

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 023 634

②1 N° d'enregistrement national : **14 01566**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 06 F 17/50 (2014.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 **SYSTEME INFORMATISE DE CONCEPTION DU ROUTAGE TRIDIMENSIONNEL DE CABLES ELECTRIQUE DANS UN SYSTEME ELECTRIQUE, ET PROCEDE DE CONCEPTION CORRESPONDANT.**

②2 **Date de dépôt** : 11.07.14.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 15.01.16 Bulletin 16/02.

④5 **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 15.04.22 Bulletin 22/15.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demande(s) d'extension :

⑦1 **Demandeur(s)** : *DASSAULT AVIATION Société anonyme — FR.*

⑦2 **Inventeur(s)** : HACHEMI HAFID.

⑦3 **Titulaire(s)** : *DASSAULT AVIATION Société anonyme.*

⑦4 **Mandataire(s)** : *CABINET LAVOIX Société par actions simplifiée.*

FR 3 023 634 - B1



Système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, et procédé de conception correspondant

La présente invention concerne un système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, tel que le système électrique d'un aéronef, ainsi qu'un procédé de conception d'un tel routage de câbles électriques.

Un système tel qu'un aéronef est un système complexe qui intègre de nombreux sous-ensembles hétérogènes. La conception d'un tel système s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires et l'utilisation d'un outil de gestion de cycle de vie du produit complété par des outils numériques dédiés aux différents métiers concernés.

Les besoins et contraintes de tous les acteurs depuis la conception jusqu'à la maintenance sont intégrés en amont.

Au cœur de cette méthode de conception et des outils utilisés, se situe la maquette numérique 3D, véritable colonne vertébrale, qui est partagée en temps réel par l'ensemble des acteurs. En utilisant un processus de conception collaboratif global, le concepteur peut gérer des systèmes plus complexes, innover plus rapidement et raccourcir ses délais de mise sur le marché du produit.

Dans ce contexte, le système électrique est un des systèmes névralgiques d'un ensemble complexe tel qu'un aéronef. Sa définition évolue tout au long de la phase de conception de l'aéronef. La représentation numérique de son aménagement évolue elle aussi en fonction des définitions électriques, mais aussi en fonction des composants des autres systèmes de l'aéronef, tels que la structure, les systèmes hydrauliques, le système de carburant, le système de conditionnement d'air, les systèmes de propulsion, les systèmes de commande de vol.

Cette phase de conception doit permettre de vérifier certaines caractéristiques de l'aéronef, telles que ses caractéristiques aérodynamiques. Par exemple, le calcul du centre de gravité est un élément dimensionnant important pour les caractéristiques aérodynamiques de l'aéronef telles que la stabilité ou la consommation de carburant. Il est donc nécessaire de pouvoir le calculer très tôt. Le centre de gravité de l'aéronef étant fonction du centre de gravité de chacun des systèmes qui constituent l'aéronef, il est donc nécessaire de pouvoir calculer très tôt en particulier le centre de gravité du système électrique de cet aéronef, ou de l'ensemble des systèmes ou sous-systèmes électriques de cet aéronef.

Il est donc important de pouvoir déterminer très tôt le routage des câbles, donc notamment leurs longueurs, masses et centres de gravité alors même que la définition du système électrique n'est pas encore complète.

La définition d'un système électrique met en œuvre plusieurs aspects tels que la définition fonctionnelle et logique, la schématique pour préparer les schémas de réalisation, une base de données technologiques comprenant la description technologique des connecteurs et leurs accessoires, avec des informations sur la rigidité, la masse linéique des fils, des gaines et protections, etc..., et la représentation numérique tridimensionnelle.

Il existe des systèmes comprenant un ensemble d'outils intégrés partageant les données, et permettant de gérer le cycle de vie du produit, sa conception, sa réalisation, sa maintenance et son évolution.

L'intégration des différents aspects mentionnés plus haut dans un seul outil de conception est possible. Mais l'utilisation et l'appréhension de cette démarche reste très complexe car elle demande un niveau de maturité de conception très important et un niveau d'interconnexion des différents systèmes très élevé.

En théorie les outils de conception assistée par ordinateur sont capables de calculer les longueurs des routes de câblages, ainsi que leur centre de gravité et leur poids si la masse linéique de chaque fil (ou groupe de fils) est renseignée.

Mais en pratique cela n'est pas toujours possible, ou très difficile pour plusieurs raisons qui sont présentées ci-après

Dans tous les secteurs de l'industrie, tels que l'industrie des biens de consommation, l'industrie de l'automobile, l'industrie de la mécanique, l'industrie navale, ou encore l'industrie aéronautique, on définit l'ensemble des fils électriques impliqués dans les liaisons des systèmes électriques. Mais on ne les représente pas dans la maquette numérique tridimensionnelle.

L'industrie des machines-outils, comme l'industrie automobile, conçoit souvent des systèmes ou sous-systèmes plus petits (en termes de nombre de fils impliqués).

Par exemple, la commande d'un lève vitre électrique intégré à une portière d'un véhicule automobile n'implique tout au plus qu'une dizaine de fils.

Mais dans l'industrie aéronautique, la définition des systèmes électriques implique bien souvent des connecteurs avec un nombre de fils (contacts) important, pouvant dépasser la centaine de contacts. Dès lors la représentation tridimensionnelle de ces liaisons électriques dans la maquette numérique serait fastidieuse et rendrait la manipulation de cette maquette difficile.

