Classification
Physics Abstracts
42.80 — 51.30 — 64.70F

Détecteur optique de phase liquide dans un disjoncteur au SF₆ sous pression

F. Buret et A. Beroual

Laboratoire d'Electrotechnique de Lyon, Unité associée CNRS-URA 829, Ecole Centrale de Lyon,
BP 163, 69131 Ecully Cedex, France

(Reçu le 28 juin 1990, révisé le 12 novembre 1990, accepté le 11 décembre 1990)

Résumé. — Dans cet article, on présente un dispositif permettant de détecter localement la transition liquide-gaz ou gaz-liquide dans une enceinte sous pression. Ce détecteur de phase peut être installé dans des systèmes portés à potentiel élevé.

Abstract. — In this paper, we present a device allowing us to detect gas-liquid or liquid-gas transition in an pressurized cell. This phase detector can be implemented in high voltage system.

1. Introduction.

L'utilisation de l'hexafluore de soufre (SF₆) dans le domaine de l'appareillage haute tension a augmenté de façon considérable ces deux dernières décennies. Ce gaz présente en effet des qualités remarquables pour ce type d'applications : grande stabilité chimique, fort pouvoir d'extinction de l'arc électrique et bonne tenue diélectrique (environ 3 fois celle de l'air à pression atmosphérique).

La rigidité diélectrique du SF₆ dépend de son état thermodynamique. Une conception optimale de l'appareillage de coupure haute tension (disjoncteur au SF₆, destiné tout particulièrement à une exploitation dans des conditions climatiques contraignantes (températures très basses pouvant atteindre - 45 °C) nécessite une bonne connaissance de la rigidité de ce gaz pour ces conditions de service. Pour ce faire, nous avons mis au point des dispositifs permettant de mesurer d'une part la pression à l'intérieur du disjoncteur et la température en différents endroits et d'autre part, la présence d'une phase liquide (détecteur de phase) résultant d'une condensation partielle du SF₆.

Le but de ce travail est de présenter le détecteur de phase liquide ainsi que certains résultats d'application.

2. Principe de fonctionnement.

Le principe de fonctionnement du détecteur de phase liquide est basé sur la variation de l'indice de réfraction d'un corps lors d'un changement de phase (gaz, liquide ou solide). On s'intéresse dans notre cas précis à la transition liquide-gaz de l'hexafluorure de soufre. Pour le SF₆ gazeux, cet indice n_g vaut pratiquement 1 alors qu'il est de $n_l = 1,4$ pour la phase liquide (LSF₆).

Cette variation d'indice est détectée à l'aide d'un dispositif constitué de deux fibres optiques (PMMA) : l'une émettrice, l'autre réceptrice. L'intensité lumineuse transmise entre les deux fibres dépend de l'homogénéité et de l'indice de réfraction du milieu.

Lors d'une condensation partielle du SF₆, on peut schématiquement distinguer trois cas typiques.

a) Le SF₆ est à l'état gazeux : Les rayons lumineux qui sont captés par la fibre réceptrice doivent arriver dans la fibre émettrice sous un angle d'incidence inférieur à un angle limite i (Fig. 1a) qui a pour expression :

$$\sin i = (n_m/n_f) N$$

N est égal au minimum du couple de valeur $(\sin a, NA)$; NA étant l'ouverture numérique de la fibre optique. L'angle a ne dépend que du diamètre du cœur des fibres et de leur écartement. n_f et n_m sont respectivement les indices de réfraction de la fibre (environ 1,5) et du milieu entre les fibres (ici $n_m = n_g = 1$).

b) Le SF₆ gazeux en présence de gouttelettes : Dans ce cas, les rayons lumineux qui sortent de la fibre émettrice sont déviés pour la plupart hors de l'angle de capture de la fibre réceptrice (Fig. 1b). L'intensité lumineuse recueillie est nettement inférieure à celle du cas précédent. Lorsque les fibres sont partiellement immergées dans le LSF₆, le comportement est similaire.

c) Le SF₆ liquide : L'angle limite i est plus important du fait de la valeur plus élevée de l'indice de réfraction ($n_m = n_l = 1,35$; Fig. 1c). Dans ce cas, l'intensité lumineuse recueillie sera plus importante que dans le cas a.

La réalisation pratique d'un tel détecteur comprend deux boîtiers : un émetteur et un récepteur.

– Le boîtier d'émission envoie un flux lumineux (émetteur HP 1502) dont on peut régler l'intensité à l'aide d'un potentiomètre.

– Le boîtier récepteur (Fig. 2) utilisant un circuit HP 2502 traite le signal lumineux capté par la fibre réceptrice en fournissant un signal électrique fonction de son intensité. Ce signal électrique est enregistré sur une table traçante.

En l'absence de toute phase liquide, le système est polarisé de manière à fournir un signal électrique qui soit au milieu de la plage de sortie (5 volts environ). Celle-ci est définie de la façon suivante :

– le niveau de sortie est haut (8 volts) quand la transmission est faible.

– le niveau de sortie est bas (2 volts) quand la transmission est bonne.

Cette polarisation est obtenue en jouant sur l'intensité lumineuse émise, la sensibilité du récepteur ou l'écartement des fibres (typiquement quelques millimètres).

