

SIMPLIFICATION DES TESTS DES QUALIMÈTRES DE RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Lukas Dieterich (OMICRON electronics GmbH/Université de Stuttgart), Cord Mempel (OMICRON electronics GmbH), Adrian Eisenmann (Université de Stuttgart)

lukas.dieterich@omicronenergy.com

Autriche

Résumé

L'impact croissant de la qualité de l'énergie fournie est illustré par le nombre toujours plus important d'analyseurs de qualité du réseau installés à tous les niveaux de tension. Pour commencer, cet article décrit brièvement le cadre existant des normes CEI relatives aux tests de ces appareils. Pour les tests de type du constructeur et les tests de validation chez les exploitants de réseau électrique, une gamme de test pré établie conforme à la norme CEI 62586-2 est présentée. Les plans de test existants déjà fournis par un fabricant d'équipement de test ont été entièrement retravaillés afin de tenir compte des changements récents dans les normes, guider les utilisateurs pendant le test et, surtout, offrir une assistance conséquente pour l'évaluation du test. Les résultats des tests d'un qualimètre type sont abordés. L'article présente également un ensemble de tests adapté pour des essais de mise en service sur site ou des essais de routine de ces qualimètres.

Mots-clés

Qualité d'alimentation, qualimètre, test de type, modèles de test, CEI 61000-4-30, CEI 62586, EN 50160

1 Introduction

En raison du nombre croissant de sources d'énergie réparties (comme les installations photovoltaïques) et de charges non conventionnelles, l'impact de la qualité du signal sur le réseau électrique augmente sans cesse. Les gestionnaires de réseau électrique doivent se conformer aux normes de réglementation telles que l'EN 50160 ; les sites industriels concluent des accords contractuels sur la qualité de l'énergie fournie et même les consommateurs subissent de plus en plus souvent les effets d'une qualité du signal insuffisante. Selon le rapport d'enquête sur la qualité du réseau en Europe, les coûts liés à cette non qualité s'élèvent à plus de 150 milliards € par an dans l'Union européenne [1]. Cette tendance va se poursuivre avec l'utilisation toujours plus importante d'électronique de puissance et d'éléments non linéaires dans le réseau électrique, qui affectent tous deux la qualité du signal fourni.

Cela se traduit par un plus grand nombre de qualimètres installés sur le réseau électrique et aux différents points de livraison de l'énergie. Tout dysfonctionnement ou baisse de précision peut avoir un impact financier sur l'opérateur. D'autre part, l'expérience et la sensibilisation à la qualité du réseau électrique font défaut, plus particulièrement chez les petits gestionnaires de réseau, dans l'industrie et chez les consommateurs finaux. Cela s'explique également par le fait que dans l'Union européenne les investissements dans l'amélioration de la qualité du réseau et dans sa surveillance ne représentent qu'environ 10 % des coûts mentionnés précédemment. [2].

Les exigences de base d'un système de surveillance de la qualité du réseau sont une précision de mesure élevée et un fonctionnement continu des appareils utilisés. Mais très souvent, on ne porte pas toute l'attention requise lors de la mise en service de ces qualimètres et les contrôles ou tests de routine ultérieurs ne sont généralement pas effectués. Ceci s'explique par le fait qu'à part pour les relais de protection, il n'existe aucune règle ou procédure communément établie pour l'installation, les tests de routine ou l'étalonnage. Par conséquent, un dysfonctionnement ou une baisse de précision peuvent passer inaperçus malgré leur impact financier conséquent.

À l'heure actuelle, la plupart des qualimètres utilisés sur le réseau haute ou moyenne tension sont classés selon la norme CEI 61000-4-30 en classe A ou S. Pour ces appareils, les normes CEI 62586-1 et -2 définissent les exigences et tests de type à réaliser par le constructeur. En principe, des gammes de test

adaptées peuvent être utilisés afin de qualifier les qualimètres (tests d'acceptation), et pour les tests de maintenance. Mais les tests définis dans ces normes sont chronophages et complexes. Une seconde difficulté découle de l'évaluation du test, par exemple lorsqu'un traitement ultérieur de plusieurs valeurs caractéristiques enregistrées par l'équipement testé s'avère nécessaire.

Mais dans le même temps, un équipement de test adapté peut déjà être disponible : la précision de nombreux équipements de test de protection de pointe répond également aux exigences des tests des qualimètres. Et avec un plan de test et les modules logiciels adéquats, les tests des qualimètres ne sont plus insurmontables mais comparables à ceux d'un relais de protection.

Cet article participe ainsi à rendre les tests des qualimètres plus simples, clairs et pratiques.

