CHAPITRE 5

EXEMPLES DE RÉALISATIONS

5.1. Généralités.

Nous ne reviendrons pas sur l'évolution dans le temps des mécanismes de réglage évoquée au paragraphe 1.3 de la première partie, qui a montré le nécessaire perfectionnement de ces appareils à mesure que les problèmes de régulation devenaient plus complexes et les exigences plus élevées. Nous nous bornerons à l'étude comparative de quelques types actuels.

D'une manière générale un régulateur de turbine hydraulique comprend :

— un tachymètre,

— un organe stabilisateur, dash-pot ou accéléromètre,

— un ou plusieurs tiroirs de distribution,

— un certain nombre d'organes annexes (mécanismes de réglage secondaire),

— un système de production d'huile sous pression.

Le tachymètre, l'organe stabilisateur, tout ou partie des organes annexes, éventuellement le tiroir de distribution sont groupés dans un même bâti et constituent le *régleur*, les dimensions de ce dernier étant indépendantes du type et de la puissance de la turbine.

Les tâches que l'on peut confier au régleur sont multiples, en plus du réglage de la fréquence d'un réseau alimenté par un seul groupe ou du réglage ou de la participation au réglage de la fréquence en réseau interconnecté que nous avons plus particulièrement étudiés, on peut encore envisager : la fourniture d'énergie sur programme, le réglage d'un niveau d'eau dans une retenue (l'un et l'autre avec ou sans participation au réglage de la fréquence), un réglage faisant intervenir la phase ou l'horloge synchrone.

Signalons la grande précision souvent demandée pour le réglage de la fréquence des réseaux électriques, l'UNIPEDE recommande de limiter les écarts à 0,1 Hz, ce qui correspond à une erreur relative de 2.10^{-3}. Les organes détecteurs et stabilisateurs doivent donc être précis.

En mentionnant, enfin, la valeur élevée de la puissance utilisée par la manœuvre des organes d'admission de l'eau aux turbines, qui peut atteindre et même dépasser 150 kW, jointe à la nécessité de répondre en toute sécurité aux exigences d'une exploitation continue et prolongée, nous aurons résumé les propriétés caractéristiques des régulateurs.

Jusqu'à ces dernières années, le régleur était exclusivement constitué d'éléments hydromécaniques. Mais, l'apparition sur le marché de composants électriques ou électroniques de haute qualité (diodes au silicium, alliages magnétiques spéciaux, résines à haute résistance, vernis spéciaux), pratiquement insensibles au vieillissement et à l'action des agents atmosphériques, a incité les constructeurs à réaliser les régleurs électriques ou électroniques qui paraissent devoir rivaliser au point de vue robustesse et simplicité avec leurs homologues hydromécaniques et qui présentent, en plus, un certain nombre d'avantage qui leur sont propres, en particulier, la possibilité d'introduire d'autres paramètres réglants que la vitesse et l'accélération et la facilité d'adaptation en téléréglage.

Bien qu'un certain nombre de régleurs électriques en service fonctionnent d'une façon extrêmement satisfaisante, il est encore trop tôt pour dire si ce second type de régleur supplantera le premier, en conséquence nous étudierons les deux modèles.

5.2. **Régleurs hydromécaniques.**

5.2.1) *Tachymètres.*

La vitesse de rotation de l'alternateur est mesurée par un tachymètre à force centrifuge. Ce tachymètre doit satisfaire aux conditions suivantes ;

— faible inertie de rotation, en effet, que l'entraînement soit effectué par courroie ou par moteur électrique, toute inertie importante cause un retard de l'oscillation de vitesse du tachymètre sur l'oscillation de vitesse de l'alternateur,

— l'inertie de déplacement des masses centrifuges dans leur plan méridien doit également être très faible. L'ensemble masses-ressorts de rappel a une période propre qui doit être la plus faible possible si on veut que le manchon du tachymètre réponde le plus rapidement aux variations de vitesse. Par ailleurs, il faut éviter que cette période propre puisse entrer en résonance avec d'autres oscillations rapides dues, par exemple, aux dents d'engrenages de l'entraînement, au nombre de pôles du moteur ou à l'élasticité de l'arbre d'entraînement. On augmente la fréquence propre en allègeant les masses et en les faisant tourner plus vite,

— la force dont on dispose au manchon pour un écart de vitesse donné doit être assez grande pour entraîner facilement l'équipage mobile du régleur (levier flottant). On peut toujours interposer entre le manchon du tachymètre et le levier un relais amplificateur à huile, ce qui permet de diminuer l'inertie des masses du tachymètre, mais on risque d'introduire un retard du même ordre de grandeur que celui que l'on voulait éviter en allègeant les masses,

— les frottements doivent être rendus négligeables pour éviter l'insensibilité,

— à chaque vitesse doit correspondre une position du manchon, il suffit pour cela que la force de rappel du ressort croisse plus rapidement que la force

centrifuge s'exerçant sur les masses (Fig. 5.1). Dans le cas où cette condition n'est pas satisfaite, aucune position d'équilibre des masses n'existe. Au-dessous d'une vitesse Ω_0 les masses sont sur une butée, dès que la vitesse dépasse Ω_0 elles s'écartent et s'appuient sur l'autre butée. Un tel dispositif peut servir de déclencheur de sécurité ; entraîné directement par l'arbre de la turbine il actionne un contact dès que la vitesse dépasse la limite supérieure admise. Ce contact provoque la fermeture de la turbine et de la vanne de garde.

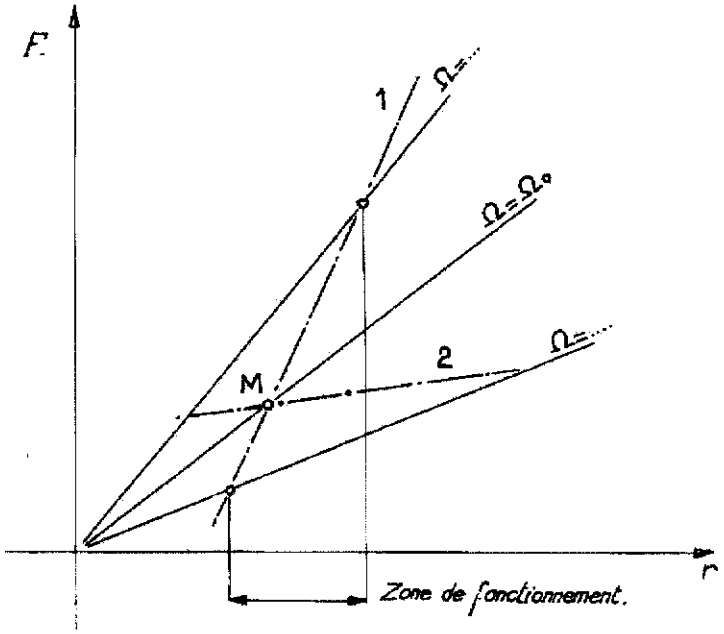


Fig. 5.1. — Equilibre du tachymètre.
r : Rayon du centre de gravité des masses. F : Force centrifuge sur les masses ou tension du ressort de rappel. 1 : Caractéristique d'un ressort de tachymètre. 2 : Caractéristique d'un ressort de déclencheur.

Exemples de réalisations.

— *Tachymètre avec deux masselottes articulées et ressorts de rappel.* (Régleur Neyrpic type SE.40.45). Remarquer le montage sur roulements des articulations et le système de réglage de vitesse obtenu par déplacement de l'axe d'articulation central du levier supérieur. Les articulations présentent l'inconvénient d'introduire des jeux et des frottements sources d'insensibilité, aussi cherche-t-on à les supprimer (Fig. 5.2).

— *Tachymètre à masses roulantes.* Régleur Neyrpic type 570. Ce dispositif qui a remplacé le précédent est représenté Fig. 5.3. L'ensemble tachymétrique comporte :

— le moteur d'entraînement 1 du type asynchrone à cage. Il est très largement dimensionné et son glissement (0,2 %) n'introduit aucune erreur mais seulement une distorsion négligeable. Sa vitesse normale de rotation est 1 500 t/mn ;

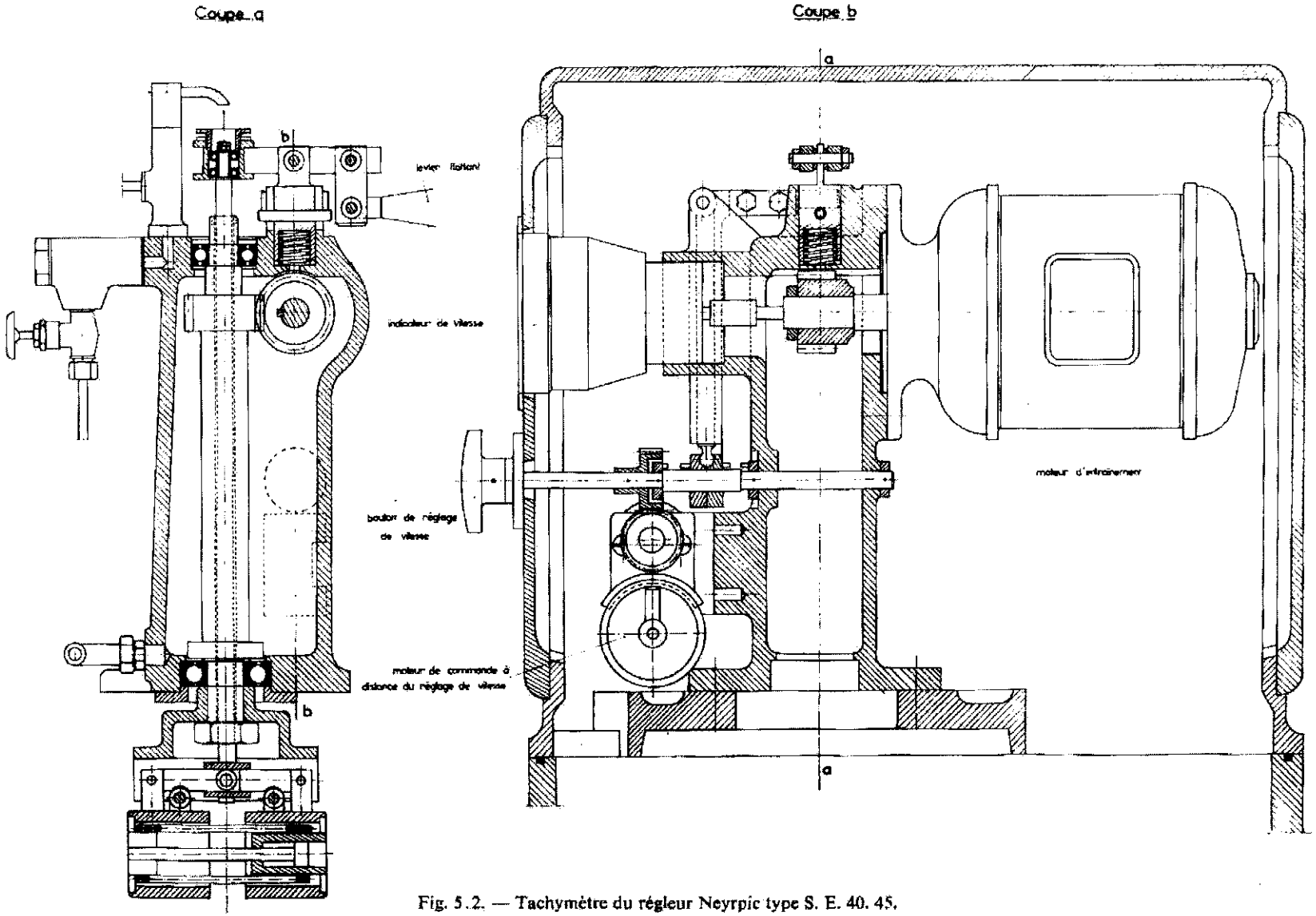


Fig. 5.2. — Tachymètre du régleur Neyrpic type S. E. 40. 45.

— le tachymètre constitué de deux masselottes cylindriques 2, munies chacune de deux cornes 3. Ces deux masses liées par les rubans 4 au plateau 5 peuvent rouler sans glisser sur celui-ci. Deux rubans métalliques 6 accrochés par un bout aux extrémités des cornes et par l'autre au plateau 7, transmettent à ce dernier les déplacements des masses, quatre ressorts antagonistes 8 tendant à s'opposer à ces déplacements. Les masses cylindriques, en duralumin, comportent un noyau en plomb qui ramène le centre de gravité de l'ensemble masses-cornes dans l'axe du cylindre. Les surfaces des cornes sur lesquelles sont enroulés les rubans sont des cylindres circulaires, osculateurs à une développante de cercle. De ce fait les cornes restent pratiquement tangentes entre elles. La loi de déplacement de la tige vitesse est parabolique. Les masses roulant sans glisser, les frottements sont négligeables ;

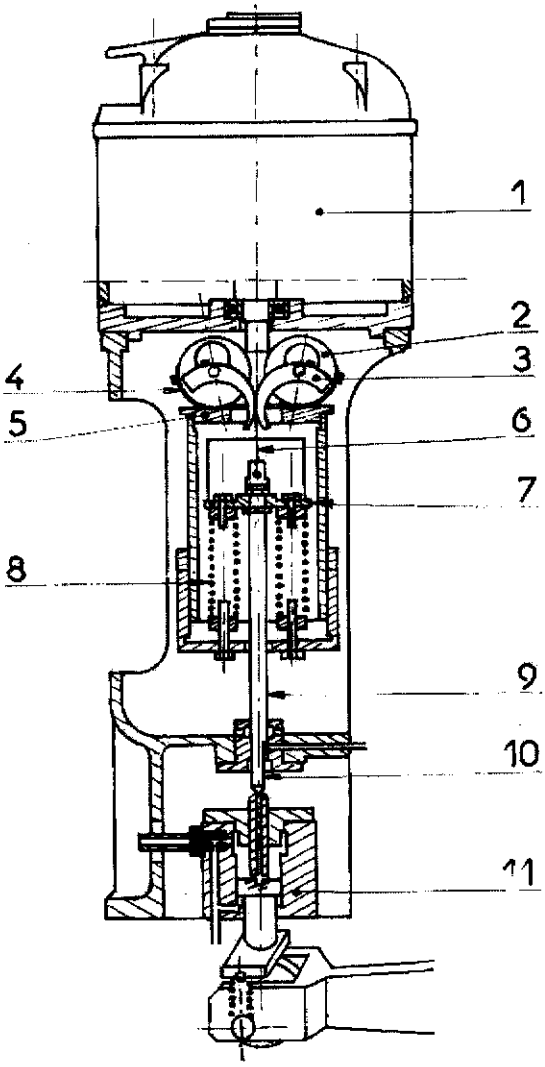


Fig. 5.3. — Colonne tachymétrique du régleur Neyrpic type 570. (Signification des repères, voir ci-contre).

— l'amplificateur de sortie qui transmet à la timonerie les déplacements de la tige 9 du tachymètre. C'est un relais à fuite d'huile dont le gicleur de sortie est partiellement obturé par l'extrémité de la tige 9.

On remarquera le méplat 10 pratiqué sur la tige tournante, son objet est de créer dans l'enceinte du stabilisateur à dashpot une pulsation de pression destinée à annuler les frottements. Voir paragraphe 5.2.3.

— *Tachymètres avec masselottes sur lames élastiques.*

Dans le régleur accéléro-tachymétrique des Ateliers des Charmilles, (Fig. 5.4), le tachymètre est constitué par une masselotte 2 articulée sur deux lames élastiques 16, avec tige 17 et ressort de rappel 28. Le gicleur de sortie du relais amplificateur 5 est partiellement obturé par une rampe taillée dans la masselotte même.

Le tachymètre du régleur des Ateliers de Vevey, (Fig. 5.5), comporte deux masselottes 17 fixées aux lames élastiques 18. Le ressort antagoniste 26 est placé dans l'axe de l'appareil. Le manchon 21 obture le gicleur 23 du relais amplificateur 25.

5.2.2) *Accéléromètres.*

Le plus employé est l'*accéléromètre à masse inerte*. Cette dernière est constituée par un anneau entraîné par l'arbre tournant à la vitesse Ω dont on veut détecter les accélérations. La liaison entre l'arbre et l'anneau est assurée par un élément élastique, lames ou tige. A chaque accélération (décélération) l'anneau prend du retard (avance), ce déphasage étant directement fonction de $\frac{d\Omega}{dt}$.

Pour des raisons identiques à celles exposées à propos du tachymètre, la période propre du système constitué par l'anneau et son support élastique doit être très faible. Il faut également avoir une masse assez grande et des ressorts assez souples pour donner un déphasage sensible, mais sans exagérer dans cette voie pour que le détecteur suive bien l'accélération. La came obturatrice de la tuyère du relais amplificateur n'est pas parallèle à la direction du déplacement de celui-ci de manière qu'à chaque déphasage, c'est-à-dire à chaque valeur de l'accélération, corresponde une position du piston du relais.

Le volant 25 de l'accéléromètre des Ateliers des Charmilles (Fig. 5.4), est entraîné au moyen de trois lames élastiques 16. Le doigt de réglage 27 obture la tuyère accélérométrique 26. On remarquera que les tuyères accélérométrique et tachymétrique 5 agissent toutes deux sur le même relais 9. Les dosages respectifs des deux effets ne sont donc pas réglables en marche mais uniquement modifiables par changement des tuyères.

Le volant 7 de l'accéléromètre des Ateliers de Vevey, (Fig. 5.5), est entraîné par une tige élastique 1. La tuyère accélérométrique 14 glisse sur la rampe 13 et agit sur un relais 8 qui lui est propre. Les deux relais, accélérométrique 8 et tachymétrique 25 actionnent l'anneau 30 qui provoque le déplacement du tiroir de distribution. Ce tiroir, représenté figure 5.6, est entraîné par le relais 17 dont la fuite est réglée par un cylindre solidaire de la tige 1. Le tiroir suit donc les déplacements de cette dernière qui sont provoqués par l'intermédiaire du doigt 4 s'appuyant sur l'anneau 30. La position du point d'appui, qui conditionne le dosage des deux effets tachymétrique et accélérométrique, peut être réglée à volonté par la rotation du plateau 9.

Le schéma de principe de l'accéléromètre à dash-pot est indiqué par la figure 5.7. La pression de l'huile sous le dash-pot est fonction de la vitesse de déplacement du piston. Si le piston est entraîné par le manchon d'un puissant tachymètre (ou par un relais à huile commandé par le tachymètre) la pression mesurée sera fonction de l'accélération. On fait varier le dosage accélérométrique en obturant plus ou moins l'orifice du dash-pot. Remarquer que le système permet, en fait, de prendre la dérivée de tout déplacement.

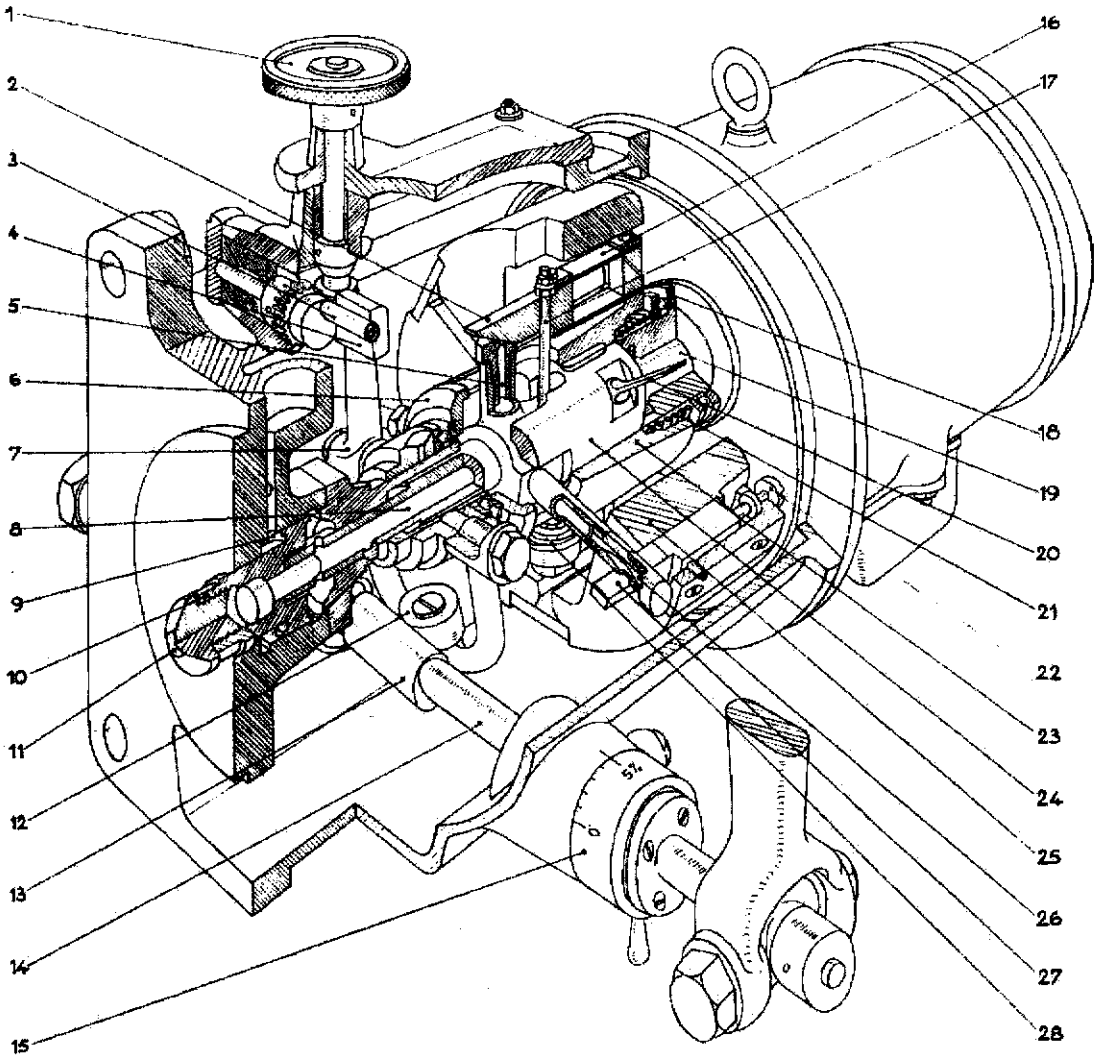


Fig. 5.4. — Régleur accéléro-tachymétrique Charmilles avec moteur de commande adossé.

1 : Volant de changement de vitesse. 2 : Masse du tachymètre. 3 : Excentrique. 4 : Patins. 5 : Tuyère tachymétrique. 6 : Butée de 23. 7 : Balancier. 8 : Tige forée. 9 : relais différentiel. 10 : Piston tournant. 11 : Pointeau. 12 : Galet. 13 : Came à axe oblique. 14 : Commande de statisme. 15 : Réglage du statisme. 16 : Lames élastiques. 17 : Tige de rappel de 2. 18 : Roulement. 19 : Arbre du moteur. 20 : Rayons élastiques. 21 : Ressort. 22 : Vis de réglage de 27. 23 : Douille d'entraînement de 2. 24 : Moyeu de l'accéléromètre. 25 : Jante du volant de l'accéléromètre. 26 : Tuyère accélérométrique. 27 : Doigt de réglage. 28 : Ressort de rappel de 2 (réglable).

