

Manœuvres contrôlées d'un disjoncteur haute tension

Dr Klaus Böhme/Stefan Werben, Siemens AG/Christopher Pritchard, OMICRON

Résumé

La manoeuvre pilotée est un mode d'ouverture et de fermeture de disjoncteur visant à limiter les contraintes sur les équipements du réseau. Cette fonctionnalité est aujourd'hui disponible avec les appareils SIPROTEC 5. L'intégration de cette fonction dans une protection ou un contrôleur de tranche offre de nouvelles possibilités et limite le câblage vers un équipement extérieur dédié. Le séminaire étudie sa mise en œuvre et explique comment l'appareil a été testé.

Introduction/résumé de la problématique

La commande d'un disjoncteur en prenant en compte la valeur de la tension au moment de la fermeture ou de l'ouverture réduit la contrainte exercée sur le disjoncteur et les éléments du réseau, et minimise les perturbations sur le réseau. La durée de vie de l'équipement s'en voit augmentée et le vieillissement réduit. Les défauts réseau (comme des impulsions répétées sur les condensateurs) sont moins nombreux, ce qui améliore la disponibilité. La manoeuvre (fermeture et/ou ouverture, selon l'application) est effectuée indépendamment sur chaque phase, à des angles de commutation prédéterminés. Des appareils spécifiques sont proposés par certains fabricants.

Comme les équipements de contrôle et protection sont généralement conçus pour des applications pour lesquelles l'angle de fermeture précis importe peu, les précisions de commutation nécessaires ne peuvent pas être obtenues à l'aide des contacts de sortie classiques. La plate-forme SIPROTEC 5 répond à toutes les exigences en termes de protection et de commutation pilotée. La commutation pilotée exige de nouvelles méthodes de test, décrites ci-après.

La mise sous tension d'une batterie de condensateur (charge capacitive) est utilisée comme exemple afin d'expliquer le principe inhérent à la commutation pilotée. Le même principe est applicable aux autres équipements/charges utilisant des angles de commutation différents.

Effet des différents angles de fermeture

Les effets des différents angles de fermeture peuvent être vérifiés très simplement à l'aide d'une

simulation, par exemple, par l'utilisation du logiciel RelaySimTest. Les observations d'un système MSCDN (Mechanical Switched Capacitor with Damping Network, condensateur commuté mécaniquement avec un réseau d'amortissement) sont décrites en [1]. Ce système MSCDN produirait les courants d'appels illustrés à la Figure 1. Comme on le voit clairement, l'amplitude de courant à un angle de fermeture défavorable ($\Phi=90^\circ$) est nettement plus importante, imposant une contrainte plus élevée sur le réseau, disjoncteur et le système MSCDN.

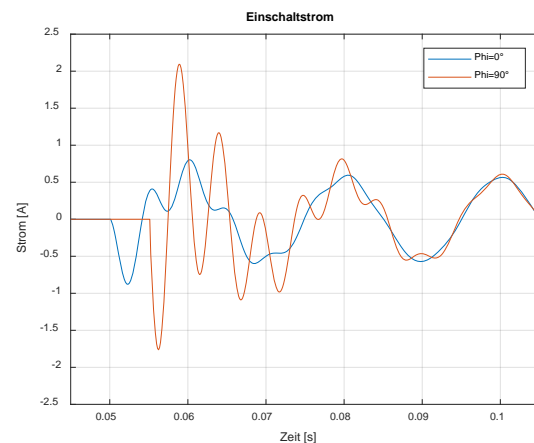


Figure 1 : Courant d'appel à des angles de fermeture favorable et défavorable dans un système MSCDN

La Figure 2 illustre le courant maximum des trois phases pour une manoeuvre de fermeture triphasée au-dessus de l'angle de fermeture. Dans ce cas, il est impossible de trouver un angle qui réduise la contrainte pendant la manoeuvre de fermeture. Les pôles du disjoncteur doivent être fermés séparément pour éviter les courants d'appel élevés. C'est ce qu'indique la Figure 3. Les courants d'appel pour les angles de fermeture L1:0°, L2:120°, L3:60° (pour la fermeture sur charge capacitive) peuvent être nettement réduits. La Figure 3 illustre l'écart par rapport à ces angles optimaux.

