

## DISJONCTEURS PAR EXPLOSIFS (\*)

# Interrupteur explosif permettant le transfert d'une énergie de deux mégajoules d'une inductance dans un arc

E. GAIGNEBET et J. MONTAMBAUX (\*\*)

Les auteurs exposent les principes du circuit de stockage à utiliser et les conditions à remplir pour réaliser le disjoncteur explosif. Après divers essais, le disjoncteur à barrette explosive a été retenu, car il est

bien adapté à un problème de stockage d'énergie inductive, présente des qualités de simplicité, de fiabilité, de sécurité et de grande efficacité du fait de sa promptitude.

### I. Introduction.

Une inductance de cuivre, de 94 mH, refroidie à la température de l'azote liquide est d'abord reliée à une source de courant continu de 500 V au moyen d'un conjoncteur classique. Le courant croît exponentiellement; quand il atteint 7 000 A une barrette explose et ouvre en 2 ms un intervalle de 0,14 m. La surtension qui s'ensuit croît jusqu'à 2 500 V, valeur pour laquelle s'amorce un arc dans une enceinte contenant de l'azote comprimé à 100 bars. L'énergie de l'inductance est transférée dans l'arc. La température du gaz se trouve portée à 6 000 K et la pression à 1 500 bars.

### II. Circuit de stockage inductif.

L'interrupteur explosif a été utilisé pour transférer 2 MJ d'une inductance dans un arc et cette application particulière doit être rappelée pour expliquer la solution.

Une soufflerie à arc chaud, dite « hot-shot » (fig. 1) comporte une enceinte contenant de l'azote comprimé à 200 bars. On y fait éclater un arc chaud; la température s'élève à 6 000 K et la pression à 2 000 bars. On amorce alors l'écoulement qui atteint des vitesses largement supersoniques ( $M = 17$ ) et qui dure 100 ms. La figure 2 donne une idée de l'une des installations dont l'ONERA dispose pour expérimenter en aérodynamique hypersonique.

L'énergie est fournie par le réseau E.D.F. en 40 ms (80 kA sous 5 kV). Le branchement et la déconnexion se font au moyen d'un enclencheur synchrone agissant au passage du courant par zéro.

Bien que cette opération se déroule à Fontenay, lieu privilégié d'E.D.F., il fut souhaité d'éviter un aussi brutal appel de courant. Le moyen de stockage éventuel devait

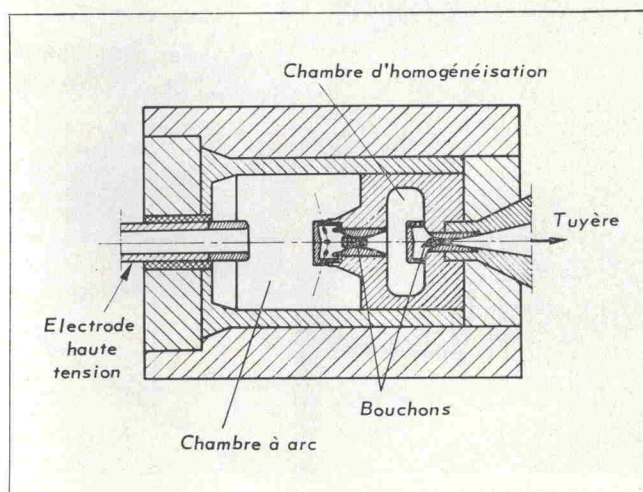


Fig. 1. — Schéma d'une soufflerie à arc.

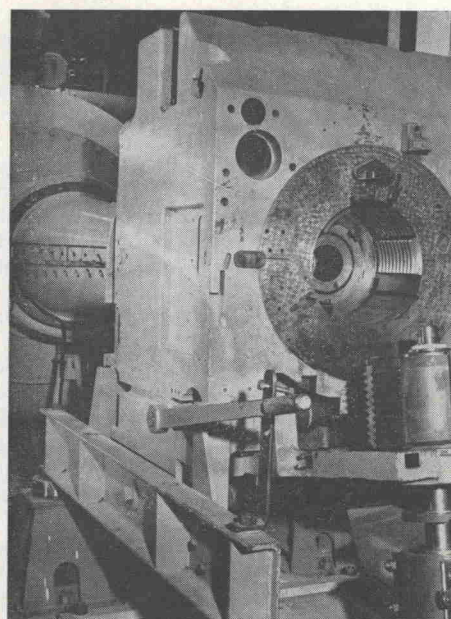


Fig. 2. — Soufflerie à arc de Fontenay pour  $15 < M < 20$ .

