = \sin \omega t \quad (2)$$

Le flux résultant ϕ est la somme géométrique des flux ϕ_1 et ϕ_2 dont les valeurs instantanées varient respectivement comme le cosinus et le sinus de ωt . On sait que l'on peut décomposer ces flux, selon le théorème de Leblanc en deux flux égaux tournant en sens contraire à une vitesse ω .

On peut écrire : (1) + (2)

$$\frac{\phi_1^2}{(K_{I1})^2} + \frac{\phi_2^2}{\pm(K_{II2})^2} = \cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t = 1$$

Cette équation est celle d'une ellipse dont le 1/2 grand axe a pour valeur K_{I1} selon OX et le 1/2 petit axe a pour valeur K_{II2} selon OY.

Par conséquent l'extrémité du vecteur représentant le flux résultant ϕ décrit cette ellipse en fonction du temps.

Le vecteur ϕ fait avec OX un angle α donné par :

$$\text{tg } \alpha = \frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{\pm K_{II2} \sin \omega t}{K_{I1} \cos \omega t} = \frac{\pm K_{II2}}{K_{I1}} \text{tg } \omega t.$$

Le vecteur représentatif du flux ϕ tourne avec une vitesse angulaire $\frac{d\alpha}{dt}$ différente de la pulsation ω des courants i_1 et i_2 puisque affecté du rapport $\frac{\pm K_{II2}}{K_{I1}}$. Les quantités $\frac{K_{I1}}{K_{II2}}$ et ω sont constantes, la vitesse angulaire est donc proportionnelle à \dot{I}_2 , donc à la tension de commande délivrée par l'ampli d'asservissement. Le sens de rotation du moteur est donné par le signe de \dot{I}_2 (quadrature avant ou arrière par rapport à \dot{I}_1).

En particulier on voit que si $\dot{I}_2 = 0$

$$\text{on a } \text{tg } \alpha = \frac{\pm 0}{K_{I1}} \text{tg } \omega t = 0 \quad \text{d'où } \frac{d\alpha}{dt} = 0$$

La vitesse est nulle.

$$\text{Si } \frac{K_{I1} \dot{I}_2}{K_{II2}} = 1 \quad \text{tg } \alpha = \text{tg } \omega t$$

On est à la vitesse de synchronisme et l'extrémité du vecteur décrit un

cercle. On voit ainsi que selon la valeur et le signe de \dot{I}_2 , donc de la tension de commande, on donne un sens de rotation et une vitesse donnée au moteur.

3.7.3 - Caractéristiques diverses.

Il existe différentes versions du moteur "Contraves", selon le nombre de pôles par phase et la tension nominale d'alimentation des enroulements de commande. Les enroulements d'excitation (phase fixe) sont toujours alimentés en 110 Volts. Il existe également différentes tailles 05 - 08 - 11 et 20.

Repère symbolique	tension nominale de commande	Nombre de paires de pôles
2. 110/26	26 volts	2
2. 110/160	160 Volts	2
2. 110/55	55 Volts	2
4. 110/26	26 Volts	4
4. 110/160	160 Volts	4
4. 110/55	55 Volts	4

- Sens de rotation.

Les bornes des enroulements d'excitation étant 1. 2 celles des enroulements de commande sont 3. 4.

Le moteur tourne dans le sens trigo, vu du côté pignon lorsque la tension $\vec{3.4}$ est déphasée de $\pi/2$ en avance par rapport à la tension $\vec{1.2}$. (Le pignon dont il s'agit est celui placé sur l'axe du moteur et non pas celui de sortie du réducteur comme il sera vu en 381).

- Fréquence des tensions d'utilisation.

On utilise dans la marine des moteurs "Contraves" prévus pour 400 Hz et d'autres prévus pour 60 Hz.

3.7.4 - Caractéristiques électriques des moteurs 400 Hz taille 20

Caractéristiques	Unités	2 paires pôles			4 paires pôles		
		Phase fixe	Phase commande type 110/55	Phase commande type 110/160	Phase fixe	Phase commande type 110/55	Phase de commande type 110/160
Tension nominale	Volts	110	55	160	110	55	160
Tension de démarrage(1) avec réducteur	Volts		1,8	5		1,8	5
Résistance à 20° en continu	Ω	210	50	450	205	51	435
Caractéristiques au démarrage sous tension nominale :							
- Puissance	W	8,3	8,6	8,3	12,5	12,5	12,5
- Impédance	Ω	1020	240	2130	690	172	1460
Caractéristiques au synchronisme :							
- Puissance	W	2,8	2,8	2,8	7,5	7,5	7,5
- Impédance	Ω	1300	325	2670	735	184	1560

(1) La phase fixe étant alimentée en 110 Volts.

3.7.5 - Caractéristiques mécaniques des moteurs 400 Hz taille 20

Caractéristiques	Unités	2 paires de pôles	4 paires de pôles
Couple de démarrage	cmg	80	130
Vitesse à vide sans réducteur	tr/mn	11500	5750
Constante de temps	ms.	130	38
Puissance mécanique utile maximum	W	3,25	2,7
Vitesse à la puissance mécanique maximum	tr/mn	6700	3300

NOTA : D'autres modèles de moteurs diphasés existent construits par :

SAGEM

PRECILEC (dans la DLTS4A)

SADIR-CARPENTIER (dans la DLTK2B)

Le principe est identique à celui étudié. Les caractéristiques diffèrent.

3.8 - LES MOTEURS - GENERATEURS DU TYPE CONTRAVES.

Une génératrice de courant alternatif et un moteur diphasé tels qu'ils viennent d'être étudiés séparément sont en fait réunis dans une même carcasse et forme un seul appareil appelé "moteur-générateur". Ceux rencontrés dans les calculateurs sont de taille 20.

3.8.1 - Constitution.

L'ensemble moteur-générateur groupe dans une même carcasse :

- une génératrice de courant alternatif (taille 20),
- un moteur asynchrone diphasé (sur le même arbre que la génératrice) (taille 20),
- entraîné par l'arbre unique, un réducteur interchangeable, dont le rapport de réduction peut être choisi dans une gamme comprenant 11 types différents (taille 20).

Repère du réducteur	7	11	18	20	33	53	82	130	184	210	325
Rapport de réduction	7,35	11,7	18,3	20,5	33,38	53	83,09	131,28	184,25	208,88	326,84
sens de rotation de l'arbre de sortie par rapport à celui du moteur	identique			inverse				identique			

NOTA : Il existe un type de réducteur à rattrapage de jeu R33A (rapport de réduction 33,2).

