

Mesure d'Echauffement du Point de Contact

Marion Kubler ⁽¹⁾, Patrice Joyeux ⁽¹⁾, Jean Marc Bauchire ⁽²⁾, Dunpin Hong ⁽²⁾

⁽¹⁾ Hager Electro SAS, Obernai, France

⁽²⁾ GREMI, Orléans, France

marion.kubler@hager.com

Résumé – Le point de contact présent dans le disjoncteur et le produit différentiel modulaires est le lieu de phénomènes de striction du courant le traversant. Cette concentration des lignes de courant mène à l'échauffement du point de contact, voire à la fusion. Pour déterminer l'échauffement du contact et notamment les conditions induisant une fusion et quantifier l'influence que peuvent avoir les paramètres expérimentaux, un gabarit de test a été conçu. Il permet le calcul de la température au centre de la striction grâce à l'utilisation dans la formule de Kohlrausch des valeurs mesurées de tension de contact et de température ambiante.

Mots clés : point de contact électrique, résistance de contact, échauffement, fusion, force de contact, formule de Kohlrausch

Introduction

Le disjoncteur et le produit différentiel modulaires font partie des organes de protection des installations électriques. Leurs contacts électriques ont donc un rôle crucial car c'est la séparation des contacts qui met l'installation hors tension. Ils doivent, lors du fonctionnement normal de l'installation, conduire le courant avec un échauffement minimal, mais permettent aussi une ouverture effective pour couper le courant lors d'une anomalie.

Les échauffements endurés par le point de contact conduisent à des problématiques de collage : si l'un des matériaux en contact atteint sa température de fusion, il y a un risque de soudure. Cela empêche l'ouverture du produit si la force d'ouverture n'est pas suffisante pour décoller les contacts, ce qui peut avoir de graves conséquences en termes de dommages pour l'installation électrique ou les personnes.

Pour étudier les phénomènes physiques se produisant au niveau des contacts fermés, un gabarit de test a été conçu. Il permet de mesurer la tension de contact en fonction de l'intensité traversant le point de contact et de la force de contact pré-réglée via un ressort.

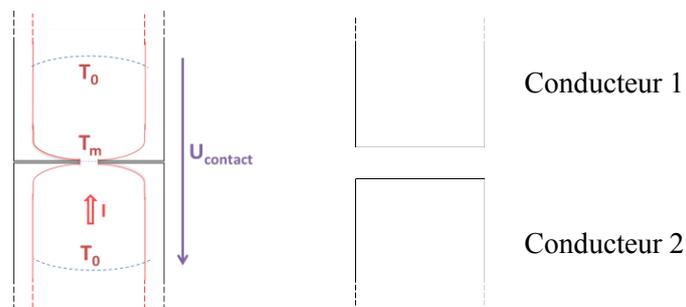


Figure 1 : Schéma du point de contact : exemple d'une coupe de deux conducteurs pleins cylindriques semi-infinis, les lignes rouges symbolisent les lignes de courant

La tension de contact est liée à la température maximale T_m de la zone de striction (illustrée sur la **Figure 1**) suivant la formule de Kohlrausch [1] :

$$U_{contact} = \sqrt{4L} \sqrt{T_m^2 - T_0^2} \approx 3,13 \sqrt{T_m^2 - T_0^2} \quad (1)$$

Avec L le nombre de Lorentz (valeur théorique pour les métaux : $2,45 \cdot 10^{-8} V^2 \cdot K^{-2}$), T_m la température en K de la striction et T_0 celle des conducteurs assez loin du point de contact pour ne pas être affectée par le phénomène de striction, typiquement la température ambiante en K. La validité de cette formule est néanmoins limitée par deux hypothèses : la striction des lignes de courant doit se faire en régime permanent et les contacts ne doivent pas être oxydés.

1. Présentation de l'équipement

Comme illustré sur les **Figure 2** et **Figure 3**, le gabarit de test consiste en un couple de contacts montés en vis-à-vis. Un mécanisme permet le rapprochement des contacts, puis l'application d'une force de contact statique via la contrainte exercée par un ressort. Nous établissons ensuite un courant électrique pour créer un échauffement. Ce courant est délivré par la décharge d'un banc de condensateurs faisant partie d'un circuit RLC série. Il a la forme d'une demi-onde évoluant temporellement selon la fonction sinusoïdale de fréquence 50 Hz. Le temps de montée constant est réglé par les valeurs de capacité et d'inductance du circuit.

