

PROCÉDÉ ET MACHINE DE TEST MULTIDIMENSIONNEL D'UN DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE À PARTIR D'UNE SONDE MONODIRECTIONNELLE

L'invention concerne un procédé et une machine de test d'un
5 dispositif électronique.

Dans tout le texte, l'expression « assemblage électronique » désigne tout ensemble d'un seul tenant de composants électroniques en plusieurs pièces reliées et réunies les unes aux autres selon un circuit électrique prédéterminé en présentant le plus souvent des bornes de connexion extérieures ; il peut s'agir par
10 exemple de plaques de circuits imprimés (PCB), d'assemblages (dits SiP ou « System in Package ») de circuits intégrés (à composants actifs (microprocesseurs, mémoires,...) et/ou passifs (résistances, capacités, inductances...) et/ou microsystèmes (par exemple MEMS)) dans un seul boîtier, les différentes pièces étant montées les unes à côté des autres et/ou empilées et/ou noyées dans des structures multicouches
15 ou autres ; les liaisons électriques dans ces assemblages électroniques, notamment entre les différentes pièces, peuvent être réalisées par l'intermédiaire de pistes conductrices, par soudures, par fils de connexion (« wire bonding »), par collage (« flip-chip »)...

Les dispositifs électroniques tels que les circuits intégrés et les
20 assemblages électroniques doivent pouvoir être testés, à des fins diverses, notamment pour la détection et la localisation de défauts, ou pour l'assistance à la conception ou la détermination de leurs caractéristiques.

Une des méthodes connues pour réaliser ces tests consiste à alimenter le dispositif électronique en énergie électrique et avec des signaux d'entrée
25 prédéterminés (vecteurs de test), puis à effectuer des mesures sur le dispositif électronique en fonctionnement. En particulier, compte tenu des fortes miniaturisations et des très grands taux d'intégration des dispositifs électroniques modernes, les mesures sont le plus souvent réalisées sous microscopie. En outre, une des techniques de mesure non destructive envisagée consiste à détecter au moins un
30 champ magnétique induit à proximité immédiate du dispositif électronique par la

circulation des courants au sein de ce dispositif électronique. En particulier, on sait qu'il est possible de réaliser une imagerie des courants circulant dans le dispositif électronique à l'aide d'une sonde magnétique (telle qu'un capteur magnétorésistif ou un capteur SQUID « superconducting quantum interference device ») disposée à 5 proximité du dispositif. Une telle sonde permet d'évaluer une composante B_z du champ magnétique selon un axe ZZ' fixe prédéterminé par rapport à la sonde (correspondant en général à un axe longitudinal de la sonde) et permet de réaliser une imagerie bidimensionnelle de la composante B_z selon un plan orthogonal à l'axe ZZ' de la sonde. A partir de cette image bidimensionnelle du champ magnétique supposée 10 parallèle à l'objet observé considéré être d'épaisseur nulle, on peut évaluer par calcul la distribution bidimensionnelle des courants circulant sur cet objet.

Néanmoins, les dispositifs électroniques modernes tels que les assemblages électroniques sont de plus en plus souvent conçus en trois dimensions. Une telle sonde dont l'efficacité suppose que l'épaisseur de l'objet mesuré soit 15 négligeable par rapport à la distance entre la sonde et l'objet, n'est pas adaptée pour évaluer et réaliser une imagerie des courants qui sont éloignés de la sonde, au sein de l'épaisseur du dispositif électronique.

La solution qui a été envisagée pour résoudre ce problème (INFANTE F : « Failure Analysis for System in Package devices using Magnetic 20 Microscopy » THESIS XP009114669 (date de publication indéterminée); US2003/0001596), consiste à réaliser plusieurs mesures sur différentes faces du dispositif électronique, une sonde étant orientée selon différents axes orthogonaux les uns aux autres, de façon à obtenir différentes images en deux dimensions qui, par combinaison entre elles et reconstructions, pourraient permettre d'obtenir une 25 évaluation des courants. Néanmoins, une telle méthode par combinaison d'images bidimensionnelles ne permet pas de prendre en compte toutes les situations pouvant être rencontrées en trois dimensions au sein du circuit, par exemple dans le cas de la présence de plusieurs lignes conductrices ni coplanaires ni orthogonales entre elles, ou de lignes conductrices s'étendant non parallèlement aux plans détectés par la sonde ou 30 en boucles, ou lorsque le dispositif électronique n'est pas en forme de cube. En outre,

la réalisation de mesures selon trois directions orthogonales en regard de trois faces orthogonales du dispositif électronique suppose une machine de mesure particulièrement complexe comprenant trois sondes orthogonales, ou des manipulations successives du dispositif électronique pour présenter en regard de la
5 sonde différentes faces de ce dispositif électronique, ce qui est à la fois long et peu fiable.

Dans ce contexte, l'invention vise à proposer un procédé et une machine de test permettant, à partir d'une sonde de mesure de type monodirectionnelle, d'obtenir une mesure non limitée à la composante axiale B_z du
10 champ magnétique émis par le dispositif électronique.

Plus particulièrement, l'invention vise à proposer un procédé et une machine de test permettant de réaliser des mesures permettant d'évaluer la circulation des courants non seulement dans le plan orthogonal à l'axe ZZ' de la sonde, mais également selon au moins un plan parallèle à cet axe ZZ' .

15 En particulier, l'invention vise à proposer un tel procédé et une telle machine qui permettent d'obtenir avec une grande fiabilité et une grande précision, une représentation des trois composantes du champ magnétique induit par la circulation en trois dimensions des courants dans le dispositif électronique, à partir uniquement de mesures réalisées par une sonde monodirectionnelle disposée en
20 regard d'une seule face du dispositif électronique.

L'invention vise également plus particulièrement à proposer un tel procédé et une telle machine qui puissent être utilisés pour la détection et la localisation de défauts dans les dispositifs électroniques de type tridimensionnel, par exemple les assemblages électroniques.