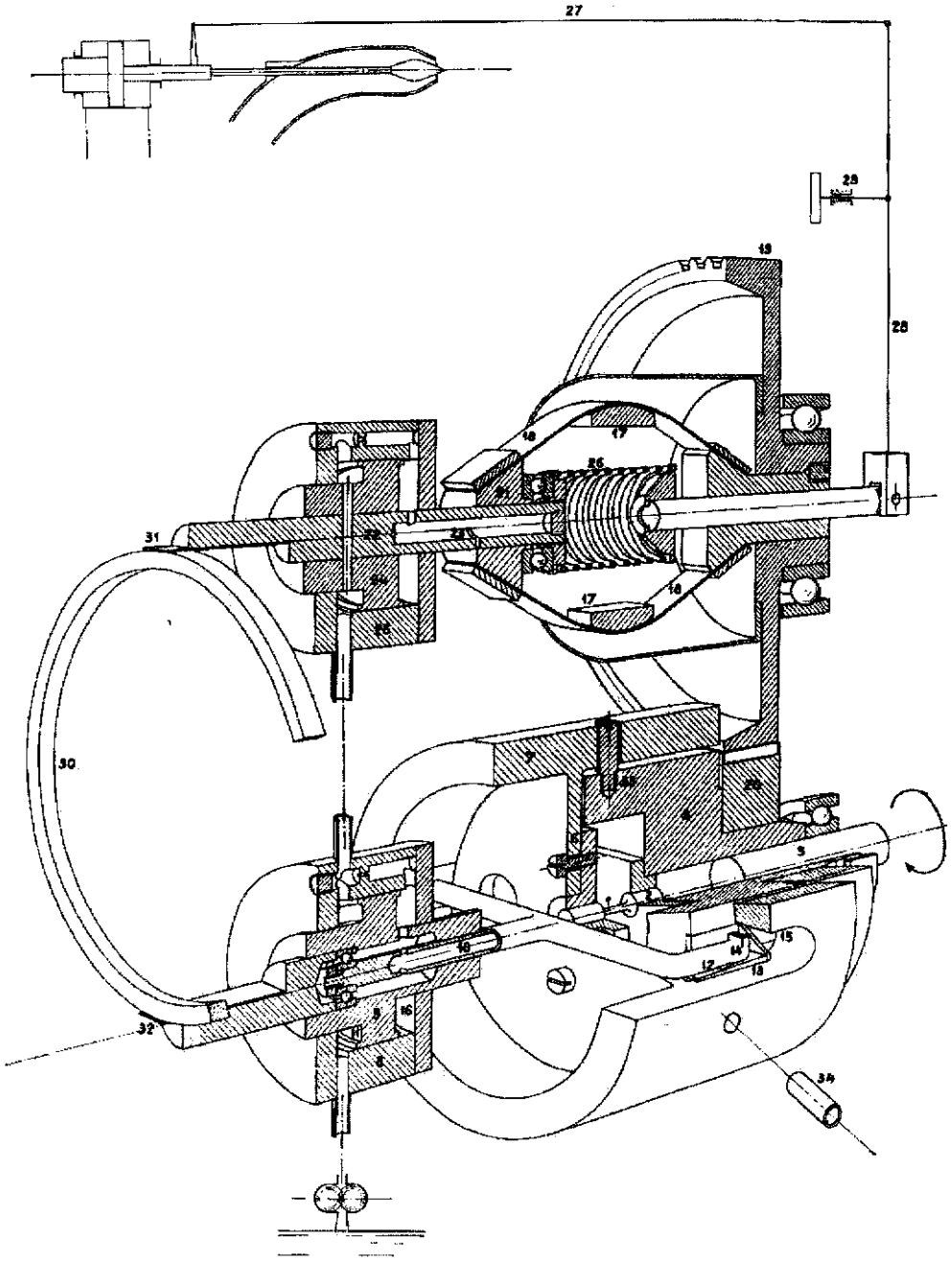
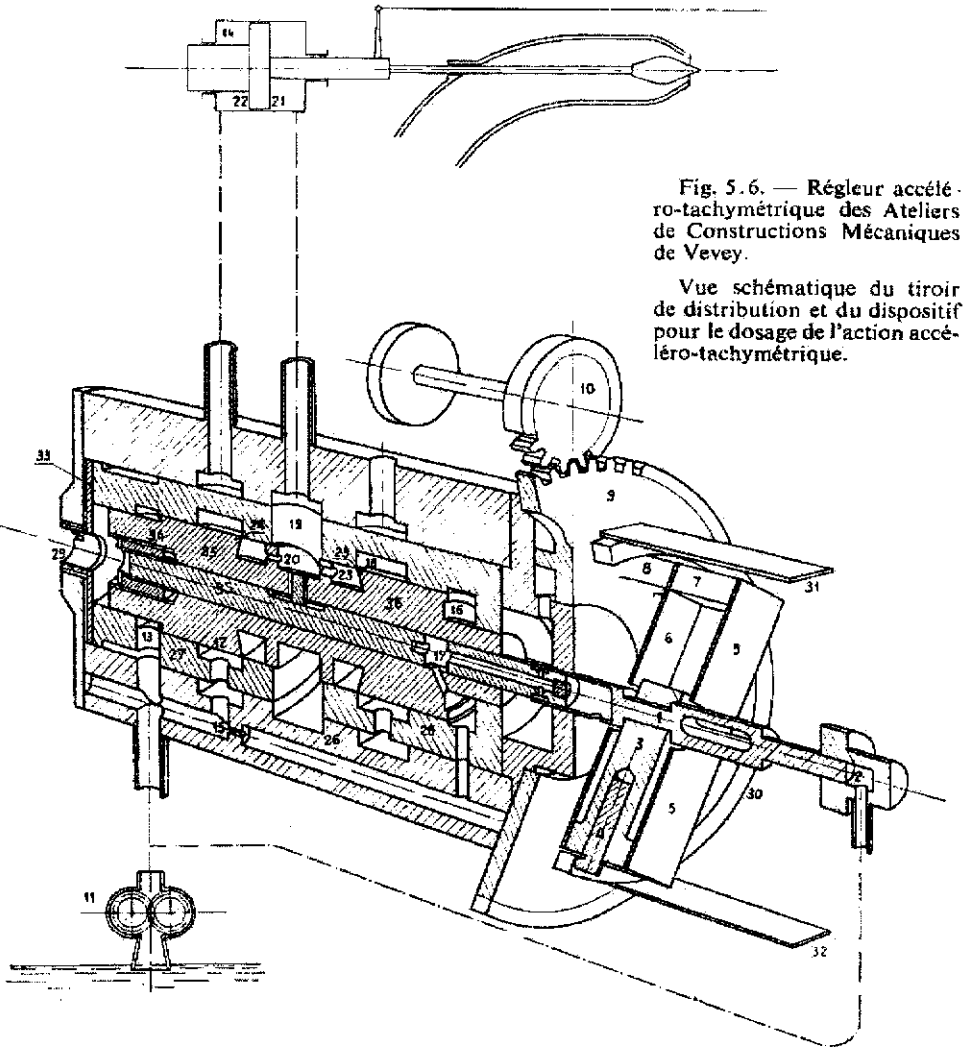


Fig. 5.5. — Régleur accéléro-tachymétrique des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey.
Vue schématique du tachymètre et de l'accéléromètre.

Fig. 5.6. — Régleur accélé-ro-tachymétrique des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey.

Vue schématique du tiroir de distribution et du dispositif pour le dosage de l'action accélé-ro-tachymétrique.



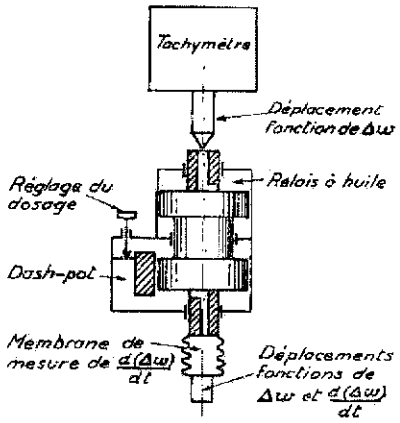


Fig. 5.7 — Accéléromètre à dash-pot. Schéma de principe.

5.2.3) *Stabilisateur à dash-pot.*

Nous avons indiqué au paragraphe 1.2.3.2 l'utilité de ce mécanisme, destiné à faire disparaître l'asservissement nécessaire à la stabilisation pour permettre à la vitesse de retrouver sa valeur de régime (Fig. 1.16). La réalisation pratique est toutefois plus complexe que ne le laisse supposer le schéma de principe de la figure 1.14. A titre d'exemple nous étudions ci-après le stabilisateur du régleur Neyrpic type 570. (Fig. 5.8).

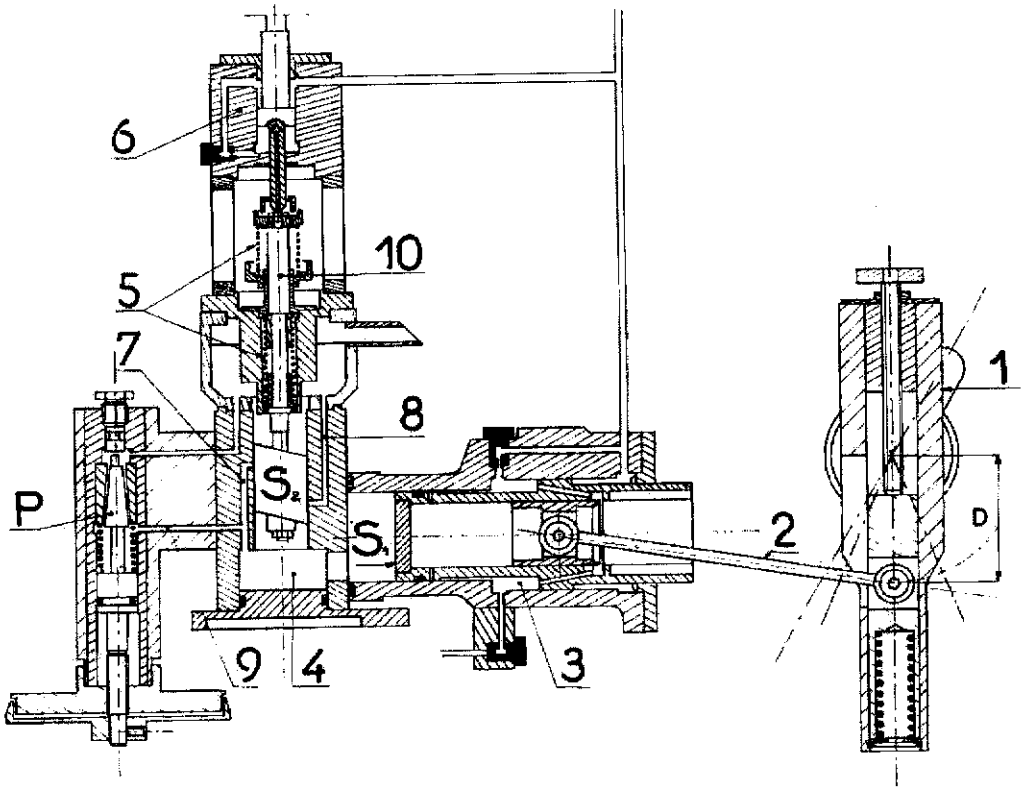


Fig. 5.8. — Stabilisateur à dash-pot du régleur Neyrpic Type 570.
Voir signification des repères dans le texte ci-dessous.

Les déplacements du moteur de vannage provoquent une rotation de la manivelle 1, dont le rayon est d'ailleurs réglable. Le mouvement de la tige 2 entraîne celui du piston S_1, par l'intermédiaire du relais à fuite 3. Ce piston agit sur l'huile de l'enceinte 4 qui agit à son tour sur l'équipage mobile du dash-pot constitué par le piston S_2, le ressort 5 et sa tige, dont les mouvements sont suivis par le relais 6. Dans le cas où les orifices 7 et 8 ne découvrent pas, fonctionnement normal, le débit d'huile sortant de l'enceinte 4 passe par le canal 9.

Appelons X et Y les déplacements respectifs des pistons de sections S_1 et S_2, q le débit d'huile, on a :

$$q = S_1 . \frac{dX}{dt} - S_2 \frac{dY}{dt} . \qquad 1)$$

L'écoulement dans le canal 9 est laminaire, donc proportionnel à la pression p qui règne dans l'enceinte 4, soit :

$$p = A . q . \qquad 2)$$

Le coefficient A peut être modifié à volonté par la manœuvre d'un pointeau qui fait varier la caractéristique du canal d'écoulement.

L'équation d'équilibre de l'équipage mobile s'écrit :

$$M \frac{d^2Y}{dt^2} = S_2 . p - BY + F \qquad 3)$$

avec : M, masse de l'équipage mobile, B, constante du ressort 5. F, force de frottement, cette dernière pour mémoire, car les pulsations de pression provoquées par les variations périodiques à la fréquence de 25 Hz de la perte de charge au gicleur du palier inférieur de la tige mobile du tachymètre contribuent à l'annuler.

Compte tenu des relations 1 et 2, 3 s'écrit :

$$\frac{dX}{dt} = \frac{B}{A . S_1 . S_2} \left[Y + \frac{A . S_2^2}{B} \frac{dY}{dt} + \frac{M}{B} \frac{d^2Y}{dt^2} \right] . \qquad 4)$$

Lorsque le dash-pot est parfaitement rigide, les écarts de vannage et de vitesse sont liés par la relation :

$$\Delta\omega = - \sigma . \Delta x$$

avec :

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta x} = - \frac{Y}{X} f(D) \quad \text{et} \quad q = 0 \quad \text{soit :} \quad S_1 X = S_2 Y .$$

Le degré d'asservissement temporaire a ainsi pour expression :

$$\sigma = \frac{S_1}{S_2} . f(D)$$

il est donc réglable par modification du rayon manivelle D.

S_1 restant immobile, écartons le piston S_2 d'une quantité Y_0 de sa position d'équilibre, en négligeant inertie et frottement il y revient suivant la loi :

$$Y = Y_0 . e^{-B . t / A . S_2^2}$$

expression dans laquelle $\frac{A.S_2^2}{B}$ représente le temps de relaxation T_r, temps que l'on peut adapter à sa valeur optimale en modifiant A par action sur le pointeau P.

Compte tenu de ces dernières remarques l'équation 4 devient :

$$\frac{d\Delta x}{dt} = -\frac{1}{\sigma.T_r}\left[\Delta\omega + T_r.\frac{d\Delta\omega}{dt} + \frac{M}{B}\frac{d^2\Delta\omega}{dt^2}\right]. \qquad 5)$$

En comparant cette expression à celle trouvée au paragraphe 1.2.3.2, équation 19, on voit que la masse M de l'équipage mobile introduit un terme contenant la dérivée seconde de la vitesse, terme favorable à la stabilité de réglage.

La rigidité demandée par la stabilité peut être relativement grande et, dans ces conditions, lors des grandes variations de vitesse, l'asservissement temporaire s'oppose par trop aux ordres donnés par le tachymètre et risque d'empêcher la fermeture lors d'un déclenchement. Autrement dit, en considérant la loi de réponse dont la pente à l'origine est $-\frac{1}{\sigma.T_r}$, on constate qu'en raison de la valeur élevée de σT_r il faut un grand écart de vitesse pour obtenir une manœuvre rapide de vannage. On utilise alors le mécanisme de « compensation accélérée » constitué simplement par les deux canaux de décharge 7 et 8 qui limitent l'amplitude des déplacements de l'équipage mobile en égalisant les pressions de part et d'autres du piston S_2, ce qui permet d'obtenir la loi de réponse de la figure 5.9 Les valeurs de $\Delta\omega$ correspondant aux deux canaux 7 et 8 peuvent être ajustées grâce à l'inclinaison des faces du piston et à la possibilité de déplacer la position de repos de ce piston à l'aide du tambour fixé à l'extrémité de la tige 10. C'est cette compensation accélérée qui permet d'obtenir dans tous les cas la survitesse la plus réduite possible, compte tenu de la limitation de la vitesse maximale de fermeture du vannage, imposée par la surpression admissible dans la conduite.

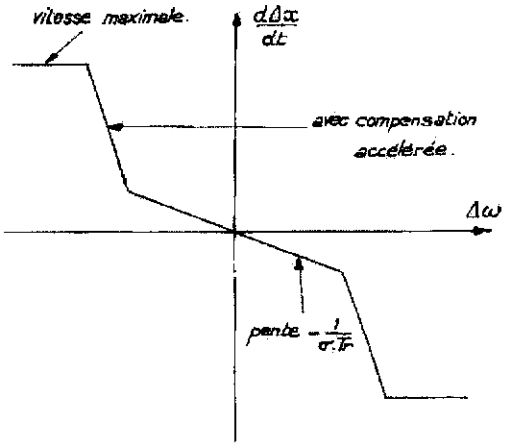


Fig. 5.9. — Loi de réponse du mécanisme de compensation accélérée.

5.2.4) *Tiroirs de distribution.*

Ils sont d'une conception totalement différente suivant que le régleur est à asservissement temporaire ou tachy-accélérométrique. Dans le premier cas, la rapidité de réponse du tiroir (qui n'est pas celle du régleur laquelle est fonction du

dash-pot) doit être maximale. Le tiroir aura donc un recouvrement minimal et un périmètre maximal. Dans le deuxième cas, la rapidité de réponse du tiroir est celle du régulateur, elle doit être assez faible pour que la stabilité soit assurée. Mais il apparaît alors le même inconvénient que celui signalé ci-dessus pour le réglage à asservissement temporaire, cette faible rapidité de réponse va gêner la fermeture lors d'un déclenchement. On emploie un artifice qui constitue le pendant du système de compensation accélérée, c'est le tiroir à double recouvrement mentionné au paragraphe 1.2.2.2 qui donne une loi de réponse (Fig. 1.8.*b*) analogue à celle de la figure 5.9.

Exemple de construction : distributeur principal du régleur Neyrpic type 570. Le distributeur principal 1 qui alimente les moteurs de vannage est surmonté d'un distributeur pilote 3 auquel il est relié par l'amplificateur de sortie 2 (Fig. 5.10).

Le tiroir 4 du distributeur pilote reçoit les ordres du tachymètre par l'intermédiaire du levier flottant. En vue d'éliminer les frottements, il est doté d'un mouvement de rotation permanent provoqué par un tourniquet hydraulique alimenté par le canal 5 et placé dans le collet supérieur de guidage 6.

Fonctionnement. Supposons un déplacement vers le bas du piston 4. La cavité 8 à la partie inférieure du piston 9 se trouve mise à l'échappement par l'intermédiaire de la tuyauterie 7, 9 descend, le levier amplificateur 10 pivote poussé par la chemise 11 sous l'action du ressort 12, le galet 13 d'extrémité inférieure du levier 10 restant au contact de la rampe 14 pratiquée dans la partie supérieure de 9.

La descente du piston 9 a pour effet d'envoyer la pression d'huile motrice dans la canalisation 15 et de mettre à l'échappement la canalisation 16, canalisations aboutissant au moteur de vannage, ce qui provoque le mouvement de celui-ci (fermeture). Le mouvement de 11 a pour effet d'effacer le découvrement qui a provoqué le déplacement du piston 9, donc d'arrêter celui-ci. On remarquera sur les canaux d'évacuation 18 les diaphragmes qui règlent les valeurs maximales de la vitesse de vannage.

Le rapport des bras du levier d'équerre 10 est de cinq, la pente de la came 14 peut varier de 10 à 45°, le rapport d'amplification peut donc être réglé entre les valeurs 5 pour 45° et 30 pour 10°. L'amplificateur de sortie est à la fois un amplificateur de déplacement, rapport 5 à 30, et un amplificateur d'effort : quelques dizaines de grammes pour déplacer le tiroir pilote, plusieurs dizaines de kilogrammes pour déplacer le tiroir principal.

Sur la même figure se trouve représenté le mécanisme de sécurité constitué d'un tiroir 17 manœuvré par un électro-aimant sous la dépendance des détecteurs d'anomalies de fonctionnement. La manœuvre de 17 met à l'échappement la chambre 8, provoquant la descente du tiroir principal et un mouvement de fermeture et, d'autre part, isole le distributeur pilote.

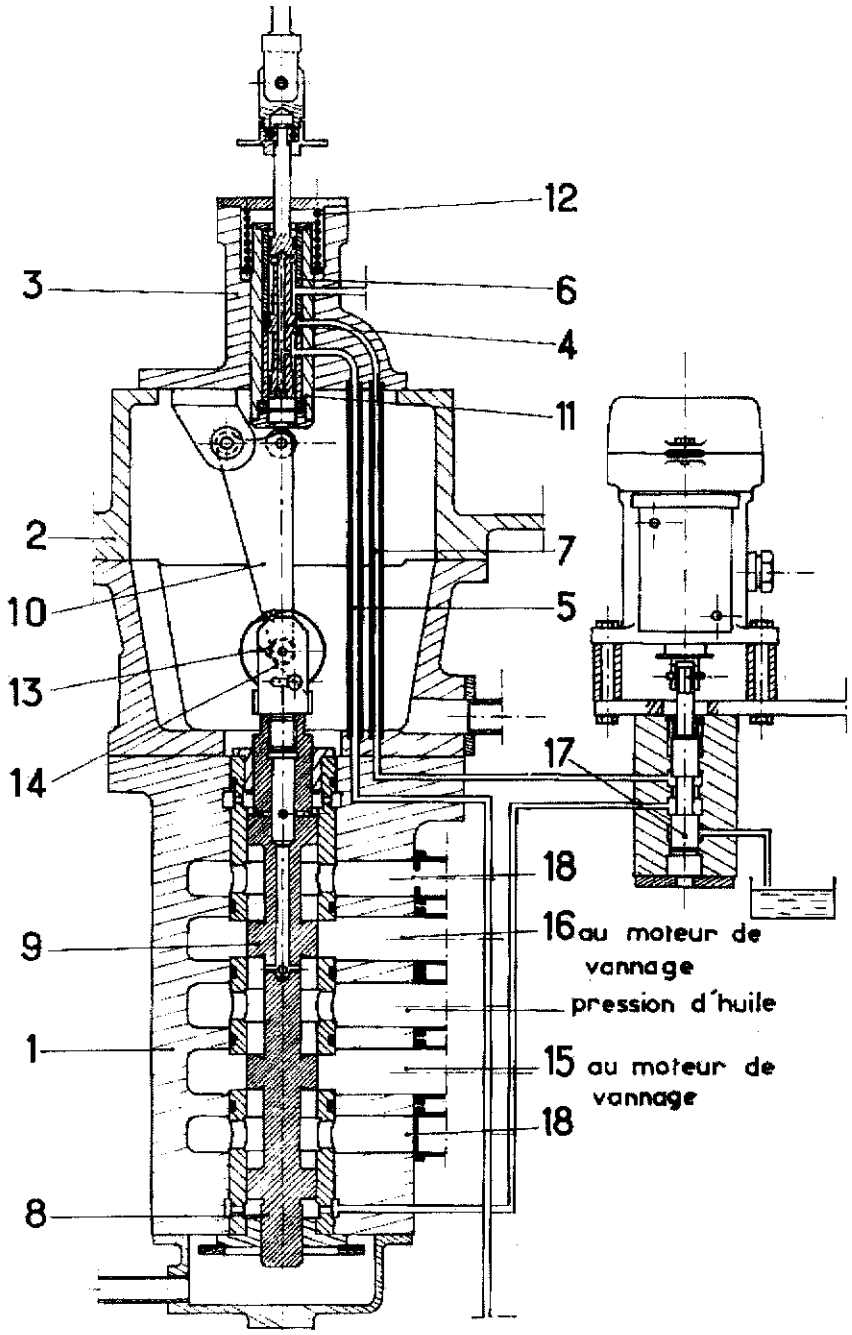
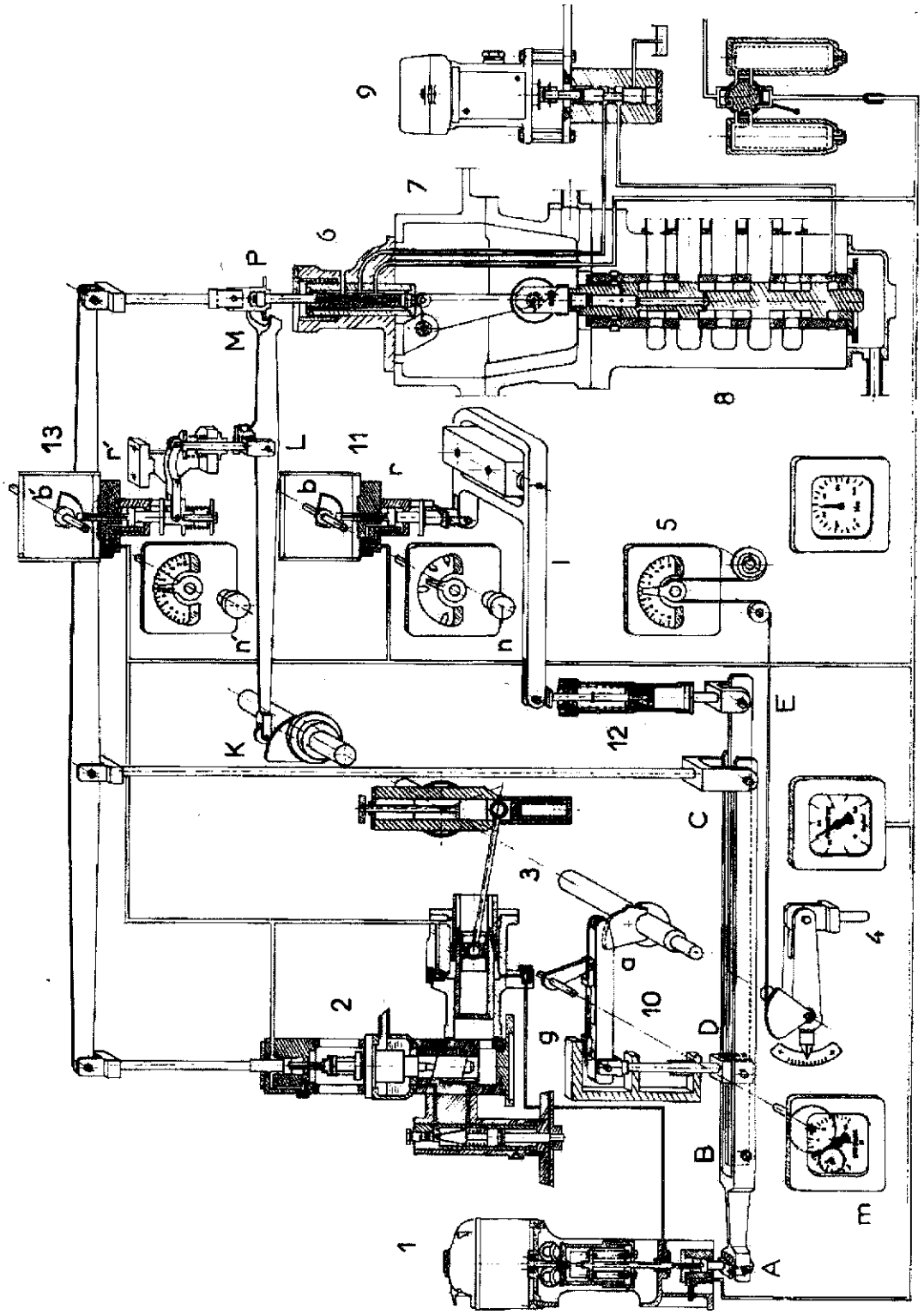


