

ESSAIS ÉLECTRIQUES

Le FPGA au cœur du test des dis

▼ Au Laboratoire d'Essais Ampère de Schneider Electric à Grenoble, où l'on réalise des essais sur des disjoncteurs électriques, il a fallu migrer vers une nouvelle plate-forme d'acquisition logicielle et matérielle. Le choix s'est finalement porté vers une solution propriétaire à base de FPGA, développée spécifiquement par la société française Anicia, avec installation, câblage et mise en service par la société d'ingénierie. Un exemple parmi d'autres qui témoigne d'une tendance lourde dans l'attitude des industriels : celle de réduire le nombre d'interlocuteurs.

Sous les marques Merlin Gerin, SquareD et Telemecanique, Schneider Electric conçoit et produit des équipements de distribution électrique de courant (contacteurs, interrupteurs, etc.) et en particulier des disjoncteurs basse tension domestiques et industriels, pour des calibres allant de 0,5 A à 6300 A. Le Laboratoire d'Essais Ampère (LEA), issu du rapprochement du Laboratoire d'Essais Normalisé (LEN spécialisé dans les essais de certification), et du Laboratoire Ampère (spécialisé dans les essais de développement) est au cœur de cette activité. Son rôle au sein de Schneider Electric est de réaliser le test des équipements basse tension de la marque Merlin Gerin et en particulier ceux des disjoncteurs.

Pour les essais nécessitant des courants inférieurs à 35 kA, il assure les essais dans les phases suivantes : développement, certification et contrôle qualité. Lorsque des courants plus forts sont requis (jusqu'à 250 kA), les tests sont réalisés dans un autre laboratoire du groupe proche du LEA. Le laboratoire est accrédité par le Cofrac pour réaliser des essais sur les disjoncteurs selon les normes EN/CEI 60898-1 (disjoncteurs domestiques), EN/CEI 61009-1 (disjoncteurs différentiels) et EN / CEI 60947-2 (disjoncteurs industriels). « Pour être conforme à ces normes, nous réalisons souvent l'essai le plus contrai-

gnant, qui englobe tous les autres, afin d'optimiser le temps d'essai », explique Christine Clause, directrice du Laboratoire. D'autre part, ce laboratoire travaille en étroite collaboration avec le LCIE (Laboratoire Central des Industries Électriques) pour réaliser les essais permettant d'obtenir les certifications NF/USE. Trois pôles composent son organisation : un pôle essais, un pôle qualité et un pôle de support équipements.

Le test de court-circuit, inévitable dans les essais sur disjoncteurs

Un aspect primordial des essais sur les disjoncteurs est le test de tenue au court-circuit. De manière simplifiée, lors de la réalisation de cet essai, on s'attache à mesurer différents paramètres, dont principalement le courant et la tension aux bornes du disjoncteur mais aussi des tensions et des courants intermédiaires (courant de commutation par exemple), des mesures de pression dans la chambre de coupure du disjoncteur ou sur son boîtier, des vitesses de déplacement de certains éléments constituant la mécanique de l'équipement, etc.

Les cycles d'essais de court-circuit fréquemment réalisés sur les disjoncteurs sont de type "ouverture/fermeture/ouverture" ou "fermeture/ouverture". Le temps moyen nécessaire à l'ouverture totale d'un disjoncteur et à la coupure de l'arc électrique généré varie entre 5 et 30 ms en fonction de la taille du disjoncteur. C'est cette tension d'arc que l'on va chercher à mesurer et qui est le paramètre critique déterminant les performances du système d'acquisition à mettre en œuvre par le laboratoire : la fréquence d'échantillonnage devra être la plus élevée possible afin de visualiser les phénomènes transitoires au niveau de cette tension.