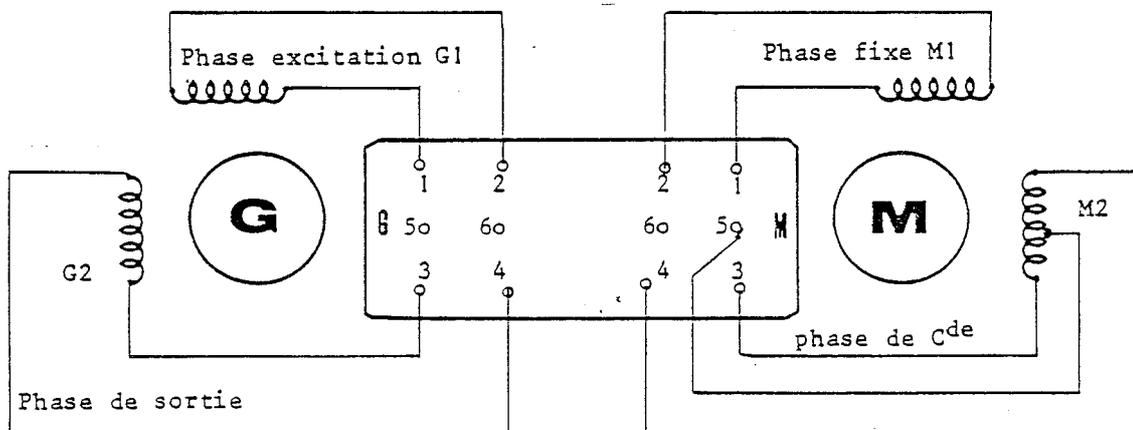
3.8.2 - Identification des moteurs-générateurs.

Les appareils doivent porter un symbole du type :

20 MG4 - S (4 - 110/160) R 20.

- Les deux premiers chiffres indiquent la taille en 1/10 de pouce.
- Les deux lettres M.G. → moteur-générateur.
- Le chiffre suivant indique la fréquence des tensions à utiliser :
4 → 400 Hz et 6 → 60 Hz.
- La lettre suivante indique le type de la génératrice (G, S ou A).
- Le chiffre suivant indique le nombre de paires de pôles du moteur.
- Le groupe de chiffre qui suit indique la tension d'excitation et la tension nominale de commande.
- La lettre R comme réducteur, suivie d'un nombre qui indique le repère du réducteur (voir tableau).

3.8.3 - Disposition des bornes de connexions.



NOTA : La borne 5 côté moteur est réunie au point milieu de la phase de commande.

3.8.4 - Conventions de bornage.

Les enroulements du moteur étant alimentés par une tension $\vec{3.4}$ en avance de $\pi/2$ sur la tension $\vec{1.2}$ l'arbre du moteur tourne dans le sens trigonométrique simultanément la génératrice fournit une tension $\vec{3.4}$ en retard d'environ 30° sur la tension $\vec{1.2}$.

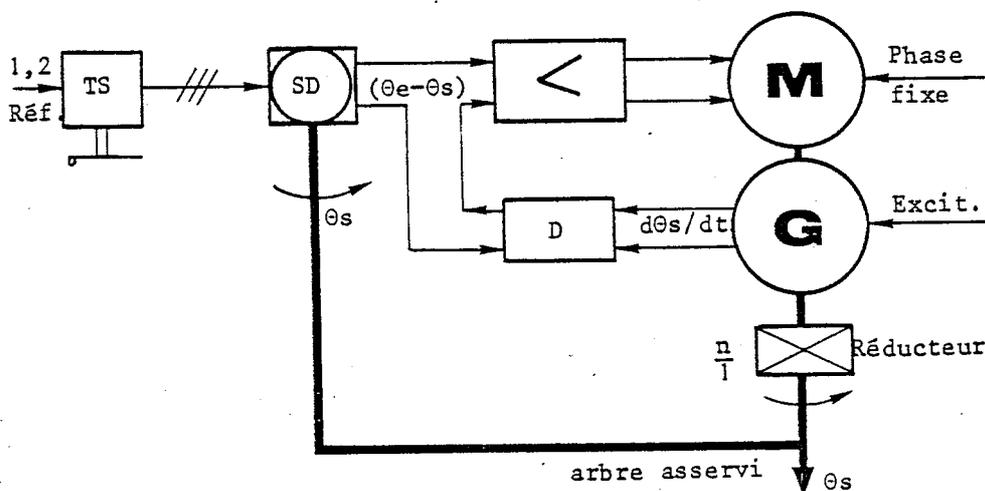
3.8.5 - Utilisations diverses des 20 MG.4 et 20 MG.6

On les utilise dans tous les asservissements se trouvant dans les calculateurs et appareils suivants :

- P.C de 100 mm
- P.C de 57 mm
- BGDs
- BTCs
- QTLK de la DLTL3A
- P.R.R. et G.Z.2 de la DLTS4A
- Coffrets SB type II (briques)
- X T type M.

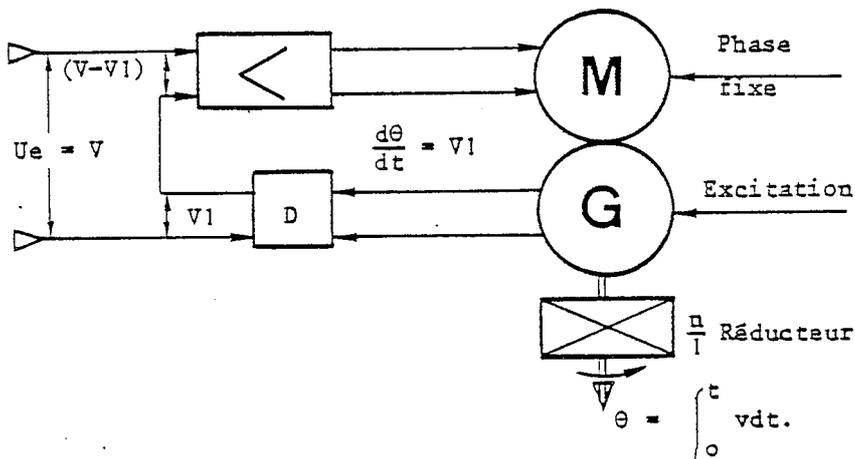
3.8.5.1 - Asservissement de position.

Le moteur est commandé par la tension d'erreur $(\theta_e - \theta_s)$ et tourne jusqu'à annuler celle-ci. La



sortie de la génératrice, réglée et déphasée dans le réseau D est mise en opposition avec la tension de sortie du SD. Ce terme produit un amortissement visqueux supprimant les oscillations du système.

3.8.5.2 - Asservissement vitesse, montage "vélocyde" ou "intégrateur".



Soit une tension U_e qui correspond à une vitesse ordonnée (v) de l'arbre de sortie. La tension de sortie de la génératrice, après correction dans le réseau D est mise en opposition avec la tension U_e . Le coefficient d'amplificateur (A) de l'ampli étant très grand la différence $(v - \frac{d\theta}{dt})$ amplifiée est appliquée à l'enroulement de commande du moteur qui prend une vitesse tendant à annuler la différence. De ce fait la vitesse de l'arbre de sortie est asservie à la tension U_e .

On contrôle ainsi à tout instant la vitesse de l'arbre de sortie.

3.8.5.3 - Asservissements de calcul. (asservissement de zéro).

Nous avons vu dans l'étude des appareils de calcul qu'un asservissement est nécessaire pour :

- effectuer un quotient précis $y = \frac{1}{x}$ ou $y = \frac{a}{x}$
- effectuer la transformation de coordonnées cartésiennes en coordonnées polaires d'un vecteur.

On utilise pour cela un ensemble moteur-générateur avec ampli d'asservissement.

L'ensemble travaille en asservissement dit "de zéro", en effet, le principe

est toujours de former une commande qui s'annule lorsque l'opération à effectuer est résolue.