25 Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de test d'un dispositif électronique, dans lequel le champ magnétique émis par au moins une circulation de courant électrique dans le dispositif électronique est mesuré par une sonde de mesure monodirectionnelle adaptée pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la valeur d'une composante B_z dudit champ magnétique selon un axe
30 ZZ' fixe prédéterminé par rapport à ladite sonde, caractérisé en ce que :

- la sonde étant approchée à une distance d_0 en regard d'une face du dispositif électronique, et le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés appliqués sur des bornes d'entrées du dispositif électronique, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une première valeur $Bz1$ de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde et enregistrée,

- puis la sonde et le dispositif électronique sont déplacés l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour d'un axe XX' orthogonal à l'axe ZZ' selon une amplitude angulaire inférieure à 90° , la sonde étant maintenue à la même distance d_0 en regard de la même face du dispositif électronique, et, le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une deuxième valeur $Bz2$ de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde et enregistrée,

- puis la valeur d'une composante By du champ magnétique selon un axe YY' orthogonal aux axes ZZ' et XX' est déterminée et enregistrée à partir de la première valeur $Bz1$ et de la deuxième valeur $Bz2$ obtenues.

L'invention part en effet du constat selon lequel à partir de deux mesures d'une même composante Bz du champ magnétique réalisées avec deux positions angulaires différentes (de moins de 90° -notamment de moins de 45° - entre elles) du dispositif électronique par rapport à la sonde selon un axe XX' orthogonal à l'axe ZZ' de la sonde, il est possible de calculer la valeur d'une deuxième composante By du champ magnétique.

En outre, en faisant pivoter l'un par rapport à l'autre le dispositif électronique et la sonde selon un troisième axe YY' orthogonal aux deux premiers (et uniquement selon ce troisième axe YY' , une direction qui passe par la face du dispositif électronique, et qui est orthogonale au deuxième axe XX' étant orthogonale à l'axe ZZ' , le dispositif électronique n'étant pas pivoté autour dudit deuxième axe XX' par rapport à sa position de mesure de la première valeur $Bz1$ de la composante Bz du champ magnétique), il est possible également de calculer la valeur d'une

troisième composante B_x du champ magnétique. Ainsi, avantageusement, un procédé selon l'invention est aussi caractérisé en ce que :

- la sonde et le dispositif électronique sont déplacés l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour de l'axe YY' selon une amplitude angulaire inférieure à 90° , la sonde étant maintenue à la même distance d_0 en regard de la même face du dispositif électronique, et, le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une troisième valeur B_{z3} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde et enregistrée,
- puis la valeur d'une composante B_x du champ magnétique selon l'axe XX' est déterminée et enregistrée à partir de la première valeur B_{z1} et de la troisième valeur B_{z3} obtenues.

Un procédé de test selon l'invention peut-être en particulier appliqué pour la détection et la localisation de défauts dans le circuit électrique du dispositif électronique.

Ainsi, un procédé selon l'invention est avantageusement également caractérisé en ce que :

- une image, dite image mesurée, d'au moins une partie du dispositif électronique est élaborée à partir de l'une des trois composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique émis par ce dispositif électronique, telle que déterminée à partir des mesures fournies par ladite sonde pour différentes positions (x, y) de l'axe ZZ' de la sonde par rapport à la dite face,
- une pluralité d'images simulées de ladite partie du dispositif électronique sont élaborées par simulation, chaque image simulée correspondant à une image susceptible d'être obtenue de la même façon que l'image mesurée, à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante B_x , B_y , B_z correspondante du champ magnétique tel qu'il serait émis par ce dispositif électronique en présence d'au moins un défaut de la circulation de courant dans ladite partie du dispositif électronique,

- les images simulées sont comparées à l'image mesurée.

Cette comparaison peut être effectuée par un utilisateur humain (comparaisons visuelles) ou au contraire automatiquement, par exemple grâce à un logiciel de traitement et de comparaisons d'images (par exemple le logiciel de traitement d'images WIT® de la société DALSA Digital Imaging (Burnaby, Canada). Il est à noter à cet égard que le fait de réaliser des images simulées et de comparer ces images simulées à l'image mesurée permet de s'affranchir de tout calcul de l'intensité du courant à partir des valeurs des composantes du champ magnétique, calcul qui n'a pas toujours de solution analytique simple. En outre, cette comparaison d'images permet de s'affranchir des défauts de mesure dus au principe même de cette mesure, notamment les défauts provenant de la distance qui existe nécessairement entre la sonde et le dispositif électronique, puisque ces défauts se retrouvent aussi bien sur l'image mesurée que sur les images simulées.

En choisissant de façon appropriée les différentes images simulées, en fonction de la nature du circuit électrique, il est possible de localiser rapidement un défaut dans le circuit électrique.

En particulier, avantageusement et selon l'invention, l'image mesurée de ladite partie du dispositif électronique utilisée pour la comparaison correspond à une soustraction d'une image (ou de la matrice correspondante) obtenue à partir de la composante B_x , B_y , B_z correspondante mesurée du champ magnétique émis par l'intégralité d'un dispositif électronique de référence correspondant au dispositif électronique à tester mais exempt de défauts, cette composante étant mesurée pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, et d'une image (ou de la matrice correspondante) obtenue à partir de la composante B_x , B_y , B_z correspondante mesurée du champ magnétique émis par l'intégralité du dispositif électronique à tester, cette composante étant aussi mesurée pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, et chaque image simulée est élaborée par soustraction d'une image (ou de la matrice correspondante) obtenue à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante B_x , B_y , B_z correspondante du champ magnétique tel qu'il

serait émis par l'intégralité du dispositif électronique de référence, et d'une image (ou de la matrice correspondante) obtenue à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique tel qu'il serait émis par l'intégralité
5 du dispositif électronique en présence d'au moins un défaut. De la sorte, toutes les parties du dispositif électronique, et donc des images correspondantes, qui sont exemptes de défauts, sont soustraites et ne sont pas utilisées dans la comparaison, qui est donc particulièrement simple, précise et rapide.

Rien n'empêche, en variante, d'utiliser d'autres procédés pour
10 choisir les portions de circuit à simuler. Par exemple, dans le cas de circuits complexes, il est possible d'émettre des hypothèses par itérations sur des portions de volume du dispositif électronique susceptibles de contenir au moins un défaut, et de n'effectuer, à chaque itération, des simulations et une comparaison que sur une portion de volume. A l'inverse, dans le cas de circuits simples, l'image mesurée et chaque
15 image simulée peuvent correspondre à l'intégralité du dispositif électronique.

Avantageusement et selon l'invention, on utilise une sonde de mesure comprenant un capteur choisi parmi un capteur SQUID et un capteur magnétorésistif.