« L'ancien système d'acquisition (Krenz) permettait de numériser jusqu'à 200 kHz, soit toutes les 5 µs sur 12 voies et 12 bits de résolution numérique. Une valeur d'échan-

tilonnage suffisante en soi mais inutilisable du fait du temps de calcul nécessaire pour exploiter une profondeur mémoire de 64 K mots : en effet, suivant les essais réalisés, les acquisitions doivent être espacées par des intervalles d'une à trois minutes. Pendant ces intervalles, la faible puissance du processeur ne permettait pas de réaliser les calculs sur la totalité de la profondeur mémoire. Le convertisseur était donc utilisé avec une période d'échantillonnage de 50 µs et une profondeur mémoire bridée de 4 K mots. Ce qui très vite rendit ce système inadéquat au regard de nos besoins et des possibilités actuelles des nouveaux systèmes d'acquisition. Nous avons dû utiliser pendant un certain temps des oscilloscopes en parallèle de cette plate-forme pour avoir les performances requises », explique Claude Blondeau, responsable du pôle support équipement, dont le rôle au sein du laboratoire est de mettre à disposition des équipes d'essais les moyens techniques adaptés et d'assurer leur continuité de service par une maintenance préventive et curative appropriée.

Parmi les autres raisons qui nous ont poussées à changer de système, figure la bande passante qui était limitée à 50 KHz du fait de la faiblesse de deux éléments constituant la chaîne d'acquisition : l'amplificateur d'isolement et le diviseur résistif. L'une des principales contraintes du cahier des charges était donc de maintenir une bande passante supérieure à 1 MHz, de la pointe de la sonde jusqu'à la centrale d'acquisition. L'ensemble diviseur/système d'acquisition était donc à changer. « Il s'agissait aussi de réaliser un système fiable simplifiant la connectique des mesures par liaisons BNC tout en réduisant le risque d'erreurs de câblage et supprimant celui d'une possible électrisation. Un système d'aiguillage par commutateur et relais haute tension permet d'aiguiller et de mixer, via 7 diviseurs différentiels, les 29 points existants au niveau des mesures de tension. Auparavant, toutes ces opérations étaient réalisées manuellement. Le risque d'électrisation était très faible mais non nul » développe M. Blondeau. Au niveau du poste de calcul, nous souhaitions passer d'un logiciel sous DOS à un environnement Windows afin d'augmenter la

En bref

- Le Laboratoire d'Essais Ampère de Schneider Electric a réalisé une migration de sa plate-forme d'acquisition pour les essais de court-circuit sur disjoncteurs
- Les objectifs poursuivis : augmentation de la bande passante, de la fréquence d'échantillonnage, de la profondeur mémoire, migration de DOS à Windows pour le poste de contrôle
- Solution retenue : architecture spécifique et totalement propriétaire mais susceptible d'évoluer par reconfiguration (FPGA)
- Réalisation du projet : un seul interlocuteur, la société Anicia pour toutes les phases d'ingénierie : développement logiciel, plate-forme d'acquisition, système de conditionnement et d'aiguillage

joncteurs électriques

puissance de calcul, de diminuer les temps de traitement et tendre vers le zéro papier en terme d'archivage. Enfin, la réorganisation des laboratoires d'essais au sein de Schneider nous oblige à penser à l'avenir. La nouvelle plate-forme se devait d'être évolutive pour s'adapter à d'autres essais que ceux des disjoncteurs »

En résumé, le projet consistait à remplacer le système permettant le paramétrage d'une séquence d'essai, son lancement, le conditionnement, l'aiguillage, l'acquisition et le traitement automatique des signaux transitoires (visualisation, tracé graphique, calculs, archivage) : un projet d'ingénierie complet. La confiance et la franchise, arguments décisifs. C'est la société Française Anicia qui a été retenue pour mettre en œuvre ce projet d'une valeur de 420 Keuros dans sa globalité : fourniture d'un nouveau système d'acquisition, d'un nouveau diviseur résistif, d'un aiguilleur, d'une nouvelle plate-forme logicielle, câblage et mise en service de l'en-



On aperçoit sur cette photo la baie de mesure et la cabine d'essais de court-circuit sur disjoncteurs du laboratoire Ampère de Schneider Electric à Grenoble.

