



Les instruments utilisés pour réaliser des mesures sur les installations électriques doivent répondre à des réglementations très strictes afin de garantir la sécurité de l'utilisateur. Des normes précisent les dispositions à prendre en matière de conception.

INSTRUMENTATION ÉLECTRIQUE

Quelques recettes pour la sécurité électrique d

▼ Les instruments et appareils destinés à fonctionner dans des environnements électriques ne doivent pas présenter de danger pour les utilisateurs. Ils sont soumis à des réglementations très strictes, qui imposent pas mal de contraintes au niveau de la conception. De l'avis des professionnels, ces réglementations ne sont pas toujours scrupuleusement respectées (les marquages abusifs ont été dénoncés). National Instruments rappelle ici quelques règles à respecter. Une simple observation visuelle de l'équipement permet d'avoir quelques garanties quant à l'application de ces règles...

Réglementation oblige, la sécurité est désormais au cœur de la conception des équipements électriques et électroniques. Le but est de garantir que l'utilisation du produit ne présente pas de danger pour l'utilisateur.

Les concepteurs doivent prendre en compte les conditions normales de fonctionnement de l'équipement ainsi que les conditions anormales, les anomalies potentielles, les erreurs d'utilisation prévisibles et l'influence de facteurs extérieurs comme la température, l'altitude, la pollution, l'humidité et les surtensions. Les équipements doivent rester sûrs, même après l'apparition d'une anomalie.

L'essentiel

- La réglementation est très exigeante en matière de sécurité électrique
- Les normes donnent des règles de conception à respecter
- La tension de l'environnement de travail, le niveau de pollution de l'environnement, la tension de claquage des isolants sont des paramètres essentiels à considérer
- Tous ces paramètres permettent de définir des distances d'isolement
- Le contrôle de ces distances apporte quelques garanties quant à la conformité de l'instrument aux réglementations de sécurité

Pour concevoir et livrer des équipements sûrs, il faut être plus particulièrement vigilant sur trois points : le choix des composants utilisés, les règles de conception et le niveau de sévérité des tests.

Trois niveaux à considérer

Composants. Il faut identifier les compo-

sants critiques du point de vue de la sécurité, en vérifiant que les labels de sécurité sont conformes aux normes américaines et européennes (UL/CSA pour l'Amérique de Nord et VDE/TUV pour l'Europe). On songe plus particulièrement aux composants travaillant avec des niveaux de tension et courants élevés, aux connecteurs et aux boîtiers.

Conception et construction. La sécurité impose pas mal de contraintes au niveau de la conception. Il faut prendre en compte l'isolement, prévoir des espaces suffisants sur les circuits imprimés, être sélectif sur les enceintes/boîtiers, le câblage, les matériaux, etc. Les labels "sécurité" doivent être bien visibles sur l'étiquette apposée sur le produit, la documentation "utilisateur" doit être soignée.

Test. Une fois assemblés, les produits doivent passer tous les tests de sécurité. Les tests typiques incluent l'isolement diélectrique, la continuité de masse, la température et les anomalies. Pour garantir la conformité, ces tests doivent être effectués par des personnes qualifiées.

Eviter tout contact avec les tensions élevées

Les utilisateurs d'un produit doivent être protégés des dangers électriques, y compris lorsqu'un défaut apparaît. Les parties accessibles à l'utilisateur doivent être protégées par des boîtiers ou l'utilisation de techniques

d'isolement. Une partie est considérée comme accessible dès lors qu'elle peut être touchée avec un doigt ou avec une aiguille.

Lorsqu'elle dépasse un certain niveau, la tension peut provoquer un choc et elle devient donc dangereuse. Dans des conditions normales, les limites de tension de sécurité sont de 30 Veff (42,4 Vpic) ou 60 Vcc selon la norme IEC 61010-1, et de 33 Veff (ou 46,7 Vpic) ou 70 Vcc selon la norme IEC-61010-1 :2001. Sur un produit électronique, si une tension dangereuse apparaît sur les circuits travaillant à très basse tension (TBTS, Très Basse Tension de Sécurité, ou SELV en anglais), le produit peut être endommagé et l'utilisateur risque un choc électrique ou une brûlure.