Par ailleurs, un procédé selon l'invention est avantageusement
20 aussi caractérisé en ce que le dispositif électronique étant un assemblage électronique en trois dimensions, pour mesurer ladite première valeur Bz1, la sonde est orientée avec l'axe ZZ' orthogonal à l'une des faces externes de cet assemblage électronique -notamment à une face principale (face supérieure ou inférieure de plus grande dimension) de cet assemblage électronique-.

25 Dans un procédé selon l'invention, pour faire pivoter l'un par rapport à l'autre la sonde et le dispositif électronique, il est possible soit de déplacer la sonde par rapport à un bâti sur lequel le dispositif électronique est maintenu fixe, soit de déplacer le dispositif électronique par rapport à un bâti par rapport auquel au moins l'orientation de l'axe ZZ' de la sonde est maintenue fixe, soit de déplacer
30 simultanément à la fois la sonde et le dispositif électronique par rapport à un bâti

commun.

Avantageusement et selon l'invention, la sonde et le dispositif électronique sont déplacés l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif selon une amplitude angulaire supérieure à 10° et inférieure à 45° -notamment comprise entre 10° et 30° .

L'invention s'étend à une machine de test adaptée pour la mise en œuvre d'un procédé de test selon l'invention.

L'invention concerne ainsi également une machine de test d'un dispositif électronique, comprenant :

- 10 - une sonde de mesure monodirectionnelle adaptée pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la valeur d'une composante B_z selon un axe ZZ' fixe prédéterminé par rapport à ladite sonde, du champ magnétique émis au voisinage de la sonde par au moins une circulation de courant électrique dans le dispositif électronique,
- 15 - un support de réception d'un dispositif électronique, et des moyens d'alimentation de ce dispositif électronique en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés appliqués sur des bornes d'entrées du dispositif électronique,
 - un mécanisme apte à placer l'un par rapport à l'autre la sonde
- 20 et un dispositif électronique reçu dans le support de réception,
 - des moyens d'enregistrement des valeurs correspondant aux signaux délivrés par la sonde,
- caractérisée en ce que :
 - ledit mécanisme est adapté pour permettre de modifier, pour
- 25 chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport au dispositif électronique, l'orientation de la sonde et du dispositif électronique l'un par rapport à l'autre, par pivotement relatif autour d'un axe XX' orthogonal à l'axe ZZ' selon une amplitude angulaire inférieure à 90° , la sonde étant maintenue à une distance d_0 en regard d'une même face du dispositif électronique,
- 30 - elle comprend des moyens de calcul adaptés pour déterminer

et enregistrer, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, la valeur d'une composante B_y du champ magnétique selon un axe YY' orthogonal aux axes ZZ' et XX', à partir d'une première valeur B_{z1} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde dans une première position
5 angulaire relative par rapport à l'axe XX' de la sonde et du dispositif électronique, et d'une deuxième valeur B_{z2} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde dans une deuxième position angulaire relative par rapport à l'axe XX' de la sonde et du dispositif électronique, et à la même distance d_0 , lesdites première et deuxième positions angulaires par rapport à l'axe XX' étant séparées l'une
10 de l'autre d'un angle inférieur à 90° -notamment inférieur à 45° .

Avantageusement et selon l'invention, ledit mécanisme est aussi adapté pour permettre de modifier l'orientation de la sonde et du dispositif électronique l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour de l'axe YY' selon une amplitude angulaire inférieure à 90° , la sonde étant maintenue à la même distance
15 d_0 en regard de la même face du dispositif électronique, et lesdits moyens de calcul sont adaptés pour pouvoir déterminer et enregistrer, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, la valeur d'une composante B_x du champ magnétique selon l'axe XX', à partir d'une première valeur B_{z1} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde dans une première
20 position angulaire relative par rapport à l'axe YY' de la sonde et du dispositif électronique, et d'une troisième valeur B_{z3} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde dans une deuxième position angulaire relative par rapport à l'axe YY' de la sonde et du dispositif électronique, et à la même distance d_0 , lesdites première et deuxième positions angulaires par rapport à
25 l'axe YY' étant séparées l'une de l'autre d'un angle inférieur à 90° .

En outre, avantageusement et selon l'invention, ladite sonde de mesure comprend un capteur choisi parmi un capteur SQUID et un capteur magnétorésistif.

Avantageusement, une machine selon l'invention, comprend en
30 outre :

- des moyens de génération d'une image, dite image mesurée, à partir de l'une des trois composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique émis par ce dispositif électronique, telle que déterminée à partir des mesures fournies par ladite sonde pour différentes positions (x, y) de l'axe ZZ' de la sonde par rapport à la dite face,

- des moyens de calcul par simulation de valeurs calculées, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, des trois composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique tel qu'il serait émis par ladite partie du dispositif électronique en présence d'au moins un défaut de la circulation de courant dans ladite partie du dispositif électronique,

- des moyens de génération d'une pluralité d'images simulées de ladite partie du dispositif électronique par simulation, chaque image simulée correspondant à une image susceptible d'être obtenue de la même façon que l'image mesurée, à partir d'un jeu desdites valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante B_x , B_y , B_z correspondante du champ magnétique.

Par ailleurs, avantageusement et selon l'invention :

- le support de réception est adapté pour pouvoir recevoir un dispositif électronique formé d'un assemblage électronique en trois dimensions,

- le mécanisme est adapté pour permettre d'orienter la sonde avec l'axe ZZ' orthogonal à l'une des faces externes d'un assemblage électronique reçu dans ledit support.

Dans une première variante, avantageusement et selon l'invention, le support de réception du dispositif électronique est fixe par rapport à un bâti et ledit mécanisme est adapté pour permettre de faire pivoter la sonde par rapport à ce bâti. Dans une deuxième variante, avantageusement et selon l'invention, la sonde est montée par rapport à un bâti de façon à présenter une orientation de l'axe ZZ' fixe par rapport au bâti, ledit mécanisme est adapté pour permettre de faire pivoter par rapport au bâti le support de réception du dispositif électronique, et le dispositif électronique reçu dans le support est alimenté par l'intermédiaire d'un câble torsadé.

