

Mise en service d'un IED de protection de sous-harmonique à l'aide d'équipements de test avancés

R. Midence, A. Oliveira, N. Perera - ERLPhase Power Technologies Ltd

E. Carvalheira, K. Donaldson - OMICRON electronics

Résumé

Au cours des dernières années, la mise en œuvre de systèmes de protection pouvant détecter des conditions de résonance sous-synchrone (SSR) s'est généralisée. Avec l'avènement de ces protections, un nouveau challenge est apparu : celui de tester et mettre en service ces équipements. La mise en service de protection détectant les sous-harmoniques nécessite de suivre un processus différent de celui utilisé pour les autres protections numériques. Cet article présente les expériences faites par les auteurs lors de la mise en service de relais de protection détectant les sous-harmoniques. Elle décrit également la procédure à l'aide d'un équipement de test de relais avancé (OMICRON CMC 356, les modules Test Universe Ramping et PQ Signal Generator, ainsi qu'un modèle OCC) et le processus recommandé à suivre en phase de préparation, puis lors de la mise en service effective du relais.

L'article étudiera les thèmes suivants :

- Les caractéristiques d'un relais de protection détectant les sous-harmoniques
- Le processus d'ingénierie pour la détermination des paramètres
- La détermination de cas de test pour s'assurer que toutes les fonctions du relais sont testées correctement
- L'utilisation d'un équipement de test de protection avancé permettant la préparation des plans de test à utiliser sur site.
- Le processus suivi sur site pour mettre en service la protection avec un équipement de test de avancé.

Lors de la mise en service des protections contre les sous-harmoniques, les

auteurs ont constaté qu'il existe de grandes zones d'ombre dans la compréhension des phénomènes de SSR et SSCI, dans l'élaboration des réglages de ces protections, et sur la façon de les tester sur site. D'où la nécessité de communiquer et partager l'expérience avec la communauté Protection et contrôle.

L'article décrit l'utilisation d'un équipement test de protection avancé, comprenant un logiciel capable de créer les scripts qui seront utilisés pour tester toutes les fonctions du relais et valider les paramètres. Avant la création des plans de test, il faut analyser les différents cas de défaut réseau utilisés pour déterminer les paramètres du relais, dans le but de créer les cas de test qui confirmeront que le relais répond comme prévu. La procédure nécessite de tester :

- Les plages de fréquence sous-harmoniques – pour s'assurer de l'absence de déclenchement du relais pour les fréquences en dehors de la plage de réglage
- Les amplitudes sous-harmoniques – pour s'assurer de l'absence de dysfonctionnement du relais pour les amplitudes en dessous des seuils définis
- Toutes les fonctions associées telles que : opérations/durée, distorsion sous-harmonique totale, blocage de 2^{de} et 5^e harmonique, etc.
 - Fonctions de protection à la fréquence fondamentale

Mots-clés : résonance sous-synchrone (SSR), interactions sous-synchrones, lignes de transmission, condensateurs série, sous-harmoniques, équipements tests de protection avancés

Introduction

Quelques articles ont été présentés au cours des dernières années, étudiant les différents types d'interactions sous-synchrones entre les éléments du réseau, notamment celles impliquant les générateurs de grosses centrales thermiques, ceux des parcs éoliens, des lignes de transmission HVDC ou lignes compensées série.

Les interactions sous-synchrones (SSI) sont une famille d'interactions physiques qui impliquent un échange d'énergie entre un générateur et un réseau de transmission, se produisant à des fréquences inférieures à la fréquence nominale du système. En font partie la SSR, les SSTI et les SSCI. Plusieurs types d'interactions sous-synchrones sont possibles, dont la résonance sous-synchrone (SSR), les interactions torsionnelles sous-synchrones (SSTI) et les interactions de contrôle sous-synchrones (SSCI). La SSR et les SSTI, notamment, sont bien documentées, comprises et expliquées en détail par Andrew L. Isaacs, Garth D. Irwin et Amit K. Jindal dans [1].

L'IEEE a publié un guide sur la résonance sous-synchrone [2], étudiant les aspects les plus élémentaires de la SSR et des oscillations sous-synchrones dépendantes des équipements, et cite des références pertinentes venant conforter les analyses.

La NERC a publié « Lesson Learned - Sub-Synchronous Interaction between Series-Compensated Transmission Lines and Generation » (Enseignements tirés - Interaction sous-synchrone entre lignes de transmission compensées série et production) le 26 juillet 2011. Le document indique que des événements récents d'oscillations sous-synchrones entre des générateurs éoliens et une ligne de transmission équipée de condensateurs série ont provoqué des dommages considérables sur les éoliennes. Un défaut normalement éliminé sur une ligne 345 kV a provoqué une configuration post défaut du réseau, dans laquelle deux parcs éoliens étaient connectés en parallèle à une ligne de transmission de 345 kV compensée

série. Cette configuration a causé une instabilité de contrôle sous-synchrone (SSCI) entre les éoliennes et la ligne de transmission compensée série, ce qui a entraîné d'importantes surtensions, des distorsions de courant, le déclenchement de tronçons de transmission supplémentaires et des dommages aux circuits de commande des parcs éoliens. Le document conclut qu'il faut modifier le réseau de transmission de façon adéquate lors de l'intégration de parcs éoliens importants. Parmi les mesures envisageables, citons : l'installation de protections supplémentaires pour détecter la SSR et l'éliminer, ainsi que l'installation de systèmes de protection supplémentaires pour éviter la SSR en fonction de la topologie du réseau.

Les recommandations de la NERC incitent les fournisseurs de relais de protection à développer des protections de sous-harmonique capable de détecter les interactions sous-synchrones, de sorte que des mesures correctives, voire préventives, puissent être prises.