La plupart des équipements à base d'électronique comportent des sous-ensembles travaillant à des tensions inoffensives (TBTS). Ceux-ci ne sont pas spécialement protégés et sont souvent accessibles à l'utilisateur. Les connecteurs des imprimantes, des claviers et des PC sont typiquement TBTS et on peut donc les toucher sans danger. Encore faut-il qu'au niveau de la conception, ces éléments TBTS soient isolés des tensions dangereuses. Les composants critiques. Certains composants peuvent affecter la sécurité de l'utilisateur. Typiquement, ces composants sont situés dans les sous-ensembles travaillant sous tension dangereuse (>42,4 Vpic/60 Vcc). Certains se trouvent sur des sous-ensembles

our vérifier la es instruments...

fonctionnant à TBTS mais ils sont alors protégés par un isolement double ou renforcé. C'est le cas par exemple des optocoupleurs, des transformateurs, des relais, des fusibles et des composants avec entrées "secteur" tels que les prises de courant, les interrupteurs, les blocs de jonction et les alimentations.

Plusieurs facteurs à prendre en compte pour les distances d'isolement

Les produits conçus avec un isolement entre les parties conductrices protègent l'utilisateur des tensions dangereuses. La valeur des distances d'isolement minimum, déterminée par l'espace entre les parties conductrices, dépend de cinq facteurs :

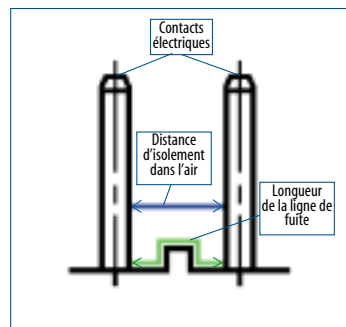
- la catégorie de mesure
- le degré de pollution
- la tension de travail

- le type d'isolement (de base, supplémentaire ou double/renforcé)

- le CTI (Comparative Tracking Index), ou indice de résistance au courant de cheminement.

La catégorie de mesure. Les catégories de mesure, qui se rapportent également aux catégories d'installation, établissent des niveaux de tension susceptibles d'apparaître dans un système de distribution électrique. Plus la catégorie de mesure est élevée, plus les espacements doivent être importants sur les cartes et plus les composants sont volumineux. Les définitions des catégories sont données dans la norme IEC 61010-1 :

- **Catégorie I.** C'est la catégorie la moins dangereuse avec des tensions transitoires peu importantes. Elle s'applique aux mesures sur des circuits qui ne sont pas directement



La distance d'isolement entre deux parties électriques peut être vue de deux façons : soit dans l'air ("à vol d'oiseau"), soit en suivant en surface la ligne de fuite. Les Anglo-saxons appellent respectivement ces deux distances "clearance" et "creepage".

connectés à la prise du secteur, comme les secondaires protégés et les dispositifs à basse consommation.

- **Catégorie II.** Elle concerne les mesures effectuées sur des circuits directement connectés au système de distribution électrique, notamment par l'intermédiaire des prises secteur (220 V_{eff}). C'est le cas des mesures sur des équipements électroménagers ou des appareils électriques portables.

- **Catégorie III.** Elle concerne les mesures effectuées au niveau de la distribution d'énergie du bâtiment, par exemple sur les équipements de raccordement fixe et sur le disjoncteur.

- **Catégorie IV.** Celle-ci s'applique aux mesures

Distances d'isolement à respecter

Tension de travail : jusqu'à	Distance d'isolement dans l'air		Longueur des lignes de fuite				Tension de test	
			sur circuit imprimé		dans l'équipement			
	Isolement de base	Double isolement	Isolement de base	Double isolement	Isolement de base	Double isolement	Isolement de base	Double isolement
50 V _{eff}	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,4 mm	1,2 mm	2,4 mm	350 V _{eff}	510 V _{eff}
100 V _{eff}	0,2 mm	0,4 mm	0,2 mm	0,4 mm	1,4 mm	2,8 mm	490 V _{eff}	740 V _{eff}
150 V _{eff}	0,5 mm	1,6 mm	0,5 mm	1,6 mm	1,6 mm	3,2 mm	820 V _{eff}	1400 V _{eff}
300 V _{eff}	1,5 mm	3,3 mm	1,5 mm	3,3 mm	3 mm	6 mm	1350 V _{eff}	2300 V _{eff}
600 V _{eff}	3,4 mm	6,5 mm	3 mm	6,5 mm	6 mm	12 mm	2200 V _{eff}	3700 V _{eff}
1000 V _{eff}	5,5 mm	11,5 mm	5,5 mm	11,5 mm	10 mm	20 mm	3250 V _{eff}	5550 V _{eff}

Valeurs obtenues pour les conditions suivantes :

- Degré de pollution : 2 (pollution non conductrice ou avec une conductivité temporaire due à la condensation)

- Catégorie de mesure : II (appareils à fonctionnement direct sur le secteur)

- CTI : >175 pour le circuit imprimé et >100 pour l'équipement (le CTI exprime, en volts, la tension maximum qui peut être appliquée entre les zones isolées de l'appareil)

- Les lignes de fuite sur les circuits imprimés correspondent aux distances entre les parties conductrices les plus proches comme les contours des pastilles autour des soudures. Les lignes de fuite dans l'équipement correspondent aux espaces entre les parties en dehors des circuits imprimés, comme les broches d'un connecteur ou les broches d'un isolateur optique.