Fig. 5.10. — Distributeur principal. Amplificateur de sortie. Distributeur pilote et mécanisme de sécurité du régleur Neyrpic Type 570.
Pour la signification des repères voir texte page 522.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
A
B
C
D
E
F
G
I
K
L
M
P
a
b
b'
n
n'
r
r'

5.2.5) *Mécanismes de statisme.*

Nous avons vu qu'il était nécessaire de donner aux régulateurs un certain statisme, non pour assurer la stabilité qui est réalisée par l'asservissement temporaire ou l'accéléromètre, mais pour répartir les charges entre les groupes couplés sur un même réseau.

Dans le régulateur des Ateliers de Charmilles (Fig. 5.4), le statisme est obtenu en donnant à l'ensemble volant-masselotte un déplacement axial par rapport aux tuyères détectrices. Ce déplacement fonction de l'ouverture de vannage est obtenu par le mouvement axial de la came oblique 13. On règle l'amplitude du statisme par rotation de cette came au moyen du mécanisme 15.

Dans le régleur des Ateliers de Vevey, le statisme est réalisé par variation de la tension du ressort de rappel du tachymètre 26 au moyen de la liaison 27.28 (Fig. 5.5).

Le mécanisme de statisme de régleur Neyrpic type 570 agit sur la position d'équilibre de l'articulation *A* du tachymètre (Fig. 5.11). Sous l'action de la came *a* dont le mouvement est lié à celui du vannage, la position de l'articulation *D* et par conséquent celles de *B* et *A* se trouvent modifiées, la position d'équilibre de *C* étant immuable. L'amplitude maximale des déplacements est réglée par la position du galet *g* que l'on peut modifier à volonté au moyen du mécanisme *m*.

5.2.6) *Mécanisme de réglage charge vitesse.*

Nous avons vu l'utilité de ce mécanisme qui permet de régler la fréquence dans la marche isolée, ou la charge du groupe dans la marche en parallèle.

Le volant 1 du régleur des Ateliers des Charmilles (Fig. 5.4), permet d'effectuer ce réglage en déplaçant axialement l'ensemble volant accélérométrique-masselotte par rapport aux tuyères, ce mécanisme est d'ailleurs combiné avec celui de statisme permanent comme dans le régleur des Ateliers de Vevey (Fig. 5.5) où la manette 29 en modifiant le point d'articulation du levier 28 agit sur le ressort de rappel 26 du tachymètre.

Dans le régleur Neyrpic Type 570 le réglage charge vitesse est obtenu par

---

Fig. 5.11 (ci-contre). — Disposition d'ensemble du régleur Neyrpic type 570.

1 : Colonne tachymétrique. 2 : Stabilisateur à dash-pot. 3 : Arbre d'asservissement. 4 : Liaison au servo-moteur. 5 : Indicateur d'ouverture. 6 : Distributeur pilote. 7 : Amplificateur de sortie. 8 : Distributeur principal. 9 : Mécanisme de sécurité (arrêt rapide). 10 : Statisme permanent. 11 : Mécanisme de réglage charge vitesse. 12 : Tige compressible. 13 : Limiteur d'ouverture.

a, *b*, *b'* : Cames. *g* : Galet. *l* : Levier du réglage charge vitesse. *m* : Réglage du statisme permanent. *n*, *n'* : Boutons de réglage. *r*, *r'* : Relais.

A, *B*, *C*, *E* : Timonerie inférieure.
K, *L*, *M* : Levier flottant du limiteur d'ouverture.
P : Plateau d'action du limiteur d'ouverture.

(Voir également, figure 5.33. — Régleurs au banc d'essais et figure 5.34. — Vue d'ensemble d'une armoire de réglage).

modification de la position du point d'articulation E du levier flottant inférieur (Fig. 5.11). Le bouton de réglage n provoque le déplacement du levier 1 sous l'action du relais r, commandé par la came b liée à n. Pendant ce réglage la tige compressible 12 reste rigide.

5.2.7) *Limiteur d'ouverture.*

Ce mécanisme a pour objet de s'opposer aux ordres d'ouverture lorsque celle-ci a atteint une valeur déterminée. Il suffit, pour cela, d'arrêter àce moment tout mouvement du tiroir ou, plus généralement, de son relais de commande si celui-ci tend à provoquer l'ouverture du vannage.

Dans le régleur des Ateliers de Vevey (Fig. 5.6), ce mécanisme est constitué par une tige (non figurée) qui, introduite dans la grande rainure longitudinale ménagée dans le piston 1, arrête le mouvement de celui-ci dans le sens de l'ouverture. Le schéma de principe de la figure 5.23 montre la disposition générale de ce mécanisme.

La limite d'ouverture est réalisée dans le régleur Neyrpic type 570 lorsque la fourchette M vient au contact du plateau P, solidaire du piston du distributeur pilote, (Fig. 5.11). M appartient à un levier flottant qui pivote autour du point L par action sur son extrémité K d'une came liée au mouvement de vannage. Le réglage de l'ouverture maximale est effectué en modifiant la position de l'articulation L, au moyen d'un mécanisme de commande constitué du bouton n', de la came b', du relais r'. Au cours du fonctionnement sur limiteur d'ouverture, les ordres d'ouverture du tachymètre provoquent simplement le raccourcissement de la tige élastique 12. Cette tige est munie d'un dash-pot ce qui lui permet de se comporter rigidement lors d'une décharge brusque afin de provoquer une fermeture immédiate du vannage. Voir paragraphe 4.7.1.2.

5.3. Régleurs électriques et électroniques.

5.3.1) *Caractères.*

En plus, de la facilité de l'introduction de paramètres réglants autres que la vitesse et l'accélération, par exemple des éléments caractérisant les conditions hydrauliques instantanées telles que pression, niveau, vitesse dans les conduites ou les cheminées d'équilibre, de l'aptitude au téléréglage de ces appareils, on peut encore porter à leur actif :

— l'emploi d'éléments dont le fonctionnement ne comporte aucun mouvement à l'exception du dernier qui commande le premier relais à huile sous pression,

— l'absence d'usure ou de jeux préjudiciables au comportement du réglage,

— les facilités d'ajustement de la promptitude de réglage, du dosage accélérométrique, de la vitesse de consigne, du statisme, de la limite d'ouverture,

— précision et rapidité de réaction extrêmement élevées.

Le niveau d'énergie à la sortie des organes détecteurs et stabilisateurs est faible, on prévoit donc généralement avant l'amplification hydraulique, dont le gain en puissance peut atteindre 10^5, une pré-amplification électrique de l'ordre de 10^4, pour assurer le fonctionnement de l'actionneur ou actuateur qui transforme le signal électrique en un déplacement mécanique d'un tiroir.

Les organes constitutifs d'un régleur électrique ou électronique peuvent être classés en trois catégories :

— les variomètres,

— l'appareillage,

— l'actionneur ou actuateur.

Le *variomètre* est un appareil fournissant une tension fonction de la position d'un organe, ce dernier pouvant être un organe à asservir ou un bouton de commande.

Certains comportent un stator et un rotor jouant les rôles de primaire et de secondaire d'un transformateur, le calage angulaire du rotor est modifié par l'action extérieure. Pour une certaine position la tension de sortie est nulle. En décalant le rotor une tension de sortie apparaît, cette tention de sortie est uniquement fonction de la déviation angulaire. Par ailleurs, les tensions de sortie sont, pour des déviations angulaires à droite et à gauche, en opposition de phase.

D'autres sont constitués de deux circuits magnétiques fixes jouant respectivement les rôles de primaire et de secondaire d'un transformateur dans l'entrefer desquels se déplace, en translation, un noyau mobile, (Fig. 5.12). Le déplacement du noyau fait varier le couplage entre les deux circuits.

Les uns et les autres ne présentent aucun contact glissant susceptible de défaillance.

L'*appareillage* est constitué soit d'éléments électro-magnétiques, soit d'éléments électroniques, certains constructeurs préférant les premiers qu'ils estiment d'un fonctionnement plus sûr.

Ces équipements sont constitués de pièces détachées du commerce (résistances, condensateurs, diodes, transistors) de bonne qualité. On les assemble pour constituer des unités dans des boîtes ou tiroirs métalliques, qui assurent une protection mécanique et électrostatique efficace (Fig. 5.35). Ces tiroirs, facilement interchangeables, sont embrochables automatiquement à leur mise en place dans l'armoire qui les reçoit, (Fig. 5.13), et les circuits sont réalisés de manière à constituer une fonction par tiroir : tachymètre, réglage de charge, mélangeur, amplificateur, etc.

L'*actionneur* ou *actuateur* transforme les signaux électriques en déplacements au tiroir de distribution. Il doit présenter les qualités suivantes :

— un facteur d'amplification, c'est-à-dire un rapport entre les niveaux d'énergie des grandeurs de sortie et d'entrée, élevé,

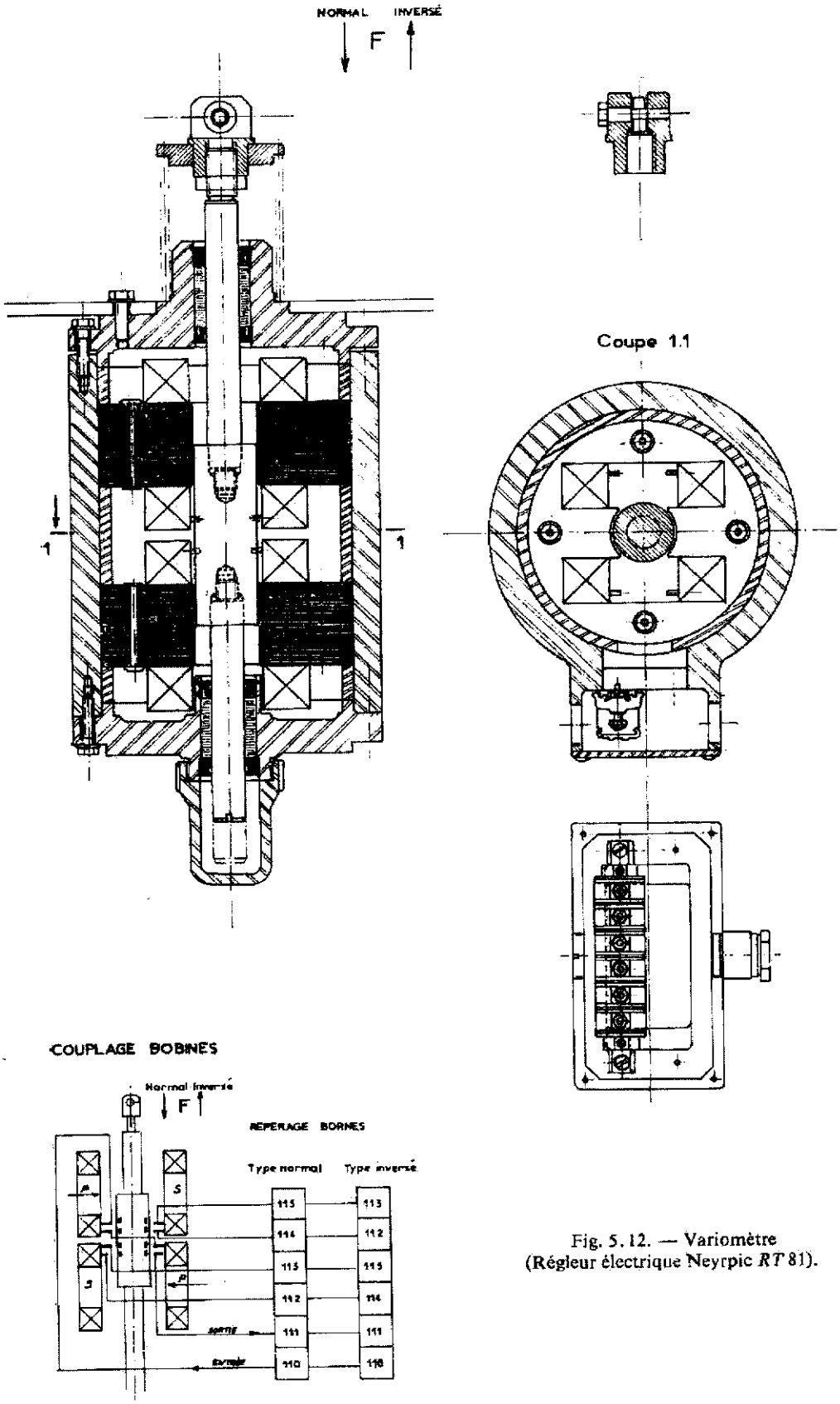


Fig. 5.12. — Variomètre
(Régleur électrique Neyrpic *RT* 81).

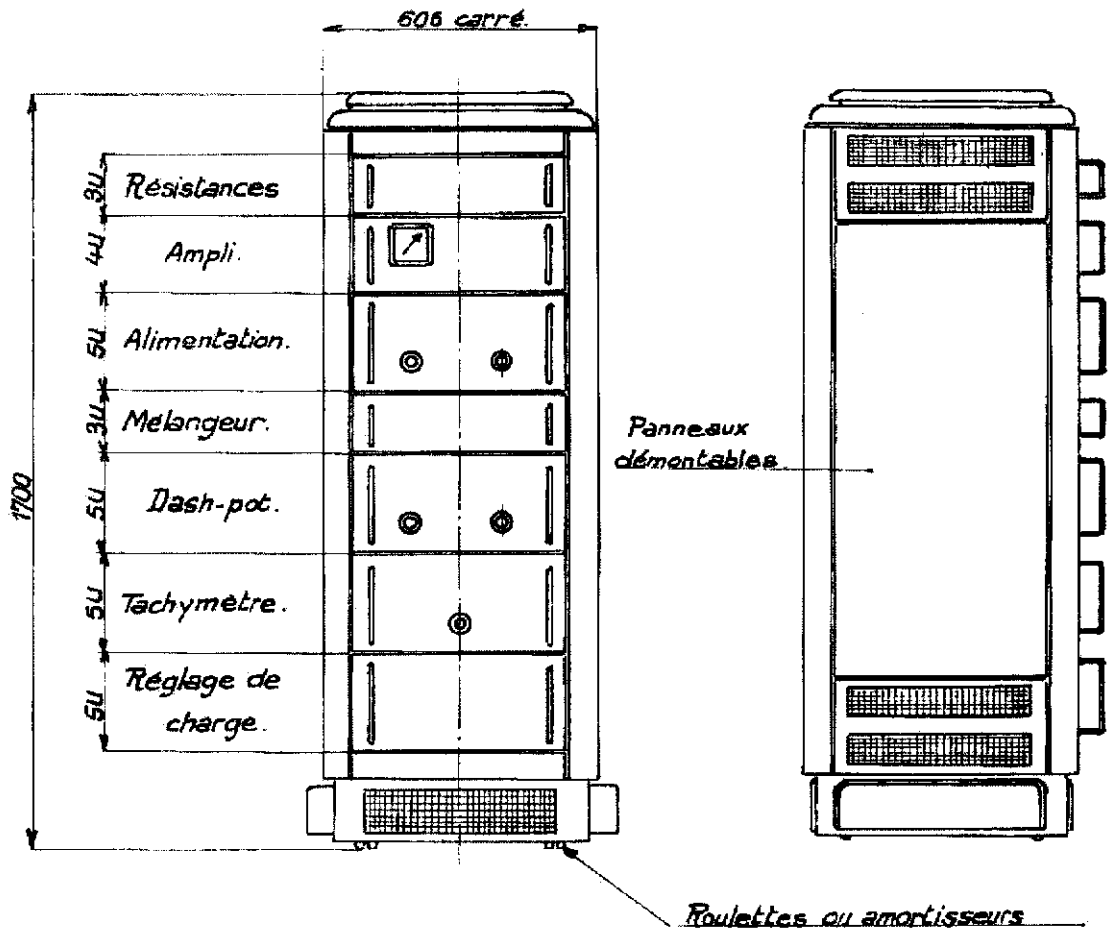


Fig. 5.13. — Armoire d'appareillage du régleur électronique Neyrpic *RT* 81.

— une précision statique bonne, la grandeur de sortie est une fonction univoque et réciproque de la grandeur d'entrée,

— un retard dynamique aussi réduit que possible, c'est-à-dire un déphasage négligeable entre les oscillations des grandeurs de sortie et d'entrée,

— une faible consommation d'énergie auxiliaire.

Remarquons que certaines qualités mentionnées ci-dessus vont à l'encontre les unes des autres : un facteur d'amplification trop fort peut, par exemple, provoquer un retard dynamique inadmissible.

La Fig. 5.14 représente la coupe schématique de l'actuateur du régleur électronique des Ateliers de Vevey. Son fonctionnement est le suivant :

Lorsque la bobine 1 n'est soumise à aucun courant électrique les jeux 10*a* et 10*b* sont identiques et, comme les diaphragmes, chambres, conduits, 3, 4, 5, 6, 7, 9, *a* et *b* le sont également, le piston interne 11 n'est soumis à aucune poussée axiale résultante provenant de l'huile. Il occupe une position d'équilibre au

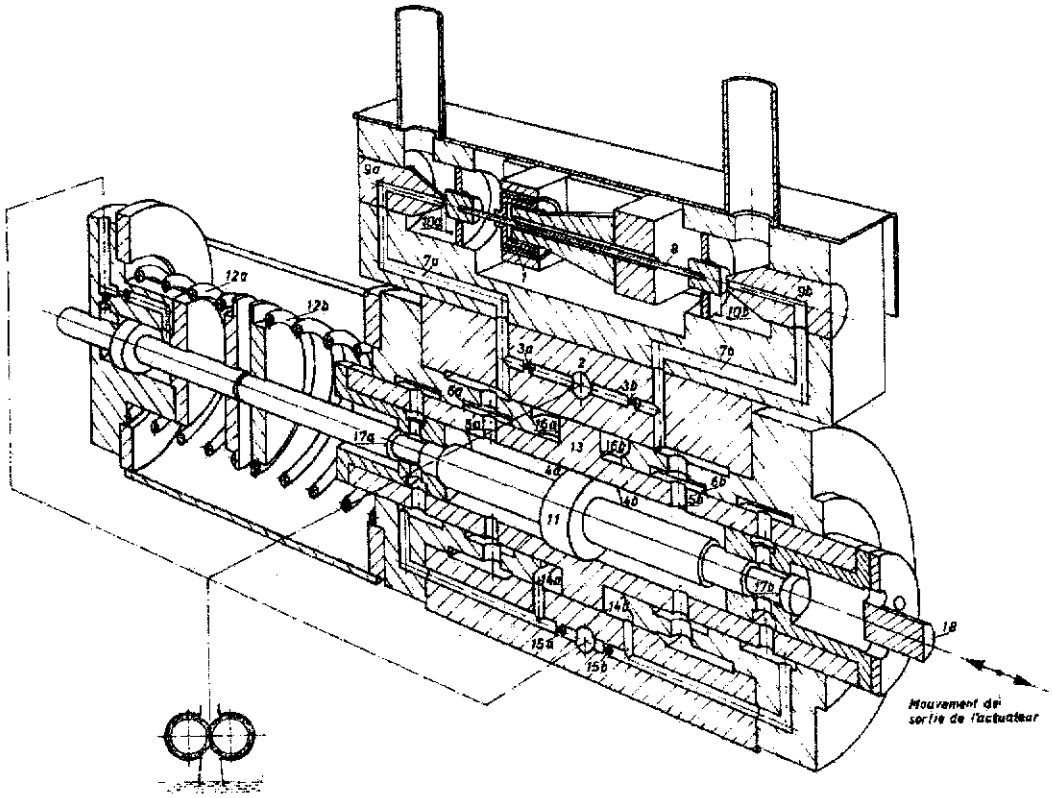


Fig. 5.14. — Coupe schématique de l'actuateur du régleur électronique des Ateliers de Vevey. Signification des repères, voir page 529.

milieu de sa course donnée par la caractéristique des deux ressorts 12 dont les efforts s'annulent. En raison de la symétrie des formes et des dimensions des diaphragmes, canaux et chambres 14, 15, 16, 17 *a* et *b*, le piston extérieur 13 est également en équilibre. Il suit fidèlement tous les mouvements du piston intérieur 11.

Lorsque la bobine 1 est parcourue par un courant déterminé, son noyau 8 se déplace, ce qui a pour effet de modifier les pressions de part et d'autre du piston 11 qui se déplace lui aussi jusqu'à ce que l'effort des ressorts équilibre les forces d'origine hydraulique. Il est suivi dans son mouvement par le piston 13. Il y a donc correspondance univoque et réciproque entre le mouvement de sortie de l'actuateur et le courant électrique qui constitue le signal d'entrée.