L'invention concerne également un procédé et une machine de test caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de plusieurs de ses modes de réalisation préférentiels donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est un organigramme général d'un procédé de test selon un mode de réalisation de l'invention,
- 10 - la figure 2 est un organigramme illustrant un procédé selon l'invention permettant la détection et la localisation de défauts par comparaison d'images,
- la figure 3 est une représentation schématique d'une machine de test selon l'invention,
- 15 - les figures 4a et 4b sont des schémas de principe illustrant respectivement les deux positions de mesure des valeurs B_{z1} et B_{z2} , la figure 4b illustrant le calcul d'une composante B_y du champ magnétique,
- la figure 5a est un schéma en perspective représentant un exemple d'assemblage électronique, et la figure 5b est un schéma en perspective
20 éclatée représentant le circuit électrique du même assemblage électronique,
- la figure 6 représente un exemple d'image mesurée obtenue avec un procédé selon l'invention avec l'assemblage électronique des figures 5a et 5b,
- les figures 7a, 7b, 7c sont des schémas en perspective éclatée représentant trois exemples d'hypothèses de défauts dans le circuit électrique de
25 l'assemblage électronique, et les figures 8a, 8b, 8c représentent des exemples d'images simulées correspondantes.

Une machine de test selon l'invention est globalement constituée d'une machine connue, par exemple un microscope magnétique tel que commercialisé sous la référence Magma C30® par la société NEOCERA (Beltsville,
30 Maryland, USA), cette machine étant modifiée comme indiqué ci-après pour la mise

en œuvre d'un procédé selon l'invention. En conséquence, seules les principales caractéristiques et les caractéristiques spécifiques de l'invention sont décrites ci-après, les autres caractéristiques générales d'une machine de test de dispositifs électroniques étant connues en elles-mêmes.

5 Une machine 4 de test selon l'invention comprend un bâti 41 fixe principal reposant sur le sol par des pieds 42, et portant en particulier une table 43 horizontale de travail sur laquelle est monté un support 44 de réception d'un dispositif électronique à tester 39. Le bâti 41 porte également une console 45 supérieure portant et guidant, à distance et au-dessus du support 44 de réception, une sonde 46 de mesure
10 monodirectionnelle de champ magnétique, notamment comprenant un capteur SQUID d'axe vertical (orthogonal à la table 43 support). La sonde 46 de mesure est adaptée pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la valeur d'une composante B_z selon un axe fixe ZZ' prédéterminé par rapport à ladite sonde 46. De préférence, dans le mode de réalisation, l'axe ZZ' est vertical, mais rien n'empêche de prévoir que l'axe de
15 la sonde 46 soit disposé selon tout autre orientation, dès lors que cet axe ZZ' puisse être sécant avec le support 44 de réception, et donc avec un dispositif électronique disposé dans ce support 44 de réception.

La machine 4 de test selon l'invention comprend également un mécanisme adapté pour pouvoir placer et orienter l'un par rapport à l'autre la sonde
20 46, et plus particulièrement l'axe ZZ' , et un dispositif électronique reçu et fixé dans le support 44 de réception.

Ce mécanisme comprend tout d'abord des moyens motorisés, bien connus en eux-mêmes (cf. par exemple machine Magma C30® susmentionnée), permettant de déplacer l'un par rapport à l'autre la sonde et le support 44 de réception
25 en translation selon trois axes orthogonaux, c'est-à-dire d'une part dans un plan horizontal (XX' , YY') parallèle à la table 43 et, d'autre part, parallèlement à l'axe ZZ' vertical de la sonde 46. Par exemple, ces moyens motorisés de déplacement et de positionnement font partie de la console 45 portant la sonde 46, cette console 45 comprenant un portique comportant un longeron horizontal principal porté et guidé en
30 translation entre deux traverses horizontales, la sonde 46 étant elle-même guidée en

translation le long du longeron principal, et incorporant un montant de guidage vertical du capteur magnétique, les différents mouvements étant motorisés à partir d'une pluralité de moteurs électriques associés à des codeurs permettant de repérer la position précise du capteur de la sonde 46 par rapport au bâti 41.

5 Le support 44 de réception comprend une bride 47, 48 de fixation d'un dispositif électronique, cette bride comportant deux butées 47 fixes horizontales et orthogonales l'une par rapport à l'autre permettant de caler le dispositif électronique dans le plan horizontal par rapport au support 44 de réception, et, d'autre part, au moins une butée 48 mobile, montée, par rapport à la table 43, mobile
10 horizontalement en regard de l'une des butées 47 fixes de façon à permettre le serrage du dispositif électronique.

Ce support 44 de réception est par ailleurs porté par un plateau mobile 49 d'une première table pivotante 50 autour d'un premier axe horizontal XX', elle-même portée par le plateau mobile 51 d'une deuxième table pivotante 52 autour
15 d'un deuxième axe horizontal YY' orthogonal au précédent, de sorte que le support 44 de réception peut être incliné par rapport au plan horizontal de la table de travail 43 selon un angle prédéterminé α autour de l'axe horizontal XX' et/ou selon un angle prédéterminé β autour de l'axe horizontal YY'.

Chaque table pivotante 50, 52 permet de maintenir fixe l'angle
20 d'inclinaison α ou β du support 44 de réception autour de l'axe horizontal XX' ou YY' correspondant. Une telle table pivotante 50 ou 52 peut être à commande manuelle et/ou motorisée par un moteur électrique, et est bien connue en elle-même.

La machine 4 de test selon l'invention comprend également un automate 40 de contrôle permettant d'une part de commander les différents
25 mouvements de la sonde 46 et du support 44 de réception en translations et en inclinaisons, d'autre part de piloter le fonctionnement général de la machine. Cet automate 40 de contrôle est relié d'une part à la sonde 46 de mesure, d'autre part à au moins un connecteur 53 pouvant être relié à un dispositif électronique porté dans le support 44 de réception. Cet automate 40 de contrôle comprend un dispositif
30 informatique comprenant en particulier une mémoire de masse permettant

l'enregistrement de valeurs correspondant aux signaux délivrés par la sonde 46.