2 Le phénomène de la qualité d'alimentation conformément à la norme CEI 61000-4-30

Pour faire simple, la qualité du signal décrit le degré de conformité entre un signal sinusoïdal idéal et la forme d'onde réellement mesurée sur le réseau. La qualité du signal est traditionnellement assimilée à la qualité de la tension. Mais parmi les paramètres de fréquence et de tension figurent aujourd'hui des critères supplémentaires tels que la fiabilité du service et les caractéristiques de courant.

Pour tester les qualimètres, la norme CEI 61000-4-30 énumère les paramètres suivants :

- Stabilité de la fréquence
- Phénomène de tension
 - Variations de l'amplitude
 - Chutes, élévations et interruptions
 - Harmoniques, interharmoniques
 - Déséquilibre
 - Flicker
 - Variations rapides de la tension
- Phénomènes de courant
 - Variations de l'amplitude
 - Harmoniques, interharmoniques
 - Déséquilibre
- Tensions de signalisation du secteur

De plus, il existe des tests pour les fonctions spéciales des appareils :

- Indication des valeurs de mesure liées à des événements de tension
- Précision de l'horloge interne
- Variations des grandeurs d'influence externes

Les effets d'une qualité insuffisante du réseau vont des simples perturbations à la destruction des équipements connectés au réseau, en passant par les pannes. Les chutes et courtes interruptions, en particulier, ainsi que les surtensions et transitoires émergeant dans l'environnement électrique sont la principale cause de dommages financiers [1].

3 Tests des qualimètres

3.1 Normes des tests des qualimètres

Les conditions fondamentales de la norme pour tester les qualimètres sont définies dans un cadre regroupant différentes normes CEI. Cela peut paraître compliqué et est donc brièvement expliqué par la suite et visualisé dans la Figure 1. La base de la normalisation des mesures de qualité du réseau est la norme CEI 61000-4-30, qui définit les méthodes de principe et précise la classification des appareils (A ou S) y compris des exigences de précision. Cette norme se réfère à CEI 62586-1 pour les spécifications

générales des appareils et 62586-2 pour la description réelle des signaux de test (de type). Dans certains cas exceptionnels, les normes supplémentaires CEI 61000-4-2, 61000-4-7 et 61000-4-15 doivent être incluses dans la procédure de test.

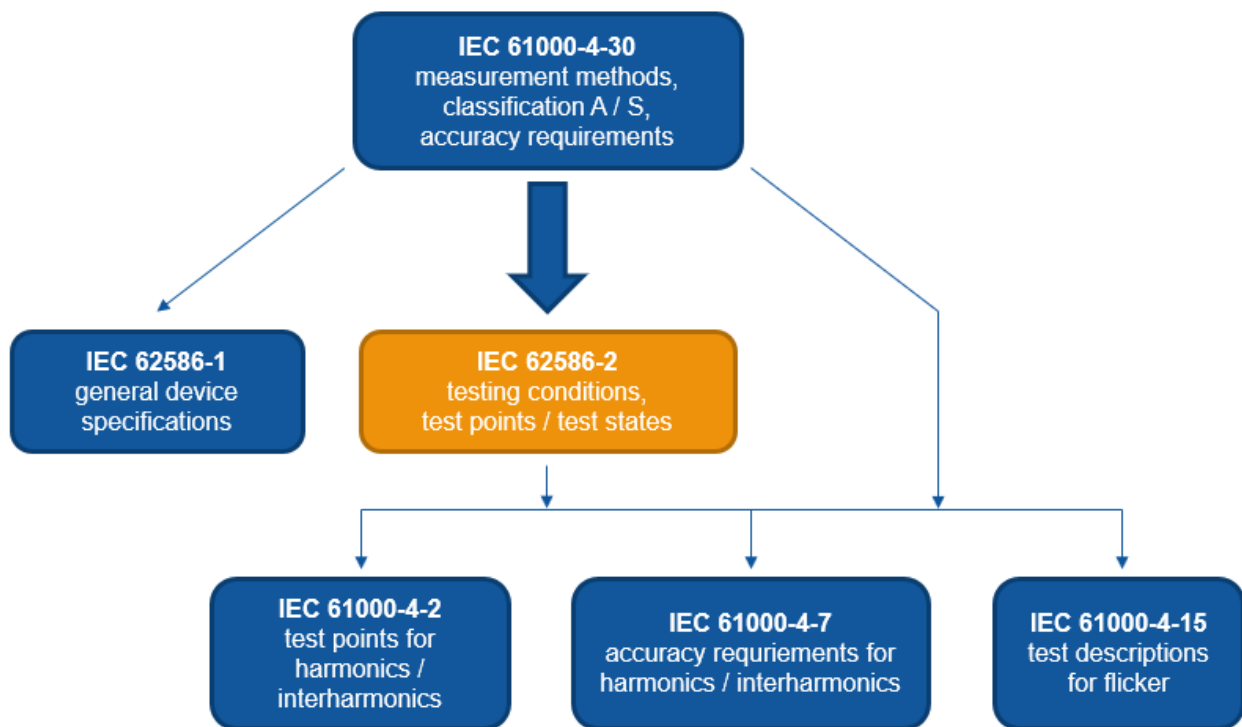


Figure 1 : Cadre des normes CEI pour les tests de la qualité d'alimentation

3.2 Montage de test

Les exigences types d'un équipement de test pour tester les qualimètres sont les suivantes :