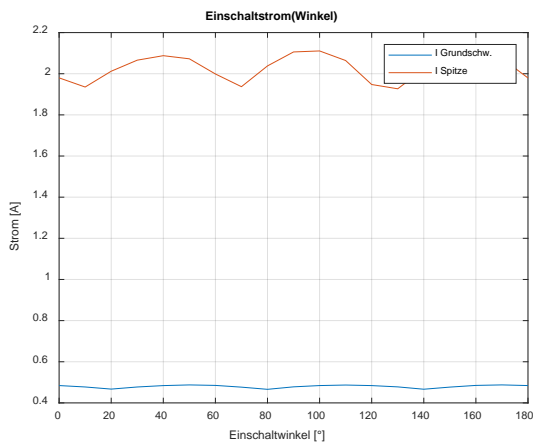


Figure 2 : Courant maximum en fonction de l'angle de fermeture lors d'une fermeture tripolaire

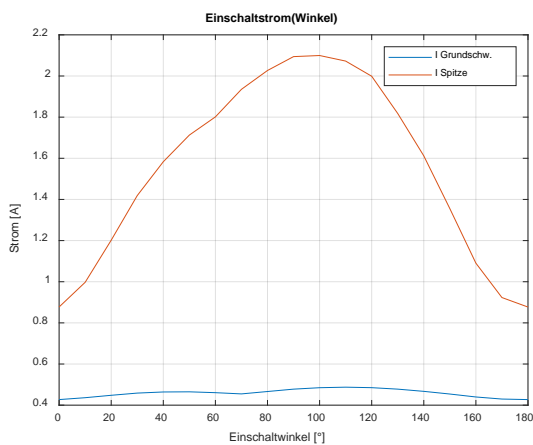


Figure 3 : Courant maximum en fonction de l'angle de fermeture lors d'une fermeture unipolaire (L1:0°/L2:120°/L3:60°)

Commutation pilotée

L'angle de commutation est défini en fonction de l'équipement à commuter. En cas de charge capacitive ou de batterie de condensateur, le passage à zéro de la tension de la phase respective est la meilleure option. En utilisant le passage à zéro ($\Phi=0^\circ$) d'une valeur de référence mesurée, les caractéristiques du disjoncteur et l'angle de fermeture spécifié, un calcul permet de déterminer l'instant auquel le contact du disjoncteur doit se fermer pour une commutation optimisée. Avec une tension de référence U_{L1} donnée, une séquence de fermeture L1:0°/L2:120°/L3:60° relative au passage à zéro de la tension de référence est nécessaire pour commuter une charge capacitive. Pour calculer l'instant auquel l'ordre de fermeture au disjoncteur doit être donné, il faut connaître les temps de fonctionnement mécanique et électrique du disjoncteur. Ces durées varient selon la durée de préarc à laquelle l'arc dans le disjoncteur établit le contact

électrique. La durée de fermeture/d'ouverture dépendra également des points suivants :

- Tension auxiliaire des circuits de fermeture et ouverture
- Température
- Pression du disjoncteur

Le cas échéant, ces points peuvent tous être pris en compte par des entrées sur l'équipement, pour améliorer la précision de la commutation. On peut pour cela utiliser les caractéristiques linéaires ou spécifiques. Ces variables sont utilisées pour calculer l'instant de commutation.

La Figure 4 illustre le principe inhérent à la manœuvre de commutation.