On résoud ainsi une équation implicite de la forme $f(z, x, y) = 0$ dans laquelle l'inconnue Z ne peut être isolée. On traite alors Z comme une variable connue et l'on élabore un ensemble $P = f(z, y, x)$. La tension P commande, après amplification, le moteur d'asservissement, qui tournant, fait varier Z jusqu'à ce que $P = 0$ c'est-à-dire lorsque $f(z, y, x) = 0$.

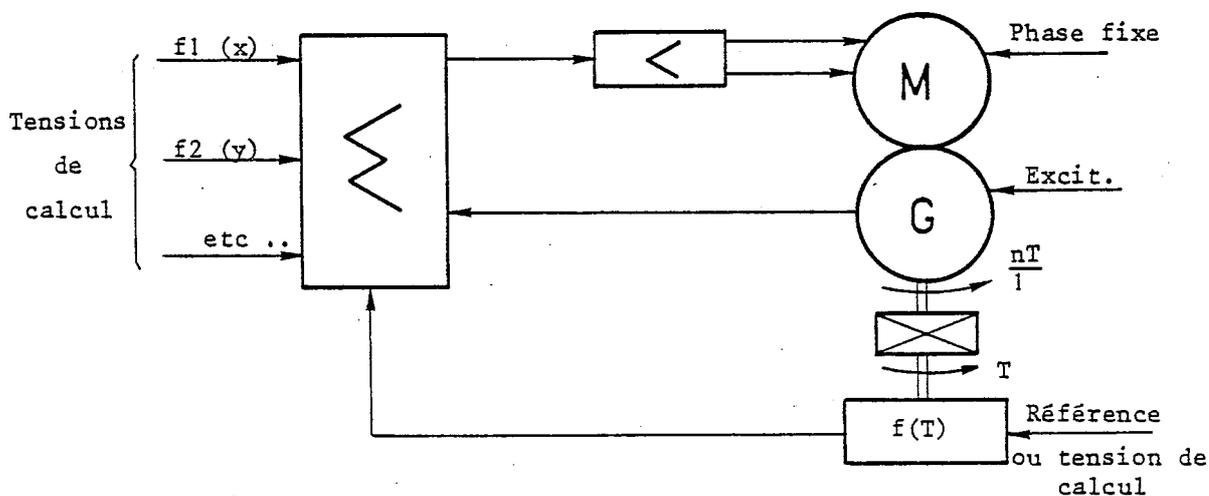
Exemple : Formation de la durée de trajet dans les calculateurs de tir :

$$f(T) = f_1(x) + f_2(y) + \text{etc} \dots$$

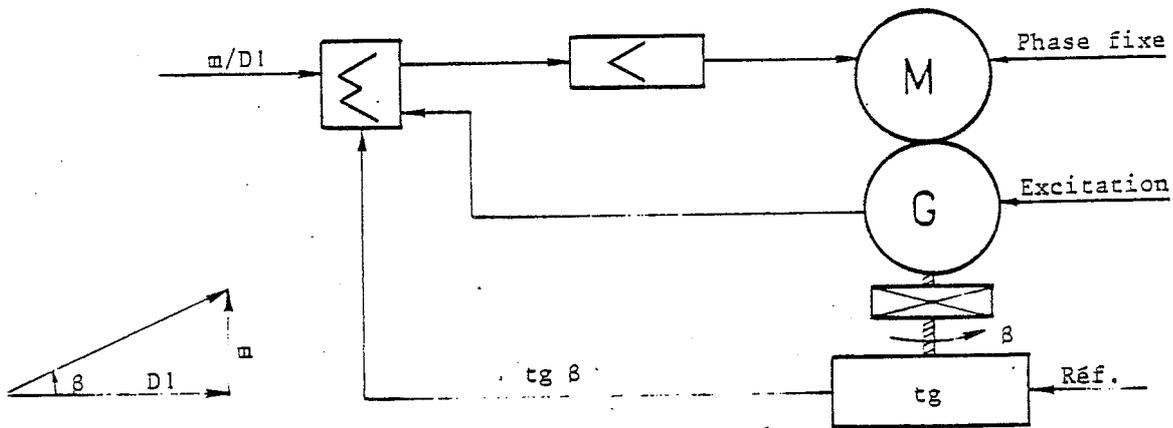
Les valeurs $f_1(x)$, $f_2(y)$ etc... sont elles aussi fonction de T .

On fait la somme algébrique des termes du second membre de l'équation et on oppose à cette somme la valeur $f(T)$ élaborée par un ensemble d'appareils de calcul tournant en T .

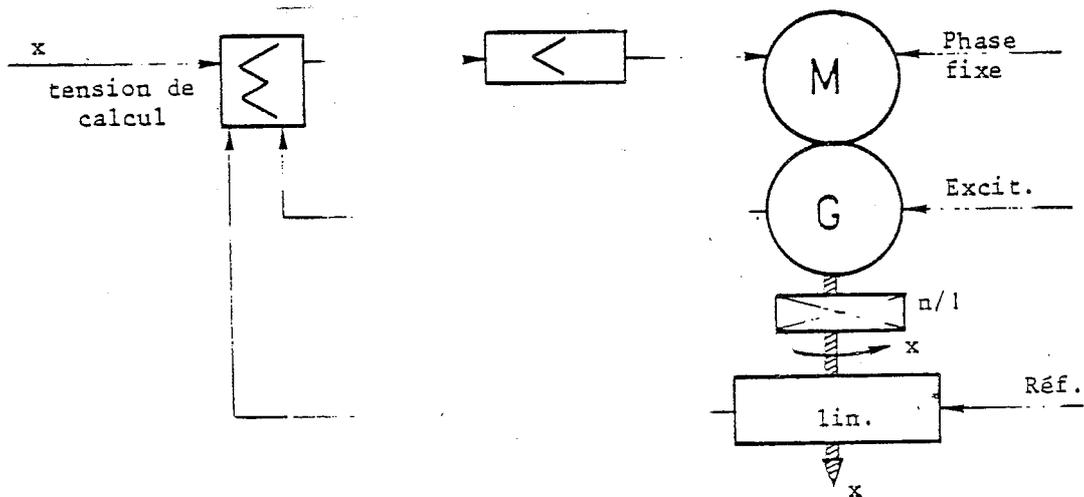
La différence amplifiée, est utilisée pour commander le moteur d'asservissement. Celui-ci tournera jusqu'à ce que la différence soit nulle. Il s'agit d'un asservissement de zéro.



Une utilisation très fréquente est aussi celle qui permet la résolution d'une équation explicite à une inconnue. Par exemple le calcul de l'angle de hausse (β) dans la BTAm. On sait que $\text{tg } \beta = \frac{m}{Dl}$ on désire connaître β connaissant $\frac{m}{Dl}$ sous forme de tension de calcul.



Enfin une utilisation très fréquente est celle destinée à permettre la transformation tension de calcul \rightarrow rotation d'arbre. Là aussi il y a "asservissement de zéro".



CHAPITRE 4

INTRODUCTION A L'ETUDE DES CHAINES DE CALCUL

4.1 - CHANGEMENTS DE FORME DE REPRESENTATION DES GRANDEURS.

Il est dit au paragraphe 1.4 qu'il est nécessaire de passer d'une forme de représentation à une autre. Nous allons résumer ici les moyens utilisés.

1) Rotation d'arbre → tension synchro.

- par TT, TS, TSD, TTD et TD.

2) Tension synchro → rotation d'arbre.