L'automate 40 de contrôle est en particulier adapté pour pouvoir élaborer des signaux de test prédéterminés délivrés sur les entrées du dispositif électronique reçu dans le support 44 de réception. Ces signaux de test sont élaborés en
5 fonction de chaque dispositif électronique, de façon bien connue en soi, par exemple grâce à un testeur de composants tel que le testeur référence D10 commercialisé par la société CREDENCE SYSTEM CORPORATION (Milpitas, USA), qui fait partie de l'automate 40. En variante, un logiciel de pilotage d'instrumentation de type GPIB
10 (par exemple le logiciel Labview® commercialisé par la Société National Instruments, France (Le Blanc-Mesnil, France) peut être utilisé, en association à des circuits d'alimentation, des voltmètres, des ampèremètres, par exemple tels que commercialisés par la société Agilent Technologies France (Massy, France).

Par ailleurs, la machine 4 de test selon l'invention est adaptée pour pouvoir effectuer des calculs et des traitements numériques, notamment
15 d'imagerie, à partir des signaux délivrés par la sonde 46 monodirectionnelle magnétique, comme indiqué ci-après, pour la mise en oeuvre d'un procédé de test selon l'invention. Pour ce faire, l'automate 40 de contrôle informatique peut être programmé à cet effet de toute façon appropriée.

Dans la première étape 10 d'un procédé selon l'invention, on
20 met en place et on fixe un dispositif électronique à tester 39 sur le support 44 de réception d'une machine 4 de test selon l'invention. De préférence, on place le dispositif électronique de façon à ce qu'il présente une grande face principale orientée vers le haut horizontalement. Les tables pivotantes 50, 52 sont placées à angles α et β nuls, le support 44 de réception et le dispositif électronique étant horizontaux.

25 On approche ensuite la sonde de mesure à une distance d_0 du dispositif électronique, et, pour chaque position de l'axe ZZ' fixe dans le plan horizontal, c'est-à-dire pour chaque couple de coordonnées (x, y) de cet axe ZZ' , on réalise une première mesure de la composante B_z du champ magnétique émis par le dispositif électronique, ce dernier, relié au connecteur 53, étant alimenté par des
30 signaux de test appropriés sur ses entrées de façon à générer des courants dans son

circuit électrique, au moins dans les parties de ce circuit électrique que l'on souhaite tester. On obtient alors une première valeur $B_{z1}(x, y)$ de la composante B_z du champ magnétique, que l'on enregistre.

On déplace la sonde 46 dans le plan horizontal, en faisant varier
5 x et y de façon à parcourir tout le circuit, en conservant la même distance d_0 , et on mesure et on enregistre pour chaque position (x, y) la première valeur $B_{z1}(x, y)$ de la composante B_z du champ magnétique (étape 11).

Le nombre de mesures réalisées dans le plan, c'est-à-dire les pas de variation de la coordonnée x (selon l'axe XX') et de la coordonnée y (selon l'axe
10 YY'), sont choisis pour pouvoir obtenir, lors de l'étape 12, à partir des différentes valeurs $B_{z1}(x, y)$, une image bidimensionnelle, selon un plan orthogonal à l'axe ZZ' , représentative de la composante B_z du champ magnétique émis par au moins une portion prédéterminée du circuit. Une telle image peut être obtenue de façon connue en soi, par exemple à l'aide du logiciel intégré dans la machine Magma C30®
15 susmentionnée.

Lors de l'étape 13 subséquente, on fait pivoter la première table pivotante 50, et donc on incline le support 44 de réception et le dispositif électronique d'un angle α prédéterminé par rapport à l'axe XX' , de valeur supérieure à 10° , de préférence comprise entre 10° et 30° . Une valeur de α élevée augmente la précision
20 du résultat du calcul, mais gêne l'approche de la sonde 46 à la distance d_0 appropriée du dispositif électronique. On maintient par contre $\beta=0$ (pas d'inclinaison autour de l'axe YY').

Dans cette position, on réitère (étape 14) la mesure de la composante B_z du champ magnétique comme indiqué ci-dessus, en maintenant le
25 capteur de la sonde 46 de mesure à la même distance d_0 du dispositif électronique, et en parcourant les mêmes positions (x, y) du plan horizontal que dans l'étape 11. Il est à noter que la hauteur de la sonde 46 de mesure par rapport à la table 43 de travail doit être modifiée lorsque la sonde 46 est déplacée selon l'axe YY' , pour maintenir la sonde 46 à la distance d_0 constante compte tenu de l'inclinaison α .

30 On mesure et on enregistre donc, lors de l'étape 14, pour chaque

position (x, y), une deuxième valeur $Bz2(x, y)$ de la composante Bz du champ magnétique.

Comme on le voit figure 4b, on a par construction :

$$Bz2 = Bz1.\cos\alpha - By.\sin\alpha$$

5 On peut donc en déduire, lors de l'étape 15, pour chaque position (x, y), la valeur de la composante By du champ magnétique selon l'axe YY' par la formule :

$$By = (Bz1.\cos\alpha - Bz2)/\sin\alpha$$

Cette valeur de la composante By du champ magnétique est
10 enregistrée par l'automate 40.

De même, lors de l'étape 16 subséquente, on fait pivoter la deuxième table pivotante 52, et donc on incline le support 44 de réception et le dispositif électronique d'un angle β prédéterminé par rapport à l'axe YY' , de valeur supérieure à 10° , de préférence comprise entre 10° et 30° . Une valeur de β élevée
15 augmente la précision du résultat du calcul, mais gêne l'approche de la sonde 46 à la distance $d0$ appropriée du dispositif électronique. On rétablit par contre $\alpha=0$ (pas d'inclinaison autour de l'axe XX').

Dans cette position, on réitère (étape 17) la mesure de la composante Bz du champ magnétique comme indiqué ci-dessus, en maintenant le
20 capteur de la sonde 46 de mesure à la même distance $d0$ du dispositif électronique, et en parcourant les mêmes positions (x, y) du plan horizontal que dans l'étape 11. La hauteur de la sonde 46 de mesure par rapport à la table de travail doit aussi être modifiée lorsque la sonde 46 est déplacée selon l'axe XX' , pour maintenir $d0$ constante compte tenu de l'inclinaison β .

25 On mesure et on enregistre donc, lors de l'étape 17, pour chaque position (x, y), une troisième valeur $Bz3(x, y)$ de la composante Bz du champ magnétique.