- 3 canaux de sortie de tension
- 3 canaux de sortie de courant
- Précision élevée (qui correspond à la classe du qualimètre à tester)
- Modules logiciels qui simplifient la bonne simulation du phénomène de non qualité du réseau
- Équipement de test capable de fonctionner avec des plans de test automatisés
- Tests pouvant être démarrés par synchronisation horaire et déclenchés par un signal temporel

Pour certains tests, la synchronisation horaire de l'équipement de test et du qualimètre est obligatoire. C'est, par exemple, le cas lorsqu'un flicker de courte durée P_{st} ou une incertitude de l'horloge doivent être évalués. Pour de nombreux autres tests, la synchronisation horaire n'est pas obligatoire mais s'avère très utile pour une procédure de test régulière et une évaluation simplifiée.

En pratique, pour cet article, nous avons utilisé les équipements de test OMICRON CMC 256plus et CMC 430, qui répondent tous deux aux exigences de précision pour tester un qualimètre de classe A. Les appareils testés étaient un Siemens SICAM Q200 et un Eberle PQI-DA (tous deux des appareils de classe A selon la norme CEI 61000-4-30). Pour la synchronisation horaire, un CMGPS 588 a été connecté. Dans de nombreux tests, le CMC 430 a été ajouté pour les mesures de référence grâce à sa fonctionnalité Enerlyzer Live intégrée. Le montage de test complet est illustré à la Figure 2.

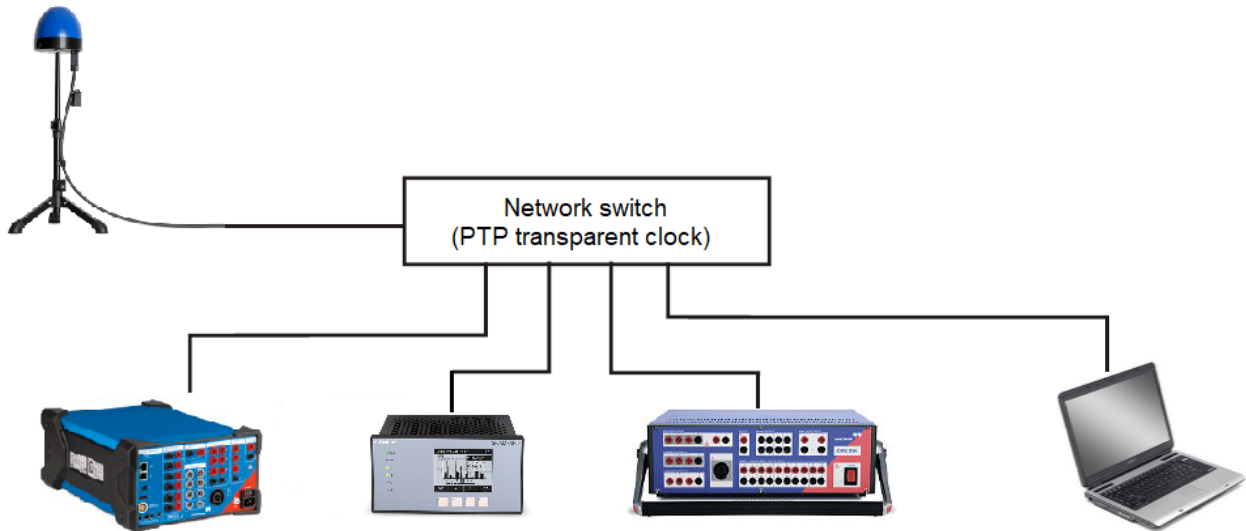


Figure 2 : Montage de test utilisé pour tester les qualimètres : CMGPS (en haut), CMC 430 (à gauche), SICAM Q200 (au milieu), CMC 256plus (à droite), ordinateur (figure propre, source des différentes images OMICRON [3] et Siemens [4]).

3.3 Modèles de test

La réalisation et l'évaluation des tests pour les qualimètres peuvent s'avérer complexes. C'est pourquoi des plans de test ont été élaborés afin d'expliquer le test réalisé et de guider l'utilisateur dans l'évaluation. Ils contiennent toutes les informations nécessaires pour réaliser un test, comme les paramètres de l'équipement de test et de l'équipement à tester, sans oublier le signal de test.