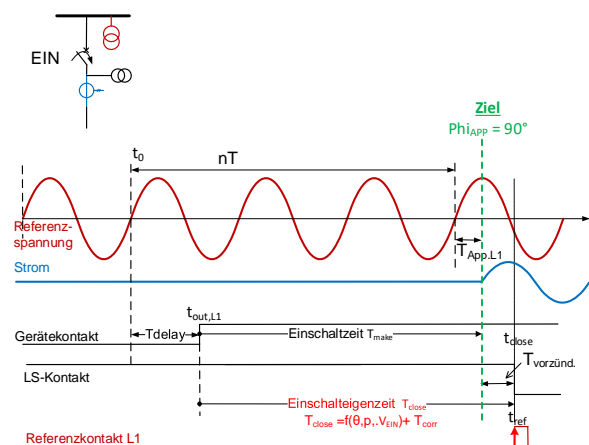


Figure 4 : Principe de commutation pilotée

Un faible niveau de fluctuation sur le temps de fermeture du disjoncteur est nécessaire pour obtenir de bons résultats de commutation. La fluctuation du temps de fermeture sur les contacts auxiliaires est de 1 à 2 ms. Une fluctuation de temps de 1 ms produit, sur un réseau 50 Hz, une erreur d'angle de fermeture de 18° , qui engendre une augmentation du courant d'appel d'environ 30 % (voir la Figure 3). En ce qui concerne le temps de fermeture du disjoncteur, une précision de $< 100 \mu s$, correspondant à $1,8^\circ$, est nécessaire. Les contacts utilisés doivent avoir la fluctuation de temps de fermeture la plus faible possible. Les contacts mécaniques ne sont pas adaptés dans ce cas. Un temps de fermeture constant doit être pris en compte pour le calcul de l'ordre de fermeture.

Le système SIPROTECT 5 est doté de « relais à semi-conducteur » à temps de commutation très court et fluctuation de la durée de commutation très faible. Cela produit des précisions de fermeture de l'appareil de l'ordre de $< 50 \mu s$.

Méthode de test

La référence de temps de la commande de fermeture est le passage par zéro d'une tension donnée, par exemple, U_{L1} . Toutes les durées de fermeture se rapportent à ce point de passage à zéro. Les temps de fermeture de disjoncteur sont utilisés pour calculer l'instant de l'ordre d'enclenchement pour avoir la fermeture des contacts du disjoncteur souhaitée. La source utilisée pour le test doit présenter une stabilité temporelle élevée, ce que les CMC 256/356, par exemple, garantissent. La séquence d'enclenchement peut être produite à l'aide de State Sequencer, tandis que la mesure de la fermeture du contact en fonction de la tension de référence est réalisée au moyen d'un oscilloscope. Le montage et le principe de mesure sont illustrés à la Figure 5.

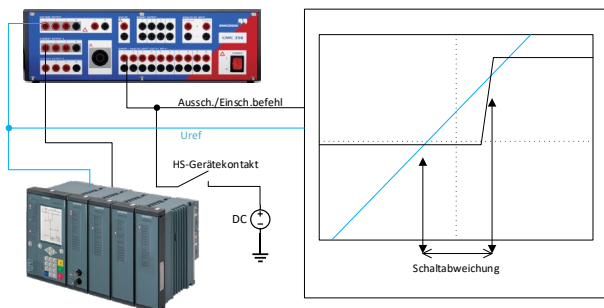


Figure 5 : Montage/principe de mesure

L'écart de la durée de fermeture entre le passage à zéro de la tension de référence et la fermeture du contact du disjoncteur est mesuré. Il indique un écart de durée de fermeture du contact de l'appareil de $< 30 \mu\text{s}$ ($< 0,18^\circ$). La faible fluctuation temporelle des résultats est plus significative dans ce cas. Les imprécisions systématiques peuvent être compensées dans les paramètres. La mesure de l'échantillon de la Figure 6 a entraîné un écart de durée de fermeture entre le passage à zéro de la tension de référence et la fermeture du contact de $3,0 \mu\text{s}$ ($0,054^\circ$).