K. Narendra et al., fournissent dans [3] une description détaillée d'un relais basé sur microprocesseur, spécialement conçu pour détecter les interactions sous-synchrones et protéger contre celles-ci. [4][5][6] fournissent des informations sur la mise en œuvre d'un relais de protection sous-harmonique, sur le processus d'ingénierie permettant de calculer les paramètres, et proposent également un processus pour valider les qualités de fonctionnement du relais.

Cet article se concentre sur la procédure applicable aux tests de réception sur site d'un relais de protection sous-harmonique, concernant à la fois les fonctions de détection sous-harmonique et les fonctions de protection à la fréquence fondamentale.

Description des paramètres de protection sous-harmonique

[6] Un relais de protection sous-harmonique protège contre les oscillations sous-harmoniques en mesurant les amplitudes des tensions et des courants des sous-harmoniques, avec des fréquences situées dans la plage de 5 à 45 Hz pour les réseaux 50 Hz, ou de 5 à 55 Hz pour les réseaux 60 Hz. Le relais est composé de quatre ensembles d'entrées courant et de deux ensembles d'entrées tension triphasées. Chaque entrée peut être réglée pour détecter des fréquences individuelles de 5 à 45 Hz pour les systèmes 50 Hz, ou de 5 à 55 Hz pour les systèmes 60 Hz, avec deux niveaux de détection. L'équipement est également capable d'ajouter des grandeurs à partir de deux entrées courant, une fonction utile qui permet la surveillance de courants pour des lignes alimentées par deux disjoncteurs, appliquant les réglages de seuil à ces

grandeurs additionnées.

Chaque détecteur de courant ou de tension a les paramètres de détection sous-harmonique suivants :

- Plage de fréquence sélectionnable entre 5 et 45 Hz pour les réseaux 50 Hz, ou 5 et 55 Hz pour les réseaux 60 Hz
- Valeur de détection des seuils de sous-harmoniques
 - Rapport nominal
 - Rapport fondamental
- Temporisation
- Distorsion sous-harmonique totale
- Paramètre Opérations/minute
- Blocage de 2^{de} harmonique – uniquement pour les détecteurs de courant
- Blocage de 5^e harmonique – uniquement pour les détecteurs de courant

Le format des paramètres est indiqué dans les figures 1 et 2 ci-dessous.

The image shows a software configuration window titled "Current 1" with two columns for "Detector 1" and "Detector 2". Each detector has the following settings:

- Name: Current 1 Det 1 (for Detector 1) / Current 1 Det 2 (for Detector 2)
- Pickup Delay: 10.000 s
- Minimum Frequency: 5 Hz
- Maximum Frequency: 25 Hz
- Nominal Ratio: Enabled, Setting: 100 % of SA = 5.00A
- Fundamental Ratio: Enabled, Setting: 100 %
- Total Sub-Harmonic Distortion: Enabled, Setting: 100 %
- Operations / Minute Setting: Enabled, Setting: 20 operations/minute
- Second Harmonic Blocking: Enabled, Threshold: 20 % of SA = 1.00A, Cross Blocking
- Fifth Harmonic Blocking: Enabled, Threshold: 20 % of SA = 1.00A, Cross Blocking

Figure 1 - Paramètres du détecteur de courant

Main Voltage

Detector 1	Detector 2
Name: Main Voltage Det 1	Name: Main Voltage Det 2
Pickup Delay: 10.000 s	Pickup Delay: 10.000 s
Minimum Frequency: 5 Hz	Minimum Frequency: 5 Hz
Maximum Frequency: 25 Hz	Maximum Frequency: 25 Hz
Nominal Ratio <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 % of 69V = 3.45V	Nominal Ratio <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 % of 69V = 3.45V
Fundamental Ratio <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 %	Fundamental Ratio <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 %
Total Sub-Harmonic Distortion <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 %	Total Sub-Harmonic Distortion <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 5 %
Operations / Minute Setting <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 20 operation/minute	Operations / Minute Setting <input type="checkbox"/> Enabled Setting: 20 operations/minute

Figure 2 - Paramètres du détecteur de tension

Les sections suivantes décrivent les fonctions de protection présentées dans les figures 1 et 2.

Plage de fréquence

La plage de fréquence est la plage des fréquences des sous-harmoniques surveillée par le relais. Les limites de la plage de fréquence sont définies par la fréquence minimale et la fréquence maximale, comme indiqué aux figures 1 et 2. Toute sous-harmonique avec une fréquence située en dehors de la plage de fréquence ne sera pas prise en compte pour l'application des paramètres, sauf en ce qui concerne la TSHD.

[3] Le principe de base utilisé dans la détection des sous-harmoniques consiste à comparer l'amplitude de chaque sous-harmonique entre les fréquences minimale et maximale de la plage de fréquence définie par l'utilisateur, puis de la comparer au niveau seuil d'amplitude défini par l'utilisateur.

À des fins de test du relais, il est nécessaire de démontrer que le relais fait la différence entre les fréquences sous-harmoniques situées dans la plage de fréquence et celles situées en dehors.

Valeur de détection des seuils de sous-harmoniques

La détection des seuils de sous-harmoniques peut être associée aux paramètres Rapport nominal et Rapport fondamental.

[3] La fonction sous-harmonique nominale compare le paramètre de seuil de détection au rapport d'amplitude sous-harmonique, sur les entrées courant ou tension nominaux du relais. De façon similaire, le détecteur de sous-harmoniques fondamental compare le paramètre de seuil de détection au rapport de l'amplitude sous-harmonique sur la grandeur fondamentale. Le relais signale une détection lorsque le rapport nominal ou fondamental de toute sous-harmonique située dans la plage de fréquence dépasse le paramètre du seuil de détection. [3] Une interprétation graphique est fournie à la figure 3.

Lors du test, il est nécessaire de démontrer que le relais est capable de calculer précisément les amplitudes de Rapport nominal et Rapport fondamental et qu'il détecte à la valeur réglée avec la précision spécifiée.