Ce tableau obtenu à partir de la norme IEC 61010-1 donne des indications sur les distances d'isolement (mesurées dans l'air et en surface en suivant les lignes de fuite) à respecter en fonction des critères précisés dans le tableau (catégorie de mesure, degré de pollution, CTI).

Check-list pour la conception de sécurité

1 - Enceintes/boîtiers

Les enceintes doivent assurer une protection contre les chocs électriques, le feu et les risques mécaniques. Les parties mobiles ne doivent pas pouvoir écraser, couper, percer ou pincer sévèrement la peau d'un opérateur.

Les parties électriques sont considérées comme accessibles si elles peuvent être touchées avec une aiguille de test ou avec un doigt. Si l'opérateur doit effectuer des actions en mode d'utilisation normale, avec ou sans un outil (qui augmente l'accessibilité), ces actions potentielles doivent être prises en compte avant le test. Cela concerne toute partie qui peut s'ouvrir ou s'enlever, comme un couvercle, une trappe, etc.

Enceintes de produits

- Application d'un doigt de test articulé (12 mm) avec une force de 10 N sur tous les côtés et les ouvertures pour contrôler l'accessibilité
- Ouvertures de la partie supérieure avec une pointe de test (diamètre de 4 mm et longueur de 100 mm)
- Ouvertures de la partie inférieure : diamètre de 2 mm avec espacement de 3 mm ou grillage
- Ouvertures pour les éléments de préréglage avec une pointe de test (diamètre de 3 mm et longueur de 100 mm)
- Nécessité d'avoir un outil spécial pour défaire les éléments de fixation des couvercles/filtres placés au-dessus des parties dangereuses de l'appareil

Considérations supplémentaires pour les châssis et les baies (IEC 61010-1)

- Stabilité : inclinaison de 10° possible sans surcompensation
- Équipement de plus de 1 m de hauteur et de plus de 25 kg : test de poids avec $200 \text{ N} \pm 20 \%$
- Présence de poignées capables de supporter quatre fois le poids de l'équipement
- Test statique (impact de coup de marteau de 12 mm de diamètre avec une force de 30 N)
- Test dynamique (impact d'une sphère de 50 mm de diamètre)
- Test de chute sur chacun des quatre coins : $25 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$ ou 30°

2 - Mise à la terre, câblage et connexions

Les parties conductrices accessibles à l'utilisateur doivent être reliées à la terre si elles risquent de devenir dangereuses suite à un défaut, ou elles doivent être séparées des autres parties dangereuses. L'intégrité de la liaison à la terre doit être assurée. Les

connexions (circuits et câblage) ne doivent pas risquer de transformer une partie accessible en partie dangereuse dans les conditions normales ou suite à un défaut.

Liaison à la terre

- La liaison à la terre est nécessaire pour les parties conductrices accessibles, comme une enceinte métallique, si ces parties peuvent devenir dangereuses suite à un défaut (sauf si elles sont séparées de l'enceinte par un isolement double ou renforcé)
- Les produits reliés à la terre doivent disposer d'une borne adaptée à la connexion du conducteur de terre
- Les connexions soudées à un conducteur de terre nécessitent une sécurisation mécanique en plus des soudures
- La liaison à la terre ne doit pas être utilisée pour d'autres fonctions, comme la fixation d'autres éléments
- Les charnières et glissières ne doivent pas être utilisées pour la liaison à la terre
- Les câbles en tresses et feuilles métalliques extérieures doivent être évités pour la liaison à la terre
- Les conducteurs de terre peuvent être nus ou isolés ; la couleur est généralement claire ou vert/jaune

Construction générale

- S'il y a un interrupteur pour l'alimentation, il doit être placé près de l'alimentation. Déconnecter la phase du neutre
- Les prises et connecteurs pour le branchement à l'alimentation secteur doivent respecter les normes en vigueur
- Tenir les fils de tension dangereuse séparés des circuits très basse tension non isolés
- La sécurité des connexions de câblage ne doit pas dépendre des soudures
- La perte accidentelle de fils ou de vis ne doit pas risquer d'exposer les parties accessibles aux tensions dangereuses
- Les vis autotaraudeuses et les vis en matière isolante ne doivent pas être utilisées pour les connexions électriques
- Les connexions doivent être fixées doublement
- Les bords et coins accessibles aux utilisateurs, ainsi que les chemins de câbles doivent être arrondis et lisses
- Les circuits et connecteurs pour usage externe (circuits imprimés et câbles) doivent avoir une énergie limitée
- Les bornes pour les mesures en zones dangereuses ne doivent pas être accessibles