(\*) Demi-Journée d'études organisée le 3 juin 1971 par la 6<sup>e</sup> Section de la Société française des Electriciens et la 1<sup>re</sup> Section de la Société française des Electroniciens et des Radioélectriciens.

(\*\*) Emile Gaignebet et Jean Montambaux, Ingénieurs à l'Office national d'Etudes et de Recherches aéronautiques (O.N.E.R.A.).

se substituer à l'alimentation directe en satisfaisant à l'ensemble des conditions antérieures dont les principales sont :

- Restitution en 0,1 s de 2 MJ selon une méthode permettant l'extrapolation jusqu'à 50 MJ. L'arc qui consomme cette énergie a les caractéristiques d'une résistance provoquant une chute de tension sensiblement constante.
- Montée en courant aussi lente que possible afin de minorer la puissance de l'alimentation, par exemple cent fois plus longue que la durée de la décharge. Par contre, le temps pendant lequel on souhaite conserver la charge peut, sans inconvénient, être très faible ou même nul.
- Rendement acceptable de l'ordre de 50 % pour ne pas avoir à évacuer trop d'énergie perdue.
- Grande simplicité, sécurité et économie.

On a choisi une inductance de 90 mH pour une résistance de circuit de 45 mΩ. L'enroulement, en fil de cuivre nu désoxydulé, est bobiné sur des cales isolantes. Il est immergé dans un bain d'azote liquide.

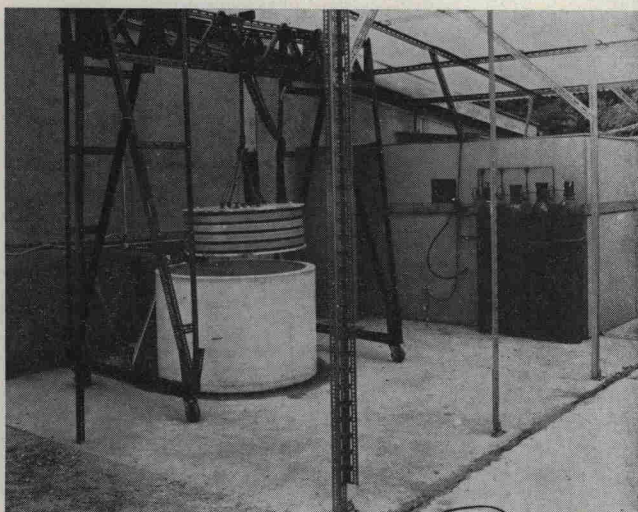


Fig. 3. — L'inductance est suspendue au-dessus de la cuve en polyester cellulaire qui contient l'azote liquide. Au fond, l'abri de tir.

Le rapport des résistivités entre la température ambiante et 80 K est de 8 ; la densité de courant permise conduit à un bobinage plus compact, donc deux fois plus avantageux comme forme. Ces deux effets combinés ont permis avec 475 kg de cuivre dans les mêmes conditions d'exploitation, un stockage aussi facile avec 7 600 kg pris à la température ambiante.

Un bobinage supraconducteur eût procuré des montées en courant plus avantageuses et des tenues de charge de durées infinies. Mais les câbles sont encore sujets à des phénomènes d'instabilité en régime transitoire et l'alimentation en hélium est moins simple que l'approvisionnement en azote. Quant à l'interrupteur supraconducteur à transition commandée, il sera comparé plus loin aux autres disjoncteurs.

L'alimentation en courant continu s'est faite à partir d'une batterie d'accumulateurs au plomb destinée au fonctionnement de chalumeaux dits à « plasma ». Il a été heureusement possible, sans avoir à recourir à un primaire et à un secondaire, d'adapter l'inductance unique à la fois à la batterie et à l'arc de la soufflerie. Il n'en aurait pas été de même pour 50 MJ.