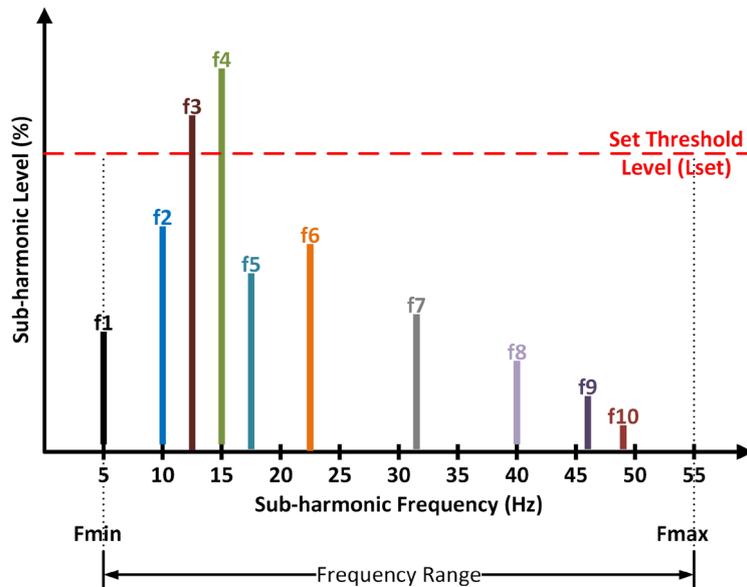


Figure 3 - Seuils de sous-harmoniques pour le Rapport nominal et le Rapport fondamental, pour un réseau 60 Hz

Distorsion sous-harmonique totale

[3] Le détecteur de distorsion sous-harmonique totale (TSHD) calcule le niveau de distorsion comme suit :

$$\text{TSHD}(\%) = \frac{\sqrt{f_{5\text{Hz}}^2 + f_{6\text{Hz}}^2 + f_{7\text{Hz}}^2 + \dots + f_{55\text{Hz}}^2}}{f_{60\text{Hz}}^3}$$

[3] Notez que, comme indiqué dans l'équation ci-dessus, toutes les amplitudes sous-harmoniques de 5 à 45 Hz pour les réseaux 50 Hz, ou de 5 à 55 Hz pour les réseaux 60 Hz, seront prises en compte pour l'évaluation de la TSHD, en ce qui concerne la tension fondamentale 60 Hz, le courant ou le canal dérivé virtuel. La même définition est applicable pour un réseau 50 Hz.

Le test de cette fonction permet de vérifier que le relais calcule correctement la TSHD et qu'il détecte à la valeur définie et avec la précision spécifiée.

Opérations par minute

- (1) [3] Cette fonction a pour but de compter les oscillations sous-harmoniques au-dessus du seuil défini mais ayant une durée inférieure à la temporisation réglée et pouvant se produire sans que les détecteurs classiques le décèlent, comme décrit ci-dessus. L'occurrence régulière de cet événement, même sur une durée inférieure à la temporisation configurée, peut avoir un impact négatif sur le réseau de transmission et ses composants, notamment pour les gros générateurs de centrales thermiques ou les éoliennes. Un détecteur d'opérations/minute a été spécialement conçu pour détecter de tels événements. La figure 4 donne un aperçu de son fonctionnement.

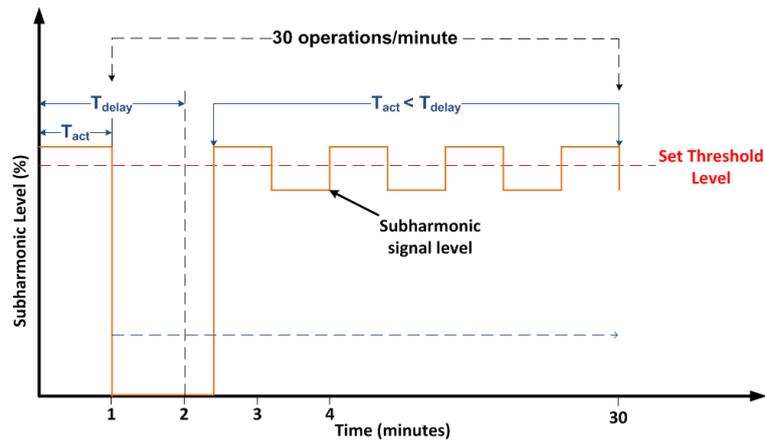


Figure 4 - Principe des opérations par minute

[3] Dans l'exemple ci-dessus, un événement avec 30 opérations par minute est représenté (pas à l'échelle). Le temps $T_{\text{réel}}$ correspond à la durée réelle du signal sous-harmonique supposée. Cet événement n'est pas détecté par les détecteurs classiques mentionnés dans la section précédente. Il passe inaperçu car la temporisation $T_{\text{délai}}$ n'a pas été dépassée. Les 30 opérations (dépassement de la limite définie) seront comptées et surveillées en interne. Si le nombre défini d'opérations par minute dépasse le nombre calculé, ce détecteur spécial émet un déclenchement ou une alarme, conformément à ce qui a été configuré. De cette manière, des perturbations périodiques, avec des durées inférieures à la limite configurée, peuvent être détectées.

Le test de cette fonction permet de confirmer que le relais mesure précisément la durée de chaque événement, qu'il détermine correctement le nombre d'incidents ayant une durée inférieure à $T_{\text{délai}}$, et qu'il compte précisément le nombre d'incidents de courte

durée.

Blocage par 2^{de} et 5^e harmonique

Les protections peuvent être exposées à certains phénomènes transitoires tel que le courant d'appel lors de la mise sous tension d'un transformateur, ou une surexcitation du transformateur en cas de variations importantes de la tension réseau. Dans ces situations pour éviter un déclenchement intempestif, la protection doit filtrer ces harmoniques. L'harmonique de rang 2 est présente lors d'un courant d'appel et la 5 lors de surexcitation du transformateur.