Là où plusieurs dizaines de fils sont nécessaires à la liaison électrique entre deux connecteurs seule une liaison est représentée dans la maquette numérique tridimensionnelle (par exemple par un segment de profile circulaire).

Si l'on doit représenter tous les fils d'une liaison électrique, la taille des données générées pour réaliser la maquette numérique tridimensionnelle grossit de manière très importante. Elle implique alors une manipulation de cette maquette numérique moins aisée, moins fluide. Le travail collaboratif quotidien des différents partenaires s'en trouve alors très pénalisé.

Par ailleurs, il faut également tenir compte des contraintes industrielles de conception et fabrication. Un aéronef ne se conçoit généralement pas seul, mais en collaboration avec plusieurs partenaires industriels. L'aéronef est ainsi découpé en plusieurs tronçons. Chaque tronçon peut être fabriqué et assemblé sur un site différent.

Chaque tronçon peut être décomposé en sous-volumes, ou en composants indépendants. Par exemple, la porte d'accès figure généralement dans le tronçon avant d'un aéronef. Cette porte d'accès peut être conçue et fabriquée indépendamment du reste du tronçon. Elle sera ensuite utilisée au moment de l'assemblage final de ce tronçon.

Ce découpage industriel permet de paralléliser la production, mais implique une conception collaborative de chacun de ces tronçons. Une fois les interfaces définies aux limites des tronçons, chaque partenaire est libre de concevoir le système (ou sous-système) dont il est responsable dans son tronçon.

Dans ce contexte, un système électrique peut traverser plusieurs tronçons. Par exemple, le système de génération de puissance électrique qui doit distribuer du courant électrique à tous les équipements d'un aéronef, traverse plusieurs tronçons. C'est également le cas des deux systèmes électriques correspondant aux deux voyants de position (vert et rouge) qui se trouvent à chaque extrémité d'une aile.

La représentation tridimensionnelle d'un système ou sous-système électrique peut donc être décomposée en plusieurs morceaux. Lorsqu'un système électrique se retrouve intégralement dans un tronçon, il peut traverser plusieurs compartiments (ou soutes). Bien entendu, il n'y a aucune liaison électrique entre ces différents morceaux.

Si une connexion électrique est créée entre deux morceaux appartenant à des soutes, des volumes, des tronçons différents, une dépendance inter-modèle est créée. Seul, chacun de ces modèles électriques devient inconsistant.

Cette dépendance n'est cependant pas souhaitée car chaque partenaire n'a accès qu'aux données de sa soute, de son tronçon, et uniquement aux données qu'il est autorisé à voir.

Pour ces raisons de dépendance et de droits d'accès aux données, il n'y a pas de connexion électrique entre les équipements et les connecteurs d'équipements.

Mais sans connexion électrique entre ces différents morceaux, les outils actuels de conception électrique tridimensionnelle ne sont pas capables d'effectuer le routage du câblage et d'en calculer par exemple le poids et le centre de gravité.

5 Pour pouvoir effectuer ces calculs, il est nécessaire de disposer d'une représentation électrique exacte et détaillée de tous les fils de câblage. Il est également nécessaire de pouvoir accéder à l'ensemble du câblage dans la même session de travail afin de pouvoir lancer ces calculs.

10 Par ailleurs, le processus de définition et conception d'un système électrique est un processus itératif. Tout d'abord, les systémiers définissent de manière logique les liaisons électriques à mettre en place entre différents équipements. Puis ils affinent cette définition en tenant compte des différentes contraintes multi-disciplines et technologiques. Ils mettent ainsi à disposition des schémas que les aménageurs sont chargés d'interpréter et de traduire en représentation numérique tridimensionnelle.

15 La maquette numérique tridimensionnelle n'est que le reflet du système à un instant donné. Lorsque la définition électrique évolue, la représentation tridimensionnelle doit être mise à niveau. On peut donc se retrouver avec des états d'avancement différents selon qu'on se place du point de vue du systémier, de l'électricien ou de l'aménageur.

20 Dans la mesure où les contraintes industrielles imposent un découpage d'un aéronef en tronçons, soutes, et donc une représentation par morceaux des câblages électriques, chaque acteur est responsable de la représentation tridimensionnelle des câblages ou morceaux de câblages présents dans son tronçon, dans sa soute.

La maturité de cette représentation évolue elle aussi en fonction de l'avancement des travaux des aménageurs.

25 Ainsi en début d'aménagement, la maquette d'allocation générale de l'espace alloué pour un câblage n'est pas suffisamment précise. Puis la définition se raffine jusqu'à être exacte et définitive. Par exemple, un connecteur peut être déplacé car l'équipement auquel il doit se connecter a été déplacé. Si ce connecteur se trouve dans un autre sous-volume (autre soute ou tronçon), il peut alors être conçu par plusieurs acteurs et donc être décomposé en plusieurs morceaux. Chacun des morceaux évoluera séparément.

30 En outre, dans le cadre de la conception de systèmes complexes, tel qu'un aéronef, il est très important de conserver la capacité de travail en parallèle des différents métiers. Il est tout aussi important d'avoir la possibilité d'obtenir, à tout moment, un état d'avancement de la conception de son système.

35 Un des buts de l'invention est donc de résoudre les problèmes précités. Ainsi, l'invention a notamment pour objectif de proposer un système et un procédé qui permettent à tout moment de la conception d'un ensemble complexe tel qu'un aéronef, de

vérifier la consistance et la cohérence d'une représentation tridimensionnelle du système électrique de cet ensemble complexe, ou d'un sous-système électrique de cet ensemble complexe, par rapport à la définition électrique et logique bidimensionnelle de ce système ou sous-système électrique.