Les plans de test peuvent être automatiquement adaptés à la tension nominale et à la fréquence nominale définies du qualimètre à tester.

Ces modèles permettent à l'utilisateur de lancer directement les tests. Il peut aisément réaliser et évaluer chaque test, même sans connaissances approfondies du cadre de normes présenté à la section 3.1. Les modèles exécutent automatiquement tous les tests nécessaires, et ne sont interrompus que par des boîtes de dialogue du programme qui fournissent des informations à l'utilisateur. Chaque modèle permet à l'utilisateur d'apporter des entrées spécifiques pour l'équipement de test employé comme pour l'équipement à tester. De même, les tests mis en œuvre peuvent être adaptés à des cas d'utilisation particuliers ; des adaptations individuelles sont possibles (par exemple, étapes de test à réaliser, durée des temps de pré-incident ou données liées au phénomène comme l'amplitude de flicker).

3.4 Évaluation

Contrairement aux tests de protection dont les résultats dépendent d'un signal binaire, l'évaluation des tests de qualité d'alimentation requièrent davantage d'efforts. Dans certains cas, l'utilisateur peut obtenir des valeurs de mesure pertinentes pour l'évaluation en lisant simplement la mesure sur l'écran du qualimètre. Mais pour la plupart des cas de test, l'évaluation est réalisée à partir de la lecture des valeurs mesurées et calculées depuis la mémoire du qualimètre. Par ailleurs, il existe certains tests où un post-traitement des données pertinentes est nécessaire pour l'évaluation.

Les modèles de test créés demanderont automatiquement à l'utilisateur s'il souhaite effectuer une évaluation après chaque test. Un test peut être évalué en *Réussi*/*Échoué*/*Non évalué*. Il est toujours possible de modifier l'évaluation par la suite en choisissant *Évaluation manuelle*. C'est pourquoi nous recommandons d'évaluer les tests avec l'option *Non évalué* au départ. Par la suite, dans une seconde étape et avec des outils supplémentaires, comme Excel, l'évaluation finale peut être réalisée.

Les modèles de test guident l'utilisateur dans l'évaluation en proposant un tableur Excel pour le post-traitement des données de test. Les utilisateurs peuvent ainsi réaliser l'évaluation rapidement et sans consultation chronophage des normes.

4 Tests de type et d'acceptation conformément à la norme CEI 62586

Certains plans de test développés pour une version précédente de la norme CEI 62586 ont déjà été mis à disposition. Lors d'une première étape, ils ont été mis à jour et enrichis afin de couvrir tous les tests définis par la norme CEI 62586-2. Seuls quelques tests ont été laissés de côté, comme pour l'influence des températures. Les modèles sont complétés par un manuel d'utilisation afin d'assister davantage l'utilisateur dans les tests des qualimètres.

Les boîtes de dialogue du programme mentionnées, qui fournissent à l'utilisateur des informations essentielles sur chaque test, évitent la lecture superflue des normes CEI. Dans le même temps, la structure de chaque modèle est conforme au chapitre correspondant de la norme CEI 62586-2. Il en va de même pour la numérotation et la dénomination des tests. Ainsi, si quelqu'un a besoin d'informations supplémentaires, il peut les trouver rapidement.

Cela permet aux utilisateurs de réaliser un test de type ou d'acceptation. Bien entendu, ces tests sont principalement réalisés par les fabricants de qualimètre ou les grands gestionnaires de réseau électrique lors de la pré-qualification de certains qualimètres. Mais la simplicité d'utilisation, le montage de test simple et la possibilité d'utiliser les équipements de test déjà disponibles pour les tests de protection élargissent les options d'utilisation. Dans le chapitre 5, nous abordons comment une gamme adaptée de tests peut être utilisée pour les tests sur site pendant la mise en service et pour la maintenance.

4.1 Exemples de cas de test

La plupart des conditions de test requises peuvent être mises en place à partir de simples formes de signaux caractéristiques comme des rampes, des séquences ou la variation d'un ou deux paramètres de tension ou de courant. Mais il est également possible de représenter des signaux apparemment compliqués tels que dans l'équation suivante de la norme CEI 62586-2 [5].

$$u_H(t) = \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) + [1 + A_m \cdot \cos(2\pi f_m t + \varphi_m)] \cdot 0,1 \cdot \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi M f_n t + \varphi_M) \quad (1)$$

avec :	$u_H(t)$	Tension en fonction du temps, index H pour le taux d'harmonique	V
	U_{din}	Tension nominale	V
	f_n, f_m	Fréquence nominale, fréquence modulable	Hz
	$\varphi_n, \varphi_m, \varphi_M$	Phase du signal fondamental, modulable, harmonique	°
	A_m	Amplitude modulable	V
	M	Ordre des harmoniques	-

La « traduction » de la formule serait : sortie d'un signal de tension harmonique à un ordre d'harmoniques donné, modulé à f_m et ajouté à la tension nominale.