Les tests de ces fonctions permettent de confirmer que le relais filtre correctement les 2^{de} et 5^e harmoniques (qui peut également contenir des sous-harmoniques), et bloque correctement le déclenchement lorsque le seuil de la 2^{de} et 5^e harmonique est dépassé.

Test des fonctions du relais

Montage de test

La figure 5 illustre la configuration de l'équipement pour le test.

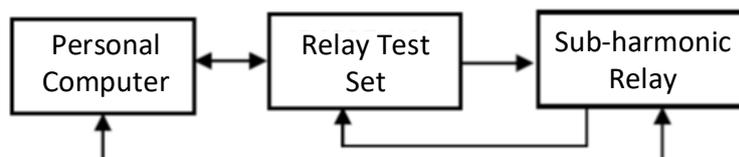


Figure 5 - Configuration de l'équipement pour le test

L'équipement de test doit être capable de générer différents signaux de sous-harmoniques, superposés à la fréquence fondamentale, afin de tester les fonctions du relais et valider ses paramètres.

Test des caractéristiques et des valeurs de seuil

Pour les paramètres des détecteurs de sous-harmoniques, tension et courant, une plage de fréquence sous-harmonique peut être définie en sélectionnant une « Fréquence minimale » et une « Fréquence maximale ». Les paramètres de la fréquence minimale et de la fréquence maximale sont utilisés par le « Rapport nominal », le « Rapport fondamental » et les éléments qui leur sont associés. Les seuils peuvent être définis individuellement pour chaque élément de deux manières différentes : (a) « Rapport nominal », les seuils des éléments sont définis par le rapport de l'amplitude de composante sous-harmonique et l'amplitude de grandeur nominale ; (b) « Rapport fondamental », les seuils des éléments sont définis par le rapport de l'amplitude de composante sous-harmonique et l'amplitude de composante fondamentale pour la tension et le courant.

Pour que la détection des éléments « Rapport nominal » et « Rapport fondamental » se produise, deux conditions doivent être remplies : l'amplitude des composantes sous-harmoniques entraîne des rapports supérieurs au seuil des paramètres des éléments, respectivement, et la fréquence des composantes sous-harmoniques s'inscrit dans les paramètres de plage de fréquence.

Le test des limites de la plage de fréquence et des valeurs de seuil de détection est effectué à l'aide d'un module logiciel capable d'augmenter ou de diminuer les amplitudes de tension et de courant, à des fréquences sous-harmoniques spécifiques. Pour le test décrit ci-dessous, la plage de fréquence a été réglée sur 5 Hz et 45 Hz et le seuil de détection de courant sur 100 mA.

La Figure 6 montre une capture d'écran du module de test configuré pour ce

test. La séquence de test entière a été effectuée en appliquant une tension nominale et un courant de charge de 2,5 A sur chaque phase à la fréquence nominale (voir {1} dans la Figure 6). Cinq segments de rampe ont été créés pour simuler les conditions suivantes que nous voulons tester :

- Rampe 1 : cet état est utilisé pour vérifier que le relais fonctionne correctement pour les fréquences sous-harmoniques inférieures à la plage de fréquence minimale. Un courant constant à une fréquence sous-harmonique de 4 Hz et une amplitude supérieure à la valeur de détection est superposé au signal (voir {2}). La vue Signal temporel (voir {3}) permet de vérifier qu'il n'y a pas de déclenchement du relais.
- Rampe 2 : vérifier que le relais déclenche lorsqu'une composante sous-harmonique suffisante est mesurée dans les valeurs situées dans la plage. L'amplitude du courant à 5 Hz est incrémentée jusqu'au déclenchement du relais. Chaque échelon de la rampe a une durée de 5 secondes, et donc supérieur au temps de déclenchement de l'élément. La fenêtre d'évaluation (voir {4}) montre que le relais déclenche à une valeur de seuil mesurée de 102 mA.
- Rampe 3 : pareil que la rampe 1, mais cette fois, avec une sous-harmonique de 46 Hz. Aucun déclenchement n'est enregistré puisque le critère de plage de fréquence n'est pas rempli.
- Rampe 4 : pareil que la rampe 2, mais cette fois, avec une sous-harmonique de 45 Hz. La fenêtre d'évaluation (voir {4}) montre que le relais déclenche lorsque l'amplitude de courant atteint 102 mA.
- Rampe 5 : application des signaux uniquement à la fréquence nominale. Le contact du relais retombe.

La même procédure peut être répétée pour tester les limites de fréquence et valeurs de détection pour les éléments de tension, s'ils sont activés.