L'appareil fonctionne également en amplificateur, le travail de sortie égal au produit du volume d'une chambre 14 par la pression d'huile est très supérieur au travail d'entrée produit de deux facteurs très petits (les jeux 10 sont de quelques dixièmes de millimètre).

Le retard dynamique existant entre les mouvements du piston interne et la grandeur d'entrée provient principalement des modifications des volumes des

chambres 4*a* et 4*b*, or ces volumes restent pratiquement constants, ce retard se trouve ainsi réduit au minimum.

5.3.2) *Exemples de réalisations.*

5.3.2.1) *Régulateur Erelstat des Ateliers des Charmilles.*

Le régulateur Erelstat se compose d'un régleur électronique et d'un régulateur pilote à commande hydraulique de 250 J destiné à la commande asservie du tiroir principal de distribution du servomoteur de manœuvre de vannage.

Régleur (Fig. 5.15). Il comporte :

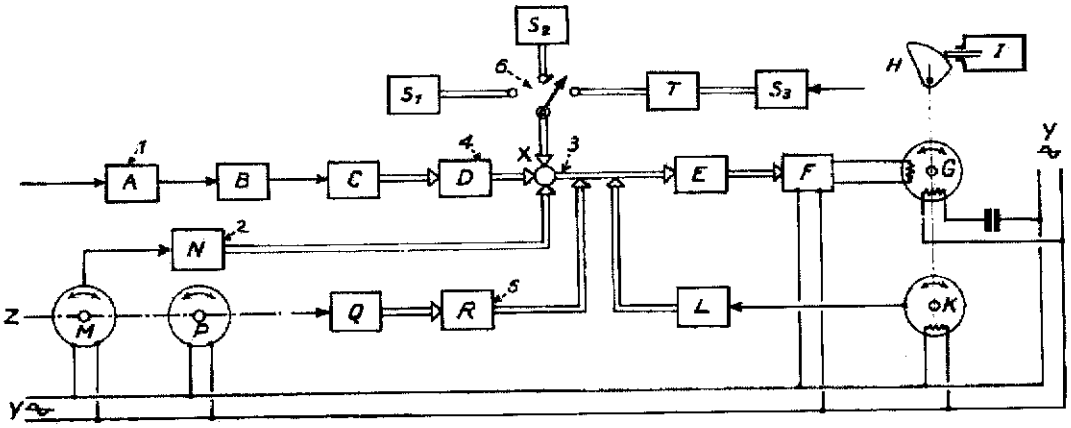


Fig. 5.15. — Schéma du régleur électronique ERELSTAT des Ateliers des Charmilles.

A : Fréquencemètre. B : Préamplificateur. C : Démodulateur. D : Circuit *RC*. E : Amplificateur push-pull. F : Amplificateurs magnétiques. G : Moteur couple. H. Came. I : Relais à huile sous pression. K : Variomètre d'asservissement. L : Démodulateur. M : Variomètre de statisme. N : Démodulateur. P : Variomètre du limiteur. Q : Redresseur. R : Limiteur d'ouverture. S_1 : Ordre à main (vitesse ou charge). S_2 : Régulateur adjoint (de niveau, de débit...). S_3 : Récepteur de la télétransmission (à partir d'un régulateur de réseau). T : Circuit *RC* de l'ordre. X : Point de sommation des tensions. Y : Alimentation. Z : Arbre relié à l'arbre du régulateur-pilote.

Ajustements

Commutateur d'ordre ..... : 6
Commutateur de gammes de fréquence ..... : 1
Variateur de vitesse ou de charge ..... : S_1
Variateur de statisme ..... : 2
Promptitude ..... : 3
Dosage accélérométrique ..... : 4
Limiteur d'ouverture ..... : 5

Liaisons courant alternatif : ———— Liaisons courant continu : ═══

— un fréquencemètre *A*, du type pont en double *T*, comprenant résistances et capacités à l'exclusion de selfs susceptibles d'instabilité, alimenté sous une tension alternative dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse du groupe à régler. Le fréquencemètre se comporte comme un filtre dont la tension de sortie alternative est nulle si la fréquence mesurée correspond à la fréquence

d'accord et qui croît linéairement avec l'écart de la fréquence d'alimentation, avec changement de phase de 180° au passage à l'accord,

— un préamplificateur *B*,

— un démodulateur équilibré *C* qui fournit la tension d'erreur continue proportionnelle à l'écart de fréquence et de même signe que lui,

— un circuit résistance-capacité *D* à la sortie duquel on recueille une tension proportionnelle à la somme de l'écart de fréquence et de sa dérivée affectée d'un certain dosage dont la valeur peut être manuellement ajustée : c'est ainsi qu'intervient l'effet accélérométrique,

— un montage potentiométrique 3 qui permet de prélever tout ou partie de cette tension et d'ajuster de cette façon la promptitude de réglage,

— un amplificateur *E* du type push-pull,

— un amplificateur magnétique *F*,

— un moteur-couple *G*, dont la course angulaire est d'environ ± 30°, portant une came *H* qui commande l'échappement de la tuyère d'un relais axial à huile sous pression *I*.

Asservissement et stabilisation du moteur-couple. Le moteur-couple est asservi en position à la tension de commande issue du montage potentiométrique 3 au moyen d'une boucle de réaction aboutissant à l'aval dudit montage. La boucle de réaction est alimentée par le variomètre *K*, calé sur l'arbre de *G* et fournissant une tension de sortie proportionnelle à sa course angulaire, cette tension est redressée en *L*, puis injectée de manière à s'ajouter algébriquement à la tension de commande.

Le statisme est électriquement réalisé par un variomètre *M* entraîné par l'arbre du régulateur pilote et qui fournit une tension proportionnelle au vannage, transformée en tension continue en *N*, s'ajoutant algébriquement en *X* à celle issue du fréquencemètre. Un montage potentiométrique 2 permet de régler l'amplitude du statisme.

Le *limiteur d'ouverture* est constitué à partir d'un second variomètre *P* entraîné comme le précédent, fournissant une tension alternative redressée en *Q* et opposée à une tension de référence ajustable. Lorsque la tension provenant de *P* devient supérieure à la tension de référence, c'est-à-dire lorsque le vannage tend à dépasser l'ouverture prescrite, un système *R* prend le contrôle de l'amplificateur *E* de manière à limiter vers le haut la course du vannage quelle que soit la tension de commande émanant du point *X*.

Ordre extérieur. Il est enfin possible d'introduire directement dans le circuit de réglage un ordre extérieur sous la forme d'une tension continue injectée en *X*, qui s'ajoute algébriquement à celle provenant du fréquencemètre et à celle provenant du circuit de statisme fréquence-puissance du groupe de régulation et agit comme un variateur de vitesse si le groupe fonctionne isolément, comme un variateur de charge si le groupe est couplé sur un réseau.

L'alimentation du circuit de réglage nécessite environ 500 W sous une tension monophasée de 220 V, 50 Hz.

Régulateur pilote. La figure 5.16, suffisamment explicite par elle même, montre la constitution de ce mécanisme.

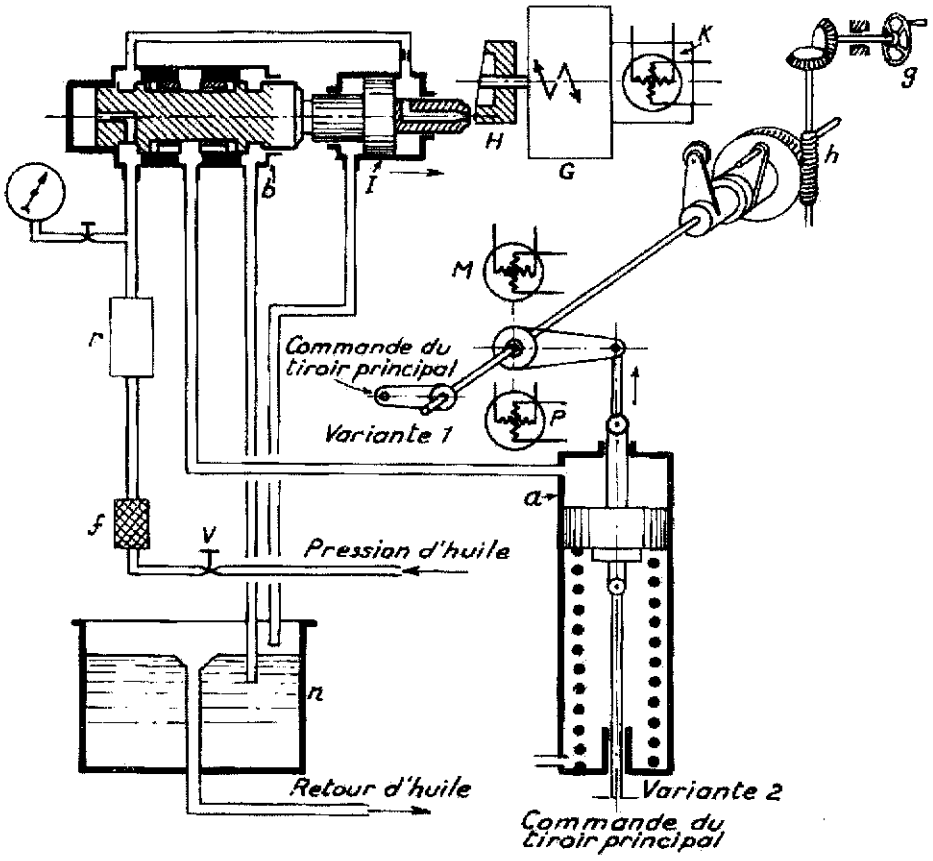


Fig. 5.16. — Régulateur ERELSTAT (Ateliers des Charmilles). Régulateur pilote.

a : Servo-moteur ; b : Tiroir de distribution ; r : Réducteur de pression ; f : Filtre ; g : Volant de commande ; h : Limiteur d'ouverture mécanique ; V : Robinet vanne ; n : Bac à huile ; G : Moteur couple ; I : Relais à huile ; K : Variomètre moteur couple ; M : Variomètre statisme ; P : Variomètre limiteur d'ouverture.

5.3.2.2) *Régleur électronique des Ateliers de Vevey.*

La figure 5.17 représente le schéma fonctionnel d'un réglage réalisé au moyen de ce régleur. La disposition choisie pour la présentation fait ressortir simultanément pour chaque organe sa fonction et sa situation dans la centrale. Nous décrirons successivement les éléments principaux de la chaîne de vitesse (troisième colonne de la figure 5.17) puis de la chaîne d'ouverture (quatrième colonne de la même figure).

La fréquence à contrôler est fournie par un alternateur pendulaire à pôles permanents entraîné par le groupe. Il fournit une tension monophasée

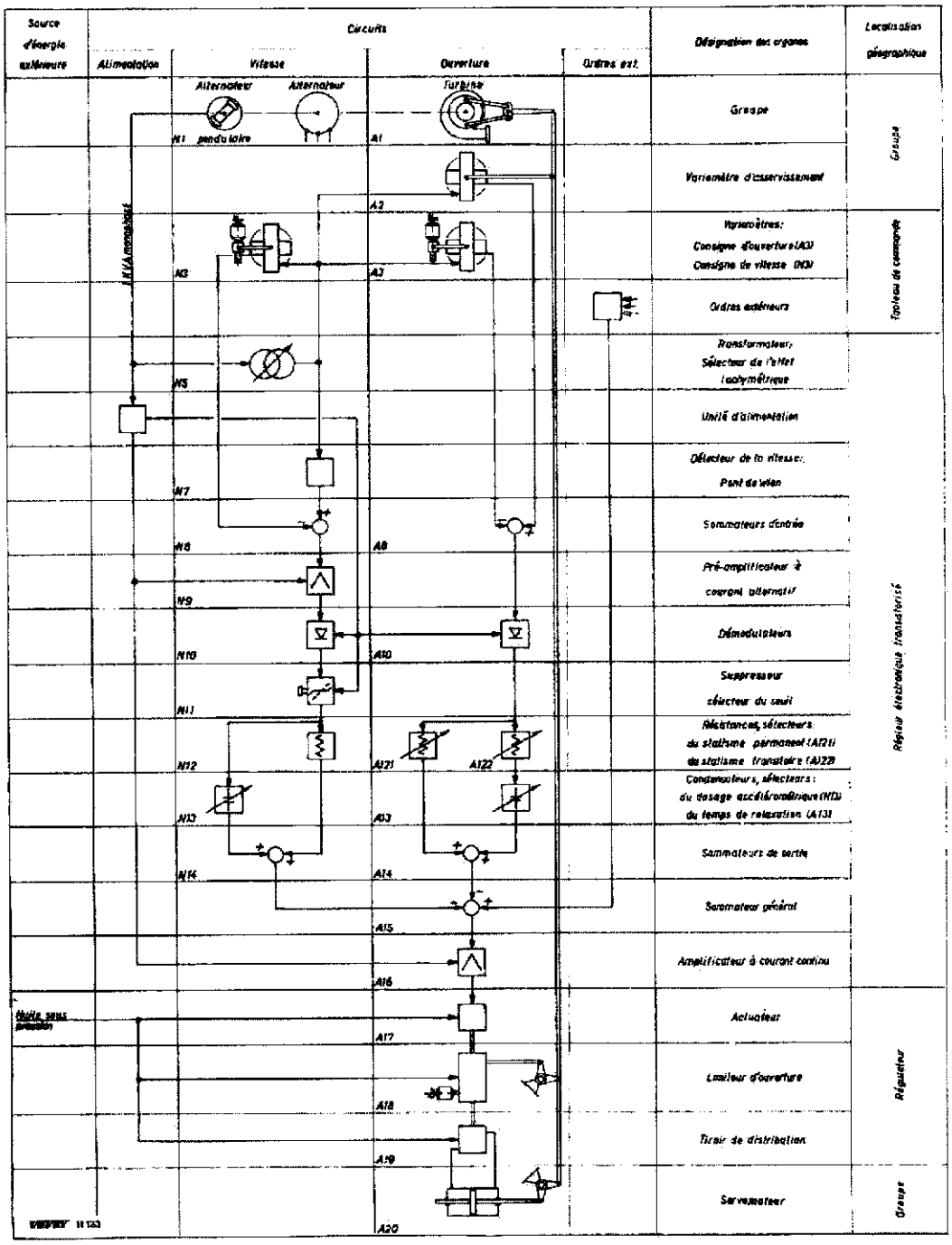


Fig. 5.17. — Schéma fonctionnel du régleur électronique des Ateliers de Vevey.

de l'ordre de 100 à 250 V, la puissance active consommée étant faible, environ 250 W.

L'organe qui mesure la fréquence est constitué par un pont de Wien dont le schéma est représenté figure 5.18. Il est accordé sur la fréquence nominale de l'alternateur pendulaire et il fournit un signal sous la forme d'une tension alternative proportionnelle à l'écart entre les fréquences d'alimentation et d'accord. Des écarts de fréquence, positifs et négatifs produisent des tensions de sortie qui sont en opposition de phase. A cette tension de sortie vient s'ajouter en N8 celle produite par le variomètre de consigne de vitesse N3. Le niveau d'énergie à la sortie du pont de Wien étant assez faible, le pré-amplificateur à courant alternatif N9, entièrement transistorisé, augmente les énergies mises en jeu, les signaux alternatifs ainsi obtenus sont ensuite transformés en courant continu par le démodulateur N10.

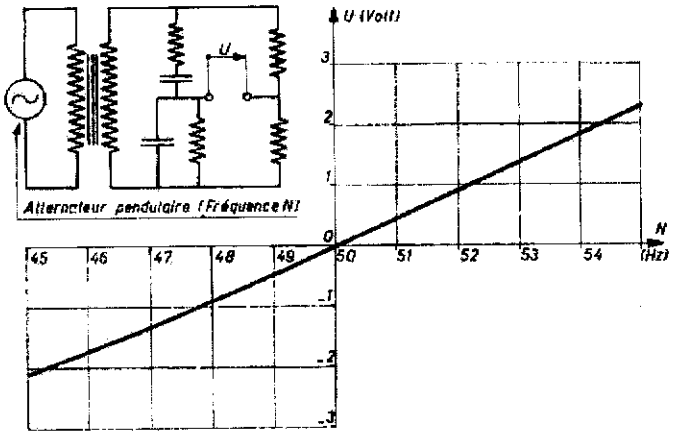


Fig. 5.18. — Pont de Wien : schéma électrique et courbe caractéristique.

Le suppresseur à seuils, N11, permet d'introduire dans la chaîne des éléments sensibles à la vitesse, et pour le régime normal seulement, une insensibilité d'amplitude déterminée qui évite des mouvements de réglage incessants préjudiciables à la bonne conservation mécanique des dispositifs de réglage et qui évite également à l'exploitant la tentation de fonctionner « au limiteur d'ouverture ».

Les effets tachymétriques et accélérométriques sont détectés par un circuit résistance, N12, capacité N13, en parallèle. Le courant traversant le condensateur N13, dont la capacité est réglable, est proportionnel à la dérivée de la tension entre les bornes du circuit *RC* donc en avance de phase de 90° par rapport au courant traversant la résistance *N*12.

La chaîne des éléments sensibles à l'ouverture comporte un variomètre d'asservissement A2 lié au moteur de vannage et un variomètre de consigne d'ouverture A3. Les signaux produits par ces deux appareils sont additionnés en A8, démodulés en A10. Le signal de sortie du démodulateur A10 est une ten-

sion continue proportionnelle en grandeur et en signe à l'écart entre les ouvertures réelles et de consigne. Cette tension alimente :

— une résistance A121, de valeur réglable, qui constitue le dispositif de statisme permanent,

— en parallèle avec elle, un circuit résistance A122 et capacité A13 en série définissant le statisme transitoire. La résistance A122 et la capacité A13 peuvent être réglées, le premier réglage constitue celui du statisme transitoire, le second fixe son temps de relaxation.

A la sortie du sommateur général A15 un amplificateur à courant continu A16, entièrement transistorisé, élève le niveau d'énergie de la grandeur de sortie sans en modifier la forme. L'actuateur A17 décrit au paragraphe 5.3.1 transforme la grandeur électrique sortant de A16 en une grandeur mécanique proportionnelle tout en élevant encore le niveau d'énergie.

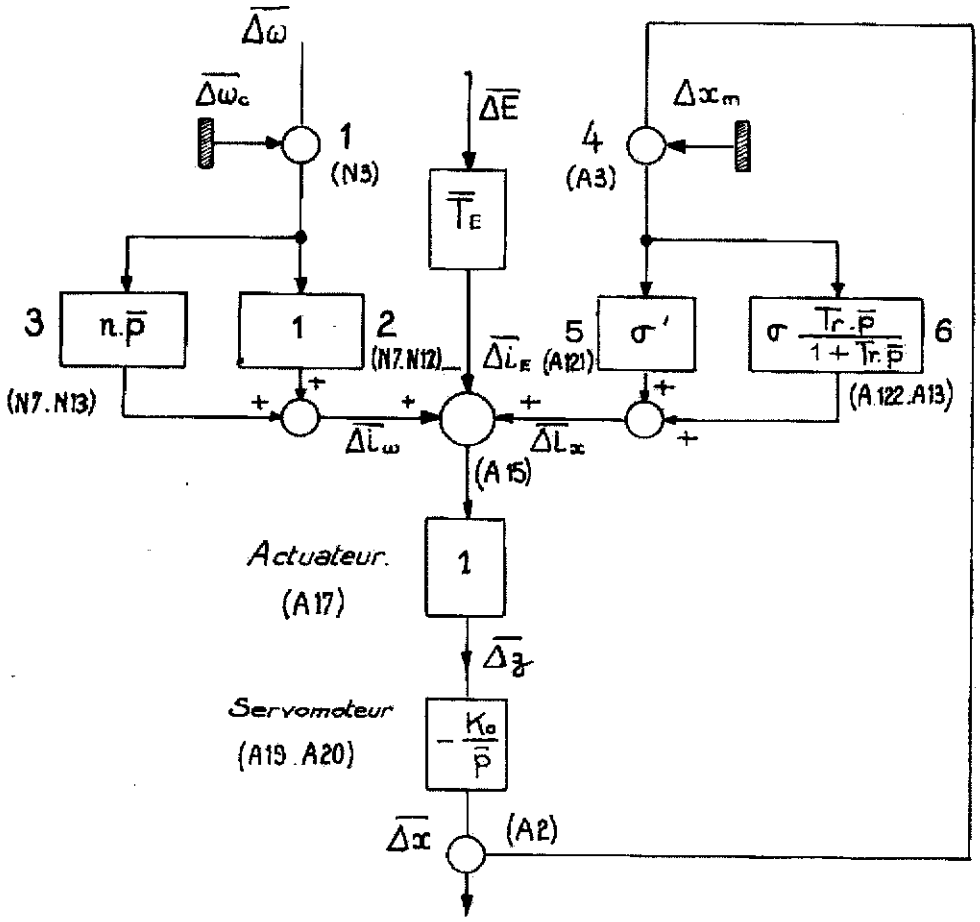


Fig. 5.19. — Schéma fonctionnel simplifié du régleur électronique des Ateliers de Vevey.
1 : Variomètre consigne de vitesse. 2 : Détecteur de vitesse. 3 : Détecteur d'accélération.
4 : Variomètre limiteur d'ouverture. 5 : Statisme permanent. 6 : Statisme temporaire.
Les repères entre parenthèses renvoient au schéma de la figure 5.17.
Les fonctions de transfert sont inscrites dans les rectangles correspondants.

Pour rechercher la fonction de transfert de ce régulateur nous en traçons par la figure 5.19 un schéma plus condensé et plus fonctionnel dans lequel apparaissent les fonctions de transfert des divers éléments.

Le sommateur de sortie A15 additionne :

— le signal émis par la chaîne de vitesse :

$$\overline{\Delta i_\omega} = (\overline{\Delta\omega} - \overline{\Delta\omega_c})(1 + n\bar{p})$$

— le signal émis par la chaîne d'ouverture :

$$\overline{\Delta i_x} = (\overline{\Delta x} - \overline{\Delta x_m})\left(\sigma' + \frac{\sigma . T_r . \bar{p}}{1 + T_r . \bar{p}}\right)$$

— les ordres extérieurs :

$$\overline{\Delta i_E} = - \overline{T_E} . \overline{\Delta E}$$

l'actuateur transformant le tout en un mouvement $\overline{\Delta z}$ du tiroir de vannage .

$$\overline{\Delta z} = (\overline{\Delta\omega} - \overline{\Delta\omega_c})(1 + n\bar{p}) + (\overline{\Delta x} - \overline{\Delta x_m})\left(\sigma' + \frac{\sigma . T_r . \bar{p}}{1 + T_r . \bar{p}}\right) - \overline{T_E} . \overline{\Delta E}$$

la fonction de transfert du moteur de vannage étant :

$$\overline{\Delta x} = - \frac{K_0}{\bar{p}} \overline{\Delta z} .$$

Lorsque les consignes de vitesse, de vannage, restent fixes et la valeur de l'ordre extérieur constante ce qui correspond, comme nous l'avons vu, au cas envisagé dans l'étude de la stabilité du réglage :

$$\Delta\omega_c = 0 \qquad \Delta x_m = 0 \qquad \Delta E = 0$$

la fonction de transfert du régulateur s'écrit :

$$\frac{\overline{\Delta x}}{\overline{\Delta\omega}} = - \frac{(1 + n\bar{p})(1 + T_r . \bar{p})}{\sigma' + \bar{p}\left[\frac{1}{K_0} + T_r(\sigma + \sigma') + \frac{T_r}{K_0} . \bar{p}\right]}$$

5.3.2.3) *Régleur électro-magnétique Riva.*

La Société Riva s'est orientée vers un appareil électro-magnétique éliminant les éléments susceptibles de vieillissement comme les tubes électroniques (Fig. 5.20).