5 En particulier, l'invention a notamment pour objectif de proposer un système et un procédé qui permettent de déterminer, à tout moment de la conception, certaines informations caractéristiques du système électrique qui ont un impact sur le comportement de l'ensemble, tel que son comportement aérodynamique dans le cas d'un aéronef.

10 On notera que par système électrique d'un ensemble complexe tel qu'un aéronef, on entend tout aussi bien le système électrique global de l'ensemble complexe tout entier, qu'un sous-système électrique dont la conception est réalisée de manière autonome par rapport aux autres sous-systèmes électrique de l'ensemble complexe en question.

15 Ainsi, l'invention a pour objet, selon un premier aspect, un système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, tel que le système électrique d'un aéronef, un câble électrique comprenant un ou plusieurs fils électriques et reliant deux connecteurs électriques, les câbles, fils, et connecteurs électriques étant des composants électriques dudit système électrique, le système informatisé comprenant une base de données de définition électrique du système électrique, dans laquelle sont stockées notamment des informations relatives
20 aux connections électriques entre les composants électriques du système électrique, et une base de données de définition technologique dans laquelle sont stockées des informations relatives à une ou plusieurs caractéristiques physiques des composants électriques telles que leur poids ou leur diamètre.

25 Le système comprend en outre un module de routage comprenant un module de génération apte à générer, à partir des informations de définition électrique stockées dans la base de données de définition électrique, un graphe comprenant des nœuds reliés par des arêtes, dans lequel les nœuds correspondent aux connecteurs électriques du système électrique, et les arêtes correspondent aux câbles électriques du système
30 électrique, et un module d'analyse apte à déterminer, à partir du graphe et de la base de données de définition technologique, la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique correspondant.

Suivant certains modes de réalisation, le système comprend en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les
35 combinaisons techniquement possibles : - le module de routage est apte à comparer la

valeur de la caractéristique physique déterminée par le module d'analyse avec une valeur déterminée ou un intervalle déterminé ;

5 - le module d'analyse est apte à déterminer la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique, parmi le poids du câblage, la position du centre de gravité du câblage, la longueur du câblage, le diamètre d'un segment du câblage ;

- le module d'analyse est apte à déterminer à partir du graphe la présence d'une courbure dans le câblage, et à déterminer la valeur de la caractéristique physique correspondant au rayon de cintrage au niveau de cette courbure ;

10 -le module d'analyse est apte à déterminer la présence d'une courbure dans le câblage par détermination de la présence d'une fourche dans le graphe, une fourche dans le graphe correspondant à un nœud duquel partent, ou auquel arrivent, au moins trois arrêtes ;

15 - le module d'analyse est apte à déterminer tous les chemins possibles dans le graphe, à déterminer la valeur de la caractéristique physique pour chacune des parties du système électrique correspondant à un chemin possible dans le graphe, et à déterminer la valeur de la caractéristique physique relative au système électrique à partir des valeurs de cette caractéristique physique pour lesdites parties du système électrique ;

20 - le module d'analyse est apte à éliminer certains chemins parmi les chemins possibles dans le graphe avant de déterminer les valeurs respectives de la caractéristique physique pour les parties du système électrique correspondant aux chemins non éliminés dans le graphe.

25 L'invention a également pour objet, selon un deuxième aspect, un procédé informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, tel que le système électrique d'un aéronef, un câble électrique comprenant un ou plusieurs fils électriques et reliant deux connecteurs électriques, les câbles, fils, et connecteurs électriques étant des composants électriques dudit système électrique, le système informatisé comprenant une base de données de définition électrique du système électrique, dans laquelle sont stockées notamment des informations relatives aux connexions électriques entre les composants électriques du système électrique, et une base de données de définition technologique, dans laquelle sont stockées des informations relatives à une ou plusieurs caractéristiques physiques des composants électriques telles que leur poids ou leur diamètre.

35 Le procédé comprend une étape de routage, par un module de routage, comprenant une étape de génération, par un module de génération du module de routage, à partir des informations de définition électrique stockées dans la base de

données de définition électrique, d'un graphe comprenant des nœuds reliés par des arêtes, dans lequel les nœuds correspondent aux connecteurs électriques, et les arêtes correspondent aux câbles électriques, et une étape d'analyse, par un module d'analyse du module de routage, pour déterminer, à partir du graphe et de la base de données de définition technologique, la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique correspondant.

Suivant certains modes de mise en œuvre, le procédé comprend en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le procédé comprend une étape de comparaison, par le module de routage, de la valeur de la caractéristique physique déterminée lors de l'étape d'analyse avec une valeur déterminée ou un intervalle déterminé ;

- l'étape d'analyse détermine la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique, parmi le poids du câblage, la position du centre de gravité du câblage, la longueur du câblage, le diamètre d'un segment du câblage ;

- l'étape d'analyse détermine à partir du graphe la présence d'une courbure dans le câblage, et détermine la valeur de la caractéristique physique correspondant au rayon de cintrage au niveau de cette courbure ;

- l'étape d'analyse détermine la présence d'une courbure dans le câblage par détermination de la présence d'une fourche dans le graphe, une fourche dans le graphe correspondant à un nœud duquel partent, ou auquel arrivent, au moins trois arêtes ;

- l'étape d'analyse détermine tous les chemins possibles dans le graphe, détermine la valeur de la caractéristique physique pour chacune des parties du système électrique correspondant aux chemins possibles dans le graphe, et détermine la valeur de la caractéristique physique relative au système électrique à partir des valeurs de cette caractéristique physique pour chacune desdites parties du système électrique ;

- l'étape d'analyse élimine certains chemins parmi les chemins possibles dans le graphe avant de déterminer les valeurs respectives de la caractéristique physique pour les parties du système électrique correspondant aux chemins non éliminés dans ce graphe.