Durant l'essai, nous mesurerons la force de contact grâce au capteur fixé sur le contact de droite sur les deux figures. L'intensité du courant traversant le contact sera mesurée à la sortie de l'armoire contenant le banc de condensateur grâce à une sonde de type Rogowski. Nous mesurerons également la tension de contact et la température ambiante (reflétant la température des conducteurs loin du contact) pour pouvoir utiliser la formule de Kohlrausch et déterminer la température T_m de la striction. La mesure de tension est réalisée avec une sonde atténuatrice de tension au plus près du point de contact sur des parties des contacts non traversées par le courant. Nous prélevons le potentiel électrique en ces deux points pour éviter l'ajout d'une valeur de tension de résistance volumique entre le point de contact et ces deux points. La précision sur la mesure de la force de contact est de 0.125 N, celle sur la tension de contact de ± 10 mV, celle sur la mesure de température de ± 0.5 °C et celle sur l'intensité du courant de ± 10 A.

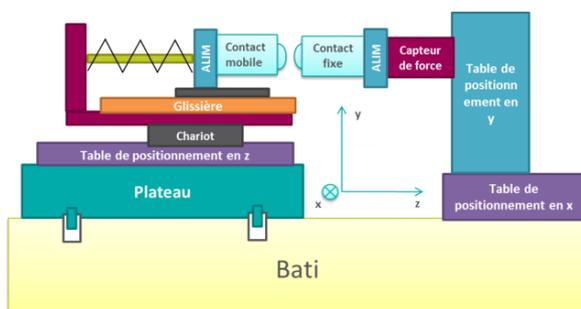


Figure 2 : Schéma du montage expérimental

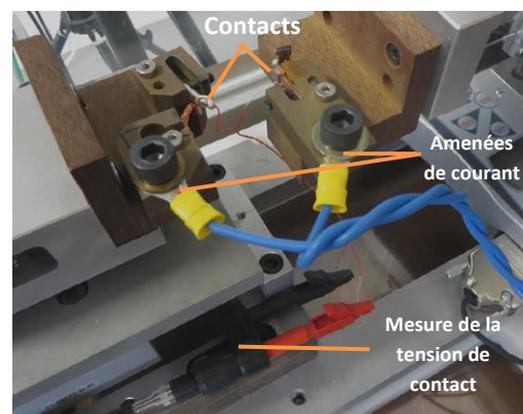


Figure 3 : Photo des contacts sur leurs supports

2. Résultats

2.1 Caractéristique tension courant dynamique pour différentes intensités maximales du courant I_0

Le couple de matériaux Cu revêtu d'Ag ($5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) vs AgC est utilisé pour ces essais. Pour la première série de tests, nous avons visualisé la caractéristique tension courant dynamique pour des intensités maximales I_0 croissantes, en gardant une force de contact de l'ordre de 6 N. Les tests ont été réalisés avec les contacts initialement "non-collés".

La **Figure 4** fait apparaître des cycles d'hystérésis caractéristiques que l'on retrouve dans la littérature : [1] et [2]. Avec l'augmentation de I_0 , la tension aux bornes des contacts est de plus en plus élevée. Le palier de fusion déformé est visible à environ 350 mV pour une intensité I_0 de l'ordre de 1700 A. De plus, nous observons que la pente $\frac{du(i)}{di}$ a tendance à diminuer en fonction de l'augmentation de I_0 . Cela peut s'expliquer par la croissance plus rapide du courant: les contacts ont en effet moins le temps de s'échauffer.

2.2 Caractéristique tension courant dynamique pour différentes forces de contact F_c

Une fois le palier de fusion observé à 350 mV pour I_0 d'environ 1700 A et une force de contact de l'ordre de 6 N, l'influence de la force de contact a été testée pour cette même valeur de I_0 . La **Figure 5** présente la caractéristique tension courant dynamique pour différentes valeurs de force de contact F_c , mais avec la même valeur I_0 de l'ordre de 1700 A. Nous avons constaté que pour cette intensité I_0 , la tension diminue avec l'augmentation de F_c . Ce résultat est en bon accord avec des résultats publiés [3]. Pour les faibles forces la courbe de tension fluctue lors de la montée du courant tandis que la variation de cette tension est plus lisse quand la force est plus grande. Avec une force d'environ 8 N, on a observé l'absence du palier de fusion. Cela s'explique par l'augmentation de la surface de la tâche de contact avec la force de contact, ce qui assure une plus grande surface de contact et donc une résistance de contact diminuée.