L'élément tachymètre L est constitué par deux résonateurs en série tarés respectivement pour une fréquence inférieure et pour une fréquence supérieure à 50 Hz et par un circuit sensible à la phase connecté à la sortie. L'ajus-

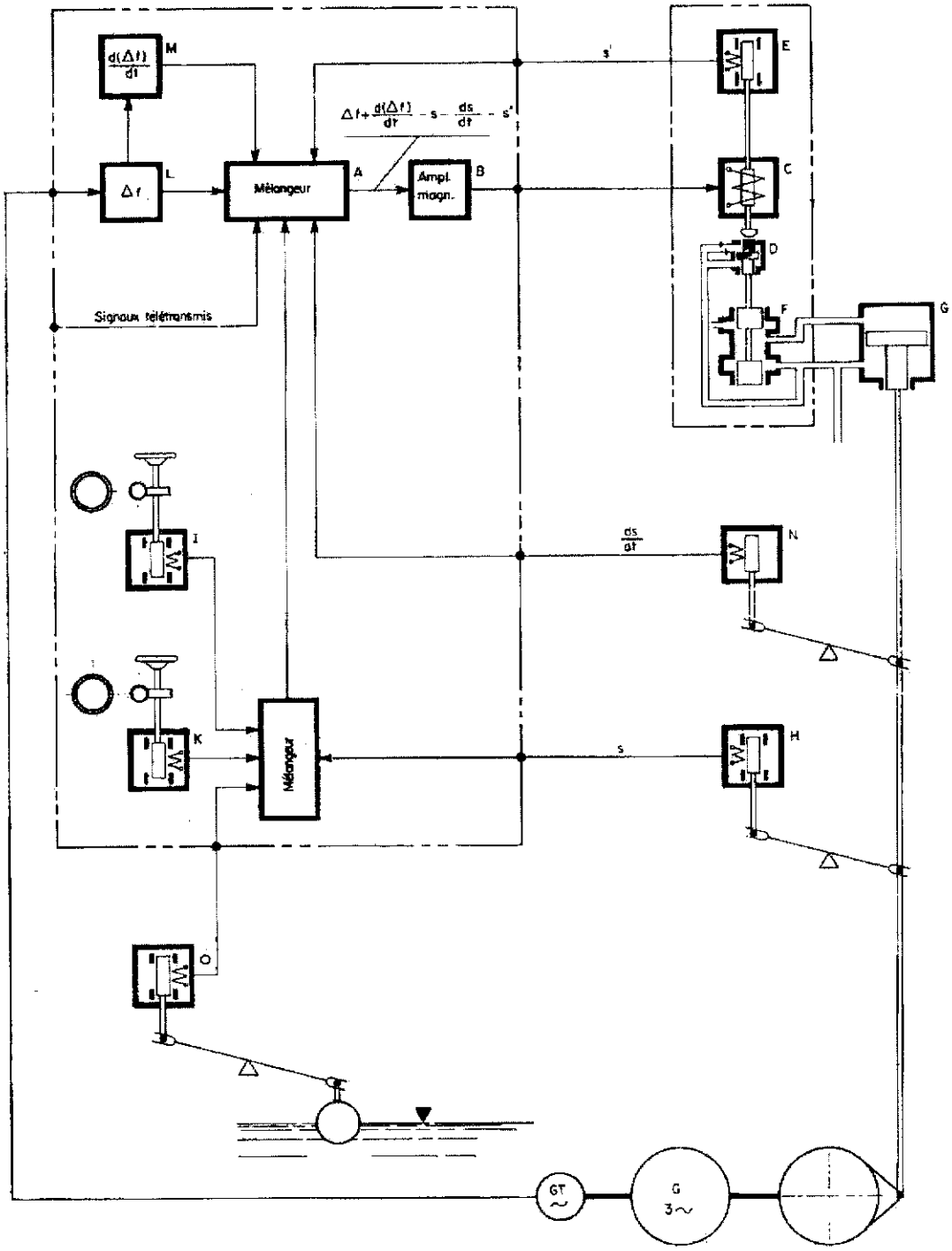


Fig. 5.20. — Schéma de principe du réglage avec régleur électro-magnétique Riva.

tage de la fréquence s'obtient en variant simultanément l'inductance des deux résonateurs.

L'accéléromètre *M* est un dériveur conventionnel à résistance et capacité.

L'asservissement statique est réalisé en *H* par un variomètre.

L'asservissement dynamique est donné également, en *N*, par un dispositif électro-mécanique dont le principe de fonctionnement est le suivant :

Deux électro-aimants 1,2 (Fig. 5.21) sont alimentés en courant continu par des bobines de champ correspondantes 3, 4, de manière que les flux parcourent les noyaux comme indiqué sur la figure et s'enchaînent avec deux bobines secondaires 5, 6.

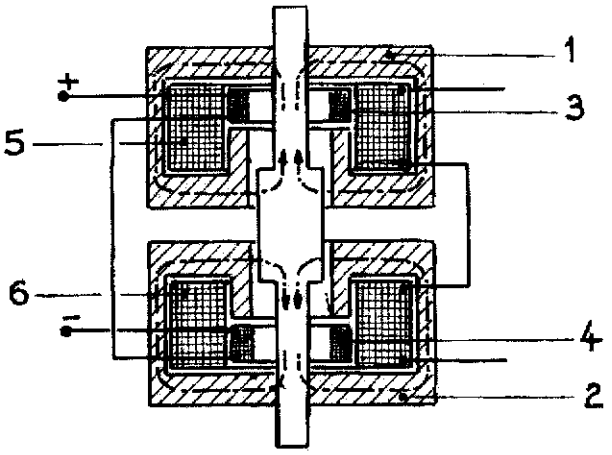


Fig. 5.21. — Régulateur électro-magnétique Riva. Mécanisme d'asservissement dynamique.

Le déplacement du noyau magnétique mobile relié au servomoteur fait varier simultanément et dans le sens opposé la réluctance des deux circuits magnétiques et, en conséquence, les flux magnétiques correspondants, le courant de champ étant constant. En effet, la connexion en série des deux bobines de champ fait que dans ces bobines sont induites des forces électro-motrices de sens opposé qui s'annulent réciproquement et qui n'influent donc pas sur le courant d'excitation des électro-aimants. La variation des flux engendre dans les bobines secondaires des forces électro-motrices qui s'ajoutent et qui sont proportionnelles à chaque instant à la vitesse de déplacement du noyau et dont le signe correspond au sens du déplacement.

Un asservissement statique local est assuré par l'intermédiaire du variomètre *E*.

Les appareils *I* et *K*, susceptibles de commande à distance, concernent le premier, le réglage de vitesse et de charge, le second, le limiteur d'ouverture. Par le dispositif *O* le régulateur peut tenir compte d'une influence extérieure au groupe, dans le cas de figure c'est le niveau amont ou celui dans une cheminée d'équilibre qui a été pris comme exemple.

5.4. Alimentation en huile sous pression.

5.4.1) *Groupes de pompage simples.*

La pompe est en général du type volumétrique (à pistons, à engrenages ou à vis) et se trouve entraînée par l'arbre de la turbine ou, plus rarement, par un

moteur électrique. Souvent, une seconde pompe, plus petite, entraînée électriquement sert de pompe de démarrage et de secours.

Sauf pendant les manœuvres de vannage, l'huile produite par la pompe passe par une soupape de sûreté (à l'exception du débit relativement faible qui alimente les divers relais à huile) et, par conséquent, s'échauffe ce qui nécessite un dispositif de refroidissement (serpentin à eau placé dans le bac à huile). On voit donc que le mécanisme exige en permanence une absorption de puissance par la pompe égale à celle demandée par la manœuvre du vannage effectuée dans le temps prévu. (Fig. 5.24.*a*).

5.4.2) *Groupes de pompage à accumulation.*

Dans les installations importantes le gaspillage d'énergie serait inadmissible et les pompes devraient être trop puissantes, d'où l'utilisation d'un accumulateur à huile sous pression ou cloche à air. On n'a alors besoin que d'une pompe relativement peu puissante, capable seulement de regonfler l'accumulateur en un temps qui est de l'ordre de 10 à 20 secondes, lorsque celui-ci vient d'effectuer une manœuvre et d'assurer les fuites des divers relais.

L'huile accumulée dans la cloche suffit, en général, pour effectuer deux ou trois manœuvres totales. Un robinet d'isolement empêche qu'en cas d'arrêt de la pompe l'air de la cloche se vide par les tuyauteries. Un groupe compresseur alimente la cloche en air. En effet, l'air étant soluble dans l'huile et s'émulsionnant facilement se trouve peu à peu entraîné hors de la cloche.

Pour économiser encore l'énergie de pompage on peut employer divers artifices. Le moteur d'entraînement peut être muni d'interrupteurs provoquant l'arrêt lorsque le niveau d'huile est au maximum et la mise en marche lorsqu'il atteint le minimum. Dans ce cas, pour plus de sécurité, une petite pompe toujours en service alimente les fuites et peut éventuellement regonfler lentement l'accumulateur. Dans d'autres cas la pompe tourne continuellement mais, lorsque l'huile atteint son niveau maximal dans l'accumulateur, une soupape de décharge s'ouvre et la pompe tourne à vide. (Fig. 5.30). La soupape se referme lorsque le niveau est descendu au minimum. Cette soupape se trouve commandée soit par un niveau à flotteur soit par un manomètre.

Dans certaines installations on fait l'économie d'un groupe compresseur d'air : lorsqu'il manque de l'air dans la cloche c'est que l'huile est montée trop haut dans l'accumulateur, le bac s'est donc vidé, la pompe à huile dont la crépine est placé au niveau voulu est agencée de manière à pouvoir pomper de l'air pendant un certain temps et c'est elle-même qui effectue l'introduction d'air sous pression dans la cloche.

Tous ces organes accessoires nécessaires aux groupes de pompage à accumulation font que ceux-ci ne sont employés que lorsque l'installation en vaut la peine.

5.5 Dispositifs de sécurité

Il faut pouvoir, en cas d'incident sérieux, provoquer la fermeture du vannage, soit à la main, soit à distance par un électro de sécurité branché sur un certain nombre de détecteurs d'incidents (sondes thermo-électriques placées sur les pivots et paliers détectant un mauvais fonctionnement de ceux-ci, détecteurs décelant le manque de débit d'huile, de pression d'huile, de débit d'eau de refroidissement, détecteurs de survitesses, etc.).

Ces détecteurs peuvent être de types différents : mais quand le tiroir de distribution est commandé par un relais à fuite d'huile il est commode d'effectuer la fermeture en manœuvrant une valve qui by-passe le diaphragme de relais ce qui a pour effet de pousser le tiroir de distribution dans le sens de fermeture. (Fig. 5.32*b*).

5.6. Exemples de dispositifs de réglage de vitesse.

5.6.1) *Turbines Pelton.*

Deux réglages sont à prévoir, celui du déflecteur et celui du pointeau. Ces deux organes, dont les fonctions sont absolument distinctes, se trouvent couplés de façon telle qu'en régime d'équilibre à chaque position du pointeau correspond une position précise du déflecteur qui place l'arête d'attaque à une faible distance du jet, prêt à y pénétrer et à le dévier sans retard en cas de nécessité. Il est important que le déflecteur ne pénètre dans le jet que si une réduction de puissance ne peut pas être obtenue assez rapidement par la fermeture du pointeau. En effet une intervention trop fréquente du déflecteur dans le jet provoque une dégradation inutile d'énergie et une usure rapide de la roue et du déflecteur lui-même.

Souvent on commande directement l'organe le plus rapide, qui est le déflecteur, par le régleur et son déplacement provoque indirectement celui de l'aiguille. La figure 5.22*a* schématise cette disposition, on peut voir que le tiroir de commande du servomoteur d'injecteur est placé sous la dépendance des mouvements du déflecteur 4 actionné par le servomoteur 6 dont le tiroir 7 est commandé par le pilote du régleur. La came 5 placée dans la tringlerie de commande assure la concordance des positions relatives pointeau déflecteur.

Certains constructeurs craignant un retard dans l'action du pointeau ou l'intervention du déflecteur lors des petits mouvements de vannage préfèrent commander simultanément les deux organes. L'examen de la figure 5.22.*b* montre schématiquement comment cette disposition peut être réalisée.

5.6.1.1) *Réglage indirect d'une turbine Pelton à un injecteur* (Fig. 5.23. Construction des Ateliers de Vevey).

Le tiroir principal 13, sous la dépendance du régleur, du type tachy-accélérométrique, alimente le servomoteur de déflecteur 15. Le mouvement de celui-ci est transmis d'une part au régleur où il introduit le statisme per-

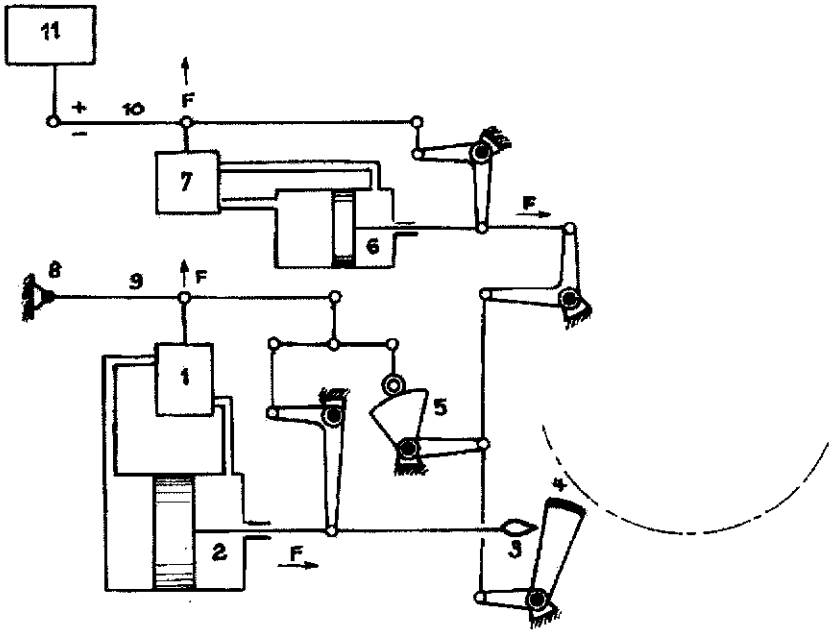


Fig. 5.22. *a.* — Réglage combiné pointeau déflecteur avec commande *indirecte* du pointeau par le déflecteur.

1 : Tiroir de servo-moteur de pointeau. 2 : Servo-moteur de pointeau. 3 : Pointeau. 4 : Déflecteur. 5 : Came de liaison. 6 : Servo-moteur de déflecteur. 7 : Tiroir de (6). 11 : Régleur.

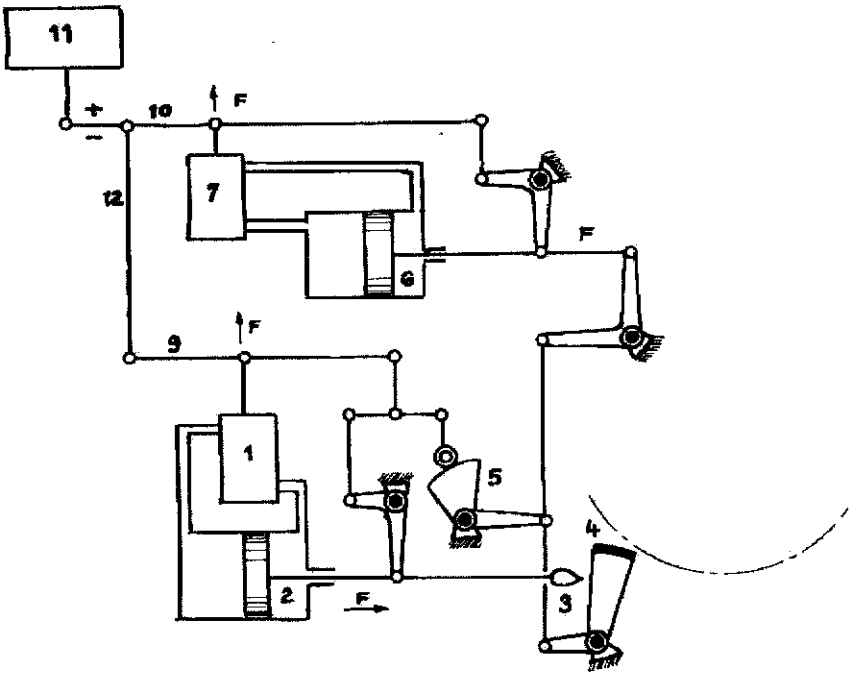


Fig. 5.22. *b.* — Réglage combiné pointeau déflecteur avec commande *directe* du pointeau par le régleur pilote.

1 : Tiroir de servo-moteur du pointeau. 2 : Servo-moteur de pointeau. 3 : Pointeau. 4 : Déflecteur. 5 : Came de liaison. 6 : Servo-moteur de déflecteur. 7 : Tiroir de (6). 11 : Régleur.

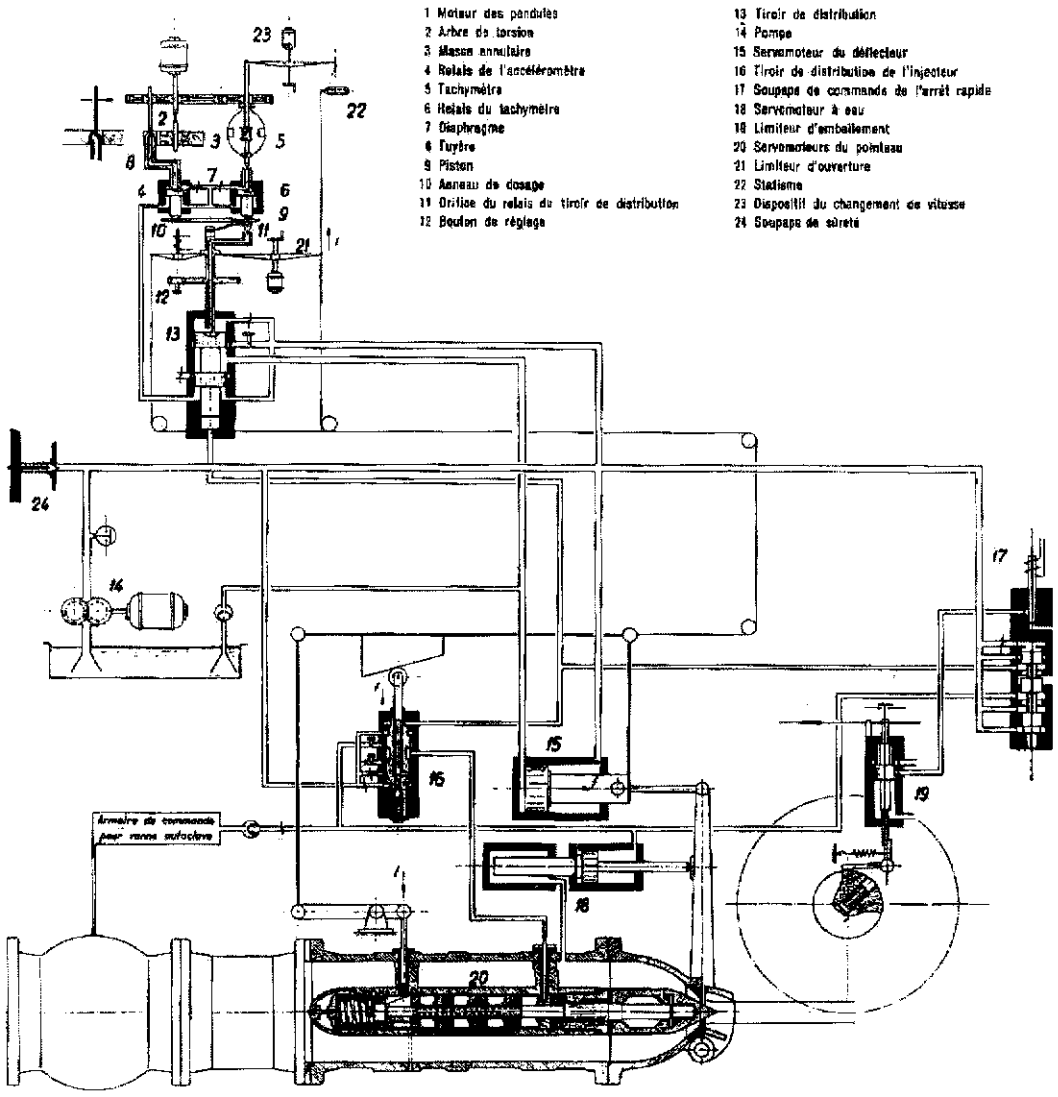


Fig. 5.23. — Schéma de réglage d'une turbine Pelton à un injecteur.
Construction des Ateliers de Vevey.

manent en 22 et où il agit sur le limiteur d'ouverture en 21 et, d'autre part, actionne le tiroir de distribution 16 du servomoteur d'injecteur 20. Cette dernière action s'effectue par l'intermédiaire d'une came soumise également à la liaison d'asservissement du servomoteur d'aiguille.

L'arrêt rapide est provoqué au moyen d'une soupape 17 qui met à l'échappement les tiroirs 13 et 16, soit sous l'action du déclencheur de survitesse 19, soit sous l'action d'un clapet actionné par un électro sous la dépendance des détecteurs d'incidents. La fermeture du déflecteur est assurée par la pression

d'eau dans le cylindre de sécurité 18, celle de l'aiguille par l'action du ressort équilibreur. Une chute de pression d'huile, pour une cause quelconque, provoque également et de la même manière un arrêt rapide.

5.6.1.2) *Réglage direct d'une turbine Pelton à un injecteur* (Fig. 5.24. Construction des Ateliers des Charmilles).

Le tiroir 31 actionné par le pilote du régleur alimente simultanément le servomoteur du déflecteur 34 du type à simple effet à piston différentiel et celui de l'injecteur 37. Les mouvements des deux organes étant conjugués par l'intermédiaire de la came 35 qui actionne une chemise 36 entourant le piston du tiroir principal dans la partie qui assure la commande de l'aiguille.

Le groupe appartient à une centrale particulièrement automatisée et il nous semble intéressant de décrire succinctement le déroulement des opérations de démarrage et d'arrêt de manière à bien montrer le rôle des divers éléments qui apparaissent sur le schéma de réglage et d'automaticité.

Démarrage normal, c'est-à-dire opération pour laquelle les services en courant alternatif de la centrale se trouvent alimentés.

La mise en marche de la moto-pompe 1 provoque la mise sous pression des canalisations 4 contrôlée par le manostat 6. Ce dernier déclenche l'ouverture de la vanne de garde (au moyen d'un dispositif non figuré). Après ouverture de la vanne, l'électro 23 ferme la tuyauterie d'échappement de la soupape 24 ce qui a pour effet :

— d'alimenter le moteur de sécurité 26 qui libère la pédale 29 de blocage du déflecteur,

— de fermer la tuyauterie de mise à l'échappement de la chambre 27 du servomoteur de déflecteur,

— de fermer la tuyauterie reliant 24 au régleur.

Le tiroir 31 peut alors être actionné (à partir du dispositif de réglage de vitesse) ce qui provoque les mouvements d'ouverture des servomoteurs de déflecteur et d'aiguille et le démarrage de la turbine.

Au début de celui-ci la pompe mécanique 38 refoule à travers l'orifice calibré du clapet 39 et fonctionne en circuit fermé, lorsque la vitesse est suffisante 39 s'ouvre sous l'effet de la pression d'huile et la pompe alimente le circuit 4. Le manostat 40 arrête alors la pompe électrique, remarquer que le même manostat remet la dite pompe en marche en cas de défaillance de la pompe 38.

Démarrage dans le cas où le service en courant alternatif n'est pas assuré.