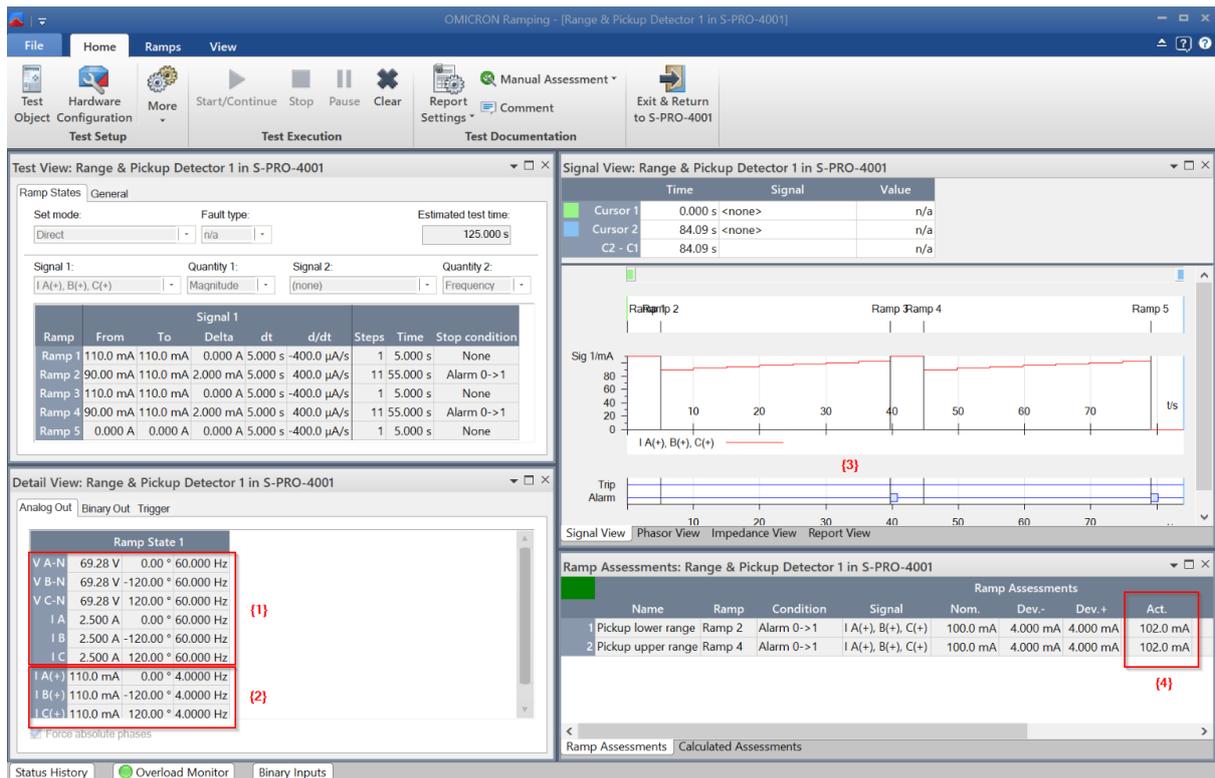


Figure 6 - Configuration du test des limites de fréquence et des valeurs de détection

Test de l'élément de distorsion sous-harmonique totale (TSHD)

Pour la « Distorsion sous-harmonique totale (TSHD) », les seuils des éléments sont définis par le rapport de la somme de toutes les amplitudes des grandeurs dans les plages de 5 Hz à 45 Hz pour les réseaux 50 Hz ou de 5 Hz à 55 Hz pour les réseaux 60 Hz, et l'amplitude de grandeur fondamentale. Pour que l'élément « TSHD » soit activé, la somme de toutes les amplitudes sous-harmoniques des grandeurs doit être supérieure aux seuils des éléments TSHD (réglés sur 5 % pendant ce test).

Pour effectuer ce test, la tension nominale et un courant d'1 A à la fréquence nominale ont été appliqués. Des fréquences sous-harmoniques de 5, 25 et 45 Hz ont été ajoutées aux signaux de courant. Deux signaux ont été simulés avec les valeurs sous-harmoniques de :

- THD de 6,93 % pour prouver le déclenchement à des valeurs supérieures au seuil défini (Figure 7).
- THD de 4,92 % pour prouver que le relais ne déclenche pas à des valeurs inférieures au seuil défini.

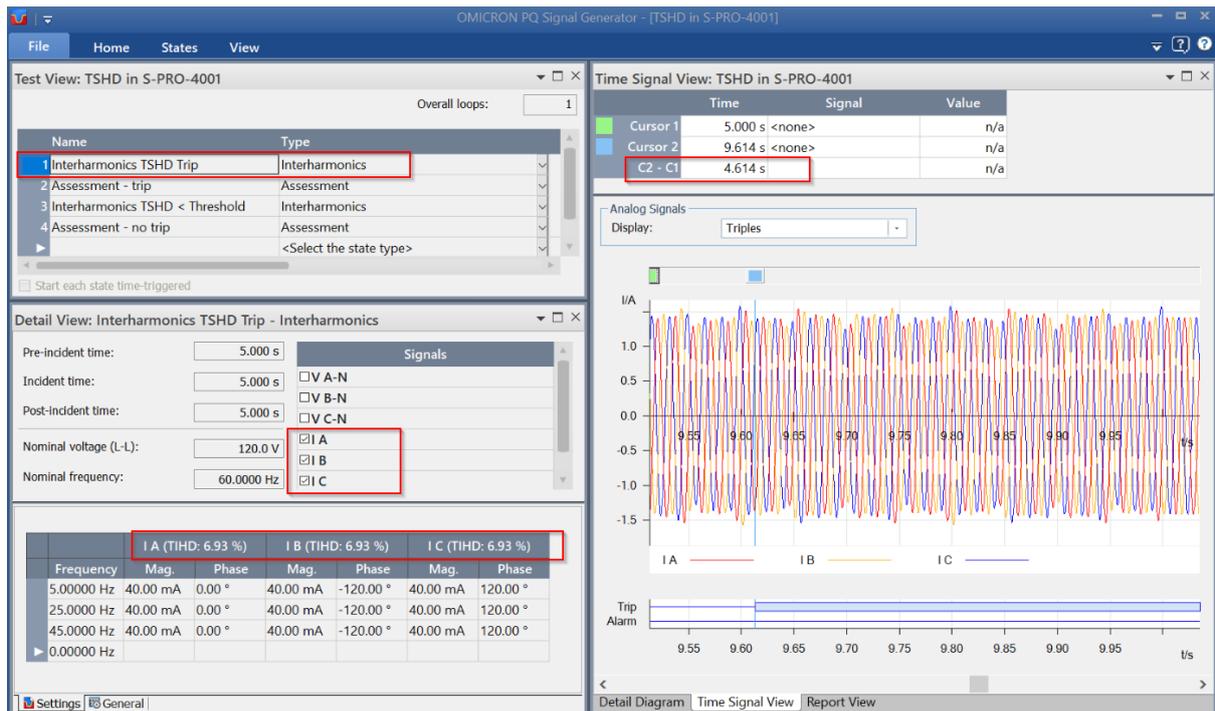


Figure 7 - Forme d'onde de courant utilisée pour tester le déclenchement de la distorsion sous-harmonique totale (TSHD)

Test du nombre d'opérations/période

Pour les paramètres des éléments « Opérations/période », tension et courant, il est possible de régler un nombre d'occurrences sur une période définie (en minutes). Une occurrence est un événement au cours duquel l'un des éléments « Rapport nominal », « Rapport fondamental » ou « TSHD » est activé, mais ne dure pas suffisamment de temps pour déclencher la fonction S-PRO. L'élément « Opérations/période » est disponible uniquement lorsqu'un des éléments sous-harmoniques qui lui sont associés est déjà activé.