Ainsi, le système et le procédé de l'invention permettent de vérifier, à tout moment de la conception d'un ensemble complexe tel qu'un aéronef, la consistance et la cohérence d'une représentation tridimensionnelle du système électrique de cet ensemble complexe, ou d'un sous-système électrique de cet ensemble complexe, par rapport à la définition électrique et logique bidimensionnelle de ce système ou sous-système électrique.

En particulier, le système et le procédé de l'invention permettent de déterminer, à tout moment de la conception, certaines informations caractéristiques du système électrique qui ont un impact sur le comportement de l'ensemble, tel que son comportement aérodynamique dans le cas d'un aéronef.

5 Le système de conception du routage électrique peut être intégré à un outil plus général qui est en charge de vérifier la cohérence et la consistance des données électriques, entre la définition électrique et logique bidimensionnelle et la représentation numérique tridimensionnelle.

10 Seule une consistance et une cohérence complète de ces définitions permettent une validation des modèles et autorisent alors le lancement de la fabrication des câblages.

15 Le système présente l'avantage d'être capable de fonctionner quel que soit le degré de maturité de la définition électrique, et d'être capable de traiter des modèles géométriques en plusieurs morceaux non liés électriquement quel que soit leur degré de maturité.

Il est donc parfaitement adapté à l'ingénierie concourante de conception.

20 Par ailleurs, dans le cadre du processus itératif de conception, tout particulièrement dans le cas d'une conception par morceaux ou tronçons, le système est capable de concevoir un routage et d'en signaler les erreurs d'inconsistance et d'incohérence par rapport à la définition électrique bidimensionnelle, à tout stade de la conception.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et non limitative, en référence aux figures annexées suivantes :

25 - figure 1 : représentation schématique d'un exemple de système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, selon l'invention ;

- figure 2 : représentation schématique d'un exemple de représentation électrique et logique bidimensionnelle d'un système électrique, selon l'invention ;

30 - figures 3 à 6 : représentations schématiques du processus de génération d'un graphe à partir des données de définition électrique, dans un premier exemple ;

- figures 7 et 8 : représentations schématiques du processus de génération d'un graphe à partir des données de définition électrique, dans un deuxième exemple ;

35 - figure 9 : représentation schématique d'un exemple de traitement d'une caractéristique physique, en l'occurrence la présence d'une jonction ou fourche dans le système électrique, avec correction du cintrage trop important.

Tel que représenté à la figure 1 dans un exemple, le système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, comprend principalement une base de données de définition électrique 1 du système électrique, et une base de données de définition technologique 4, ainsi qu'un module de routage 5.

Dans la base de données de définition électrique 1 sont stockées notamment des informations relatives à la définition et l'organisation électrique et logique bidimensionnelle du système électrique, dont une représentation schématique est donnée à titre d'exemple à la figure 2, dans le cas de l'interconnexion électrique d'équipements électriques E1, E2, E3 et E4.

Il s'agit donc notamment d'informations relatives aux diverses connexions électriques entre les composants électriques du système électrique.

Ces composants électriques sont notamment des câbles électriques S1.a, S1.b, S2, qui peuvent comprendre un ou plusieurs fils électriques. Il s'agit aussi de connecteurs électriques A, B, C, qui permettent de connecter des câbles électriques à des équipements ou accessoires électriques.

Il peut s'agir également de supports physiques destinés à supporter les autres composants électriques dans le système dans lequel s'intègre le système électrique en question, tels que des éléments d'accroche de câbles électriques sur une paroi.

Le système de l'invention est par ailleurs destiné à interagir avec un modèle géométrique tridimensionnel 3 du système électrique, stocké dans une base de données de définition géométrique tridimensionnelle 2. La représentation de ce modèle géométrique tridimensionnel 3 que l'on voit sur la figure 1 à l'intérieur de la base de données 2, est parfois appelée maquette numérique tridimensionnelle 3.

Ce modèle géométrique tridimensionnel 3 comprend notamment des informations relatives à l'organisation et la disposition tridimensionnelle des composants électriques dans le système électrique.

Ce modèle géométrique tridimensionnel 3 est initialement créé par un module de conception 7, notamment à partir des informations disponibles dans la base de données de définition électrique 1, et est modifiable par ce module de conception 7.

Alternativement, ce modèle géométrique tridimensionnel 3 peut être modifié par le module de routage 5 via le module de conception 7, à partir des informations disponibles dans la base de données de définition électrique 1.

Dans ce cas, en fonction de l'évolution de la définition électrique et logique bidimensionnelle, telle que fournie par la base de données de définition électrique 1, notamment à différents stades de la conception de l'ensemble complexe dans lequel le

Le système électrique est destiné à être intégré, le module de routage 5 peut modifier le modèle géométrique tridimensionnel 3 dans la base de données de définition géométrique tridimensionnelle 2, pour le faire évoluer.

5 Par ailleurs, dans la base de données de définition technologique 4 sont stockées des informations relatives à certaines caractéristiques physiques des composants électriques du système électrique.