- RT

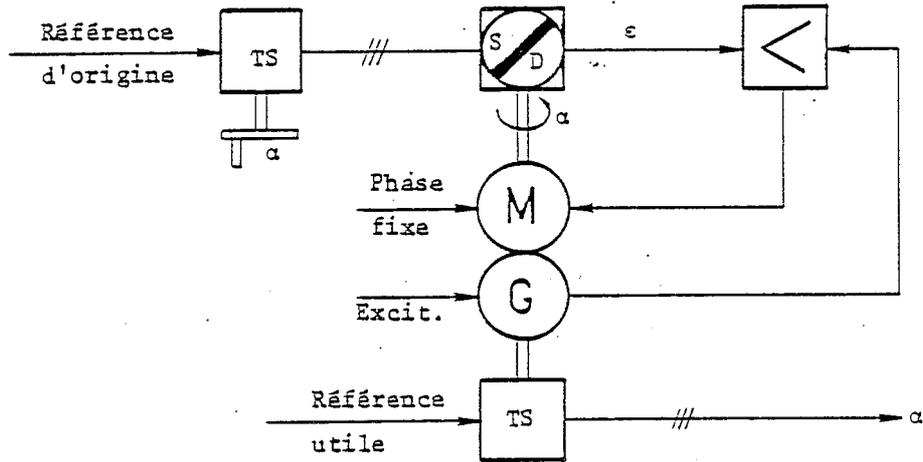
- SD avec asservissement (ampli, moteur etc...)

3) Tension synchro → tension synchro.

Cette transformation se fait lorsqu'il est nécessaire de changer la fréquence ou la source de la référence d'une tension synchro.

Exemple : coffrets SB type II, B8 en tir éclairant etc...

On passe alors toujours par l'intermédiaire d'une rotation d'arbre, grâce à un asservissement.

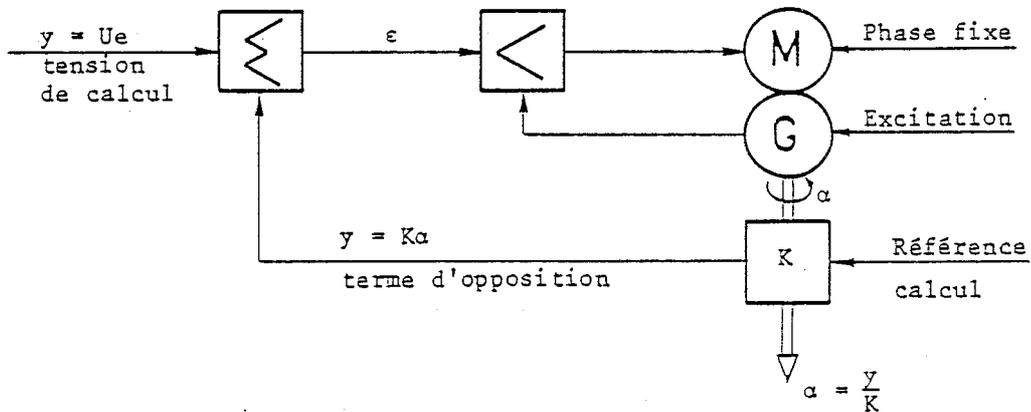


4) Rotation d'arbre → tension de calcul.

- Tous les appareils de calcul linéaires (ipots, potentiomètres, condensateurs linéaires, luiivar).

5) Tension de calcul → rotation d'arbre.

Il s'agit toujours d'asservissements de zéro.



A la tension de calcul on oppose une tension provenant d'un appareil de calcul qui transforme la rotation d'arbre en tension de calcul (La fonction de cet appareil n'est pas forcément linéaire). Le moteur tourne jusqu'à ce que :

$$\alpha = y/K \quad (\text{si } K = 1 \rightarrow \alpha = y)$$

6) Tension de calcul → tension de calcul.

Il s'agit là encore d'un changement de référence et il faudra passer par l'intermédiaire d'une rotation d'arbre ou bien grâce à un démodulateur-modulateur. Dans ce cas on démodule la tension de calcul en utilisant la fréquence porteuse de cette tension, puis on remodule avec la porteuse utile.

7) Tension synchro → tension de calcul.

On passe par l'intermédiaire d'une rotation d'arbre. On réalise : tension synchro → rotation d'arbre → tension de calcul.

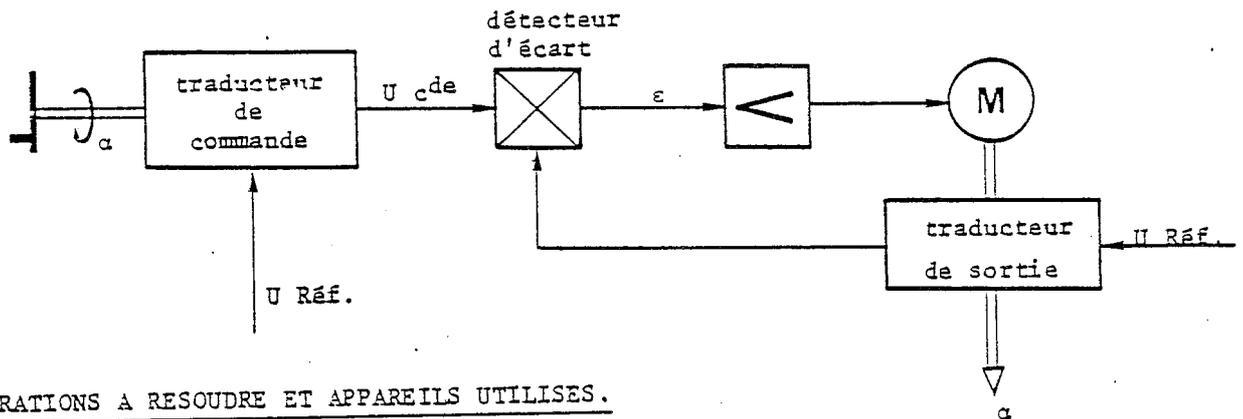
8) Tension de calcul → tension synchro.

On passe là aussi par l'intermédiaire d'une rotation d'arbre. On réalise : tension de calcul → rotation d'arbre → tension synchro.

9) Rotation d'arbre → rotation d'arbre.

Il s'agit : soit d'un simple rapport de pignon soit un apport de puissance à fournir par une télécommande ou un asservissement. On réalise alors :

- la transformation rotation d'arbre → tension de commande (liaison de synchro-détection ou, si la commande est sur place, utilisation d'un variomètre, d'une génératrice tachymétrique, d'un luivar, d'un ipot ou de tout autre appareil capable de transformer une rotation d'arbre en tension de commande).
- puis la transformation tension de commande → rotation d'arbre avec apport de puissance par un asservissement ou une télécommande.



4.2 - OPERATIONS A RESOUDRE ET APPAREILS UTILISES.