De très nombreux critères doivent être vérifiés pour s'assurer qu'un équipement de mesure appelé à travailler sur des tensions élevées ne présente pas de danger pour l'utilisateur. Il faut également contrôler les indications marquées sur l'étiquette et la nature des matériaux utilisés pour éviter les risques d'incendie.

effectués sur l'alimentation électrique primaire (<1 000 Veff), par exemple sur les dispositifs de protection primaire contre les surintensités, les unités de télécommande centralisée ou les compteurs.

Le degré de pollution. La poussière conductrice ou l'humidité peuvent réduire la résistance de surface et les capacités de tenue en tension des matériaux, et ainsi augmenter les risques de courts-circuits. Le degré de pol-

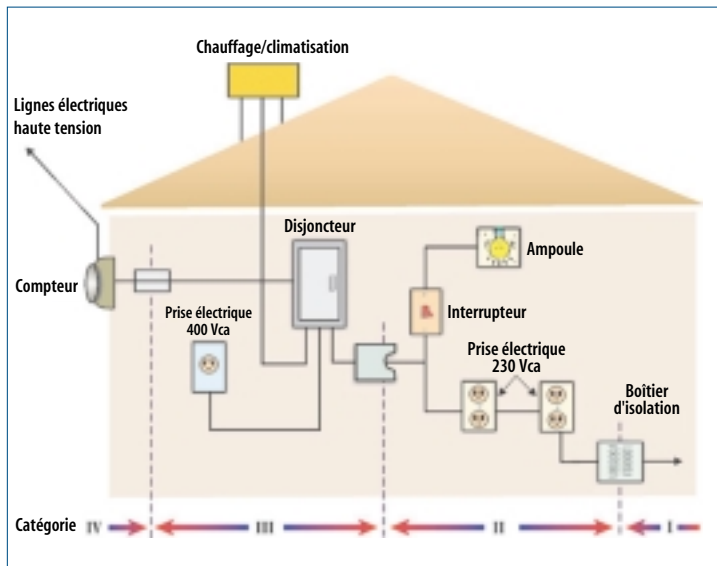
lution permet d'évaluer la capacité d'isolement de matériaux plastiques ou d'isolateurs selon la quantité de poussière conductrice, de gaz ionisant et d'humidité. Les degrés de pollution sont spécifiés dans la norme IEC 60664. Un degré de pollution élevé nécessite des espacements plus importants sur les circuits imprimés. Les bureaux présentent en général un degré 2 de pollution. Certains sites industriels présentent un degré 3.

- Degré de pollution 1. Aucune pollution ou pollution seulement sèche et non conductrice, donc sans influence.

- Degré de pollution 2. Généralement, une pollution non conductrice ou avec une conductivité temporaire due à la condensation.

- Degré de pollution 3. Pollution conductrice ou pollution sèche non conductrice qui le devient à cause de la condensation.

- Degré de pollution 4. La pollution génère une



Il existe 4 catégories pour classer les niveaux de dangerosité des tensions rencontrées lors des mesures effectuées sur des équipements. Les étiquettes des instruments de mesure électrique précisent la catégorie dans laquelle ils sont utilisables.

conduction persistante, due par exemple à la présence de poussière conductrice, de la pluie ou de la neige.

La tension de travail. La tension de travail est la tension la plus élevée à laquelle l'isolant est (ou peut être) soumis lorsque l'équipement travaille à sa tension spécifiée, dans des conditions normales.

Lorsque l'on mesure des tensions de travail, il est important de mesurer à la fois les valeurs pics et les valeurs efficaces.