On peut y retrouver par exemple des informations concernant le poids (ou la masse linéique), le diamètre d'un fil électrique utilisé, sa nature (matériau).

10 Le module de routage 5 comprend par ailleurs un module de génération 50 permettant de générer un graphe 6, et un module d'analyse 51 permettant de réaliser un certain nombre de traitements.

15 Le module de génération 50 attribue à chaque connecteurs électriques A, B, C du modèle géométrique tridimensionnel 3 un nœud A, B, C dans le graphe 6, et à chaque câble électrique S1.a, S1.b, S2 du modèle géométrique tridimensionnel 3 une arête S1.a, S1.b, S2 dans le graphe 6.

L'élément J1 dans le modèle tridimensionnel 3, dont la signification sera donnée plus loin, en référence aux figures 5 à 9, se voit également attribué un nœud J1 dans le graphe 6.

20 A partir de ce graphe 6, et en tenant compte des informations de définition technologique des différents composants électriques, stockées dans la base de données de définition technologique 4, le module d'analyse 51 permet de réaliser un certain nombre de traitements, calculs, et vérifications.

25 En particulier, ce module d'analyse 51 peut calculer la valeur de certaines caractéristiques physiques relatives au système électrique représenté par le graphe 6. Il peut s'agir par exemple, comme on le verra plus loin, de calculer le poids du système électrique, ou d'une partie de ce système électrique, la position du centre de gravité du système électrique, ou d'une partie de ce système électrique, la longueur totale de câblage dans le système électrique, ou d'une partie de ce système électrique, ou encore le diamètre moyen, ou à un niveau déterminé, d'un segment donné du système électrique.

30 Il peut également s'agir de vérifier la présence de courbures dans le câblage électrique et de déterminer le rayon de courbure ou rayon de cintrage à cet endroit.

35 En fonction de ces calculs, le module de routage peut éditer la ou les valeurs calculées et donner ainsi des informations importantes à l'utilisateur sur le câblage en cours de conception, en vue de corriger certains problèmes ou certaines incompatibilités.

Ainsi, une variation de quelques kilogrammes du poids du système électrique peut engendrer un déplacement du centre de gravité de ce système électrique de plusieurs centimètres, voire de un mètre environ, ce qui peut à son tour engendrer un problème de conception important dans un système tel qu'un aéronef.

5 Si un tel problème n'est pas détecté lors de la conception, le pilote de l'aéronef et/ou les instruments de pilotage vont devoir corriger le comportement de l'aéronef en vol, ce qui peut entraîner des problèmes de surconsommation de carburant par exemple, voire des problèmes de sécurité.

10 C'est pourquoi, parmi les caractéristiques physiques relatives au système électrique pour lesquelles la valeur est calculée par le module d'analyse 51, le poids du câblage ou d'une partie du câblage et la position du centre de gravité, sont deux caractéristiques importantes dont les valeurs respectives sont de préférence calculées en priorité.

15 Dans un deuxième temps, le module d'analyse 51 calculera alors les valeurs d'autres caractéristiques telles qu'énoncées plus haut.

20 On notera que l'on assimile les valeurs de coordonnées de position du centre de gravité, dans un système de coordonnées déterminé, à une valeur de caractéristique physique. Ainsi, dans un système de coordonnées tridimensionnelles, on assimile un triplet de coordonnées (x, y, z) du centre de gravité à une valeur de position de ce centre de gravité.

Sur les figures 3 à 6, on a représenté schématiquement le processus de génération du graphe 6, dans un exemple de système électrique correspondant au modèle géométrique tridimensionnel 3 représenté à la figure 1.

25 La figure 3 fournit une représentation symbolique initiale du système électrique en question, avec trois connecteurs A, B et C reliés par deux câbles électriques S1, S2.

Plus précisément, les connecteurs électriques A et B sont reliés par le câble électrique S1, le connecteur électrique C est relié au câble électrique S1 par le câble électrique S2.

30 Le module de génération 50 peut générer, dans un premier temps, le graphe 6 tel que représenté à la figure 4, avec une incohérence car l'arête S2 n'est associée qu'à un seul nœud C, les deux règles principales étant qu'un nœud peut être relié à un ou plusieurs autres nœuds, mais qu'une arête ne peut être reliée qu'à deux nœuds.

35 Aussi, un nœud J1 est introduit pour représenter la jonction entre l'arête S1 et l'arête S2. Sur la représentation symbolique de la figure 5, le connecteur électrique C est maintenant relié à la jonction J1 par le câble électrique S2. La jonction J1 subdivise le câble électrique S1 en un segment S1.a et un segment S1.b de part et d'autre de cette

jonction J1, si bien que le connecteur électrique A est maintenant relié à la jonction J1 via le segment de câble électrique S1.a et que le connecteur électrique B est maintenant relié à la jonction J1 via le segment de câble électrique S1.b.

5 On aboutit au graphe 6 représenté à la figure 6, et également dans le module de routage 5 de la figure 1 à titre purement schématique.

Dans ce graphe 6, l'introduction du nœud J1 permet de raccrocher la partie droite du graphe 6 de la figure 4 à la partie gauche du graphe 6 de cette figure 4.

10 Le graphe 6 ainsi obtenu est dit simple car il n'a ni boucle (un nœud qui serait relié à lui-même par une arête), ni arêtes multiples (plusieurs arêtes différentes qui relieraient la même paire de nœuds).