1) Addition et soustraction : $Z = ax + by + \dots$

- par transformateurs
- par pont d'impédances (résistances ou capacités)
- par liaisons différentielles (pour les sommes d'angles)

2) Multiplication et division : $y = ax$ et $y = \frac{a}{X}$

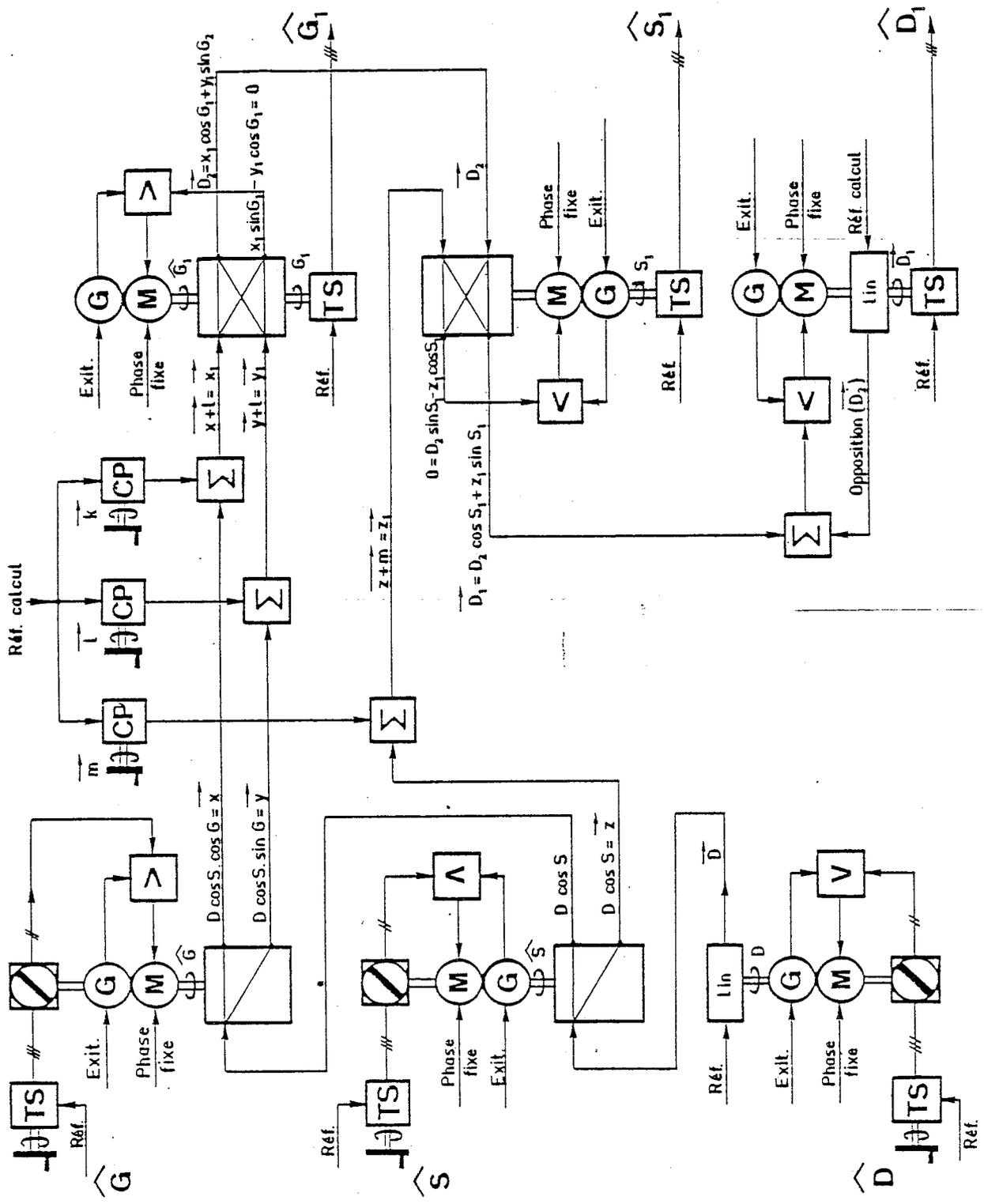
- par potentiomètres
- par ipots et transpots
- par condensateurs linéaires
- par luivar.

3) Dérivation d'une rotation d'arbre : $y = \frac{d\theta}{dt}$

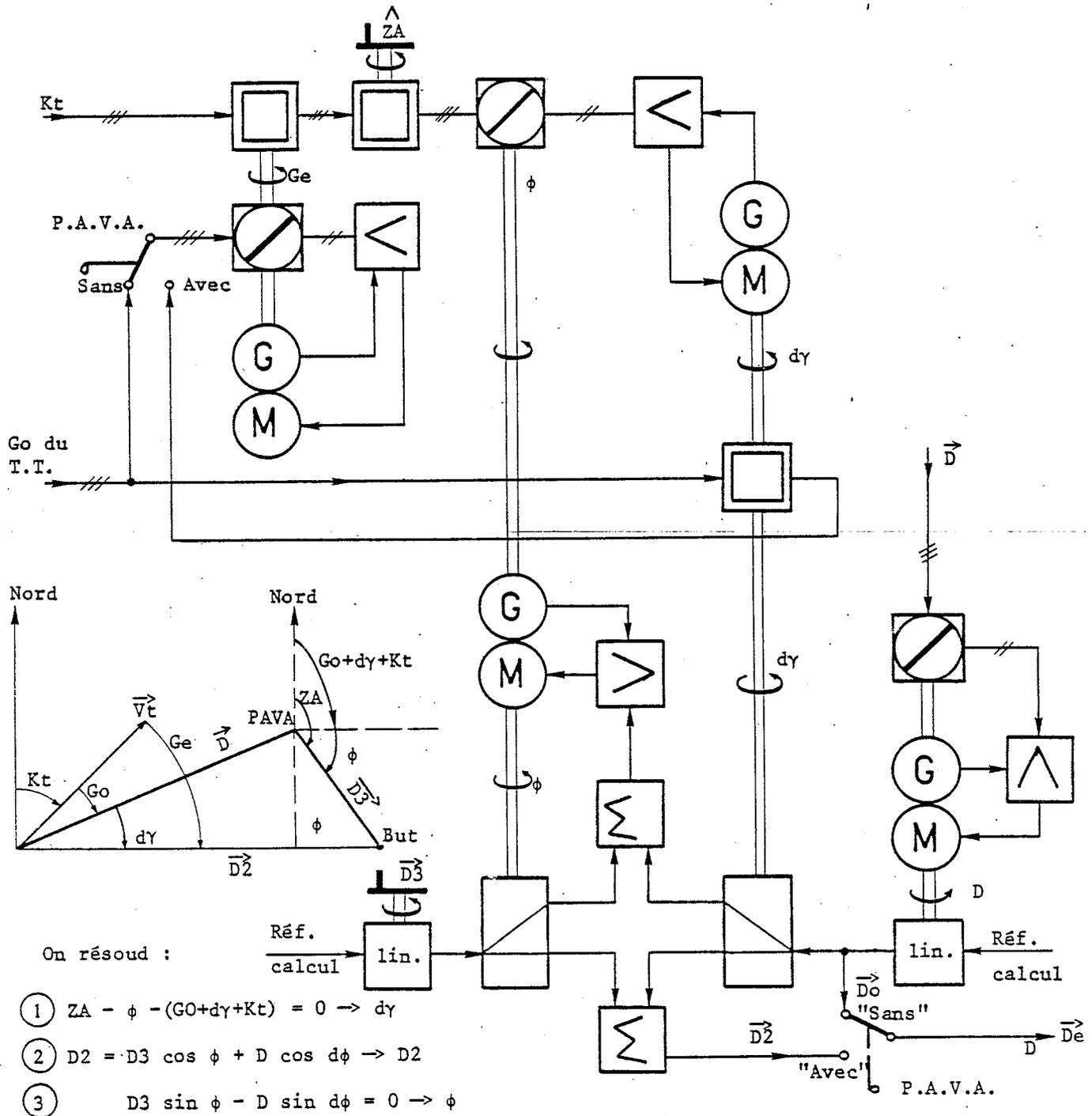
- par génératrices tachymétriques

4) Intégration : $y = \int_0^t v dt.$

- par moteur d'asservissement ou de télécommande



b) Connaissant $\hat{K}_t, \hat{G}_0, \vec{D}, \vec{D}_3, \hat{Z}_A$, calculer $\hat{G}_e = \hat{G}_0 + d\gamma$ et \vec{D}_2 . Figure ci-dessous : avec \hat{K}_t, \hat{G}_0 et \vec{D} connus en tensions synchros et \vec{D}_3, \hat{Z}_A en rotations d'arbres.



c) Résolution de formules de transformation des coordonnées.