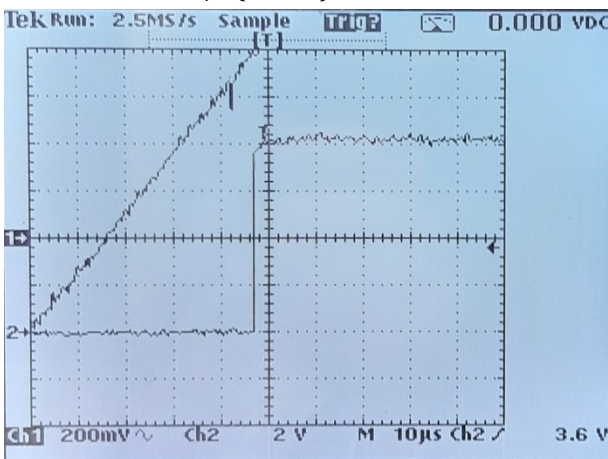


Figure 6 : Mesure de l'écart de la durée de fermeture

Une méthode de mesure simple mais similaire consiste à utiliser les entrées analogiques de compensation. Elles sont généralement utilisées pour compenser la tension auxiliaire des circuits de fermeture/ouverture ou pour enregistrer les positions des contacts de référence (dans le cas de disjoncteurs Siemens, le contact de référence signale l'établissement mécanique du contact du disjoncteur), etc. Une tension directe externe ($\leq 10 \text{ V}$) est appliquée à l'entrée analogique via le contact. L'évaluation de l'enregistrement du défaut produit ($f_{\text{échantillon}}=8 \text{ kHz}$) permet d'évaluer grossièrement la commande fermeture/ouverture en laboratoire pour un test expérimental (résolution temporelle : $125 \mu\text{s}$).

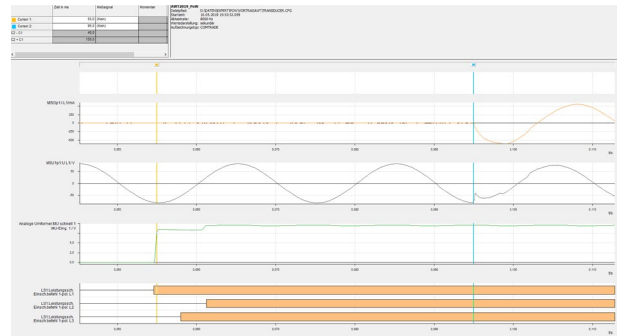


Figure 7

L'utilisation de State Sequencer simplifie également la mesure directe avec un équipement de test CMC adapté. Une mesure directe via les entrées binaires du CMC 356 ne permet pas d'obtenir la même précision que la mesure à l'aide de l'oscilloscope, car les entrées binaires sont lues à une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz (en d'autres termes, tous les $100 \mu\text{s}$). Cela équivaut à un écart angulaire de $1,8^\circ$ et est, par conséquent, acceptable aux fins d'un test expérimental du fonctionnement et/ou des paramètres. Les anciens appareils CMC, comme le CMC 156, n'atteignent pas cette fréquence d'échantillonnage.

Une simulation en boucle fermée est nécessaire pour observer les effets de la commutation sur l'équipement. Les réactions (ou actions) de l'appareil ont un impact direct sur la simulation. C'est une opération complexe qui ne peut être obtenue qu'avec des simulateurs en temps réel onéreux, tels que les RTDS (Real Time Digital Simulator, simulateur numérique en temps réel).

Une approche plus simple consiste à utiliser la fonction de simulation d'itérations en boucle fermée de RelaySimTest. La simulation est ici réalisée à plusieurs reprises afin de tenir compte de la réponse de la commutation. La simulation est réalisée ainsi :

1. Production des variables de simulation, en ignorant les commandes. Les commandes sont mesurées pendant la seconde exécution.

2. Production des variables de simulation, en incluant cette fois les commandes précédemment mesurées.
3. En cas d'écart minime entre le premier et le second ensemble de commandes, la simulation est correcte et terminée ; sinon, d'autres exécutions de simulation sont nécessaires.