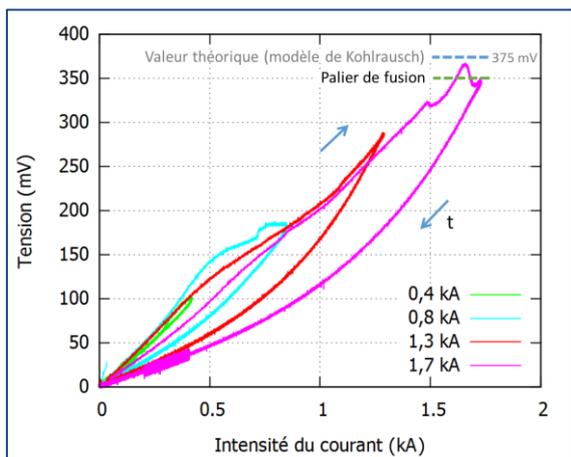


Figure 4 : Caractéristique U(I) dynamique typique pour différentes intensités maximales I_0

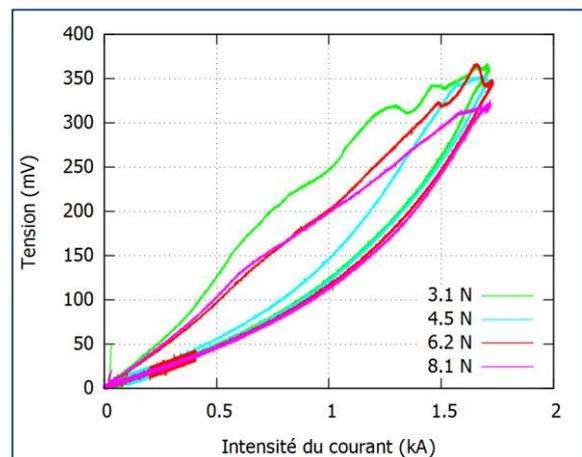


Figure 5 : Caractéristique U(I) dynamique typique pour différentes forces de contact F_c

2.3 Calcul de la température de fusion

A partir des configurations de test induisant la fusion du point de contact (présence de palier de fusion), nous calculons la moyenne sur 17 essais de la tension de fusion :

$$U_{fusion} = 358 \text{ mV avec } U_{fusion} \in [320 ; 375] \text{ mV}$$

Pour la température de fusion du couple de matériaux testé, la formule de Kohlrausch nous donne une tension de fusion théorique de 375 mV. Cette tension expérimentale moins élevée est due à deux différences entre nos conditions expérimentales et les conditions de validité de la formule de Kohlrausch. Nous utilisons en effet une onde de courant transitoire non assimilable à un régime statique [1]. L'état de surface de nos contacts peut également être oxydé et augmenter la valeur de la résistance du point de contact [4].

Conclusion et perspectives

Le collage des contacts électriques est un phénomène complexe qui reste mal maîtrisé à l'heure actuelle. Le but de cette étude est ainsi de mesurer les échauffements et de déterminer notamment les conditions d'apparition de la fusion du point de contact. Plusieurs jeux de paramètres peuvent être étudiés. Pour notre paire de contacts Cu revêtu d'Ag vs AgC et avec l'impulsion de courant décrite précédemment, nous avons vu que la valeur de l'intensité maximale I_0 doit atteindre environ 1700 A pour atteindre la fusion des contacts. La force de contact F_c joue également un rôle important et complémentaire à I_0 puisqu'au-delà de 6 N, une onde de courant dont $I_0 \approx 1700$ A ne suffit plus pour obtenir la fusion. En effet une force F_c élevée augmente la surface de la tâche de contact, ce qui réduit la résistance de contact.

Une des conditions d'application de la formule de Kohlrausch [4] est d'avoir des surfaces sans influence de couches d'oxydes. Il sera donc intéressant pour la suite de chercher à caractériser l'état de surface des contacts en parallèle des résultats expérimentaux obtenus pour examiner l'existence ou non d'une corrélation entre l'état de surface et les écarts de tension de contact obtenus. Nous pourrions également modéliser les caractéristiques U(I) dynamiques en faisant l'hypothèse d'un régime stationnaire (cf la formule de Kohlrausch) ou d'un régime transitoire.

Remerciements

Je tiens à remercier Gauthier Déplaud de l'entreprise Hager pour son aide quant à l'élaboration et à la mise en œuvre pratique de cette expérience. Merci également à Agnès Petit du laboratoire GREMI pour ses conseils sur les moyens de caractérisation de l'état de surface des contacts.

Références

- [1] Louis Féchant (1996), *Le contact électrique: Phénomènes physiques et matériaux*, Hermès, pp. 62-65, pp. 254-255, pp. 130-133, ISSN: 1264-4366
- [2] Ragnar Holm (1967), *Electric Contacts*, 4th ed., Springer, pp.87-92, ISBN: 3-540-03875-2
- [3] S. Harada et K. Mano (1966), *The effect of surface roughness on contact resistance*, Proc. of the Third International Research Symposium on Electric Contact Phenomena
- [4] Mitsunori Sato, Masayuki Hijikata, and Ichiro Moritimo (1970), *Influence of Temperature in the Contact Area on the Static Welding Characteristics of Electrical Contacts*, J. Jap. Inst. Metals, vol. 34, p. 1067