Soit les formules : (1) $V'x = V''x - (V'z + V''z) \operatorname{tg} \frac{Tr}{2}$

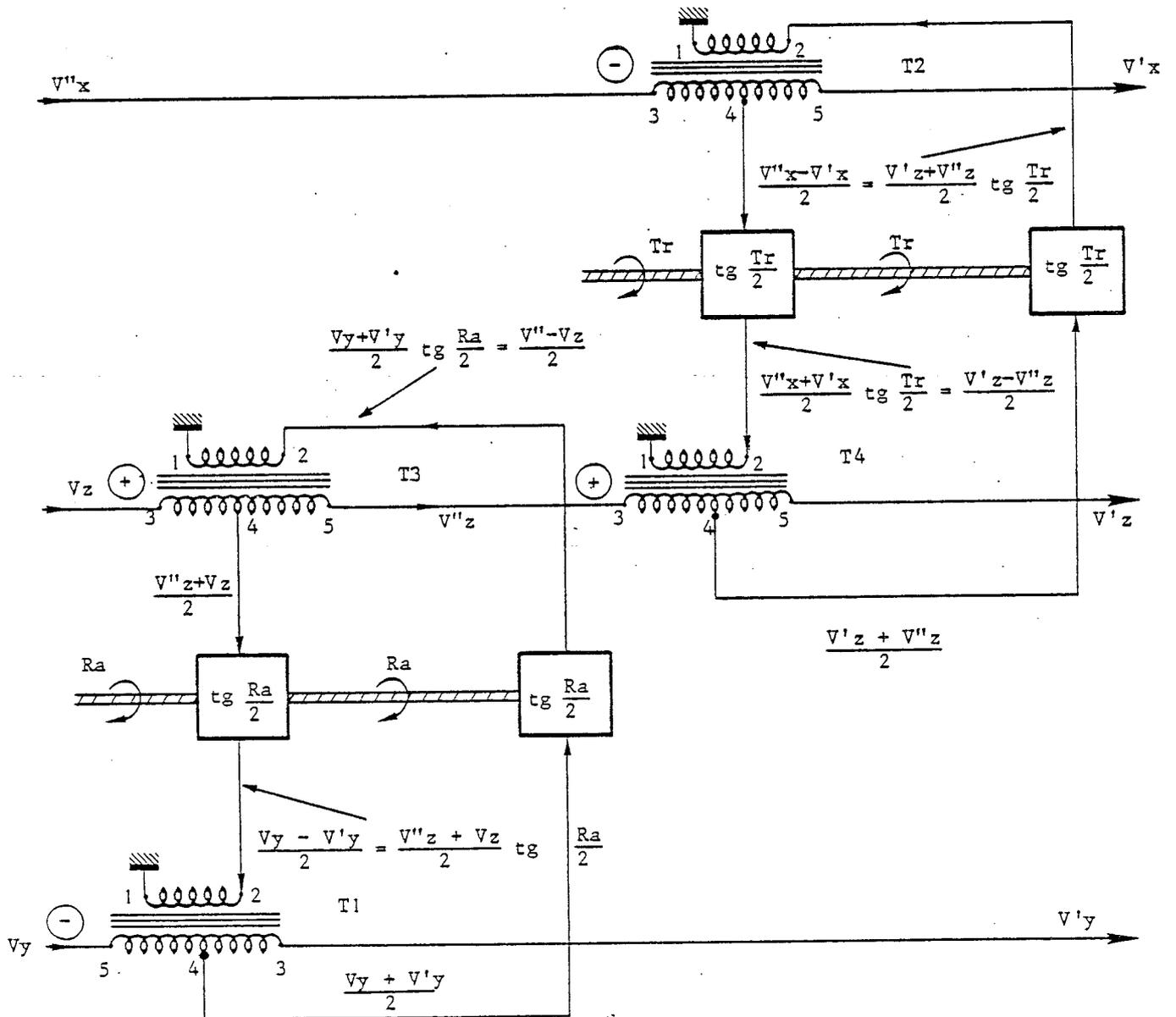
NOTA : Les transfos ont un rapport de transformation de :