Comme précédemment, on a :

$$Bz3 = Bz1.\cos\beta - Bx.\sin\beta$$

30 On peut donc en déduire, lors de l'étape 18, pour chaque

position (x, y), la valeur de la composante Bx du champ magnétique selon l'axe XX' par la formule :

$$B_x = (B_{z1} \cdot \cos\beta - B_{z3}) / \sin\beta$$

Cette valeur de la composante Bx du champ magnétique est
5 enregistrée par l'automate 40.

Les calculs des composantes By et Bx selon l'invention supposent que les valeurs du champ magnétique émis par le dispositif électronique ne soient pas modifiées par l'inclinaison α ou β . Dans le mode de réalisation représenté et décrit ci-dessus, dans lequel le support 44 de réception, et donc le dispositif
10 électronique, sont déplacés pour générer l'inclinaison correspondante, de préférence, l'alimentation du dispositif électronique est réalisée par l'intermédiaire d'un câble 54 torsadé aboutissant au connecteur 53, de sorte que le courant électrique circulant dans ce câble 54 ne modifie pas le champ magnétique du fait de l'inclinaison.

Dans une variante de réalisation non représentée, il est possible
15 au contraire de maintenir le support 44 de réception et le dispositif électronique fixes dans un plan horizontal, et de réaliser les inclinaisons α et β autour des axes XX' et YY' en modifiant l'orientation de l'axe de la sonde 46 de mesure par rapport au bâti 41, cette sonde 46 de mesure étant alors montée par rapport à la console 45 par des liaisons pivot de façon à pouvoir être inclinée autour de ces axes. De la sorte, le
20 dispositif électronique n'étant pas déplacé entre les différentes étapes de mesure, le champ magnétique émis n'est pas modifié.

À l'issue des étapes 10 à 18 de mesure et de calcul, on obtient pour chaque composante Bx, By, Bz du champ magnétique émis par le dispositif électronique, une matrice [Bx (x, y, d0)], [By (x, y, d0)], [Bz (x, y, d0)] dans laquelle
25 sont enregistrées, pour chaque position (x, y), les valeurs de ladite composante Bx, By, Bz. Chaque matrice peut être visualisée sous forme d'une image, les images mesurées ainsi obtenues de ces trois composantes étant représentatives des circulations du courant dans le dispositif électronique, et prenant en compte les circulations du courant dans les trois dimensions, quelles que soient les formes des
30 lignes conductrices.

Une telle image mesurée peut être utilisée ensuite pour détecter et localiser un défaut dans le circuit électrique du dispositif électronique comme décrit ci-après en référence à la figure 2.

Lors de la première étape 21, on choisit un dispositif électronique de référence, dont le circuit électrique 24, de référence, est connu et exempt de défaut, et correspond au circuit électrique nominal du dispositif électronique à tester 39 dans lequel on souhaite détecter d'éventuels défauts.

Lors de l'étape 22 subséquente, on exécute les étapes 10 à 19 susmentionnées du procédé de test selon l'invention sur le dispositif électronique de référence, de façon à obtenir, pour chaque composante B_x , B_y , B_z du champ magnétique, une matrice et une image mesurée de référence 23.

À partir du circuit électrique 24 de référence qui est connu et à l'aide par exemple d'un logiciel de simulation approprié, tel que le logiciel d'analyse par éléments finis Flux 3D® commercialisé par la société CEDRAT Group (Meylan, France) ou le logiciel d'éléments de circuit BIO SAVART® commercialisé par la société RIPPLON (Burnaby, Canada), on calcule, lors de l'étape 25, les différentes composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique tel qu'il serait émis par le dispositif électronique de référence, puis, pour chaque composante B_x , B_y , B_z , une image simulée de référence 26 correspondant à une image susceptible d'être obtenue de la même façon que l'image mesurée, mais à partir des valeurs des composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique précédemment calculées par simulation.

On exécute ensuite un test 27 dans lequel on vérifie que la calibration de la simulation est correcte, c'est-à-dire que l'image simulée de référence 26 correspondant à l'image mesurée de référence 23. Si tel n'est pas le cas, on réitère l'étape 25 de simulation en corrigeant les paramètres. Si la comparaison exécutée par le test 27 est considérée comme correcte, on enregistre le résultat 28 de cette comparaison entre les deux images 23 et 26 de référence.

L'utilisateur (opérateur humain) émet ensuite un certain nombre d'hypothèses sur l'éventuelle présence d'un défaut dans le circuit électrique du dispositif électronique à tester 39. Chaque hypothèse est représentée par un

enregistrement 29 du circuit électrique dans une base de données 30. Pour chaque enregistrement 29, on exécute une étape de simulation 31 identique à l'étape 25 de simulation précédente, mais avec le circuit électrique contenant un défaut représenté par l'enregistrement 29. À l'issue de ces étapes de simulation, on obtient des images
5 simulées, à savoir une image simulée 32 pour chaque hypothèse de défaut, c'est-à-dire pour chaque enregistrement 29.

Par ailleurs, lors de l'étape 33 qui peut être exécutée avant, après ou pendant les étapes de simulation 31, on exécute les étapes 10 à 19 du procédé de test selon l'invention mentionnées ci-dessus avec le dispositif électronique à tester 39,
10 de façon à obtenir l'image mesurée 34 de ce dispositif électronique.

Lors de l'étape 35 subséquente, on compare chacune des images simulées 32 à l'image mesurée 34 de façon à déterminer l'image simulée 32 qui présente la meilleure corrélation avec l'image mesurée 34, c'est-à-dire un résultat de comparaison le plus proche du résultat 28 obtenu à partir du dispositif électronique de
15 référence. Cette comparaison 35 peut être effectuée simplement de façon visuelle par l'utilisateur (opérateur humain), ou de façon entièrement automatique par un logiciel de comparaison image, ou, en combinaison de façon semi-automatique par un opérateur humain assisté par un logiciel de comparaison image. Par exemple, cette comparaison d'image peut être effectuée à l'aide du logiciel de traitement d'images
20 WIT® de la société DALSA Digital Imaging (Burnaby, Canada).

Ainsi, l'utilisation d'images simulées obtenues en émettant différentes hypothèses sur les défauts possibles dans le circuit permet de détecter et de localiser un défaut dans un dispositif électronique grâce à un procédé de test selon invention, et ce en s'affranchissant de tout calcul analytique par intégration des
25 composantes B_x , B_y , B_z du champ magnétique.