Le schéma de la figure 4 montre comment l'ouverture du disjoncteur crée la surtension qui, à travers un éclateur dans l'air, amorce la décharge. Un deuxième disjoncteur de sécurité serait commandé par l'opérateur en cas de nécessité.

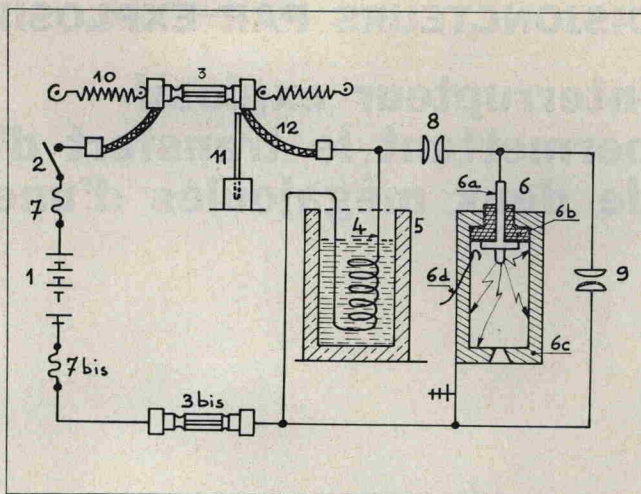


Fig. 4. — Schéma général de l'installation de stockage.  
1 : Batterie d'accumulateurs. - 2 : Conjoncteur à courant continu. - 3 : Barettes explosives. - 4 : Bobine de cuivre hyperconducteur. - 5 : Cuve de cryostat. - 6 : Chambre à arc : a) Électrode centrale. - b) Traversée isolante. - c) Paroi de la chambre. - d) Amorcage de l'arc. - 7 : Fusibles. - 8 : Éclateur série (conjoncteur). - 9 : Éclateur parallèle (sécurité). - 10 : Tendeur allongeant la coupure. - 11 : Cloison isolante étranglant l'arc. - 12 : Tresses souples d'amenée de courant.

Les figures 5 et 6 représentent les diagrammes des cycles charge-décharge. La durée de la charge est d'environ 1,2 fois la constante de temps, soit 2,4 s. Le rendement est alors voisin de 50 % et les 2 MJ dissipés vaporisent 13 litres d'azote par tir.

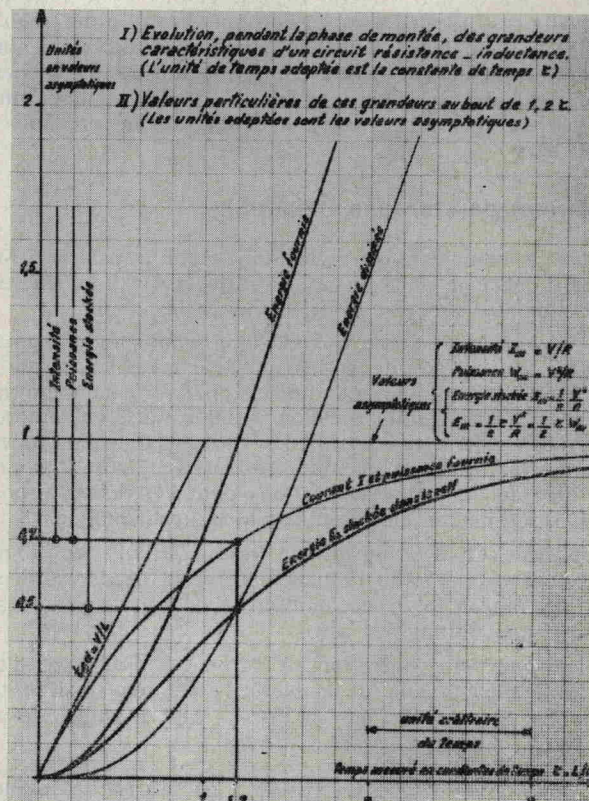


Fig. 5. — Représentation paramétrique des régimes de charge d'un circuit selfique.