Pour que les éléments « Opérations/période » assurent la détection, le nombre d'occurrences dans une minute doit être supérieur à leur seuil.

La Figure 8 montre la configuration pour ce test. Un signal a été adapté avec

l'amplitude d'une fréquence sous-harmonique de 25 Hz supérieure à la valeur de seuil, mais avec une durée de seulement 3 s, ce qui est inférieur à la temporisation de déclenchement définie de 4 s.

L'outil de test permet la répétition du même signal en réglant le paramètre « Nbre de répétitions » tel qu'indiqué à la Figure 8. L'élément a été réglé sur 25 opérations sur 2 minutes. Par conséquent, le signal a été configuré pour 25 répétitions. Comme chaque répétition a une durée de 4 s (1 s de pré-incident plus 3 s de durée d'incident), la durée totale du test est d'environ 1 minute et 40 secondes. À la fin de la 25^e répétition, un déclenchement du relais a pu être observé. La Figure 9 montre le rapport du test avec la preuve que le fonctionnement de l'élément a été détecté par l'équipement de test après la fin de la 25^e opération et dans l'intervalle de 2 minutes.

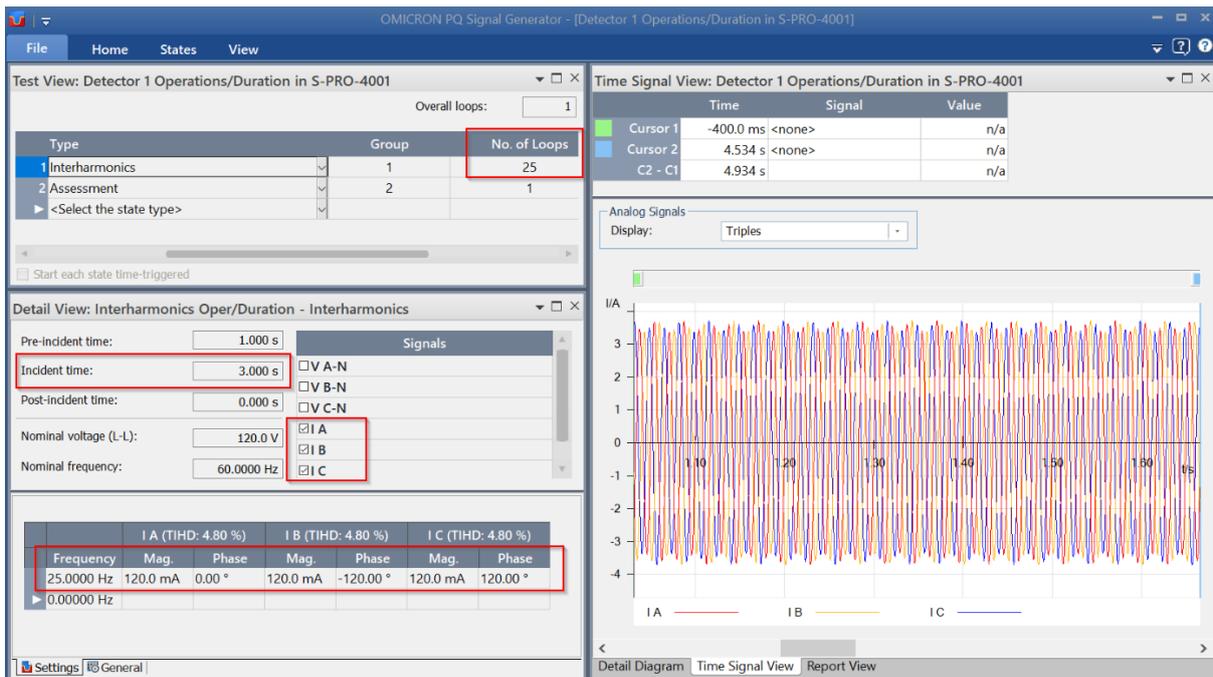


Figure 8 - Forme d'onde utilisée pour tester les opérations par minute

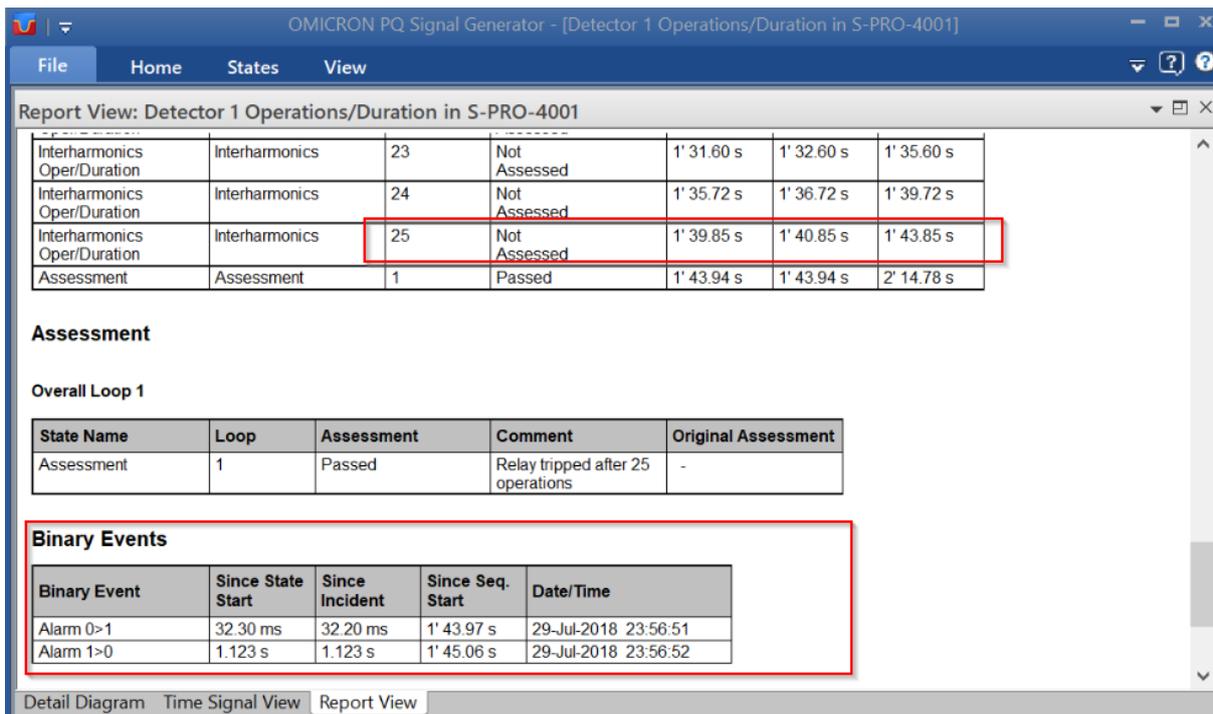


Figure 9 - Rapport du test des opérations par minute avec enregistrement d'événement binaire

Test du temps de déclenchement