Par ailleurs, du fait que, dans le cadre de la mesure d'un champ magnétique, chaque contribution du circuit s'additionne aux autres, il est possible de s'affranchir dans l'ensemble du procédé selon l'invention, de la mesure et/ou de la simulation des parties du circuit électronique du dispositif électronique qui ne doivent
30 pas être testées, notamment à raison du fait que ces parties sont nécessairement

exempts de défaut.

Pour ce faire, il est possible, en particulier, de calculer une image mesurée différentielle en soustrayant l'image mesurée 23 de référence de l'image mesurée 34 du dispositif électronique, et de calculer des images simulées 5 différentielles en soustrayant l'image simulée 26 de référence de chaque image simulée 32, avant de procéder à la comparaison 35 uniquement sur ces images différentielles. Il est même possible de ne réaliser des images simulées que sur les parties de l'image mesurée différentielle présentant des valeurs non nulles. De la sorte, le procédé est grandement simplifié et accéléré.

10 EXEMPLE :

Dans l'exemple de la figure 5a, le dispositif électronique à tester est un assemblage électronique constitué d'un empilement de sept plaques rectangulaires représentées sur la figure 5b. Cet assemblage électronique présente un circuit électronique de référence représenté figure 5b par une circulation de courant 15 électrique $-i$, $+i$ selon des lignes de conduction passant par les différentes plaques.

La figure 6 représente une image mesurée de référence obtenue conformément à l'invention avec une machine Magma C30® dotée d'un capteur SQUID.

Les figures 7a, 7b, 7c représentent trois hypothèses de défaut 20 dans le circuit électronique pouvant être formulées par l'opérateur, chaque hypothèse étant représentée par un enregistrement 29 du circuit électrique correspondant dans la base de données 30.

Les figures 8a, 8b, 8c sont les images simulées de la composante B_z correspondant aux trois hypothèses précédentes, et obtenues d'une 25 part à partir du logiciel Flux 3D® d'analyse par éléments finis permettant d'obtenir les différentes matrices des différentes composantes du champ magnétique, représentées sous forme d'images de la même façon que l'image mesurée.

Comme on le voit, les images simulées peuvent être comparées ultérieurement à une image mesurée selon l'invention sur un dispositif présentant un 30 défaut, et il est possible, à partir de ces différents images simulés, de trouver celle qui

correspond le mieux à cette image mesurée, et donc au défaut.

REVENDICATIONS

1/ - Procédé de test d'un dispositif électronique, dans lequel le champ magnétique émis par au moins une circulation de courant électrique dans le dispositif électronique (39) est mesuré par une sonde (46) de mesure
5 monodirectionnelle adaptée pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la valeur d'une composante Bz dudit champ magnétique selon un axe ZZ' fixe prédéterminé par rapport à ladite sonde, caractérisé en ce que :

- la sonde (46) étant approchée à une distance d0 en regard
10 d'une face du dispositif électronique, et le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés appliqués sur des bornes d'entrées du dispositif électronique, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une première valeur Bz1 de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde (46) et enregistrée,

15 - puis la sonde (46) et le dispositif électronique sont déplacés l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour d'un axe XX' orthogonal à l'axe ZZ' selon une amplitude angulaire inférieure à 90°, la sonde (46) étant maintenue à la même distance d0 en regard de la même face du dispositif électronique, et, le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux
20 d'entrée prédéterminés, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une deuxième valeur Bz2 de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde (46) et enregistrée,

- puis la valeur d'une composante By du champ magnétique selon un axe YY' orthogonal aux axes ZZ' et XX' pour chaque position (x, y) de
25 l'axe ZZ' est déterminée et enregistrée à partir de la première valeur Bz1 et de la deuxième valeur Bz2 obtenues.

2/ - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la valeur de la composante By du champ magnétique est calculée selon la formule :

$$By = (Bz1.\cos\alpha - Bz2)/\sin\alpha$$

30 3/ - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé

en ce que :

- la sonde (46) et le dispositif électronique sont déplacés l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour de l'axe YY' selon une amplitude angulaire inférieure à 90°, la sonde (46) étant maintenue à la même distance d0 en regard de la même face du dispositif électronique, et, le dispositif électronique étant alimenté en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, une troisième valeur Bz3 de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' est mesurée par la sonde (46) et enregistrée,

10 - puis la valeur d'une composante Bx du champ magnétique selon l'axe XX' pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' est déterminée et enregistrée à partir de la première valeur Bz1 et de la troisième valeur Bz3 obtenues.

4/ - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la valeur de la composante Bx du champ magnétique est calculée selon la formule :

15
$$B_x = (B_{z1} \cdot \cos\beta - B_{z3}) / \sin\beta$$

5/ - Procédé selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que :

- une image, dite image mesurée (34), d'au moins une partie du dispositif électronique (39) est élaborée à partir de l'une des trois composantes Bx, By, Bz du champ magnétique émis par ce dispositif électronique, telle que déterminée à partir des mesures fournies par ladite sonde (46) pour différentes positions (x, y) de l'axe ZZ' de la sonde par rapport à la dite face,

- une pluralité d'images simulées (32) de ladite partie du dispositif électronique (39) sont élaborées par simulation, chaque image simulée correspondant à une image susceptible d'être obtenue de la même façon que l'image mesurée, à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique tel qu'il serait émis par ce dispositif électronique (39) en présence d'au moins un défaut de la circulation de courant dans ladite partie du dispositif électronique (39),

25

30

- les images simulées (32) sont comparées à l'image mesurée (34).

6/ - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'image mesurée de ladite partie du dispositif électronique (39) utilisée pour la
5 comparaison correspond à une soustraction d'une image obtenue à partir de la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique émis par l'intégralité d'un dispositif électronique de référence correspondant au dispositif électronique (39) à tester mais exempt de défauts, cette composante étant mesurée pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, et d'une image obtenue à partir de la
10 composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique émis par l'intégralité du dispositif électronique (39) à tester, cette composante étant aussi mesurée pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, et en ce que chaque image simulée est élaborée par soustraction d'une image obtenue à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de
15 la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique tel qu'il serait émis par l'intégralité du dispositif électronique de référence, et d'une image obtenue à partir de valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique tel qu'il serait émis par l'intégralité du dispositif électronique (39) en
20 présence d'au moins un défaut.