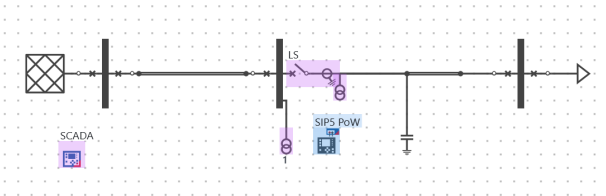


Figure 8 : Réseau simulé (charge capacitive)

Pour une batterie de condensateur, la simulation d'itérations en boucle fermée a été réalisée pour le réseau décrit en Figure 8 pour une fermeture en condition favorable (Figure 9) et une fermeture avec un angle défavorable (Figure 10). La distorsion harmonique plus élevée ne fait aucun doute.

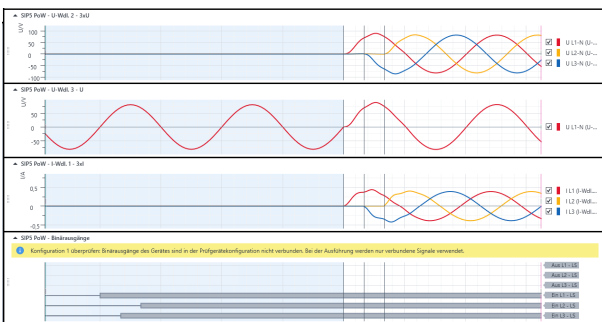


Figure 9 : Fermeture en condition favorable

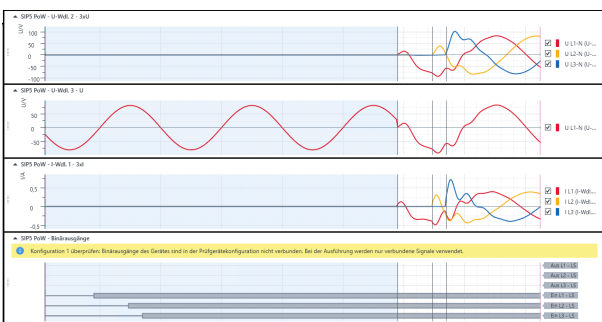


Figure 10 : Fermeture en condition défavorable

Intégration de la fonction de pilotage

Le pilotage du disjoncteur est actuellement effectué par un contrôleur de tranche pour les fonctions de protection et de contrôle. Jusqu'à présent, un appareil distinct était nécessaire pour piloter le disjoncteur

pour avoir une fermeture et une ouverture synchronisées. Pour l'intégrer dans le système de contrôle, un câblage extérieur est nécessaire pour la coordination avec le contrôleur de tranche. Une intégration complète de la fonction de « synchronisation de phase » dans le contrôleur de tranche implique moins d'étude et de coûts d'installation. Comme le synchroniseur de phase est intégré au contrôleur de tranche, le câblage extérieur pour cette fonction de commutation pilotée est largement réduit. Si la « synchronisation de phase » est disponible dans l'appareil et a été activée, chaque manœuvre de commutation sera pilotée.

La fonction de « synchronisation de phase » est incluse dans le groupe de fonctions Disjoncteur. Cette fonction dispose également de blocs de fonctions permettant de l'activer et la désactiver et peut donc être personnalisée pour l'application en question.