Pour de nombreux signaux de test, nous avons réalisé des mesures de référence afin de vérifier que la précision et la temporisation du signal de sortie étaient conformes aux exigences de la norme. La Figure 3 illustre un exemple de cas de test tel que décrit dans la norme et la Figure 4 la sortie de l'équipement de test de l'équipement de test du même signal.

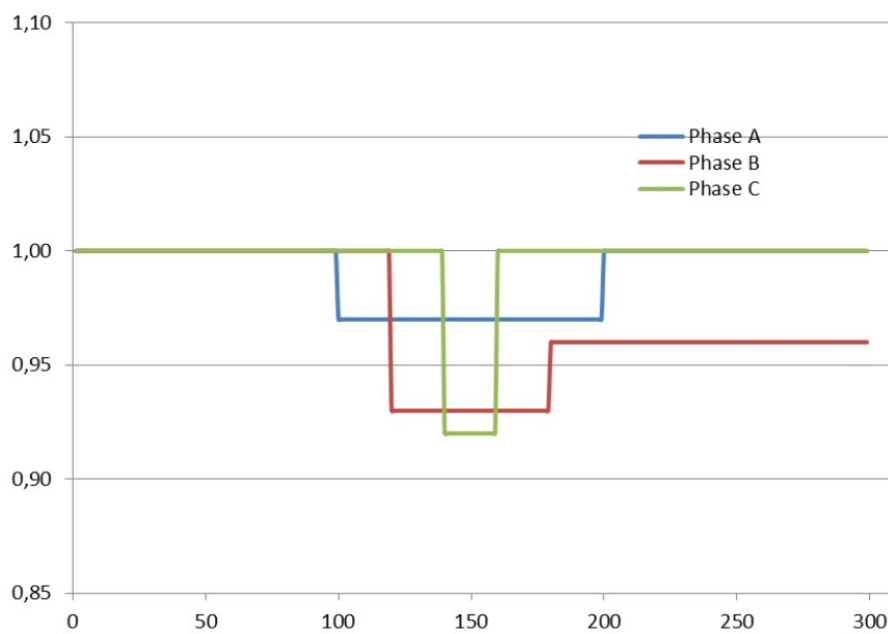


Figure 3 : Signal de test tel que décrit dans la norme ; temps de l'axe x en demi-cycles ; axe y : tension en pu (source : CEI 62586-2 [5])