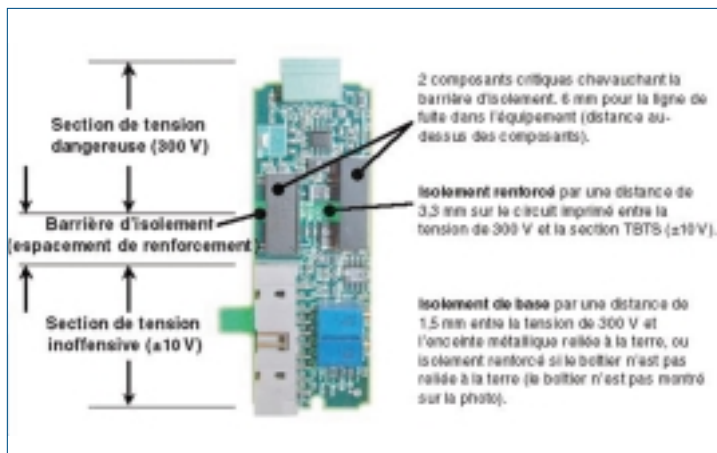
Le type d'isolement. Il existe de nombreuses techniques pour réaliser l'isolement. Citons les barrières, les mises à la terre ou les espacements. L'isolement de base, qui représente le

premier niveau de protection, est obtenu en ménageant un espace suffisant entre la zone TBTS et la zone dangereuse, ou alors par la présence d'une couche d'isolant. Pour améliorer cet isolement, on peut prévoir plusieurs couches d'isolant ou un espacement égal à deux fois celui de l'isolement de base (*isolement renforcé*).

Avec un *double isolement*, s'il y a un défaut sur l'une des couches, l'isolement de base continue de protéger l'utilisateur.

Voici quelques exemples d'isolement requis entre circuits :

- entre tensions dangereuses ($>42,4 \text{ V}_{\text{pic}}/60 \text{ V}_{\text{cc}}$) et TBTS ($<42,4 \text{ V}_{\text{pic}}/60 \text{ V}_{\text{cc}}$) : double



Exemple d'espacements sur un circuit imprimé pour une application en catégorie II (avec présence de tensions jusqu'à 300 Veff).

isolement / isolement renforcé

- entre tensions dangereuses et circuits / boîtiers reliés à la terre : isolement de base
- entre tensions dangereuses et boîtiers métalliques non reliés à la terre : double isolement / isolement renforcé

Le CTI. Le CTI (Comparative tracking Index) est un paramètre utilisé pour évaluer le comportement d'un matériau (électriquement) isolant : il exprime la tension minimale, en volts, susceptible de provoquer le passage d'un courant à travers le matériau. La valeur du CTI est généralement spécifiée par le fabricant. Quand ce n'est pas le cas, on prend les valeurs minimales qui sont 175 pour les circuits imprimés et 100 pour les autres parties de l'équipement.

Il est important de connaître le CTI car il permet de déterminer la longueur des lignes de fuite ou des distances d'isolement sur les circuits imprimés, les connecteurs et autres parties d'un équipement. Plus le CTI est élevé, plus on peut diminuer les distances d'isolement et diminuer ainsi la taille des équipements.

On le voit, le concepteur d'appareils devant

répondre à des réglementations de sécurité électrique dispose de nombreux éléments pour arriver à ses fins. Tous sont détaillés en long et en large dans les normes. L'utilisateur, ou du moins celui qui fait l'acquisition de tels appareils, trouvera également dans ces normes des éléments lui permettant de vérifier que l'appareil qui l'intéresse a été conçu avec les règles de l'art.

Respecter les distances d'isolement

Il doit commencer par déterminer les conditions d'utilisation de son appareil, c'est-à-dire le degré de pollution (qui a une incidence sur les caractéristiques d'isolement entre les différentes parties de l'appareil) et la catégorie de mesure (pour savoir quels niveaux de tension sont dans l'environnement de mesure de l'opérateur).

Au final, le respect des différentes contraintes liées à l'utilisation conduit à prévoir des distances d'isolement suffisantes entre les différents modules internes de l'appareil. La distance d'isolement s'exprime de deux façons. Distance d'isolement dans l'air. C'est la plus

courte distance entre deux parties conductrices, mesurée "à vol d'oiseau".

Longueur de la ligne de fuite. C'est la plus courte distance entre deux parties conductrices, mesurée en épousant la topologie du terrain entre les deux parties conductrices. Cette dernière est évidemment plus grande que la distance d'isolement dans l'air.

Les normes (et notamment l'IEC 61010-1) fixent les distances d'isolement à respecter. Pour vérifier si un appareil est en conformité avec la réglementation, il suffit de mesurer les espaces entre les parties conductrices et de s'assurer qu'elles sont au moins égales à celles indiquées dans les normes. On mesure les distances entre les pistes des circuits imprimés, entre les broches des connecteurs, entre les entrées et les sorties des photocoupleurs optiques, entre les circuits sous tension et la piste de mise à la terre, et entre les circuits sous tension et l'enceinte métallique.

David Lohbeck
Ingénieur "sécurité"
National Instruments