La pression d'huile doit être établie par la pompe mécanique 38, il faut pour cela entraîner la turbine par un injecteur auxiliaire 43, c'est la soupape 42 actionnée par un électro alimenté par une batterie d'accumulateurs qui permet l'alimentation du cylindre de manœuvre de 43 en eau sous pression provenant de la conduite principale. Lorsque la pression donnée par la pompe mécanique devient suffisante le cycle des opérations reprend comme ci-dessus. Toutefois,

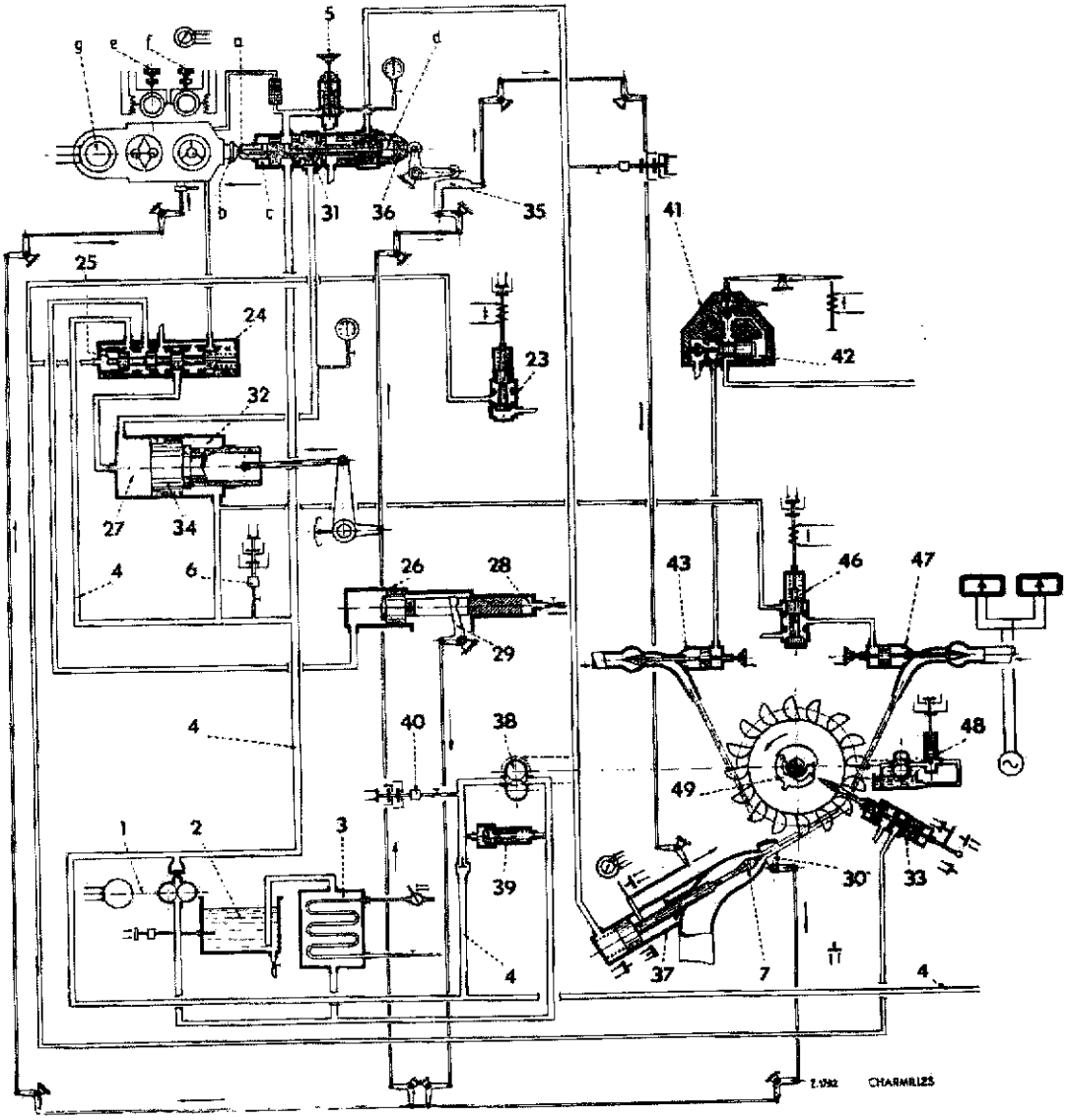


Fig. 5.24. *a*. — Schéma de réglage et d'automaticité d'une turbine Pelton à un injecteur. Construction des Ateliers des Charmilles.

1 : Electro-pompe à huile. 2 : Bac à huile. 3 : Serpentin de refroidissement d'huile. 4 : Canalisation d'huile sous pression. 5 : Soupape de décharge (réglage de la pression d'huile). 6 : Manostat. 7 : Injecteur principal. 23 : Soupape de décharge à commande magnétique. 24 : Soupape principale. 25 : Chambre de commande de 24. 26 : Cylindre à huile du moteur de sécurité. 27 : Cylindre à pression variable du servomoteur de déflecteur. 28 : Cylindre à eau du moteur de sécurité. 29 : Levier de verrouillage du déflecteur. 30 : Déflecteur. 31 : Tiroir de commande. 32 : Cylindre à pression constante du servomoteur de déflecteur. 33 : Limiteur d'emballement. 34 : Piston du servomoteur dedéflecteur. 35 : Came de conjugaison des mouvements du déflecteur et de l'aiguille. 36 : Fourreau commandé par 35. 37 : Servomoteur d'injecteur. 38 : Pompe à huile à commande mécanique. 39 : Clapet de 38. 40 : Manostat de 38. 41 : Soupape de commande de la pression d'eau. 42 : Piston de 41. 43 : Injecteur auxiliaire. 46 : Soupape de commande du contre-jet. 47 : Contre-jet. 48 : Dispositif provoquant la fermeture de 47. 49 : Masselotte de déclenchement de 33.

a : Fuite du relais du tiroir. *b* : Pilote du régleur. *c* : Chambre à pression variable du relais à fuite du tiroir. *d* : Chambre à pression constante du dit relais. *g* : Moteur d'entraînement du régleur. e : Changement de vitesse. f : Limiteur d'ouverture.

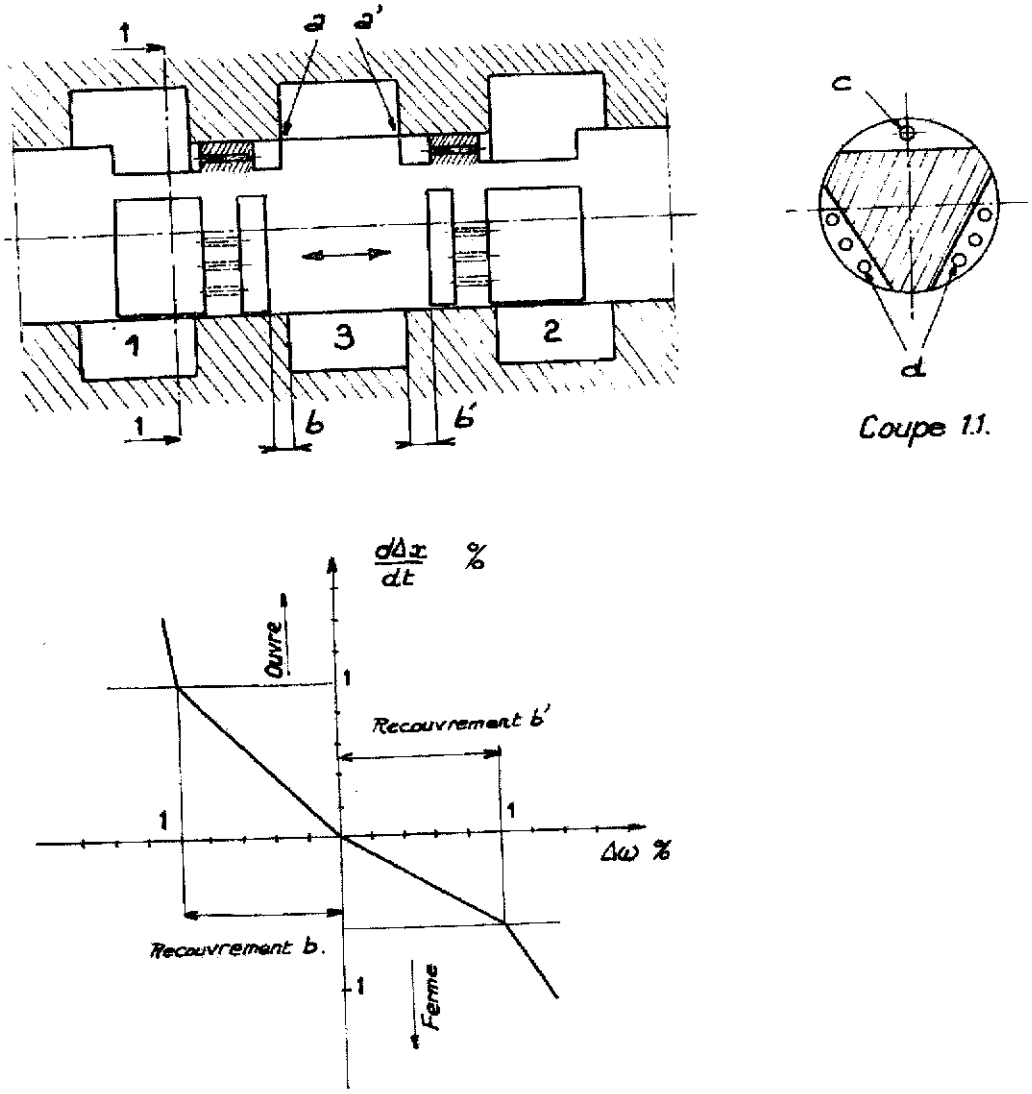


Fig. 5.24. *b*. — Tiroir à double recouvrement et sa loi de réponse.

en fin d'ouverture de la vanne de garde, un électro provoque le fonctionnement de la soupape 42 et la fermeture de l'injecteur auxiliaire.

Arrêt normal. Après décharge et découplage de l'alternateur les manœuvres suivantes s'opèrent simultanément :

— désexcitation du relais de 23, ce qui provoque le déplacement vers la gauche du tiroir de 24, avec pour effets : mise à l'échappement de la chambre 27 et du relais *b* du régleur entraînant le déplacement du tiroir 31 d'où : fermeture du déflecteur et de l'injecteur, mise à l'échappement du moteur de sécurité 26 dont le fonctionnement verrouille le déflecteur,

— fermeture de la vanne de garde (par un dispositif non représenté),

— mise sous tension de l'électro du relais 46 qui autorise l'ouverture du contre jet de freinage, la durée de fonctionnement de ce dernier est contrôlée par le dispositif 48, qui provoque la fermeture de cet injecteur lorsque le groupe s'arrête.

Au cours du ralentissement la soupape 39 a provoqué la permutation entre la pompe mécanique 38 et la pompe électrique 1 de façon à maintenir la pression d'huile jusqu'à l'arrêt complet.

Si, en cours de marche, une sécurité demande l'arrêt immédiat de la turbine, elle déclenche automatiquement toutes les opérations mentionnées ci-dessus pour l'arrêt du groupe avec, en plus, l'ouverture du disjoncteur principal et la désexcitation de l'alternateur.

Un limiteur d'emballement 33 agit, lorsque la survitesse atteint 35 %, de la même façon que le relais 23 sur la soupape 24 ce qui provoque l'abaissement du déflecteur et la fermeture de l'injecteur, un contact électrique commande en plus l'arrêt normal de la machine.

Remarque. — Le tiroir du servomoteur d'injecteur est du type à double recouvrement, nous avons montré les raisons de cette disposition au paragraphe 5.2.4. La figure 5.24.*b* indique la réalisation pratique et la courbe de réponse obtenue.

5.6.1.3) *Réglage des turbines Pelton comportant plusieurs injecteurs.*

Les déflecteurs sont souvent actionnés par le même servomoteur, par contre chaque injecteur possède, dans la plupart des cas, son propre servomoteur.

Dans le schéma de la figure 5.25.*a* les deux servomoteurs d'injecteurs sont commandés simultanément à partir du mouvement des déflecteurs, deux tiroirs à commande magnétique 8 et 11 permettent toutefois de mettre hors service l'un ou l'autre des injecteurs (Ateliers de Vevey). Par contre dans l'installation 5.25.*b* le servomoteur commun aux deux déflecteurs et l'un des injecteurs sont commandés directement par le régleur. Le second pointeau est actionné indirectement à partir du mouvement du premier. Le mécanisme est étudié afin de permettre la mise en ou hors service de l'injecteur 2 par le dispositif 9 sans introduire de troubles dans la marche du groupe (Ateliers des Charmilles).

La figure 5.25.*c* représente le schéma de réglage d'une Pelton verticale à cinq injecteurs, le régleur actionne directement le servomoteur unique des cinq déflecteurs et chacun d'eux commande, par l'intermédiaire d'une tringlerie et d'une came de liaison, le tiroir du servomoteur de son propre injecteur (Neyrpic constructeur).

Lorsqu'une turbine Pelton à deux injecteurs est appelée à fonctionner à des charges très variables on a intérêt à prévoir une disposition de réglage permettant suivant l'état de la charge une marche à un ou deux jets. Il suffit de consulter les courbes de rendement dans les fonctionnements avec un ou deux jets (Fig. 5.26) pour se rendre compte que au-dessous d'un certain point dit « point de permutation » on a intérêt à arrêter l'un des injecteurs et qu'au-dessus

a

b

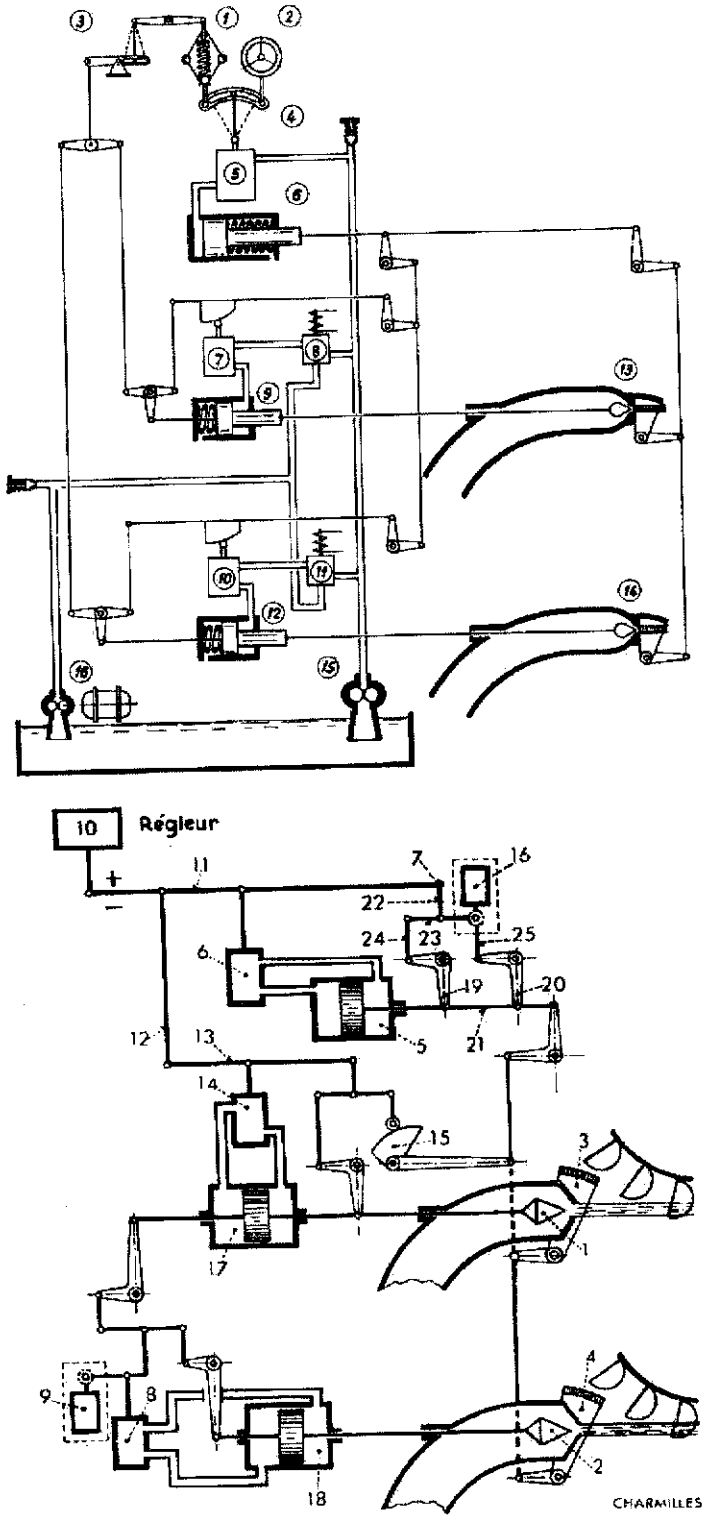


Fig. 5.25. — Schémas de réglage simplifiés de turbines Pelton à deux injecteurs. (*a* : Réalisation Ateliers de Vevey. *b* : Réalisation Ateliers des Charmilles).

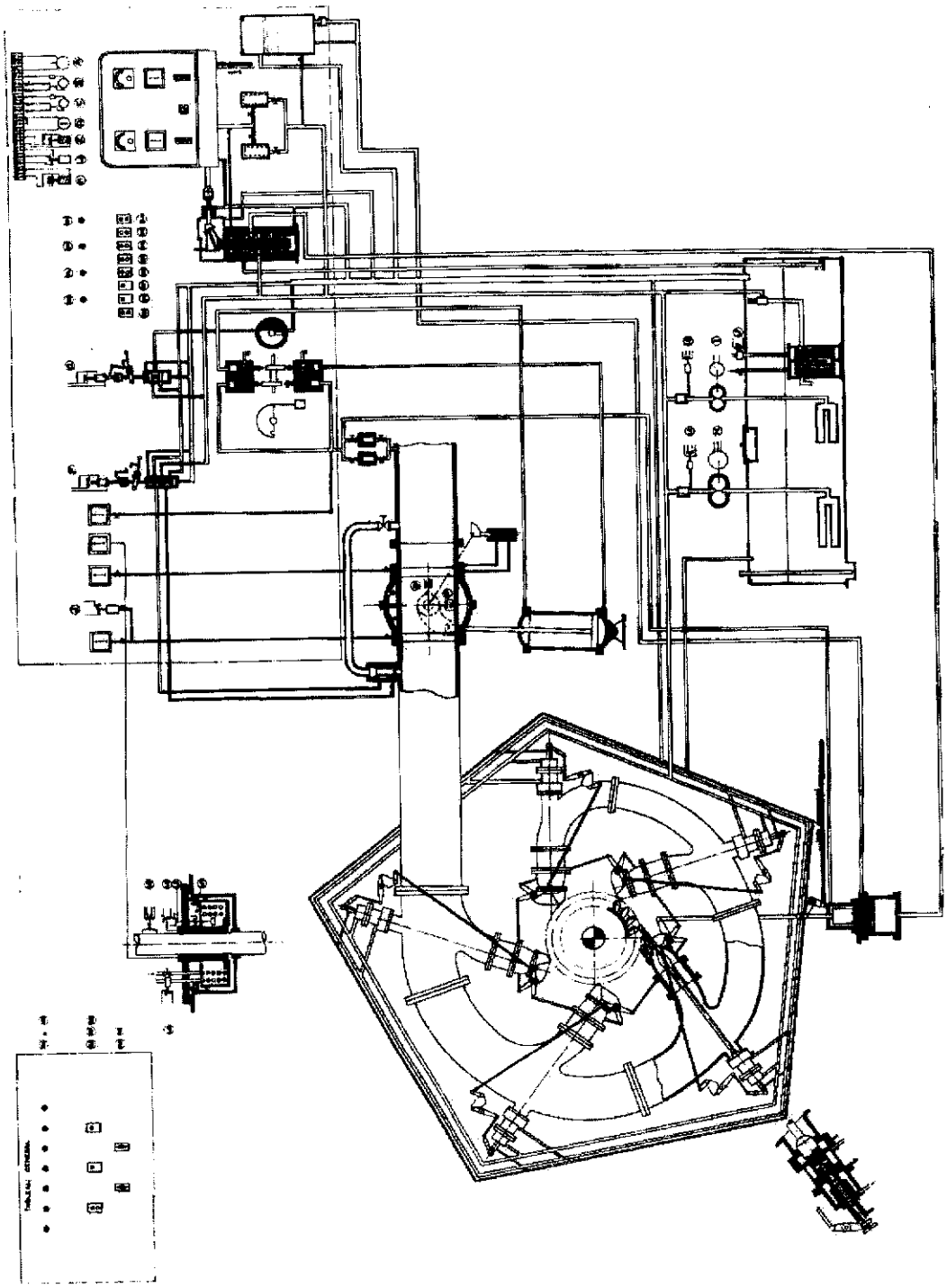


Fig. 5.25. c. — Schéma de réglage d'une turbine Pelton verticale à cinq injecteurs. Neyrpic constructeur.

la marche avec les deux provoque une augmentation de rendement. Ce passage au point de permutation doit s'effectuer automatiquement sans perturber le fonctionnement de la machine. Nous allons voir, à l'aide d'un exemple détaillé, comment s'opère le réglage d'une turbine à deux injecteurs ou, plus exactement, d'un groupe constitué de deux turbines à un injecteur (Fig. 5.28). Réalisation des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey.

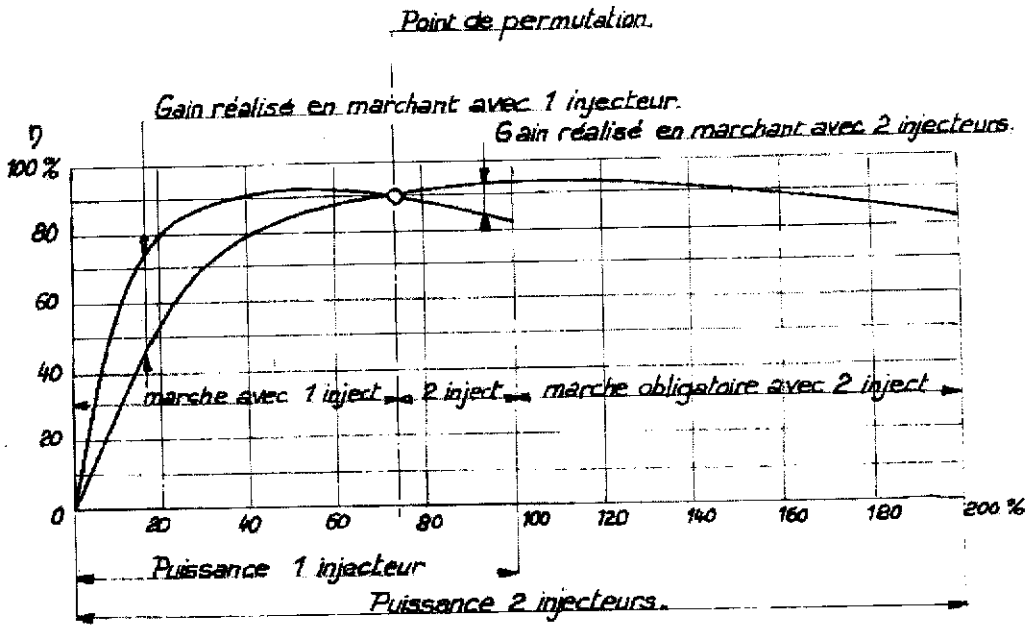


Fig. 5.26. — Rendement en fonction de la charge pour la marche avec un ou deux injecteurs.

La turbine comporte deux roues à un jet placées en porte à faux de chaque côté de l'alternateur. On remarquera la parfaite symétrie des équipements de chacune des turbines élémentaires qui comportent chacune un servomoteur à huile de réglage de déflecteur 29, un moteur à eau d'arrêt de déflecteur 31, un servomoteur d'injecteur 33 et son tiroir de distribution 19, un relais de permutation 21. Par contre, le régleur, le tiroir principal de distribution 16, la commande de l'arrêt rapide 22 sont communs.