Pour la vérification de la temporisation du relais, un signal est créé avec une composante fondamentale et une composante sous-harmonique de 25 Hz. Les composantes de courant fondamentale et sous-harmonique

sont fixées et leurs amplitudes sont suffisantes pour activer les détecteurs de sous-harmoniques S-PRO. La temporisation du relais peut être analysée avec l'état des entrées binaires dans la vue Signal temporel, comme indiqué à la Figure 10.

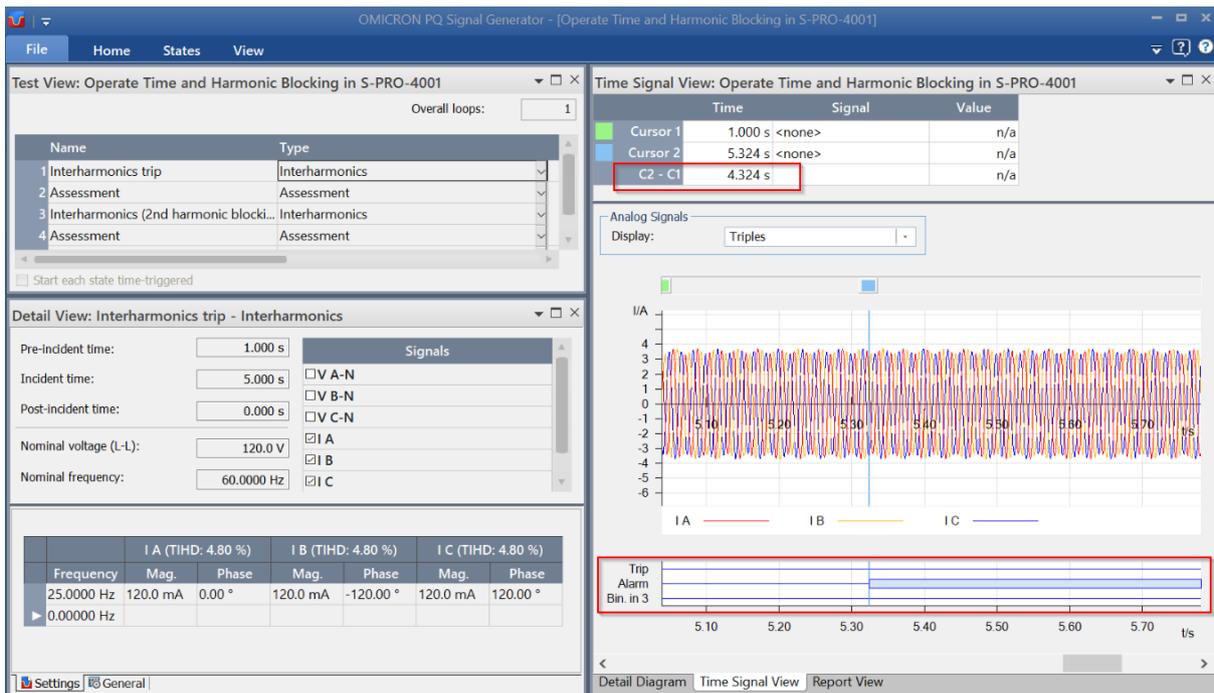


Figure 10 - Test de la temporisation

Test du blocage par 2^{de} harmonique

Pour les paramètres des fonctions « Blocage par 2^{de} et 5^e harmonique », les seuils des fonctions sont définis par le pourcentage d'harmonique par rapport au fondamental.

Pour que les éléments « Blocage par 2^{de} harmonique » et « Blocage par 5^e harmonique » bloquent les détecteurs de sous-harmoniques, le rapport de l'amplitude de composante de 2^{de} harmonique et/ou de 5^e harmonique et du courant nominal doivent être supérieurs à leurs seuils respectifs.

Ce test est effectué de la même manière que dans la Figure 10 pour le temps de fonctionnement, mais en ajoutant à présent également une composante de seconde harmonique au signal, comme le montre la Figure 11. L'amplitude de la 2^{de} harmonique est réglée sur une valeur supérieure au seuil de l'élément « Blocage par 2^{de} harmonique », bloquant le fonctionnement d'éléments sous-harmoniques.