3. Application.

Le refroidissement du disjoncteur de l'ambiante (20 °C) jusqu'à – 45 °C est obtenue par détente de CO₂ liquide dans une enveloppe réfrigérante isolée du point de vue thermique et électrique. Ce système de refroidissement ainsi que la régulation qui lui est associée sont identiques à ceux déjà décrits par ailleurs [1].

Fig. 1. — Schéma des différents cas typiques rencontrés lors de la condensation du SF_6 et incidence sur la capture du signal par les fibres du détecteur de phase. a) SF_6 gazeux, b) SF_6 gazeux en présence d'une goutte ou fibres optiques partiellement immergées dans le LSF_6 , c) LSF_6 couvrant totalement les fibres optiques. [Diagram of typical cases which can be present during the condensation of SF_6 and influence on the capture of the signal by the optical fibres. a) SF_6 gas, b) SF_6 gas in presence of drops or optical fibres partially immersed in LSF_6 , c) LSF_6 completely covering the optical fibres.]

Les enregistrements de température (Fig. 3) que l'on obtient sont conformes à ce que l'on attendait d'après la constitution du système d'essai. La structure de ce dernier est telle que le froid pénètre par la partie supérieure du disjoncteur. La condensation du gaz apparaît en premier lieu dans cette zone, d'où ruissellement de LSF_6 sur les parois vers le bas du disjoncteur où est installé

Fig. 2. — Schéma électronique du bloc récepteur du détecteur de phase.
[Electronic diagram of the receptor block of the phase detector.]

Fig. 3. — Variation de température en fonction du temps lors d'une descente de $-25,5^{\circ}\text{C}$ à $-35,5^{\circ}\text{C}$. 1) température du couvercle supérieur du disjoncteur, 2) température du gaz à l'intérieur du disjoncteur.
[Temperature versus the time when the temperature is decreased from $-25,5^{\circ}\text{C}$ to $-35,5^{\circ}\text{C}$, 1) temperature of the upper cover of the circuit breaker, 2) gas temperature inside the circuit breaker.]

Fig. 4. — Changement de phase du SF_6 lors d'une descente en température de l'ambiante à -37°C .
 [Phase changing of SF_6 when the temperature is decreased from the ambient to -37°C .]

Fig. 5. — Diagramme de pression absolue en fonction de la température du SF_6 , à masse volumique constante.
 [SF_6 absolute pressure versus temperature with constant volume weight.]

le détecteur de phase liquide.

La figure 4 donne un exemple d'enregistrement obtenu au cours d'une descente en température (jusqu'à -37°C). Il y a apparition de gouttelettes de LSF_6 dès que la température du gaz atteint -30°C (pression absolue = 4,9 bars ; densité = 42 g/l). Comme nous pouvons le remarquer sur la courbe de rosée du SF_6 (Fig. 5), ce point correspond bien à la phase liquide. La présence de la phase liquide se traduit sur l'enregistrement par des pics, qui correspondent à une amélioration temporaire de la transmission. En effet, dans un premier temps le LSF_6 s'évapore très rapidement (Fig. 4 - région 1) quand il arrive dans le bas du disjoncteur où la température est plus élevée. Dès que la température est suffisamment basse au niveau du détecteur, le LSF_6 commence à s'accumuler (Fig. 4 - région 2). La transmission est alors très atténuée par le fait que les fibres optiques sont partiellement immergées. Lorsque le niveau du LSF_6 est tel que les fibres sont complètement recouvertes (Fig. 4 - région 3), la transmission devient bonne (niveau bas du signal). Le signal est maintenu à ce niveau tant qu'il y a du liquide.

En relevant la température de -37°C vers l'ambiante, nous observons le phénomène inverse à l'exception des pics (Fig. 6 - région 1'), ce qui est normal puisqu'en phase de réchauffement, c'est le haut du disjoncteur qui est le plus chaud (absence de ruissellement).

Fig. 6. — Changement de phase du SF_6 lors d'une montée en température de -37°C à l'ambiante.
[Phase changing of SF_6 when the temperature is increased from -37°C to the ambient.]

4. Conclusions.

Ce dispositif peut être installé non seulement dans des disjoncteurs mais également dans tout autre appareillage où l'on souhaite contrôler le changement de phase. Il permet de suivre aisément l'état thermodynamique du gaz dans l'appareillage, même en service (sous tension), d'où l'intérêt de son utilisation.

Ce détecteur peut être amélioré en mettant en oeuvre des composants plus performants dans les circuits électroniques. En particulier, on pourrait réguler le flux lumineux émis par les photodiodes pour éviter les phénomènes de dérive.

Bibliographie

- [1] LANDRY M. and JEANJEAN R., "Dielectric withstand and breaking capacity of SF₆ circuit breakers at low temperatures", *IEEE PES Winter Meeting*, (1987) paper 87.

Cet article a été imprimé avec le Macro Package "Editions de Physique Avril 1990".

Commission paritaire N° en cours

© Les Editions de Physique 1991

Directrice de la Publication : Jeanne BERGER

Short Communications . saisie, composition MATHOR3-TEX
Other Communications : saisie MATHOR, composition PHOTOMAT
Impression JOUVE, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS
N° 14001 Dépôt légal Mars 1991