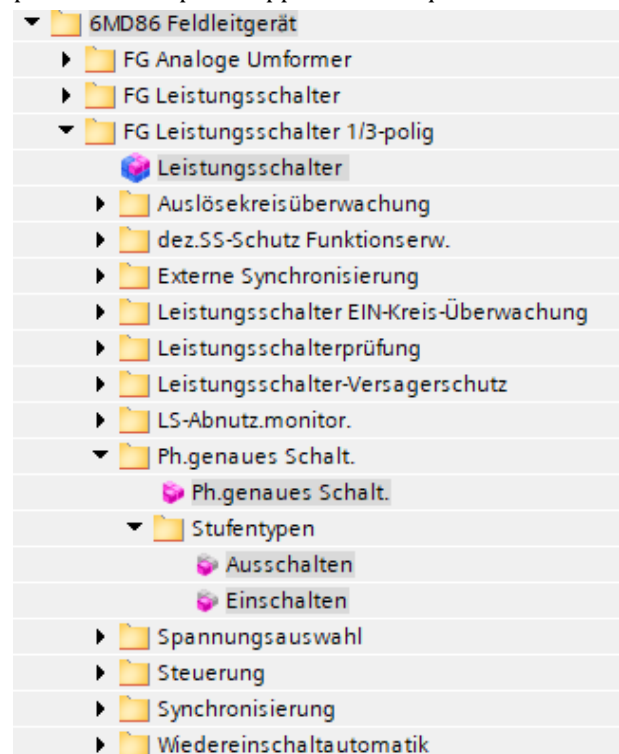


Figure 11a : Synchronisation de phase dans la bibliothèque DIGSI 5



Figure 11b : Paramètre de synchronisation de phase dans le groupe de fonctions Disjoncteur

Résumé

La commutation pilotée permet d'ouvrir et de fermer les disjoncteurs en limitant les contraintes sur ces disjoncteurs et les éléments du réseau. L'intégration de la commutation pilotée dans les fonctions de contrôle permet de mettre en œuvre une synchronisation de phase automatique et efficace. Diverses méthodes de test sont disponibles pour vérifier les résultats. La simulation d'itérations en boucle fermée avec RelaySimTest permet de tester directement les effets de la manœuvre de fermeture sur les variables du système.

Références

- [1] Poster : Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leittechnik 2018, [Investigations sur la réponse dynamique des batteries de condensateur et leurs effets sur la protection, la technologie de protection et le contrôle des processus] Dr Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, Transmission 50 Hertz
- [2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [Manuel, programme utilisateur PSD-Control 2.x pour les appareils PSD01, PSD02 et PSD03], Siemens AG 2012

À propos des auteurs



Dr Klaus Böhme est né à Berlin en 1963. Il a étudié le génie électrique à l'Université technique de Berlin jusqu'en 1989 et a obtenu un doctorat en 1994. Klaus travaille depuis 1992 chez Siemens AG, où il participe au développement des appareils de protection numérique. En tant que développeur et chef de

projet, il a été responsable du développement de divers appareils, à commencer par le 7UM5 V2.x avant de passer au SIPROTEC 4 et au SIPROTEC 5. Il travaille plus précisément dans les domaines de la protection des générateurs, la fonction de synchronisation et les appareils de protection des lignes aériennes. Il est actuellement expert en chef des nouvelles applications pour la plate-forme SIPROTEC 5.



Stefan Werben est né le 1^{er} juin 1964 à Nijmegen, aux Pays-Bas. Il a passé son examen de fin d'études au Goethe Gymnasium d'Einbeck, en Allemagne en 1983. Stefan a étudié le génie électrique à l'Université technique de Braunschweig (Brunswick, Allemagne), d'où il est sorti diplômé

en 1990. En 1991, il est parti aux États-Unis pour étudier pendant un an l'administration des entreprises à l'Université du Sud de l'Illinois à Carbondale. Il a rejoint Siemens AG à Berlin en 1992 en tant que développeur logiciel pour les appareils de protection numérique. Après le développement logiciel et la gestion de projets de développement, il est parti à Nuremberg en 1998 pour occuper un poste de gestion de projet, et y occupe depuis 2001 le poste de chef de projet pour les appareils de protection.

OMICRON est une société internationale qui développe et commercialise des solutions innovantes de test et de diagnostic pour l'industrie électrique. Les produits OMICRON offrent aux utilisateurs une fiabilité extrême dans l'évaluation de leurs équipements primaires et secondaires. Des services dans le domaine du conseil, de la mise en service, du test, du diagnostic et de la formation viennent compléter l'offre OMICRON.

Des clients dans plus de 160 pays bénéficient déjà de la capacité d'OMICRON à mettre en œuvre les technologies les plus innovantes dans des produits d'une qualité irréprochable. Les centres de support implantés sur tous les continents leur offrent en outre une expertise et une assistance de tout premier plan. Tout ceci, associé à un réseau solide de partenaires commerciaux a contribué à faire de notre société un leader sur son marché dans l'industrie électrique.

Pour un complément d'information, une documentation supplémentaire et les coordonnées précises de nos agences dans le monde entier, veuillez visiter notre site Internet.