En parcourant le graphe en profondeur, le module d'analyse 51 peut déterminer tous les chemins possibles liants deux nœuds (entre une racine et une feuille ou nœud terminal, ou entre deux nœuds quelconques sans jamais passer deux fois par la même arête).

15 Dans l'exemple de la figure 6, trois chemins théoriques sont possibles :

- de A vers B : $A \rightarrow S1.a \rightarrow J1 \rightarrow S1.b \rightarrow B$
- de A vers C : $A \rightarrow S1.a \rightarrow J1 \rightarrow S2 \rightarrow C$
- de B vers C : $B \rightarrow S1.b \rightarrow J1 \rightarrow S2 \rightarrow C$

20 Le module d'analyse peut donc procéder aux traitements, calculs et vérifications mentionnés plus haut, en parcourant les différents chemins dans le graphe 6.

Pour éviter toutefois de prendre en compte des chemins théoriques qui ne correspondent pas à la définition électrique logique du système électrique, ces chemins théoriques sont confrontés à la définition fonctionnelle et schématique fournie par les systémiers et électriciens à savoir, la définition électrique telle que donnée dans la base
25 de données de définition électrique 1.

Si cette définition indique que A est connecté à C d'une part, et à B d'autre part, sans connexion entre B et C, le module d'analyse 51 en déduit alors qu'il n'y a que deux chemins à retenir, à savoir le chemin de A vers B et le chemin de A vers C.

30 Sur les figures 7 et 8, on a représenté schématiquement le processus de génération du graphe 6, dans un autre exemple de système électrique. Plus précisément, il s'agit d'illustrer un cas de câblage électrique en plusieurs morceaux.

Dans cet exemple, tel que représenté symboliquement à la figure 7, on retrouve l'interconnexion de nos trois connecteurs électriques A, B et C, avec la jonction J1 entre le câble électrique S2 et le câble électrique S1 subdivisé en un segment S1.a et un segment
35 S1.b.

Le connecteur électrique A est toujours relié à la jonction J1 par le segment de câble électrique S1.a, et le connecteur électrique B est toujours relié à la jonction J1 par le segment de câble électrique S1.b.

5 Par contre, on a illustré ici le cas où le connecteur C se trouve dans un autre sous-système que celui dans lequel se trouvent les connecteurs A et B et la jonction J1.

On introduit donc une connexion à l'interface des deux sous-systèmes, avec une portion SFI.xyz, dans un des sous-systèmes, et une autre portion SFO.xyz dans l'autre des sous-systèmes. On parle aussi de supports frontière SFI.xyz et SFO.xyz.

10 De fait le connecteur C est désormais relié au support frontière SFO.xyz par le câble électrique S3, et la jonction J1 est désormais reliée au support frontière SFI.xyz par le câble électrique S2.

Le principe de génération du graphe 6 par le module de génération 50, tel que présenté plus haut en référence au premier exemple, reste le même. Mais il est appliqué sur chacun des morceaux du câblage.

15 Chaque morceau peut être analysé et décomposé séparément. Le résultat obtenu pour chaque morceau peut être stocké dans une base de données ou sous forme de fichiers (un fichier de nœuds et un fichier d'arêtes) de manière à appliquer le post-traitement de recherche de chemins possibles.

20 Ce traitement asynchrone contribue largement au travail concourant de conception global du câblage. Si un morceau de câblage n'est pas modifié, alors que d'autres le sont, son analyse est conservée et peut être utilisée bien plus tard pour le calcul du routage complet du câblage.

25 Le module de génération 50 permet d'obtenir le graphe 6 de la figure 8. Dans un premier temps, le graphe de la partie supérieure de la figure 8 peut être généré, avec la portion de gauche qui correspond au morceau dans lequel on trouve les trois nœuds d'origine A, B et J1, et la portion de droite qui correspond au morceau dans lequel on trouve l'autre nœud C.

30 Ces deux graphes ou sous-graphes ne partagent aucun nœud. Cependant du point de vue de la représentation tridimensionnelle, les nœuds SFI.xyz et SFO.xyz sont des éléments de même type partageant la même représentation géométrique. Il s'agit du même élément physique utilisé pour matérialiser le point de passage entre deux morceaux, par exemple entre deux soutes d'un avion. Ce sont des supports frontières qui en l'occurrence n'apparaissent pas dans le schéma de référence.

35 Du point de vue du modèle logique, ces deux nœuds disparaissent au profit d'un seul nœud que l'on appelle ici SF.xyz. C'est une règle sémantique qui permet donc de simplifier le graphe 6 tel que représenté dans la partie inférieure de la figure 8.

La figure 9 illustre un exemple de traitement d'une caractéristique physique par le module d'analyse 51, en l'occurrence la présence d'une jonction ou fourche J1 dans le système électrique, avec correction du cintrage trop important.

5 En appliquant les traitements décrits précédemment, le module d'analyse 51 peut déterminer les longueurs de chacun des chemins à prendre en compte, après éventuelle élimination des chemins ne correspondant pas à la définition fonctionnelle. Ces informations peuvent être générées sous forme de fichiers texte par exemple, et/ou éditées sur un écran.

10 Connaissant le nombre de fils par segment de câble, ainsi que la masse linéique de chaque fil par l'intermédiaire de la base de données de définition technologique 4, le module d'analyse peut calculer le poids et le centre de gravité du câblage.

En calculant un chemin complet, et à partir de la connaissance du nombre de fils traversant chaque segment ainsi que leur diamètre, le module d'analyse 51 peut calculer le diamètre final de chaque segment.