(2) $V'z = V''z + (V''x + V'x) \operatorname{tg} \frac{Tr}{2}$

(3) $V'y = Vy - (V''z + Vz) \operatorname{tg} \frac{Ra}{2}$

$\frac{1.2}{3.3} = \frac{1}{2}$

(4) $V''z = Vz + (Vy + V'y) \operatorname{tg} \frac{Ra}{2}$

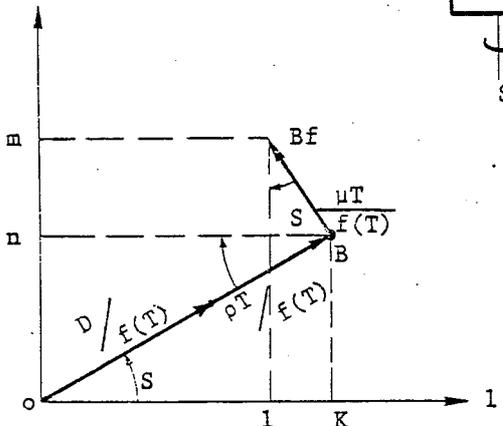
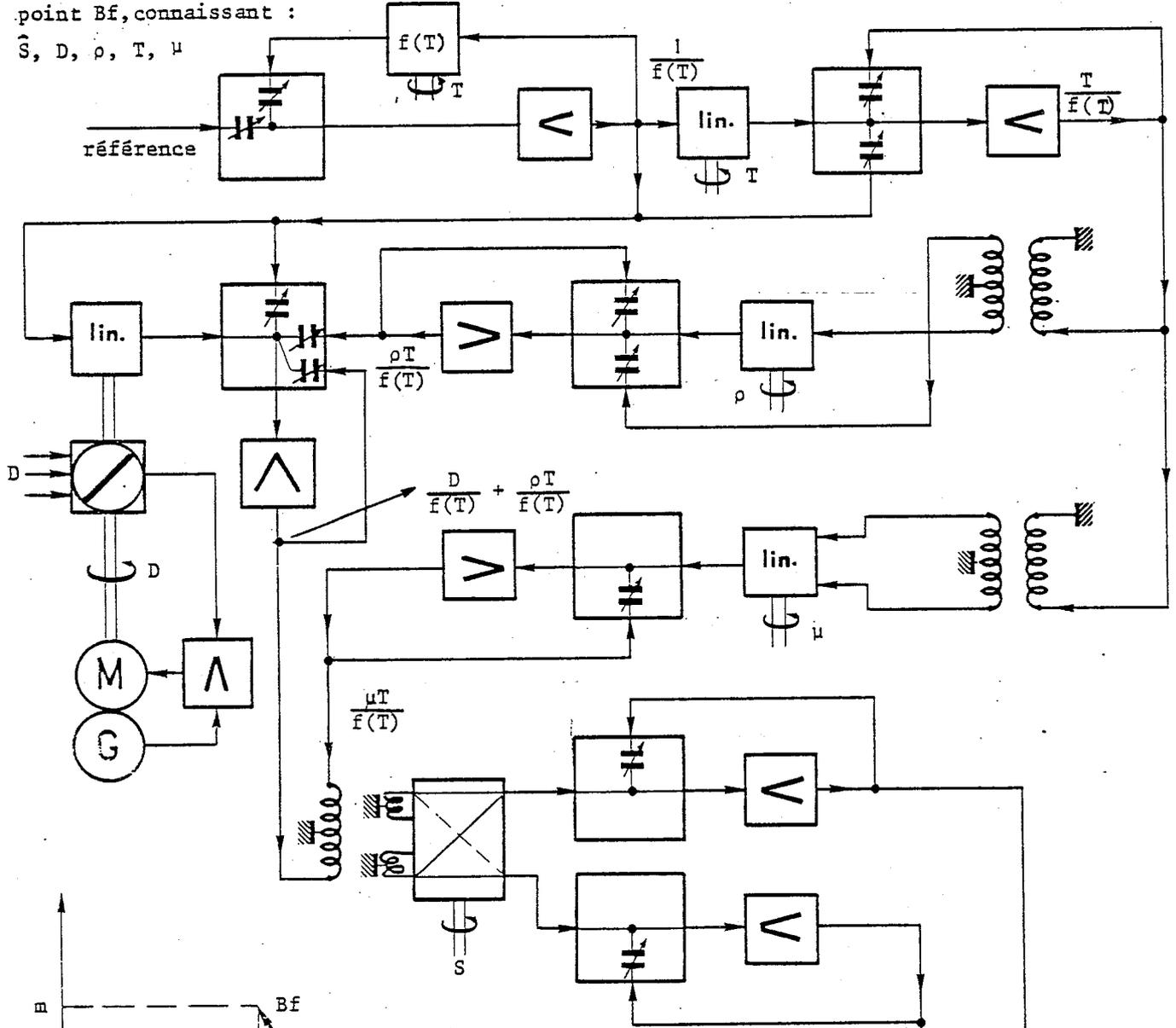


Exemple de chaine de calculs.

Passer des coordonnées polaires d'un point Bf aux coordonnées cartésiennes du même

point Bf, connaissant :

\hat{S} , D , ρ , T , μ



$$\begin{aligned}
 1^\circ \quad & \vec{O1} = \vec{OK} - \vec{IK} \\
 & \vec{OK} = \vec{OB} \cos S = \left(\frac{D+\rho T}{f(T)} \right) \cos S \\
 & \vec{IK} = \vec{BBf} \sin S = \frac{\mu T}{f(T)} \sin S \\
 2^\circ \quad & \vec{Om} = \vec{On} + \vec{nm} \\
 & \vec{Om} = \vec{OB} \sin S = \left(\frac{D+\rho T}{f(T)} \right) \sin S \\
 & \vec{nm} = \vec{BBf} \cos S = \frac{\mu T}{f(T)} \cos S
 \end{aligned}$$

Calcul du vent sur projectile.

On corrige la trajectoire du projectile en fonction du vent en considérant son action sur la portée ($\overrightarrow{\Delta HW}$) et sur la direction ($\overrightarrow{\Delta GW}$)

CALCUL DES VENTS SUR PROJECTILE.

1° - sur la portée $\overrightarrow{\Delta HW}$

Avant du tireur $\Delta HW = \overrightarrow{Wl} \sin C - (\overrightarrow{WK} - \overrightarrow{Vt}) \cos C$

2° - sur la direction : $\overrightarrow{\Delta GW}$

$$\overrightarrow{\Delta GW} = (\overrightarrow{WK} - \overrightarrow{Vt}) \sin C + \overrightarrow{Wl} \cos C$$

avec :

$$\overrightarrow{WK} - \overrightarrow{Vt} = \overrightarrow{W} \cos \hat{Lw} - \overrightarrow{Vt}$$