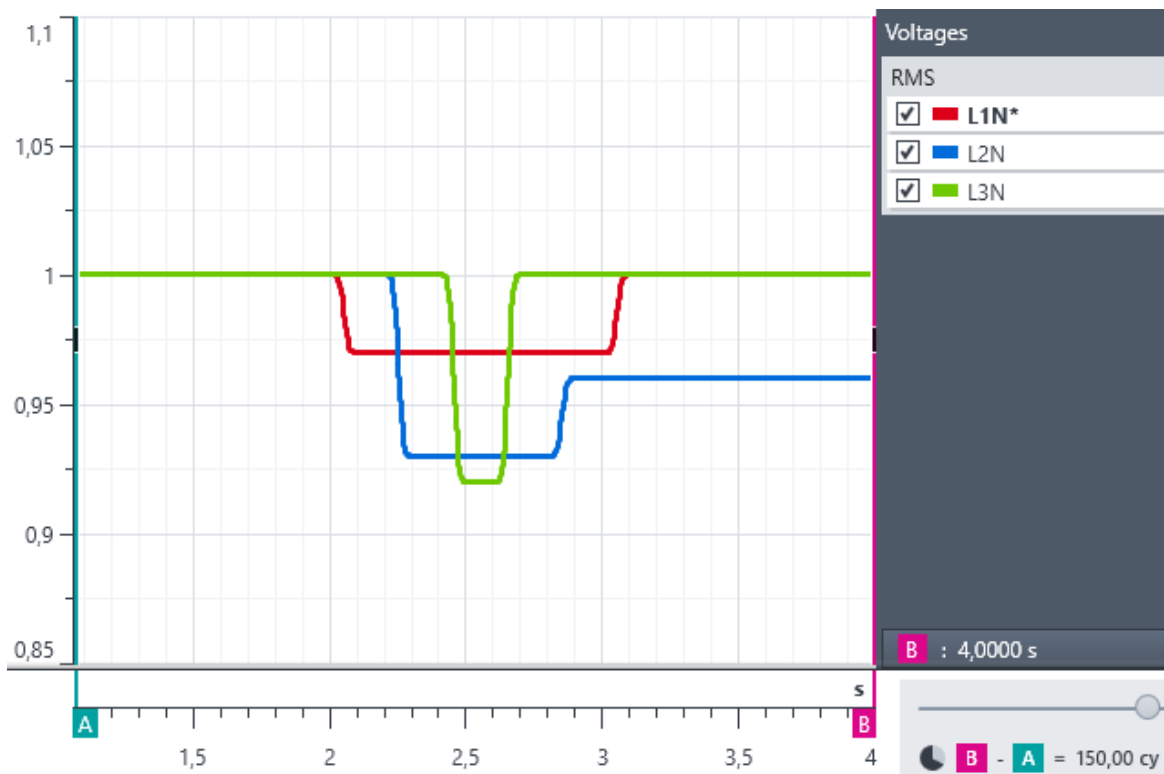


Figure 4 : Signal de test à partir de la mesure de référence

4.2 Résultats des tests des qualimètres à l'aide des modèles

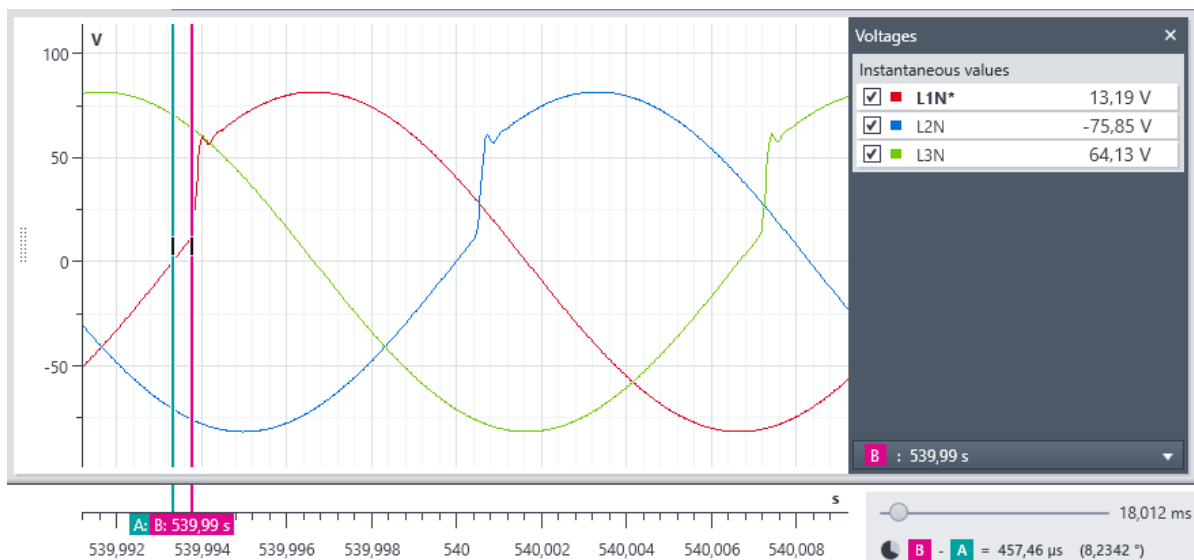
En règle générale, nous avons d'abord découvert que les modèles sont mis en place correctement et exécutables, et qu'ils produisent les signaux de test requis. Nous avons ensuite constaté qu'il fallait environ deux semaines pour exécuter et évaluer tous les tests définis dans la norme CEI 62586-2 (même avec les gains de temps réalisés grâce aux modèles).

Des résultats plus particuliers concernent la synchronisation horaire et le bon ajustement des *temps pré- et post-incidents*. La synchronisation horaire et le démarrage avec trigger temporel des tests simplifieront l'évaluation des valeurs de mesure et pour certains tests, il est même obligatoire d'utiliser une source de temps externe. Il s'agit par exemple de tous les tests dans lesquels la *mesure sans écart ni chevauchement* est vérifiée, car une certaine séquence de valeurs de mesure doit être évaluée. C'est également nécessaire pour tous les types de tests d'*agrégation des valeurs de mesure*, qui doivent démarrer dans les dix minutes complètes suivantes. Le signal avant un incident (*temps pré-incident*) et après un incident (*temps post-incident*) est caractérisé par une sortie de valeurs nominales et représente l'état normal du réseau électrique. Pour la majorité des tests, où des valeurs instantanées sont évaluées, ces temps sont moins importants, en raison du taux de mesure et de la précision élevés des qualimètres. Mais il existe également des tests, comme pour le flicker de courte durée P_{st} , où un *temps pré-incident* défini est nécessaire. C'est parce que la valeur P_{st} est établie sur dix minutes et qu'un passage brusque de la sortie de zéro à la valeur spécifiée engendrera une valeur de mesure incorrecte. Autre problème similaire dans ce contexte, la précision requise pour le flicker instantané maximum $P_{inst,max}$ est atteinte en premier lieu quelques minutes après la sortie d'incident constante. De plus, après examen, cette durée de stabilisation diffère d'un qualimètre à l'autre.