15 L'utilisateur prend connaissance des valeurs calculées par le module d'analyse 51, et peut ensuite agir sur le modèle géométrique tridimensionnel 3, via le module de conception 7, par exemple pour modifier ce modèle géométrique tridimensionnel 3, en sorte de modifier la valeur de la ou des caractéristiques physiques précédemment calculées.

20 Eventuellement, le module de routage peut procéder à la comparaison de la ou des valeurs calculées de la ou des caractéristiques physiques en question, avec une ou des valeurs déterminées, ou par rapport à un ou des intervalles de valeurs déterminés, en sorte de donner une information plus précise à l'utilisateur pour une modification ultérieure du modèle géométrique 3 via le module de conception 7.

25 Dans une variante de réalisation, le module de routage 5 communique avec le module de conception 7 pour procéder aux modifications du modèle géométrique tridimensionnel 3 par l'intermédiaire de ce module de conception 7.

30 Connaissant les contraintes physiques des rayons de courbure ou de cintrage de chaque fil, par l'intermédiaire de la base de données de définition technologique 4, le module d'analyse 51 peut alors vérifier que chaque fil et/ou câble respecte les contraintes géométriques imposées par l'angle de la fourche au niveau de la jonction J1.

Une fourche J1 correspond à une jonction J1 entre au moins trois segments. Donc, dans le graphe 6, une fourche J1 correspond à un nœud J1 duquel partent, ou auquel arrivent, au moins trois arrêtes S1.a, S1.b, S2,

L'analyse peut porter plus particulièrement sur l'angle formé par deux segments consécutifs dans un chemin, avec J1 comme sommet. Un fichier de sortie donne les résultats de l'analyse des angles de telles fourches.

5 Dans notre exemple, tel qu'illustré sur la partie gauche de la figure 9, le chemin qui va de A (à l'extrémité inférieure non représentée du segment S1.a) vers B présente une courbure avec un angle fermé de 68°, au niveau de la fourche J1.

10 Une des règles applicables peut être que pour passer une fourche J1 d'angle inférieur à 90°, tout en respectant le rayon de courbure minimal admissible R, un câble ou fil doit effectuer une boucle de largeur minimale égale à 2 x R. Si la largeur de boucle est plus grande que le plus grand diamètre D de tous les segments de la fourche, alors la boucle est dite à l'extérieur de la fourche.

15 Dans notre exemple, le fichier de sortie pourrait donner les résultats tels que représentés dans le tableau 1 ci-dessous, en prenant en compte les caractéristiques technologiques fournies par la base de données de définition technologique 4 :

Câblage	Extrémité1	Segment1	Fourche	Angle	Segment2	Extrémité2	Type gauge	Rayon mini de courbure (R)	Diamètre max segment calculé (D)	Rapport 2xR/D
Cablage1	A	S1.a	J1	68°	S2	B	20	10	16	1,25
Cablage2	A	S1.a	J1	175°	S1.b	C	24	13	30	0,87

Tableau 1

20 Pour le chemin qui va de A vers B, avec courbure d'angle fermé de 68° au niveau de la fourche J1, le rapport 2xR/D est supérieur à 1. Il y a donc un non respect des contraintes de rayon de courbure.

Cela implique soit un changement de nature technologique du fil (très rare), soit un changement de la géométrie, c'est-à-dire un changement du routage par inversion de la fourche ou déplacement du point de jonction par exemple.

25 C'est cette deuxième solution qui est retenue dans notre exemple, avec sur la partie droite de la figure 9, un déplacement de la jonction J1 vers le haut, ce qui permet de supprimer la courbure.

On aurait pu également, sous réserve du respect d'autres contraintes, déplacer le connecteur B vers le haut, en sorte de modifier (agrandir) le rayon de courbure au niveau de la fourche J1.

30 Ici encore, les modifications dans le modèle géométrique 3 qui découlent de cette analyse, peuvent être effectuées par l'utilisateur via le module de conception 7. Alternativement, ces modifications peuvent être effectuées par le module de routage lui-même par l'intermédiaire du module de conception 7.

Grâce à ces différentes analyses du module d'analyse 51, on peut donc obtenir au plus tôt certaines caractéristiques du câblage (longueurs, poids et centre de gravité par exemple) mais aussi améliorer la qualité de l'aménagement électrique, et éviter de se retrouver devant la situation de la figure 9 à un stade trop tardif de la conception.

5 La présente description est donnée à titre d'exemple et n'est pas limitative de l'invention.

En particulier, la décomposition du module de routage 5 en un module de génération 50 et un module d'analyse 51 est une décomposition purement fonctionnelle, et pas nécessairement physique.

10 De même, la décomposition entre les trois zones de stockage ou bases de données 1, 2 et 4 est une décomposition purement fonctionnelle, et pas nécessairement physique.

REVENDEICATIONS

1.- Système informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, tel que le système électrique d'un aéronef, un
5 câble électrique (S1.a, S1.b, S2) comprenant un ou plusieurs fils électriques et reliant deux connecteurs électriques (A, B, C, J1), les câbles (S1.a, S1.b, S2), fils, et connecteurs (A, B, C, J1) électriques étant des composants électriques dudit système électrique, le système informatisé comprenant une base de données de définition électrique (1) du système électrique, dans laquelle sont stockées notamment des
10 informations relatives aux connections électriques entre les composants électriques du système électrique, et une base de données de définition technologique (4) dans laquelle sont stockées des informations relatives à une ou plusieurs caractéristiques physiques des composants électriques telles que leur poids ou leur diamètre, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un module de routage (5) comprenant un
15 module de génération (50) apte à générer, à partir des informations de définition électrique stockées dans la base de données de définition électrique (1), un graphe (6) comprenant des nœuds (A, B, C, J1) reliés par des arêtes (S1.a, S1.b, S2), dans lequel les nœuds (A, B, C, J1) correspondent aux connecteurs électriques (A, B, C, J1) du système électrique, et les arêtes (S1.a, S1.b, S2) correspondent aux câbles électriques
20 (S1.a, S1.b, S2) du système électrique, et un module d'analyse (51) apte à déterminer, à partir du graphe (6) et de la base de données de définition technologique (4), la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique correspondant.