Le réglage de la turbine est obtenu par les servomoteurs des déflecteurs 29 qui commandent les servomoteurs des injecteurs 33 par l'intermédiaire des cames 20 et des distributeurs 19. La course du piston du servomoteur de déflecteur peut donc, en régime stable, servir de mesure à la puissance de la turbine correspondante.

La mise hors service de l'une des deux turbines est réalisée au moyen du moteur 31 en supprimant la pression d'huile dans le cylindre correspondant, la pression d'eau dans l'autre cylindre ne se trouvant plus équilibrée amène le servomoteur 29 dans la position correspondant à la fermeture. Remarquer que 29 reste toujours en communication hydraulique avec le tiroir 16, de sorte que si

l'on rétablit la pression d'huile dans 31 le servomoteur 29 est libéré et prêt à fonctionner.

Nous venons de voir que la mise hors service de l'une des deux turbines se fait en supprimant la pression d'huile dans le cylindre 31. Examinons maintenant de quelle manière cette manœuvre est rendue automatique. Il faut d'abord mesurer la puissance totale du groupe. Cette mesure est réalisée au moyen du balancier 15 dont chaque extrémité est reliée mécaniquement à l'un des servomoteurs 29. Le déplacement du milieu du balancier mesure la puissance totale du groupe tandis que son inclinaison est proportionnelle à la différence de puissance des deux turbines. Lorsque la puissance effective du groupe est inférieure à 45 % de la puissance nominale, le balancier 15 actionne un contact électrique non représenté sur le schéma qui, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, fait déplacer le piston du petit distributeur 21 qui met à l'échappement le cylindre 31. Lorsque la puissance fournie par le groupe augmente à nouveau et atteint environ 50 % de la puissance nominale, les manœuvres se font en sens inverse et la turbine hors service est remise en service. Mais il reste encore à égaliser la charge entre les deux machines. Cette manœuvre est aussi obtenue par le balancier 15 dont l'inclinaison actionne le distributeur 17 qui provoque le déplacement des pistons des servomoteurs jusqu'à ce que les charges des deux turbines soient égales.

Signalons également que le balancier 15 agit aussi sur le régleur de façon à créer le statisme indispensable à la répartition des puissances de tous les groupes débitant sur le réseau.

Pour pouvoir réduire la puissance des pompes principales 23, 24, on a branché en parallèle un accumulateur hydraulique 27, dont le but est de compléter le débit de la pompe lors des grands mouvements de réglage ou encore de remplacer celle-ci pendant un court arrêt.

Ce réglage peut également être étendu à un groupe consitué de deux turbines à deux jets, dans ce cas les deux injecteurs et les deux déflecteurs d'une même turbine sont respectivement reliés rigidement entre eux et fonctionnent d'une manière identique, le groupe marchant avec une ou deux turbines en action.

5.6.2) *Turbines Francis.*

La turbine Francis ne possède qu'un seul organe à régler, le distributeur à ailettes mobiles actionné au moyen de un ou deux servomoteurs qui sont souvent du type à double effet : figures 5.29 et 5.30. Le schéma de régulation est donc relativement simple et ne se complique que lorsque la turbine possède un déchargeur (Fig. 5.31).

5.6.2.1) *Réglage d'une turbine Francis ne comportant pas de déchargeur.* Alimentation en huile par groupe à accumulation. Construction Jeumont-Riva (Fig. 5.30).

Les servomoteurs de vannage sont au nombre de deux (seul le servomoteur 3 est représenté) alimentés en parallèle à partir du tiroir 2, sous la dépendance du

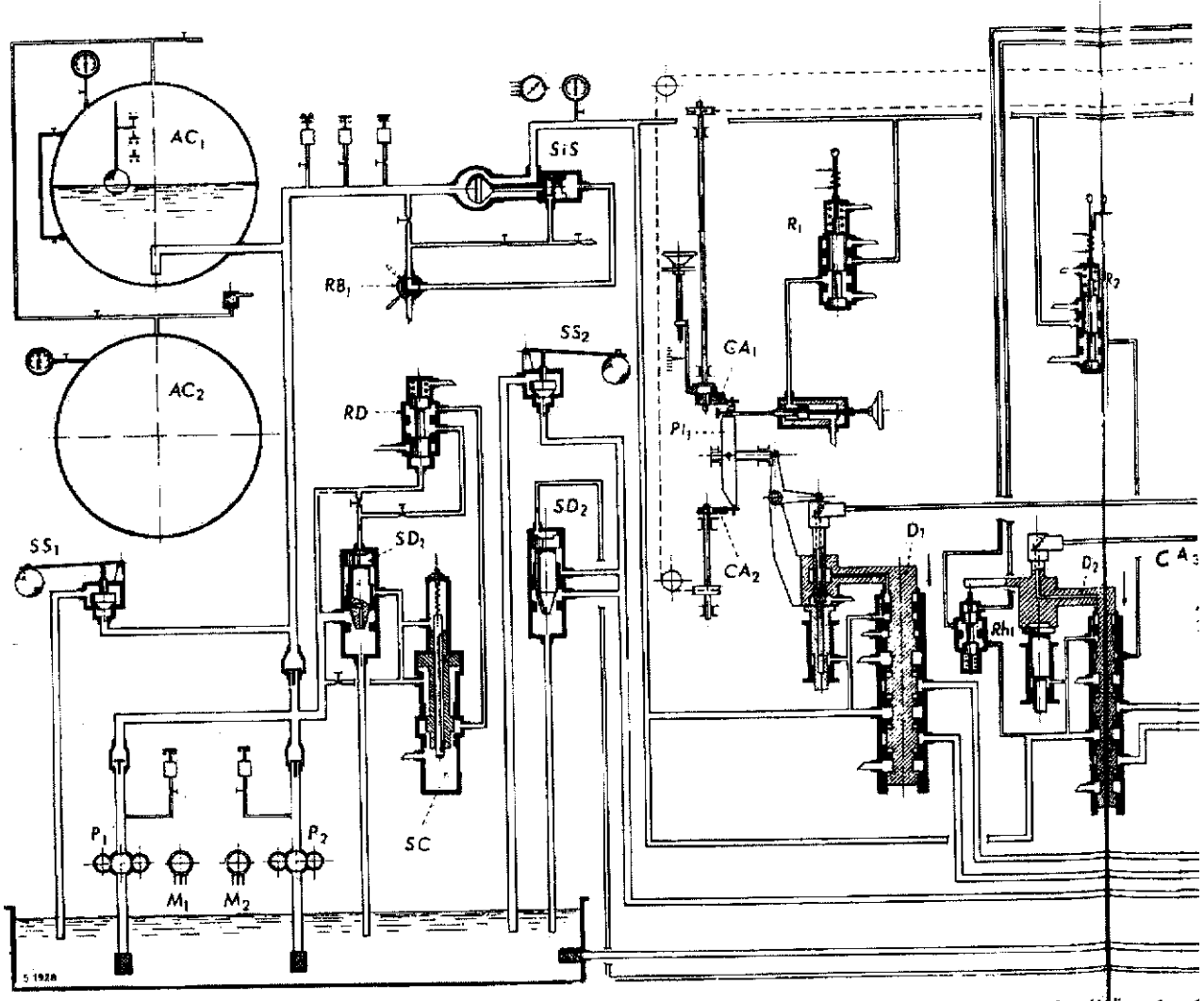
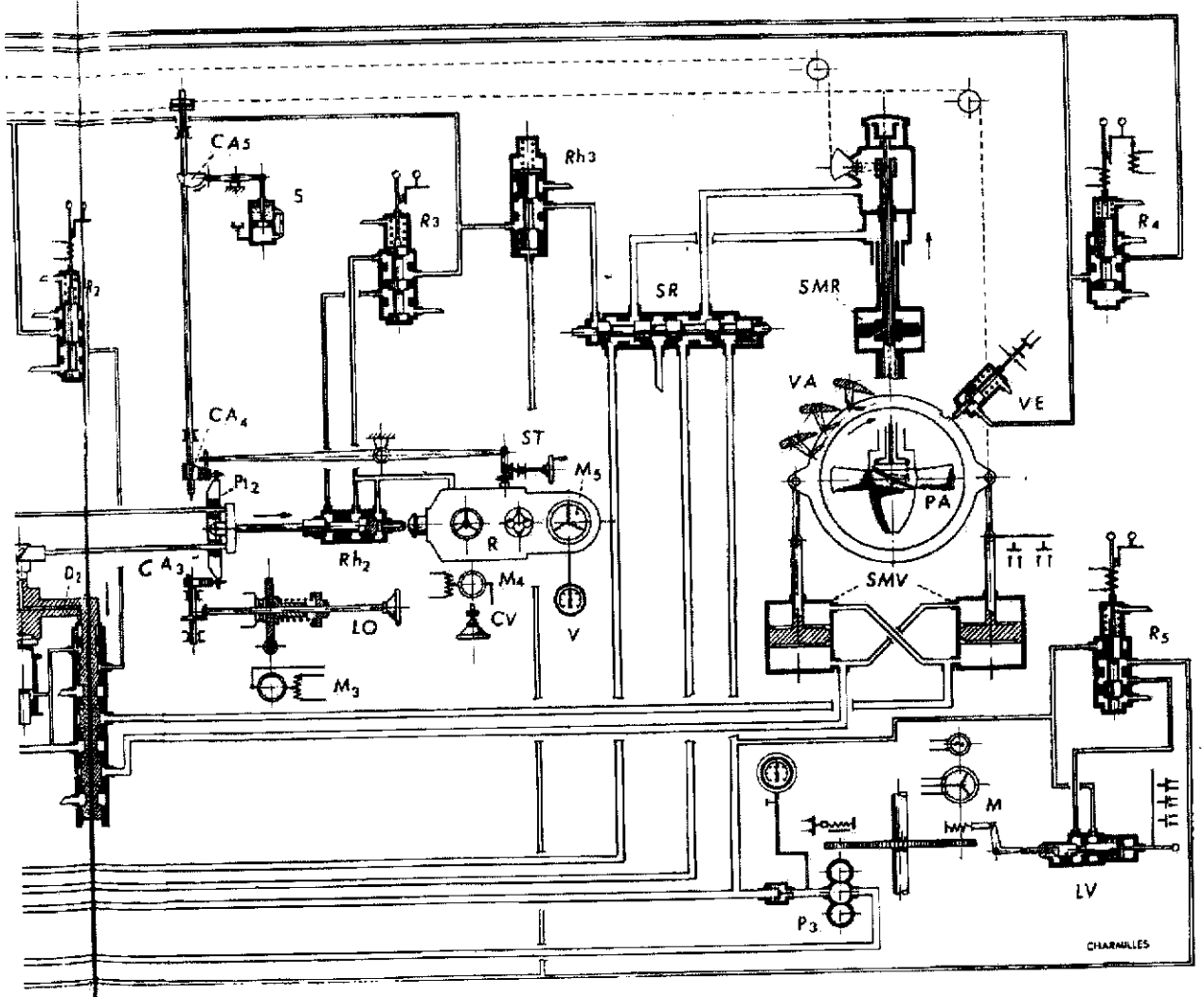


Fig. 5.27. — Schéma de réglage d'une turbine Kaplan (Ateliers des C



aplan (Ateliers des Charmilles) voir description paragraphe 5.6.3.2.

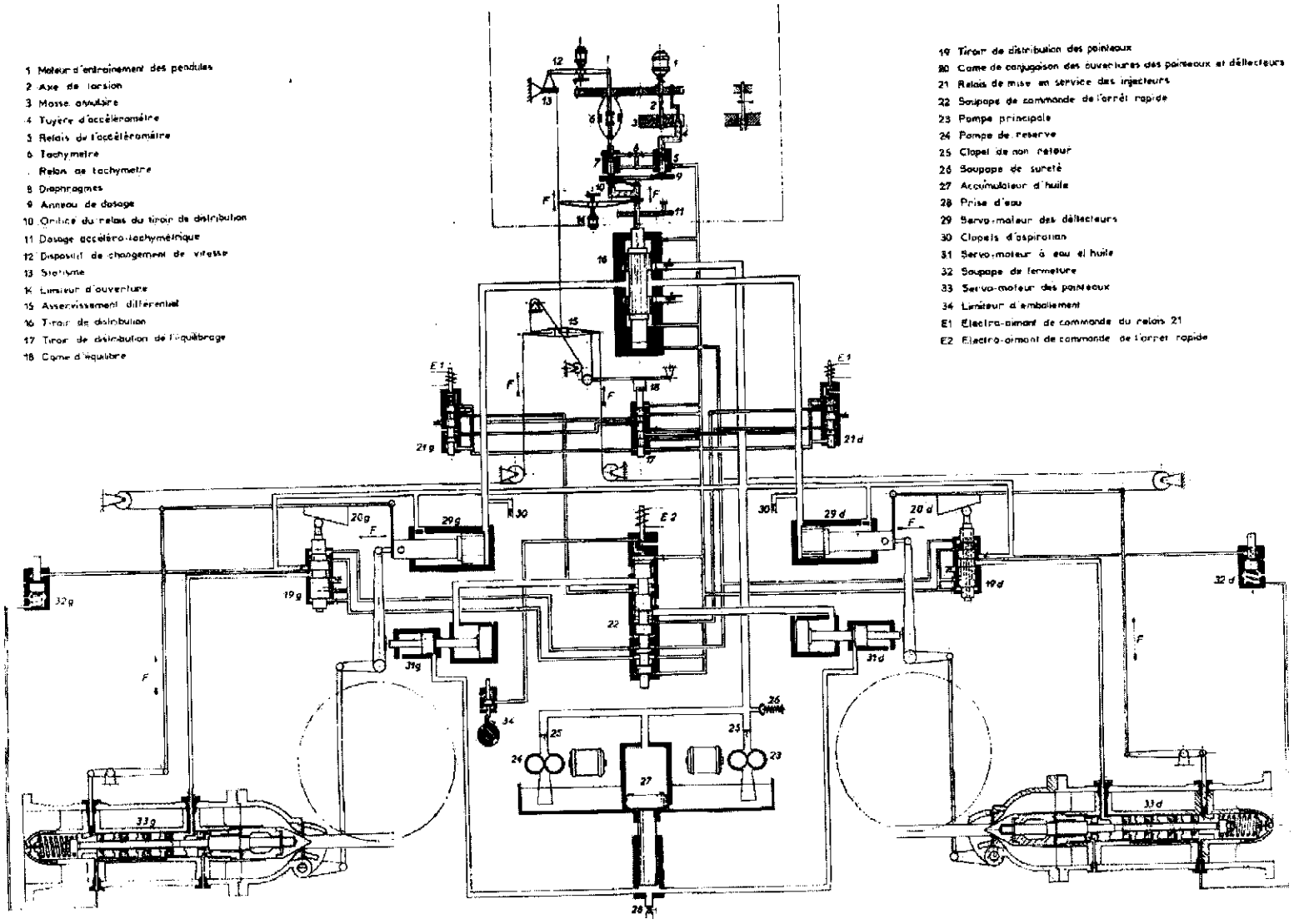


Fig. 5.28. — Schéma de réglage d'une turbine Pelton à deux injecteurs. Ateliers de Vevey.

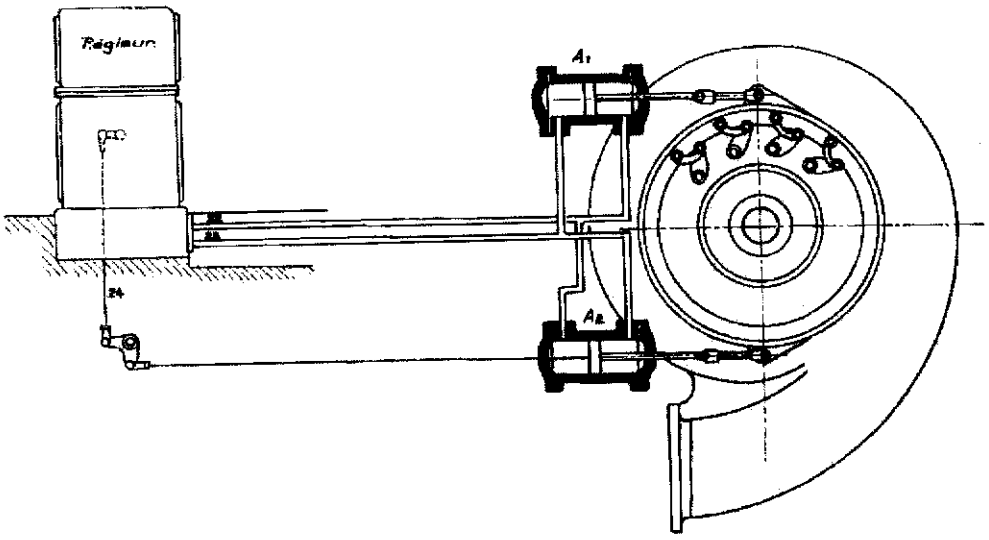


Fig. 5.29. — Commande d'une turbine Francis par un régleur Neyrpic.

A_1, A_2 : Servomoteurs de vannage. 24 : Liaison d'asservissement.

régleur 1, en 4 la liaison d'asservissement. L'huile est fournie par un groupe à accumulation, lorsque le niveau d'huile dans la cloche est suffisamment élevé une électro-vanne d'intermittence met la pompe à l'échappement.

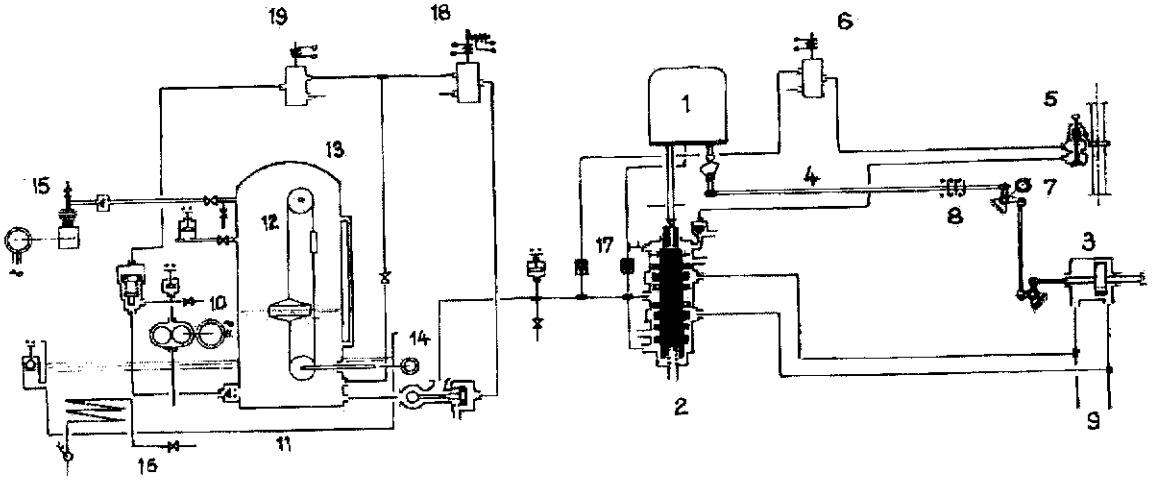
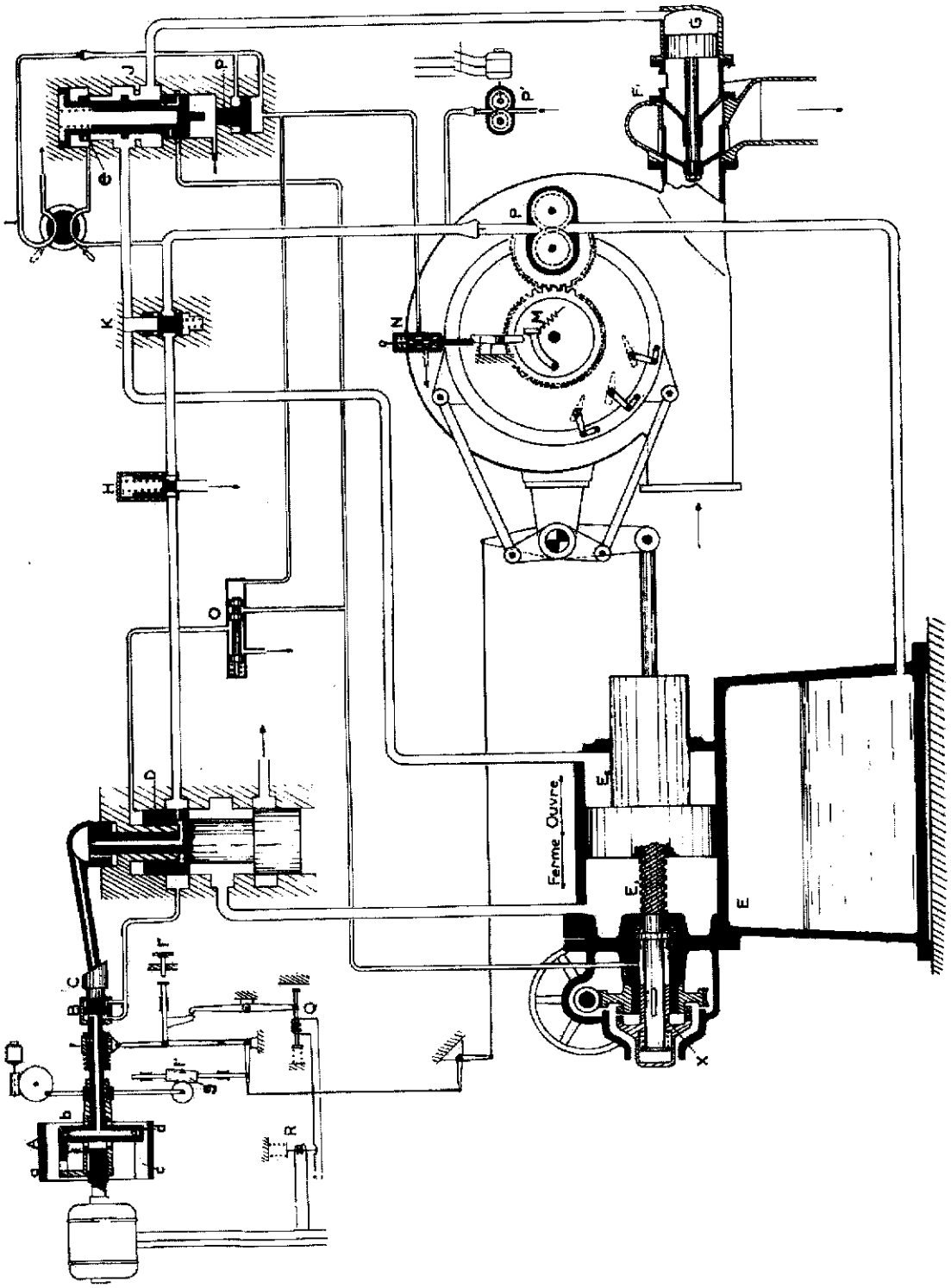


Fig. 5.30. — Schéma de réglage d'une turbine Francis. Jeumont-Riva constructeurs.

1 : Régleur. 2 : Tiroir principal. 3 : Servo-moteur. 4 : Liaison d'asservissement. 5 : Relais de survitesse. 6 : Arrêt d'urgence. 7 : Transmetteur de position de vannage. 8 : Contacts de position. 9 : Alimentation du second servomoteur. 10 : Pompe à huile. 11 : Bac à huile. 12 : Niveau à contacts. 13 : Accumulateur huile-air. 14 : Transmetteur de niveau d'huile. 15 : Moto-compresseur d'air. 16 : Réfrigération de l'huile. 17 : Filtre. 18 : Mise en pression du régulateur. 19 : Electro-vanne d'intermittence.

Fig. 5.28. — Schéma de réglage d'une turbine Pelton à deux injecteurs. Ateliers de Vevey.