4.3 Limitations et opportunités d'amélioration

Nous avons trouvé certaines limites sur le matériel de test ainsi que sur le logiciel.

- Le problème principal concernant le logiciel *Test Universe* utilisé est que le module de test spécifique pour tester les qualimètres, offre des paramètres et options de test limités pour certains signaux de test, comme pour les harmoniques et interharmoniques sur les courants. Ces tests ont été ajoutés à la dernière version de la norme et le module de test des qualimètres ne semble pas encore avoir été modifié.
- La sortie de tension CC auxiliaire du CMC 256plus est limitée à 264 VCC. En fonction de l'équipement à tester, une tension de sortie plus élevée peut s'avérer nécessaire dans un test (une source de tension CC standard supplémentaire peut être requise).
- La norme définit les tensions et courants nominaux usuels pour les qualimètres (y compris les modèles connectés directement). Une fois encore, selon le qualimètre, la plage de sortie des amplitudes de tension peut ne pas être suffisante pour les qualimètres connectés directement sans transformateur de potentiel. Néanmoins, pour les qualimètres les plus courants et tous ceux connectés via des réducteurs de mesure, aucun problème ne se pose.
- L'horloge système interne du CMC 256plus pour la sortie des grandeurs analogiques est de 10 kHz. Des échantillons de sortie analogique sont donc générés toutes les 0,1 ms. Pour les tests sur des sauts de phase, se produisant chacun sur toutes les phases précisément au passage à zéro, cet élément doit être pris en compte. À 50 Hz, cela impliquerait un temps entre chaque phase de 6,67 ms ($t = \frac{1}{3} \cdot 20 \text{ ms} = 6,67 \text{ ms}$). Dans ce cas, un arrondi doit être réalisé lors de la définition du (modèle de) test :
 - a) sans arrondi approprié. Les sauts de phase ne se produisent pas précisément au passage à zéro.
 - b) avec arrondi approprié. Dans ce cas, le retard restant se trouve largement dans les limites de précision des tests de qualimètres de classe A.



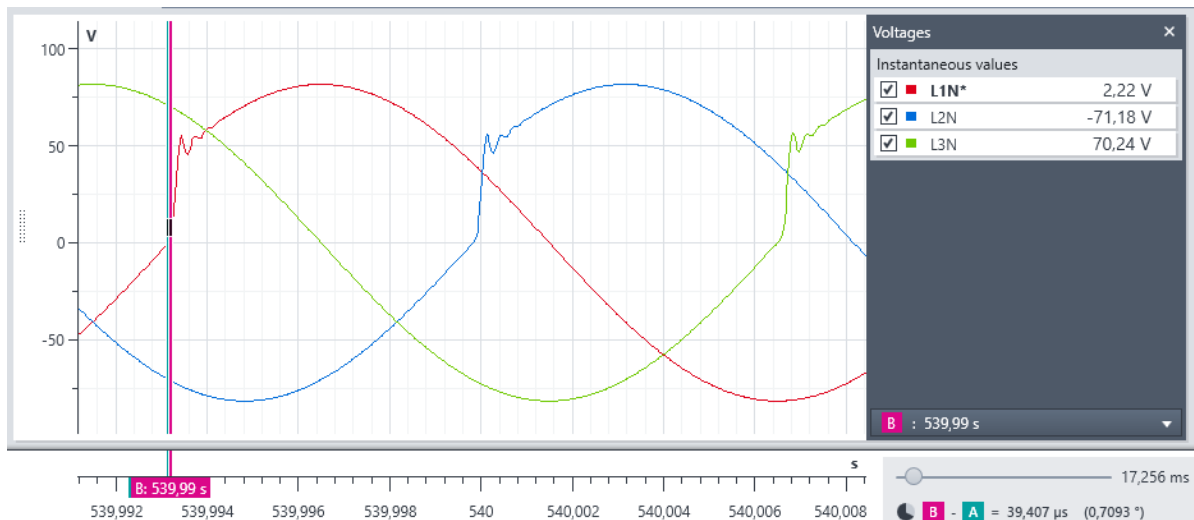


Figure 5 : Signaux de sortie du test des sauts de phase ; a) sans arrondi approprié (en haut) ; b) avec arrondi approprié (en bas)

5 Tests de routine

Pour les tests de mise en service ou de routine, le nombre de cas de test doit être significativement réduit. La durée du test doit être réduite de 2 semaines à, par exemple, 2 h (comme pour les tests des relais de protection).