7/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on utilise une sonde (46) de mesure comprenant un capteur choisi parmi un capteur SQUID et un capteur magnétorésistif.

8/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé
25 en ce que le dispositif électronique (39) étant un assemblage électronique en trois dimensions, pour mesurer ladite première valeur Bz1, la sonde (46) est orientée avec l'axe ZZ' orthogonal à l'une des faces externes de cet assemblage électronique.

9/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la sonde (46) et le dispositif électronique (39) sont déplacés l'un par rapport
30 à l'autre par pivotement relatif selon une amplitude angulaire supérieure à 10° est

inférieure à 45° -notamment comprise entre 10° et 30° -.

10/- Machine de test d'un dispositif électronique (39),
comprenant :

- une sonde (46) de mesure monodirectionnelle adaptée pour
5 pouvoir délivrer un signal représentatif de la valeur d'une composante B_z selon un axe ZZ' fixe prédéterminé par rapport à ladite sonde, du champ magnétique émis au voisinage de la sonde (46) par au moins une circulation de courant électrique dans le dispositif électronique (39),
- un support (44) de réception d'un dispositif électronique (39),
10 et des moyens (53, 54) d'alimentation de ce dispositif électronique (39) en énergie électrique et avec des signaux d'entrée prédéterminés appliqués sur des bornes d'entrées du dispositif électronique (39),
- un mécanisme apte à placer l'un par rapport à l'autre la sonde (46) et un dispositif électronique (39) reçu dans le support (44) de réception,
- 15 - des moyens (40) d'enregistrement des valeurs correspondant aux signaux délivrés par la sonde (46),
caractérisée en ce que :
 - ledit mécanisme est adapté pour permettre de modifier, pour
chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport au dispositif électronique, l'orientation
20 de la sonde (46) et du dispositif électronique (39) l'un par rapport à l'autre, par pivotement relatif autour d'un axe XX' orthogonal à l'axe ZZ' selon une amplitude angulaire inférieure à 90° , la sonde (46) étant maintenue à une distance d_0 en regard d'une même face du dispositif électronique (39),
 - ladite machine de test comprend des moyens (40) de calcul
25 adaptés pour déterminer et enregistrer pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' , la valeur d'une composante B_y du champ magnétique selon un axe YY' orthogonal aux axes ZZ' et XX' , à partir d'une première valeur B_{z1} de la composante B_z du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde (46) dans une première position angulaire relative par rapport à l'axe XX' de la sonde (46) et du dispositif électronique
30 (39), et d'une deuxième valeur B_{z2} de la composante B_z du champ magnétique selon

l'axe ZZ' mesurée par la sonde (46) dans une deuxième position angulaire relative par rapport à l'axe XX' de la sonde (46) et du dispositif électronique (39), et à la même distance d0, lesdites première et deuxième positions angulaires par rapport à l'axe XX' étant séparées l'une de l'autre d'un angle inférieur à 90°.

5 11/ - Machine selon la revendication 10, caractérisée en ce que ledit mécanisme est adapté pour permettre de modifier l'orientation de la sonde (46) et du dispositif électronique (39) l'un par rapport à l'autre par pivotement relatif autour de l'axe YY' selon une amplitude angulaire inférieure à 90°, la sonde (46) étant maintenue à la même distance d0 en regard de la même face du dispositif électronique
10 (39), et en ce que lesdits moyens (40) de calcul sont adaptés pour déterminer et enregistrer pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ', la valeur d'une composante Bx du champ magnétique selon l'axe XX', à partir d'une première valeur Bz1 de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde (46) dans une première position angulaire relative par rapport à l'axe YY' de la sonde (46) et du
15 dispositif électronique (39), et d'une troisième valeur Bz3 de la composante Bz du champ magnétique selon l'axe ZZ' mesurée par la sonde (46) dans une deuxième position angulaire relative par rapport à l'axe YY' de la sonde (46) et du dispositif électronique (39), et à la même distance d0, lesdites première et deuxième positions angulaires par rapport à l'axe YY' étant séparées l'une de l'autre d'un angle inférieur à
20 90°.

12/ - Machine selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre :

- des moyens de génération d'une image, dite image mesurée, à partir de l'une des trois composantes Bx, By, Bz du champ magnétique émis par ce
25 dispositif électronique (39), telle que déterminée à partir des mesures fournies par ladite sonde (46) pour différentes positions (x, y) de l'axe ZZ' de la sonde par rapport à la dite face,
- des moyens (40) de calcul par simulation de valeurs calculées, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, des trois
30 composantes Bx, By, Bz du champ magnétique tel qu'il serait émis par ladite partie du

dispositif électronique (39) en présence d'au moins un défaut de la circulation de courant dans ladite partie du dispositif électronique (39),

- des moyens de génération d'une pluralité d'images simulées de ladite partie du dispositif électronique (39) par simulation, chaque image simulée correspondant à une image susceptible d'être obtenue de la même façon que l'image mesurée, à partir d'un jeu desdites valeurs calculées par simulation, pour chaque position (x, y) de l'axe ZZ' par rapport à la dite face, de la composante Bx, By, Bz correspondante du champ magnétique.

13/- Machine selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisée en ce que ladite sonde (46) comprend un capteur choisi parmi un capteur SQUID et un capteur magnétorésistif.

14/- Machine selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisée en ce que :

- le support (44) de réception est adapté pour pouvoir recevoir un dispositif électronique (39) formé d'un assemblage électronique en trois dimensions,

- le mécanisme est adapté pour permettre d'orienter la sonde (46) avec l'axe ZZ' orthogonal à l'une des faces externes d'un assemblage électronique reçu dans ledit support (44).

15/- Machine selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisée en ce que le support (44) de réception du dispositif électronique (39) est fixe par rapport à un bâti (41) et en ce que ledit mécanisme est adapté pour permettre de faire pivoter la sonde (46) par rapport à ce bâti (41).

16/- Machine selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisée en ce que la sonde (46) est montée par rapport à un bâti (41) de façon à présenter une orientation de l'axe ZZ' fixe par rapport au bâti (41), en ce que ledit mécanisme est adapté pour permettre de faire pivoter par rapport au bâti (41) le support (44) de réception du dispositif électronique (39), et en ce que le dispositif électronique (39) reçu dans le support (44) est alimenté par l'intermédiaire d'un câble torsadé (54).