Les éléments « Blocage par 5^e harmonique » peuvent être testés de la même manière que les éléments « Blocage par 2^{de} harmonique ».

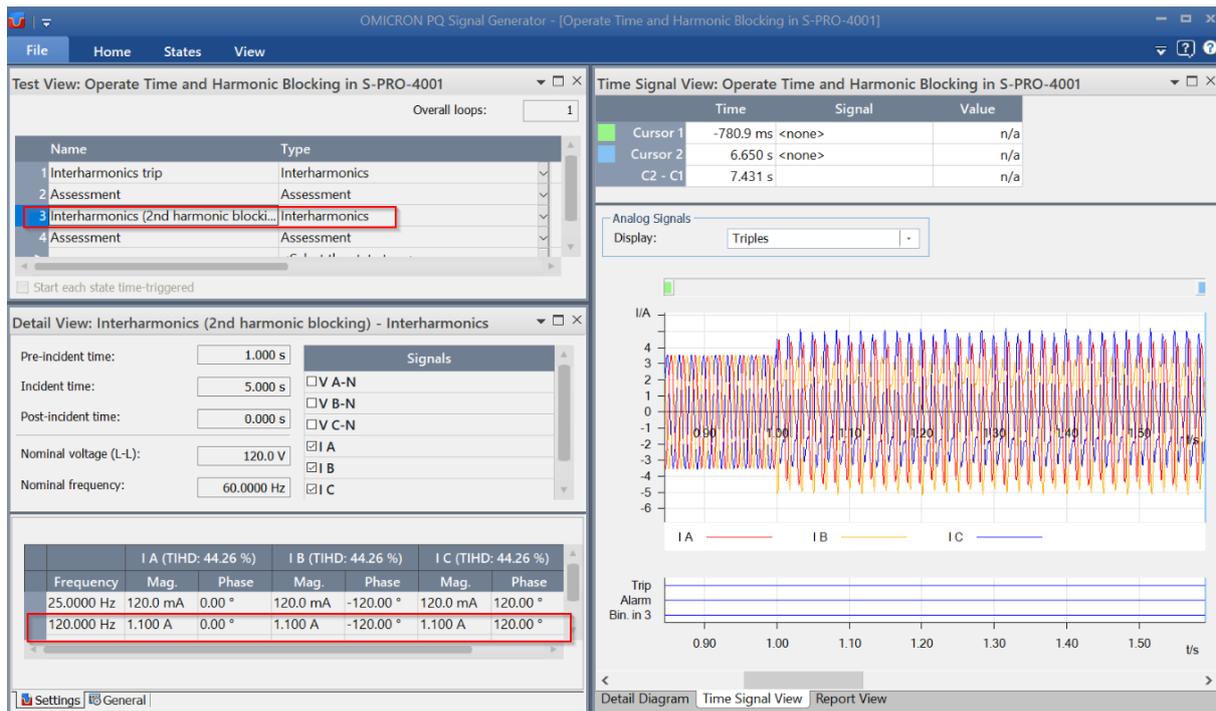


Figure 11 - Forme d'onde pour le test du blocage par 2^{de} harmonique

Conclusion

L'objectif de cet article est de décrire la procédure de test permettant de mettre en service un relais de protection sous-harmonique, au moyen d'un système de test de relais avancé capable de générer les formes d'onde nécessaires à la simulation de cas de test appropriés.

Une description complète de la procédure de test est fournie, ainsi que des exemples montrant les formes d'onde types utilisées pour le test de chaque fonction.

Il est important de noter que les relais de protection sous-harmonique ne peuvent pas être testés suite à une simple injection de courant et de tension, car chaque test nécessite une combinaison spécifique de signal fondamental et de composante sous-harmonique.

L'article décrit la procédure de test des détecteurs de courant ou de tension pour les paramètres de détection sous-harmonique suivants :

- Plage de fréquence sélectionnable entre 5 et 55 Hz

- Valeur de détection des niveaux sous-harmoniques
 - Rapport nominal
 - Rapport fondamental
- Temporisation
- Distorsion sous-harmonique totale
- Paramètre Opérations/minute
- Blocage par 2^{de} harmonique
- Blocage par 5^e harmonique

1. RÉFÉRENCES

- [1] « Sub-Synchronous Control Interactions between Type 3 Wind Turbines and Series Compensated AC Transmission Systems », Andrew L. Isaacs, *Membre, IEEE*, Garth D. Irwin, *Membre, IEEE* et Amit K. Jindal, *Membre, IEEE*
- [2] « Reader's Guide to Sub-Synchronous Resonance » et rapport du comité de l'IEEE par le groupe de travail sur la résonance sous-synchrone du sous-comité des qualités de fonctionnement

dynamiques des réseaux, Transactions on Power Systems, Vol. 7, N° 1, février 1992

- [3] « A Microprocessor-Based Sub-Harmonic Protection Technique for Wind Farms », Krish Narendra, Dave Fedirchuk, Adi Mulawarman, Pratap Mysore, Conférence EPEC 2011 de l'IEEE
- [4] « New Microprocessor Based Relay to Monitor and Protect Power Systems against Sub-Harmonics », K. Narendra, D. Fedirchuk, R. Midence, N. Zhang, A. Mulawarman, P. Mysore, V. Sood, Conférence EPEC 2011 de l'IEEE
- [5] « Performance Evaluation of a Sub-Harmonic Protection Relay Using Practical Waveforms » N. Perera, K. Narendra, D. Fedirchuk, R. Midence, V. Sood, Conférence EPEC 2012 de l'IEEE
- [6] « Sub-harmonic protection application for interconnections of series compensated lines and wind farms », René Midence, Joe Perez, P.E., Adi Mulawarman, Western Protective Relay Conference 2012, Pullman, Washington.

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.