Pour commencer, nous avons exclu les tests inutiles pour la mise en service ou les tests de routine, en fonction des critères suivants :

- Contrôle de la méthode de mesure : tester la mise en place correcte d'une méthode de mesure fait partie du test de type ; pour l'utilisateur final, la précision des valeurs mesurées est plus importante que la méthode de mesure sous-jacente.
- Résultat prévisible : en l'absence de soupçon raisonnable, nous ne recommandons pas d'effectuer de test avec un résultat prévisible, par exemple un test sans distorsion harmonique appliquée ne produira pas de mesure THDS significativement différente de zéro.
- Pertinence pratique : les tests ne sont pas utiles si l'utilisateur ne peut pas comprendre ni interpréter l'évaluation d'un test, ou s'il n'existe que quelques rares cas d'utilisation. Par exemple, des conditions de test à une tension à 10 % de la valeur nominale à -10 °C ne sont pas supposées se produire très souvent dans un poste. Et le cas échéant, la précision du qualimètre ne sera pas le souci le plus important.
- Applicabilité : les tests dans certaines conditions ambiantes ne peuvent pas être reproduits au cours des tests sur site.

Par ailleurs, nous avons évalué chaque test en tenant compte de sa durée, de sa complexité et de son importance afin d'obtenir une note finale de pertinence des tests de routine. Il en résulte une sélection avec une durée de test globale d'environ une heure (durée de test pure : sans évaluation, lecture des boîtes de dialogue du programme, ...) qui inclut au minimum les tests de la Figure 6. Il ne s'agit pour le moment que d'une ébauche ouverte à la discussion.

Template	Topic	Number	Description
6.1	Frequency	A1.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.2	Voltage magnitude	A2.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.3	Flicker	F6.2.1	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.3	Flicker	F6.2.2	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.4	Swells, dips	A4.1.2 a)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.2 b)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 a)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 b)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 c)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 d)	Check threshold for swells and dips
6.5	Voltage unbalance	A5.1.4	Check accuracy of voltage unbalance measurement
6.6	Voltage harmonics	A6.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.4	Check measuring range – low end
6.6	Voltage harmonics	A6.2.5	Check measuring range – high end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.5	Check measuring range – low end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.6	Check measuring range – high end
6.8	MSV	A8.2.1 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.2 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.3 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.13	RVC	A13.4.1	Check correct detection of RVC in a polyphase system
6.14	Current magnitude	A14.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.15	Current harmonics	A15.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.4	Check measuring range – low end
6.15	Current harmonics	A15.2.5	Check measuring range – high end
6.16	Current interharmonics	A16.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.5	Check measuring range – low end
6.16	Current interharmonics	A16.2.6	Check measuring range – high end
6.17	Current unbalance	A17.1.5	Check accuracy of current unbalance measurement

Figure 6 : Sélection pour les tests de routine des appareils de qualité d'alimentation (IEC 62586-2).

6 Résumés et étapes suivantes

Près de 250 tests uniques pour les qualimètres sont mis en œuvre dans 17 modèles de test, créés dans un souci de clarté, d'applicabilité et de convivialité. À l'aide d'un manuel d'utilisation de 90 pages, un non expert peut réaliser les tests de qualimètres énumérés dans la norme CEI 62586-2 et conformément à la norme CEI 61000-4-30.

De plus, une ébauche pour les futurs tests de routine des qualimètres est présentée. Elle inclut plus particulièrement des tests dans lesquels le résultat et l'évaluation ont du sens et de l'importance pour les utilisateurs finaux, comme pour les gestionnaires de réseau électrique ou des industriels.

Au cours d'une autre étape, le concept de test de routine sera développé plus en détail. Scientifiquement parlant, la sélection actuelle de tests doit être justifiée et ajustée. Pour une vérification pratique sur site, nous sommes en quête de partenaires afin de nous assurer que les cas de test sélectionnés sont adaptés à une exécution sur site et qu'ils fournissent les résultats souhaités en termes de fonctionnalité et de précision du qualimètre utilisé.

Références

- [1] J. Manson et R. Targosz, «European Power Quality Survey Report,» Leonard Energy, 2008.
- [2] R. Targosz et D. Chapman, «The Cost of Poor Power Quality,» Leonardo Energy, 2015.
- [3] OMICRON, CMGPS 588 User Manual, Klaus: OMICRON, 2015.
- [4] Siemens, «Siemens.com,» 2019. [En ligne]. Available: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/energie/energieautomatisierung-und-smart-grid/netzqualitaet-und-messung/netzqualitaetsrekorder-sicam-q200.html>. [Accès le 21. Januar 2019].
- [5] IEC, 62586-2:2017 Power quality measurement in power supply systems - Part2: Functional tests and uncertainty requirements, Geneva: IEC, 2017.

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.