Ferme
Ouvre

5.6.2.2) *Réglage d'une turbine Francis munie d'un orifice compensateur.* Construction Ateliers des Charmilles (Fig. 5.31).

La chambre à pression variable E_1 du servomoteur de vannage, du type différentiel à simple effet, est alimentée par le tiroir D placé sous la dépendance du régleur. La chambre à pression constante E_2 du même servomoteur est en communication avec le cylindre G du déchargeur, la pression de la pompe à huile appliquée dans le circuit de ces deux organes à travers l'orifice e de la soupape J maintient fermé l'orifice compensateur qui a une tendance naturelle à ouvrir.

Lors des petits écarts de réglage, en particulier lors des petits mouvements de fermeture, e permet l'alimentation de E_2 sans chute de pression appréciable. Mais il n'en est pas de même lors d'un grand écart ayant pour conséquence la mise à l'échappement en grand de l'espace gauche du cylindre de servomoteur entraînant une baisse accentuée de la pression dans l'espace droit : e n'est plus suffisant pour laisser passer le débit d'huile nécessaire à la manœuvre, la chute de pression dans l'espace E_2 se répercute dans le cylindre de l'orifice compensateur, celui-ci s'ouvre et l'huile refoulée par la pression d'eau contribue au mouvement du servomoteur. L'orifice compensateur joue ainsi le rôle d'accumulateur. Le mouvement de vannage terminé, le déchargeur se referme lentement sous l'action de l'huile sous pression passant par l'orifice e.

Pendant un mouvement d'ouverture la soupape K s'ouvre sous l'effet de l'augmentation de pression qui se produit en E_2 et permet à l'huile refoulée par le piston du servomoteur de passer en E_1 par l'intermédiaire du distributeur.

La manœuvre du robinet I fait descendre la soupape J au contact du piston p maintenu soulevé par la pression d'huile, la commande à main se trouve embrayée tandis que la communication entre E_2 et G est coupée, maintenant le déchargeur en position de fermeture.

Le limiteur de survitesse provoque, par le fonctionnement de la soupape N, le déplacement du tiroir O, ce qui entraîne la descente du tiroir D et la fermeture de la turbine. Le déclenchement de N provoque aussi la chute de pression sous p et la descente de cette butée libérant la soupape J qui, en cas de manque de pression d'huile, descend également à fond de course et rétablit la communication entre E_2 et G, le déchargeur en s'ouvrant fait office d'accumulateur à huile pour débrayer la commande à main et fermer le moteur de vannage.

Fig. 5.31 (ci-contre). — Réglage d'une turbine Francis avec orifice compensateur. Construction Ateliers des Charmilles.

A : Régleur. B : Relais à huile. C, D : Distributeur principal. E : Moteur à pression d'huile. E_1 : Cylindre à pression variable. E_2 : Cylindre à pression constante. F : Déchargeur. G : Cylindre à huile du déchargeur. H : Soupape de décharge. J : Soupape de blocage. K : Soupape de communication. I : Robinet d'inversion. M : Déclencheur de survitesse. O : Tiroir du déclencheur. P, P' : Pompes à huile. Q : Electro du dispositif de retour à l'ouverture de marche à vide. R : Relais à minima de tension. X : Piston d'enclenchement de la commande à main.

a : Masse accélérométrique. b : Tuyère tachymétrique. d : Tuyère accélérométrique. c : Sa rainure. g : Statisme, f, f', f'' : Mécanisme limiteur d'ouverture.

5.6.3) *Turbines Kaplan.*

Deux réglages sont à prévoir, celui du distributeur et celui des pales de la roue. Ces deux réglages peuvent être commandés simultanément par le régleur, mais il est également possible d'assurer la commande des pales à partir de celle du distributeur. Les positions respectives des deux organes doivent être conjuguées pour obtenir le rendement optimal sous toutes les charges, cette conjugaison est habituellement réalisée au moyen d'une came.

5.6.3.1) *Réglage d'une turbine Kaplan par un régleur Neyrpic SE.* 40.45 (Commande des pales à partir du distributeur) Figures 5.32 *a* et *b*.

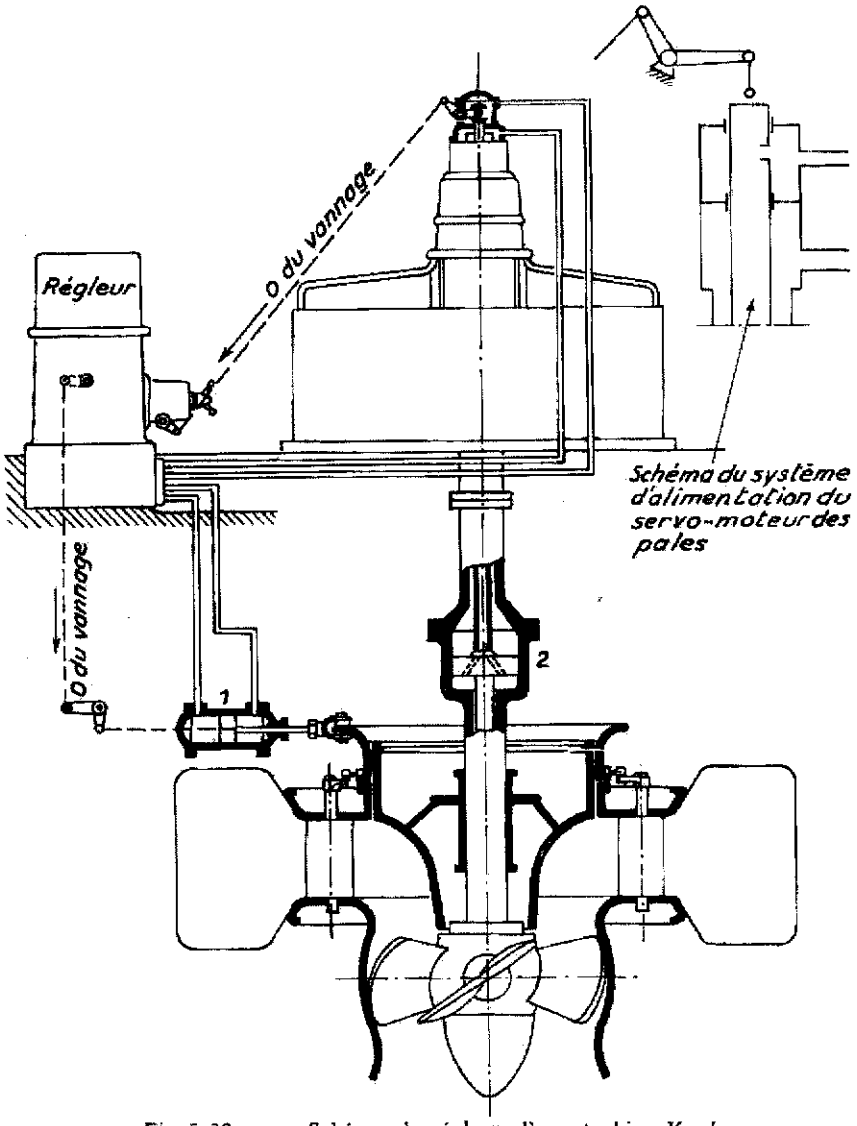


Fig. 5.32. *a.* — Schéma de réglage d'une turbine Kaplan.
1 : Servomoteur de vannage. 2 : Servomoteur des pales.

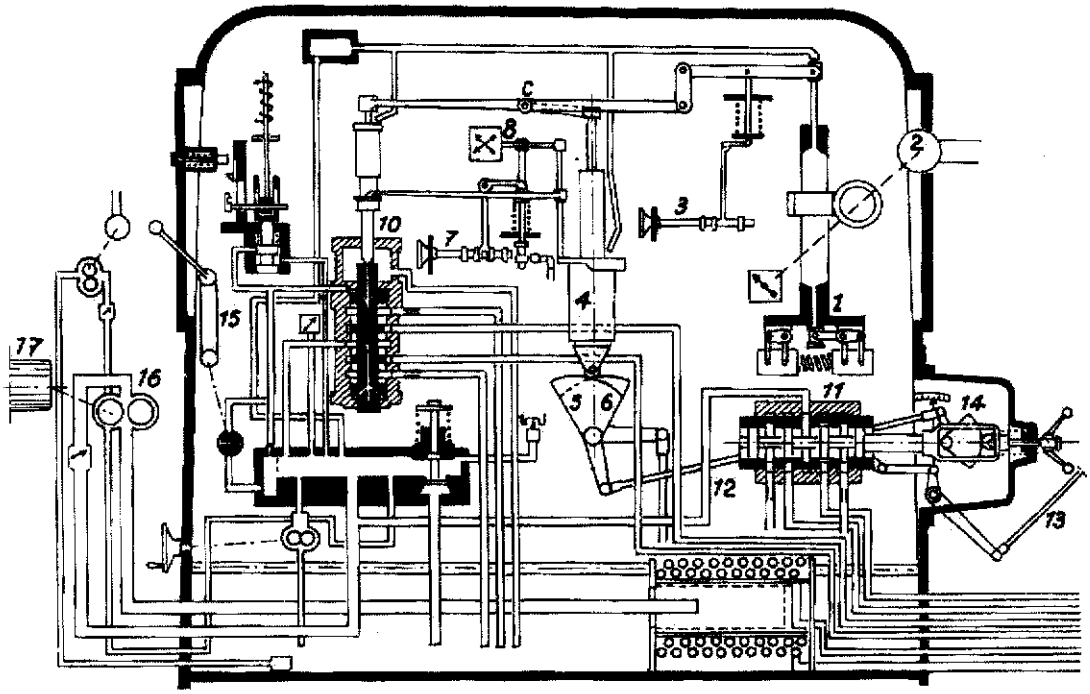


Fig. 5.32. *b*. — Réglage d'une turbine Kaplan par un régleur Neyrpic SE. 40. 45.

1 : Tachymètre et son moteur 2. 3 : Réglage de vitesse. 4 : Colonne d'asservissement et de statisme, et cames 5 et 6. 7 et 8 : Limiteur et indicateur d'ouverture. 10 : Tiroir de commande des directrices. 11 : Tiroir de commande des pales, sa commande 12, son asservissement 13. 14 : Came de conjugaison. 15 : Arrêt rapide. 16 : Pompe principale. 17 : Turbine.

Le servo-moteur des directrices, du type à double effet, est alimenté par le tiroir 10 commandé par le régleur au moyen d'un relais à fuite. La commande du tiroir 11 du servomoteur des pales est empruntée à la liaison d'asservissement 12 du servomoteur des directrices. Cette commande est assurée par l'intermédiaire de la came de conjugaison 14. L'asservissement du servomoteur des pales est réalisé par le mouvement de la chemise coulissante entourant le piston du tiroir 11.

Le régleur SE 40.45, antérieur au régleur type 570, est du modèle tachymétrique à asservissement temporaire et correspond assez exactement au schéma de la figure 1.21. Le lecteur en reconnaîtra facilement les divers éléments.

5.6.3.2) *Réglage d'une turbine Kaplan avec commande simultanée du distributeur et des pales de la roue.* Ateliers des Charmilles (Fig. 5.27).

L'huile sous pression nécessaire au fonctionnement du réglage est fournie par un groupe à accumulation constitué des deux moto-pompes M_1 P_1, M_2 P_2 refoulant dans le réservoir AC_1, le réservoir AC_2 contenant le tampon d'air supplémentaire qui permet de réduire la chute de pression lors des grands mouvements de vannage répétés. Un dispositif d'intermittence permet de ne

mettre la pompe en charge que le temps nécessaire pour accumuler la réserve d'huile utile au réglage. Ce dispositif fonctionne de la manière suivante : lorsque la pression prévue est atteinte dans l'accumulateur, la soupape manométrique *SC* commande l'ouverture de la soupape de décharge SD_1, qui met les pompes à l'échappement. La soupape *RD* interdit la mise en service des pompes sous la haute pression. La soupape SS_1 protège le circuit contre les surpressions et la soupape *SiS* permet d'isoler le groupe de pompage dans le cas d'un arrêt prolongé de la turbine pour éviter une consommation d'huile inutile.

Le régleur tachy-accélérométrique *R* agit par le relais amplificateur Rh_2 simultanément sur les distributeurs D_2 et D_1 affectés respectivement à la conduite des servo-moteurs de vannage *SMV* et du servo-moteur de la roue *SMR*.

Le palonnier Pl_2 attaqué dans sa partie centrale par le relais Rh_2 porte un galet à chacune de ses extrémités, l'un s'appuie sur la came CA_4 de l'asservissement du vannage, l'autre sur la came CA_3 du limiteur d'ouverture. Un autre palonnier Pl_1 agissant par sa partie centrale sur le distributeur D_1 du servomoteur de la roue assure, d'une part l'asservissement de celui-ci et, d'autre part, la conjugaison des positions respectives des pales et du distributeur afin de réaliser le rendement optimal pour une charge donnée. Cette conjugaison est obtenue par la came CA_1 qui, en raison de la grande variation de chute, est constituée d'une série de profils juxtaposés, un volant de réglage permettant en chaque circonstance de mettre en action le profil convenable.

Signalons les particularités suivantes :

— le relais R_3 permet d'isoler momentanément le régleur en plaçant le groupe sous la dépendance du limiteur d'ouverture,

— le relais R_1, utilisé au moment du démarrage, permet de désolidariser momentanément la conjugaison roue-vannage,

— le relais R_4, commande le verrou de sécurité du vannage qui ne peut être déverrouillé que si son tiroir de distribution est à la position de fermeture (soupape Rh_1),

— lors d'un mouvement important de fermeture du vannage, le dash-pot *S* soulevé par le jeu de la came CA_5, actionne un contact qui commande l'ouverture partielle des vannes du barrage afin de compenser la diminution momentanée du débit de la rivière qui pourrait porter préjudice à la navigation.

La protection contre les survitesses est assurée par le limiteur *LV* qui provoque la fermeture de la soupape de décharge SD_2 de la pompe d'emballement P_3. La pression fournie par cette dernière actionne la soupape de renversement *SR* qui, d'une part, isole le distributeur D_1 du moteur de la roue et, d'autre part, met ce dernier en relation avec le circuit de P_3 provoquant la fermeture des pales ce qui limite l'emballement du groupe à une valeur raisonnable, même si le vannage est resté ouvert. On peut provoquer volontairement cette manœuvre par le relais R_5.

La protection contre les diverses anomalies de fonctionnement est assurée par l'intermédiaire du relais d'arrêt d'urgence R_2, qui met le tiroir de vannage en position basse, provoquant ainsi la fermeture des servo-moteurs.

Fig. 5.33. — Régleurs Neyrpic type 570 au banc d'essais.

Les trois régleurs sont vus de l'avant, on distingue à la partie inférieure les cadrans (ou les emplacements) de l'indicateur de statisme, du manomètre, du fréquencemètre, à la partie supérieure les cadrans des indicateurs de réglage charge vitesse, d'ouverture, de limiteur d'ouverture.

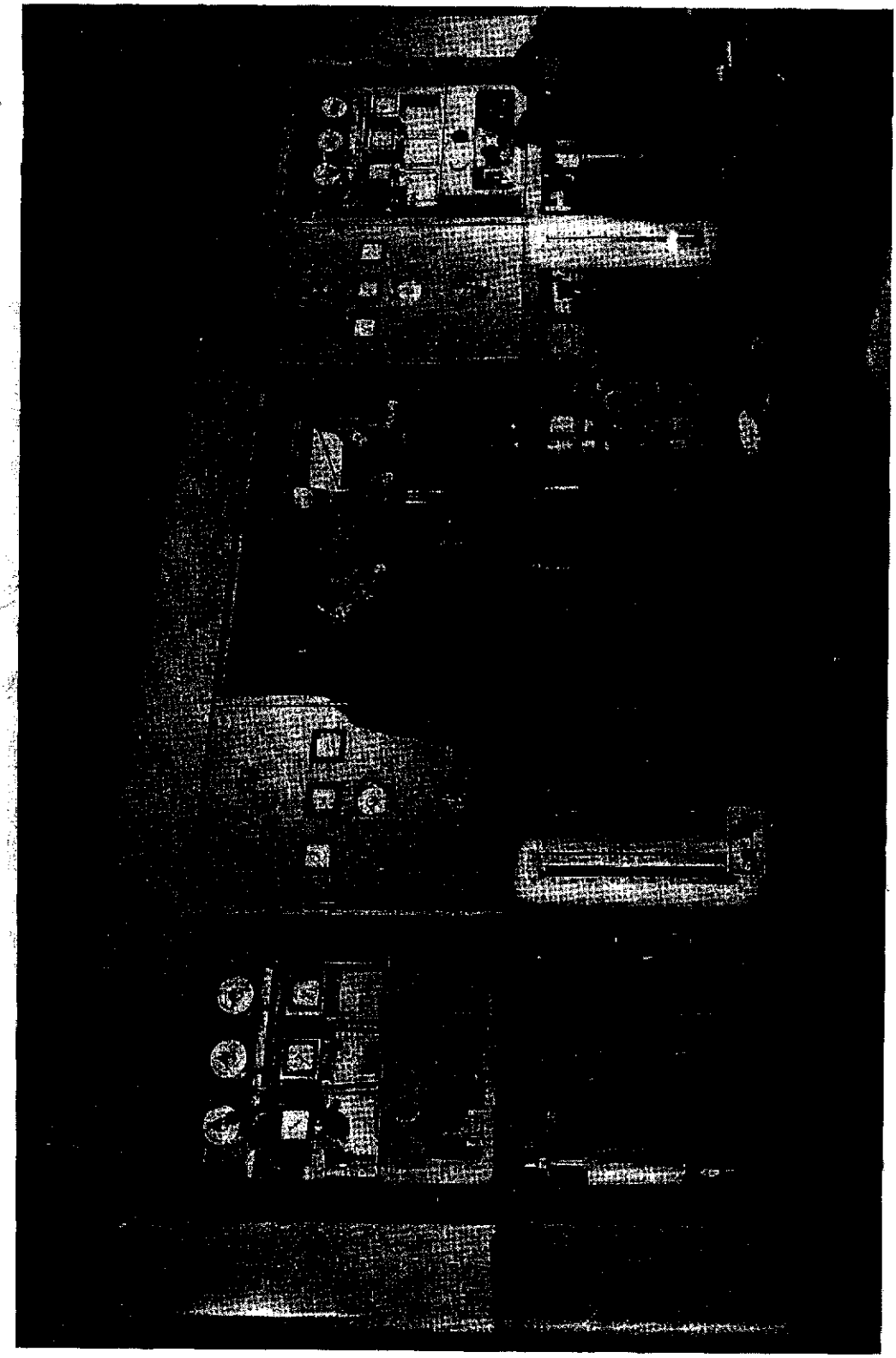


Fig. 5.34. — Armoire de réglage Neyrpic en cours de montage en atelier.

Destiné à un groupe de Bersimis (Canada) de 130 000 kW sous 267 m à 277 t/mn ce régulateur est double, par mesure de sécurité et en raison de la puissance élevée de la machine. On reconnaît les deux régleurs identiques (du type 570) respectivement situés à l'extrême gauche et à l'extrême droite de l'armoire.

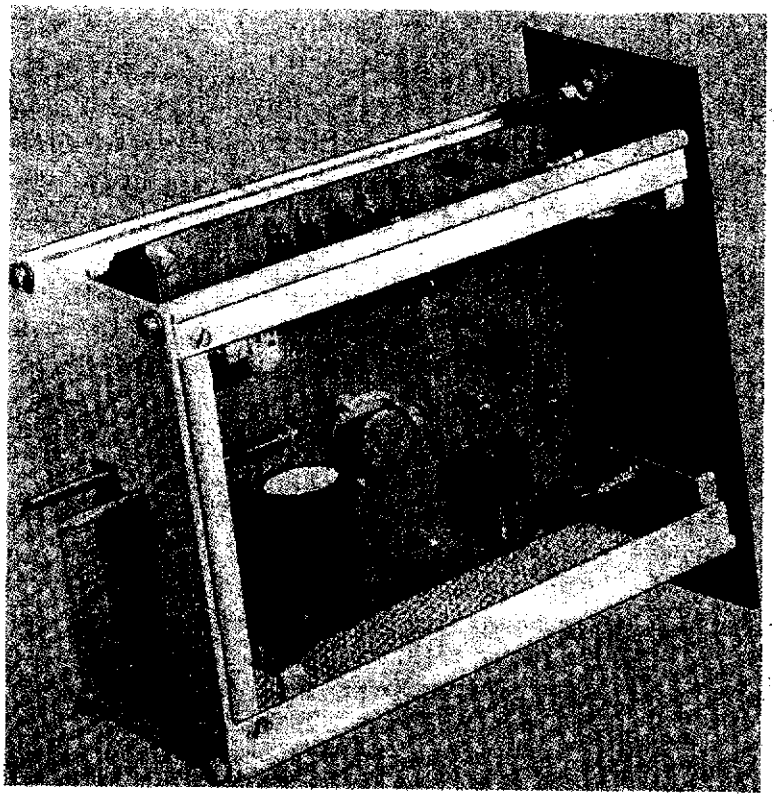


Fig. 5.35.
Unité embrochable
du régleur électronique
des Ateliers
de Vevey.

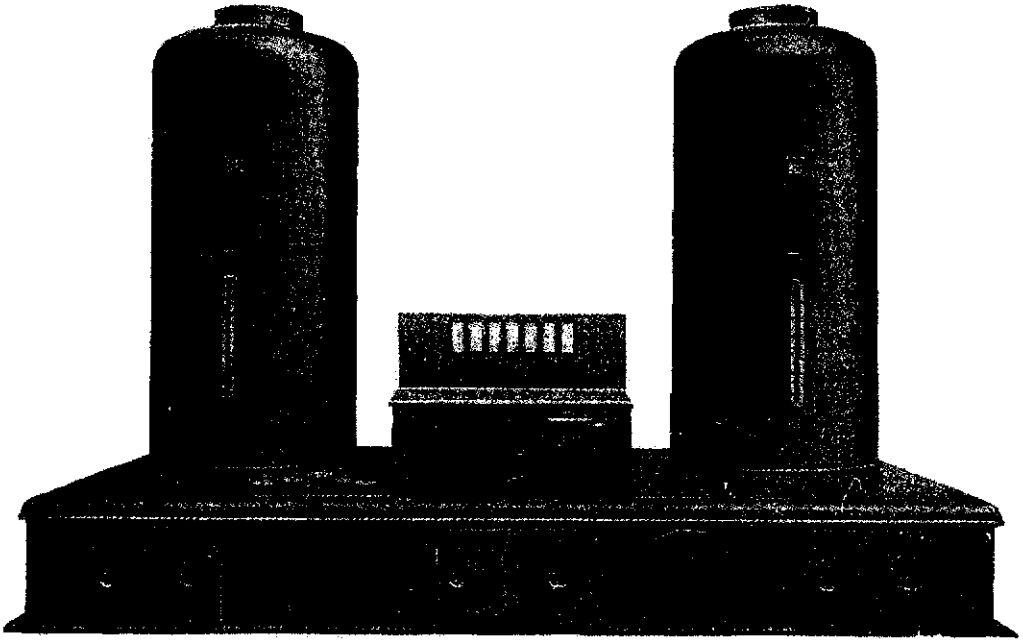


Fig. 5.36. — Régulateur de vitesse de grande puissance (travail de réglage 600 kJ) pour un groupe Kaplan. Construction des Ets Th. Bell.
Dans la partie centrale le régleur, de part et d'autre les réservoirs d'huile sous-pression.

Turbine à un groupe de Kaplan (Kaplan) de 130 000 kW sous 267 m à 277 t/mn ce régulateur est double, par mesure de sécurité et en raison de la puissance élevée de la machine. On reconnaît les deux régleurs identiques (du type 570) respectivement situés à l'extrême gauche et à l'extrême droite de l'armoire.