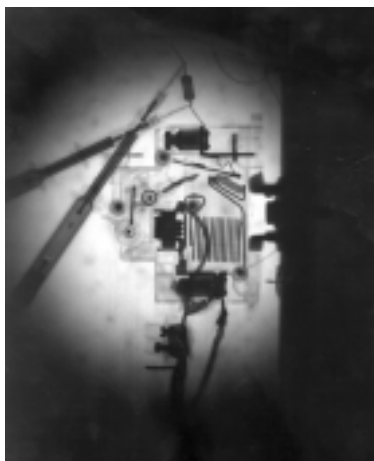
semble. Cette PME implantée à Marseille et à Toulouse possède en effet plus d'une corde à son arc : elle se positionne d'abord comme un constructeur de conditionneurs de

signaux et de centrales d'acquisition autonomes. Elle distribue également les enregistreurs allemands de la marque allemande Eckelmann. Enfin, elle dispose d'un bureau d'étude électronique avec de nombreuses réalisations dans le monde de la mesure.

La première baie de test a été livrée début juillet 2004 pour la plate-forme de plus forte puissance. La seconde sera livrée en janvier 2005.

Le choix d'Anicia s'est vite imposé comme une véritable évidence : « C'est d'ailleurs elle qui nous avait fourni l'ancien système Krenz. Au départ nous pensions reconduire notre choix sur la marque Krenz mais Christophe Buet, président d'Anicia, a eu la franchise de nous avertir de l'arrêt prochain de la commercialisation de l'un des composants du nouveau système Krenz sur lequel se serait porté notre choix. Nous avons particulièrement apprécié cette démarche de la part du fournisseur; d'autant que celui-ci n'avait pas à son catalogue une offre qui répondait précisément à notre besoin. Nous lui avons donc fait entièrement confiance pour développer une solution spécifique adaptée à nos besoins », raconte M. Blondeau. C'était un gros pari pour cette petite structure. Mais cette approche comporte de nombreux avantages,

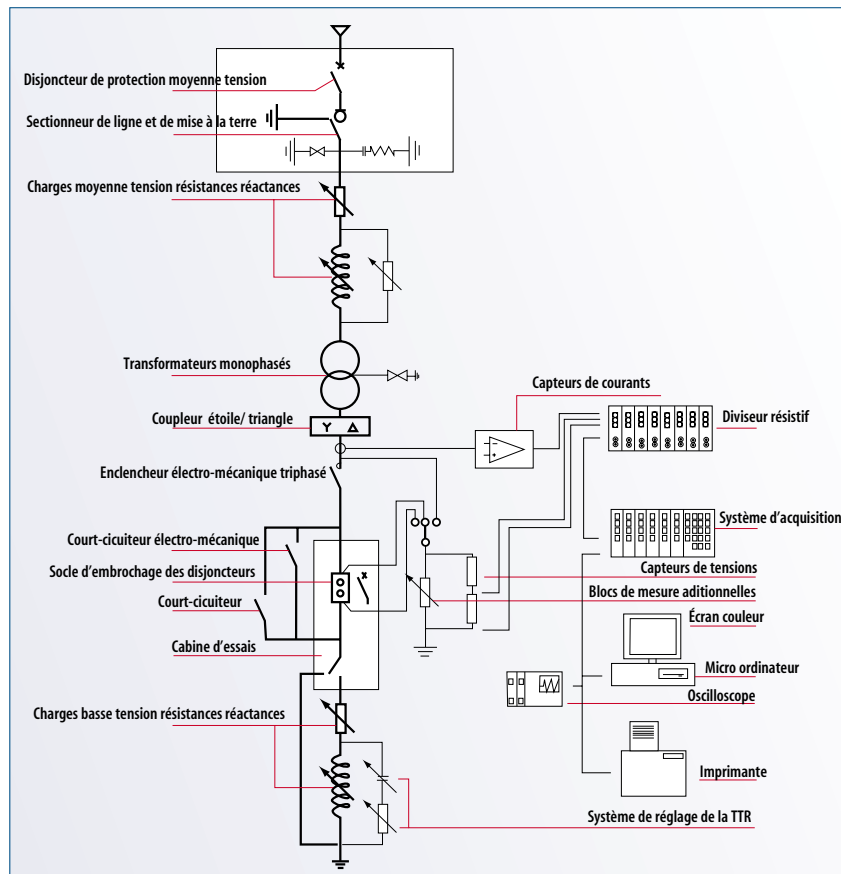
La radiographie par rayons X affine le diagnostic d'essai !