$$Wl = \overrightarrow{W} \sin \hat{Lw}$$

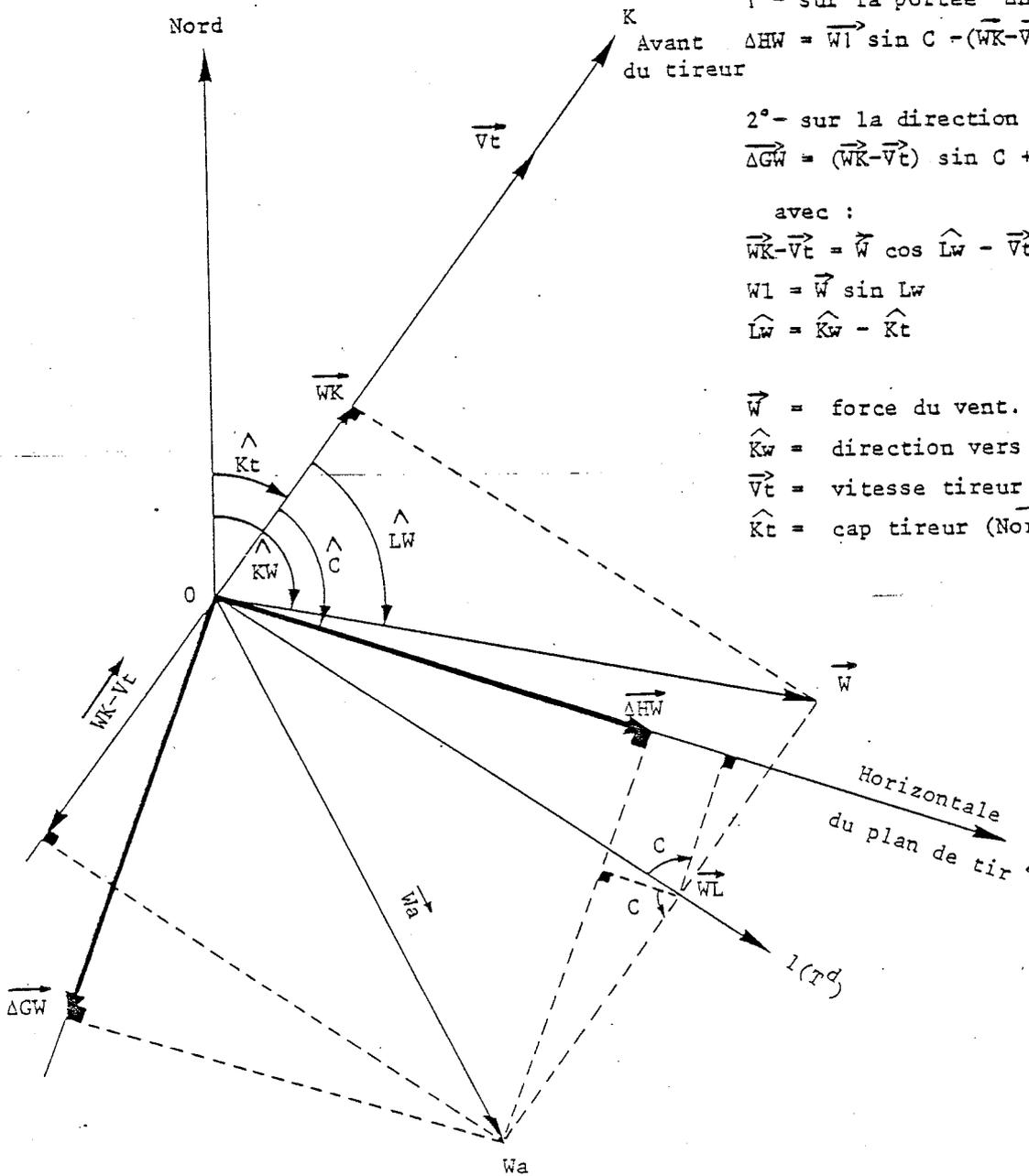
$$\hat{Lw} = \hat{Kw} - \hat{Kt}$$

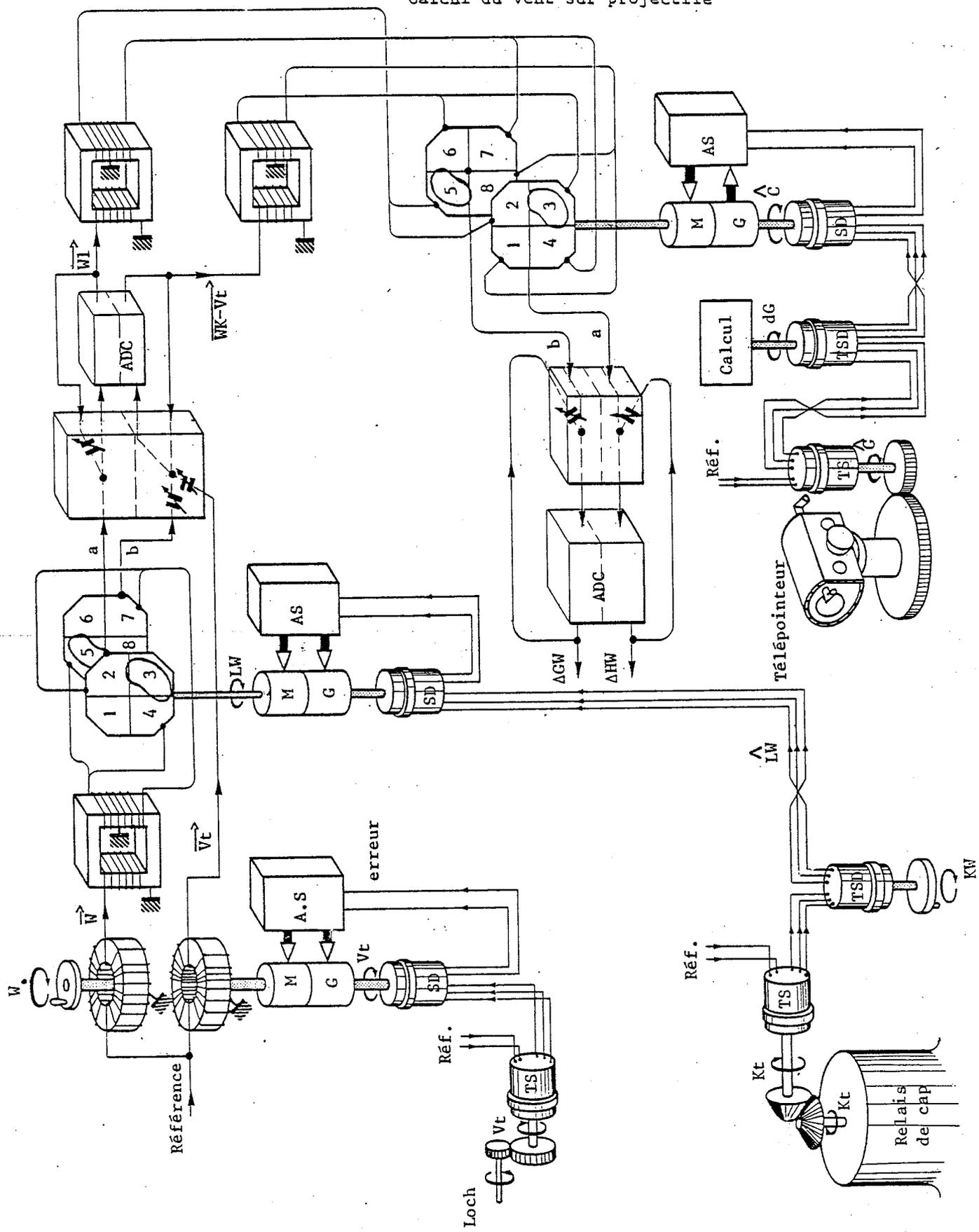
\overrightarrow{W} = force du vent.

\hat{Kw} = direction vers où souffle le \overrightarrow{W}

\overrightarrow{Vt} = vitesse tireur

\hat{Kt} = çap tireur (Nord, tireur, axe)





4.4 - PLAN D'ETUDE D'UN CALCULATEUR.

Pour tous les calculateurs il y a lieu d'étudier :

1) L'introduction des données.

- Par affichage manuel sur le calculateur lui-même (rotation d'arbre), généralement il s'agit de valeurs constantes pour un tir ou une période de tir donnée.
- Par liaison de synchro-détection pour les données reçues de l'extérieur et qui sont généralement variables au cours du temps. Il faut connaître parfaitement l'origine et le chemin parcouru par ces données avant leur entrée au calculateur. Dès leur entrée on les transforme en rotations d'arbres.

2) La mise sous forme de tension de calcul de toutes les données autres que les angles.

3) Les calculs effectués.

Cette étude doit être précédée d'une étude théorique de l'élaboration des formules résolues (géométrie analytique). La connaissance de ces formules permet alors de suivre les calculs et d'étudier la disposition des chaînes de calcul conçues pour résoudre le problème donné.

4) La transformation des résultats en rotations d'arbres.

Grâce à des asservissements de zéro.

5) La transmission de ces résultats en un endroit déterminé, par liaisons de synchro détection, liaisons tachymétriques, signalisation etc...

NOTA : Il est bon de ne pas oublier que ces résultats sont généralement remis sous forme de rotations d'arbres grâce à des télécommandes et qu'en définitive le résultat des calculs apparaît non pas au calculateur mais à l'affût, la plateforme ou la rampe que l'on désire orienter correctement en vue de lancer

sur l'objectif un objet destructeur.

CONCLUSION :

Pour être précis le tir nécessite une bonne précision de tous les éléments d'une installation de conduite de tir ainsi qu'une bonne coordination des opérateurs utilisant le matériel.

- SAVOIR ce que l'on fait.
- SAVOIR le faire au bon moment.
- SAVOIR se servir du matériel.
- SAVOIR - SAVOIR donc APPRENDRE.