En 1993, le Laboratoire d'Essais Ampère s'est doté, sur l'une des deux plates-formes de court-circuit, d'un système d'imagerie par

rayon X. Celui-ci permet de voir toute la mécanique à l'intérieur des disjoncteurs sans les ouvrir. En statique, il permet de contrôler la conformité d'un appareil, de visualiser la position des différentes pièces ainsi que d'effectuer des mesures. « Cela nous permet lors du contrôle qualité par exemple de trouver les lots de disjoncteurs dans lesquels se trouvent des pièces manquantes », témoigne Claude Blondeau, responsable du support équipement. En dynamique c'est-à-dire en régime de court-circuit, cette installation offre la possibilité de corréliser la cinématique de la mécanique avec le développement de l'arc électrique. La prise de vue est synchronisée en général (par pas de 5 ns) sur un niveau de tension d'arc ou sur tout autre un signal. Désormais, cette synchronisation sur le signal est directement gérée par le nouveau système E.T.

La plate-forme d'essais



extérieures à l'appareil en essai : émission de gaz ou de fumées éventuellement associées à des projections de matière. Pour ces raisons, la cabine d'essais blindée et insonorisée a été équipée d'une ventilation forcée avec un système de verrouillage de la porte d'entrée, favorisant l'évacuation des fumées avant tout accès de personnel.

A ces dispositifs qui permettent de réaliser le court-circuit s'ajoutent différents moyens de mesure et d'analyse : quatre capteurs de courants principaux, quatre capteurs de courants auxiliaires, quatre capteurs de tensions principales, quatre capteurs de tensions auxiliaires, etc.

Pour réaliser ses essais de disjoncteurs, le laboratoire Ampère dispose de deux plates-formes de court-circuit : une pour le test des équipements jusqu'à 14 kA/420 V et une autre pour le test d'équipements jusqu'à 35 kA/500 V. Ces deux plates-formes sont identiques (voir schémas) : elles comportent en amont une arrivée 20 KV provenant du réseau EDF, suivi d'un disjoncteur de protection permettant de protéger à la fois l'ensemble de l'installation et le réseau de distribution, dans le cas où l'appareil en test ne fonctionnerait pas. Viennent ensuite des charges résistives et inductives variables, permettant de régler le facteur de puissance et du courant d'essai pendant l'étalonnage du circuit. Trois transformateurs monophasés associés à un transformateur triangle étoile permettent de délivrer la tension et courant requis pour l'essai. Le court-circuiteur électromécanique triphasé permet, d'une part de shunter l'appareil en essai lors de l'étalonnage, d'autre part de réaliser le court-circuit et d'assurer son éventuelle protection pendant les essais (ouverture possible). De son côté, l'enclencheur électromécanique réalise l'établissement du court-circuit avec l'angle d'enclenchement désiré. Ces essais sont source de surpression et de manifestations

La plate-forme est pilotée par un micro-ordinateur associé à un logiciel et une imprimante permettant :

- la programmation du donneur d'ordre : les différents types d'essais sont mémorisés sous forme de séquences
- la sécurité et le verrouillage du départ du donneur d'ordre. Sans une action du responsable de la plate-forme, cette autorisation est temporisée.
- différents calculs scientifiques inhérents aux essais de courts-circuits. En étalonnage : tensions et courants efficaces, facteur de puissance, angle d'enclenchement. En essai de court-circuit : courants limités, temps de passage du courant, tensions d'arc et de rétablissement, contrainte thermique et énergie dissipée dans l'appareil.
- le tracé des différents signaux enregistrés avec agrandissement (zoom en x et y de la partie jugée intéressante)
- l'édition en direct d'un compte rendu d'essais suivant la norme UL 489.

La mémorisation éventuelle sur disquette 3,5 pouces ainsi que l'édition systématique d'un compte rendu pour chaque essai (calculs et courbes).



Les connexions hautes tensions arrivent sur l'aiguilleur en face arrière de la baie, inaccessibles pendant les essais et sont sélectionnées sans risque en face avant par contacteurs.

poursuit M. Blondeau : « Nous avons donc préféré travailler en mode partenariat avec une petite structure, que nous connaissions depuis plus de dix ans, ayant de fortes compétences et capable de concevoir et de réaliser un moyen adapté à notre besoin tout en restant évolutif. Nous souhaitions avoir un seul interlocuteur sur ce projet et le minimum de fournisseurs, dans un souci de garantie de la bande passante, que nous voulions supérieure à 1 MHz de bout en bout. Lorsque l'on assemble du matériel qui provient de différents constructeurs, le câblage représente souvent le "maillon faible" dans la chaîne de mesure et est susceptible de dégrader la bande passante de l'ensemble ». Une solution alternative aurait consisté à acheter du matériel provenant des grands fournisseurs de la mesure et de prendre un contrat de service avec une SSII. Cette approche n'emporte pas l'adhésion de M. Blondeau : « Je ne suis pas convaincu de cette approche car elle multiplie les acteurs, les sources de problème et divise les responsabilités. En faisant appel à une petite société comme Anicia, au moindre problème, je sais qui appeler, j'ai tout de suite le patron au bout du fil et je sais qu'il n'est pas loin. La proximité compte aussi beaucoup pour nous. De plus, cette solution colle à 100 % à notre besoin ».

Pour Christophe Buet, président d'Anicia, il s'agissait de ne pas laisser passer cette opportunité : « Un projet aussi ambitieux n'arrive pas tous les jours. Il s'agissait là d'une opportunité pour nous développer fortement. Le point crucial concernait le système d'acquisition. Nous avons les compétences sur des systèmes aux performances d'échantillonnage proches de la centaine de kilohertz mais là il s'agissait du mégahertz, voire de la dizaine de mégahertz. L'Anvar (Agence Française de Valorisation de la Recherche), auprès de qui nous avons obtenu une subvention pour ce projet, nous a orienté vers l'association Jessica. Cette

association, qui dépend du Ministère de l'Industrie, a pour mission de soutenir les PME dans leurs efforts d'innovation. En collaboration avec cet établissement, nous avons fait des recherches sur la meilleure architecture électronique à mettre en œuvre pour le système d'acquisition. Un expert nous a répondu sans hésiter que le FPGA s'imposait pour cette application ». Ainsi, ce projet a permis à Anicia de se développer et de voir plus loin. « Nous avons rentabilisé le développement de l'enregistreur E.T. et nous allons en faire un produit catalogue sur étagère susceptible de satisfaire d'autres besoins dans la plage 0,5-10 MHz », indique M. Buet.

L'enregistreur de transitoire E.T (comme Enregistreur de Transitoire) conçu spécialement pour cette application est au format rack 19 pouces 3U et il peut accueillir jusqu'à 12 cartes de 2 voies différentielles architecturées chacune autour d'un FPGA (Field Programmable Gate Array) de forte puissance. Le FPGA permet de paramétrer, la valeur de la fréquence d'échantillonnage au hertz près, de programmer toutes les actions propres à la voie et de réaliser des fonctions sur mesure (déclenchement sur gabarit, alarmes, analyse de signaux). Le premier modèle livré chez Schneider numérise jusqu'à 2 MHz sur 14 bits de résolution avec une isolation galvanique totale, caractéristique exigée par Schneider pour des raisons évidentes de protection. Mais des versions plus évoluées pourront numériser jusqu'à 10 MHz. Chaque voie dispose de sa propre mémoire de 512 Kpoints, qui peut être augmentée jusqu'à 64 Mpoints par ajout d'une carte fille. Cette centrale est contrôlée par les connexions les plus récentes que sont Ethernet et USB. Son logiciel de pilotage sous Windows 98SE, 2000 et XP existe en DLL pour une intégration directe sous progiciel. Anicia a d'ailleurs utilisé cette fonction pour réaliser l'IHM logicielle permettant le pilotage des essais. Enfin, les dernières briques de l'installation ont été l'aiguilleur permettant de "dispatcher" les signaux à mesurer sans aucune prise de risque vers le diviseur résistif à 7 voies de 1 MHz de bande passante. En sortie du diviseur, sur la face avant, les signaux sont en effet de faible puissance. Les connexions hautes tensions arrivent sur l'aiguilleur en face arrière de la baie, inaccessibles pendant les essais, et sont sélectionnées sans risque en face avant par contacteurs. Enfin, un programme automatique de sécurité associé à des relais haute tension empêche que les tensions fortes soient toujours présentes aux bornes de l'aiguilleur en dehors des phases d'acquisition.

Bertrand Braux