2.- Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le module de routage (5) est apte à comparer la valeur de la caractéristique physique déterminée par le module
25 d'analyse (51) avec une valeur déterminée ou un intervalle déterminé.

3.- Système selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le module d'analyse (51) est apte à déterminer la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique, parmi le poids du câblage, la position du centre de gravité du câblage, la longueur du câblage, le diamètre d'un
30 segment du câblage.

4.- Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le module d'analyse (51) est apte à déterminer à partir du graphe (6) la présence d'une courbure dans le câblage, et à déterminer la valeur de la caractéristique physique correspondant au rayon de cintrage au niveau de cette courbure.

5.- Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'une fourche (J1) dans
35 le graphe (6) correspond à un nœud (J1) duquel partent, ou auquel arrivent, au moins

trois arrêtes (S1.a, S1.b, S2), et en ce que le module d'analyse (51) est apte à déterminer la présence d'une courbure dans le câblage par détermination de la présence d'une fourche (J1) dans le graphe (6).

5 6.- Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le module d'analyse (51) est apte à déterminer tous les chemins possibles dans le graphe (6), à déterminer la valeur de la caractéristique physique pour chacune des parties du système électrique correspondant à un chemin possible dans le graphe (6), et à déterminer la valeur de la caractéristique physique relative au système électrique à partir des valeurs de cette caractéristique physique pour lesdites parties du système électrique.

10 7.- Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que le module d'analyse (51) est apte à éliminer certains chemins parmi les chemins possibles dans le graphe (6) avant de déterminer les valeurs respectives de la caractéristique physique pour les parties du système électrique correspondant aux chemins non éliminés dans le graphe (6).

15 8.- Procédé informatisé de conception du routage tridimensionnel de câbles électriques dans un système électrique, tel que le système électrique d'un aéronef, un câble électrique (S1.a, S1.b, S2) comprenant un ou plusieurs fils électriques et reliant deux connecteurs électriques (A, B, C, J1), les câbles (S1.a, S1.b, S2), fils, et connecteurs (A, B, C, J1) électriques étant des composants électriques dudit système électrique, le système informatisé comprenant une base de données de définition électrique (1) du système électrique, dans laquelle sont stockées notamment des informations relatives aux connexions électriques entre les composants électriques du système électrique, et une base de données de définition technologique (4), dans laquelle sont stockées des informations relatives à une ou plusieurs caractéristiques physiques des composants électriques telles que leur poids ou leur diamètre,

25 caractérisé en ce qu'il comprend une étape de routage, par un module de routage (5), comprenant une étape de génération, par un module de génération (50) du module de routage (5), à partir des informations de définition électrique stockées dans la base de données de définition électrique (1), d'un graphe (6) comprenant des nœuds (A, B, C, J1) reliés par des arêtes (S1.a, S1.b, S2), dans lequel les nœuds (A, B, C, J1) correspondent aux connecteurs électriques (A, B, C, J1), et les arêtes (S1.a, S1.b, S2) correspondent aux câbles électriques (S1.a, S1.b, S2), et une étape d'analyse, par un module d'analyse (51) du module de routage (5), pour déterminer, à partir du graphe (6) et de la base de données de définition technologique (4), la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique correspondant.

35 9.- Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de comparaison, par le module de routage (5), de la valeur de la caractéristique physique

déterminée lors de l'étape d'analyse avec une valeur déterminée ou un intervalle déterminé.

5 10.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé en ce que l'étape d'analyse détermine la valeur d'au moins une caractéristique physique relative au système électrique, parmi le poids du câblage, la position du centre de gravité du câblage, la longueur du câblage, le diamètre d'un segment du câblage.

10 11.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que l'étape d'analyse détermine à partir du graphe (6) la présence d'une courbure dans le câblage, et détermine la valeur de la caractéristique physique correspondant au rayon de cintrage au niveau de cette courbure.

15 12.- Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'une fourche (J1) dans le graphe (6) correspond à un nœud (J1) duquel partent, ou auquel arrivent, au moins trois arrêtes (S1.a, S1.b, S2), et en ce que l'étape d'analyse détermine la présence d'une courbure dans le câblage par détermination de la présence d'une fourche (J1) dans le graphe (6).

20 13.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que l'étape d'analyse détermine tous les chemins possibles dans le graphe (6), détermine la valeur de la caractéristique physique pour chacune des parties du système électrique correspondant aux chemins possibles dans le graphe (6), et détermine la valeur de la caractéristique physique relative au système électrique à partir des valeurs de cette caractéristique physique pour chacune desdites parties du système électrique.

25 14.- Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'étape d'analyse élimine certains chemins parmi les chemins possibles dans le graphe (6) avant de déterminer les valeurs respectives de la caractéristique physique pour les parties du système électrique correspondant aux chemins non éliminés dans ce graphe (6).

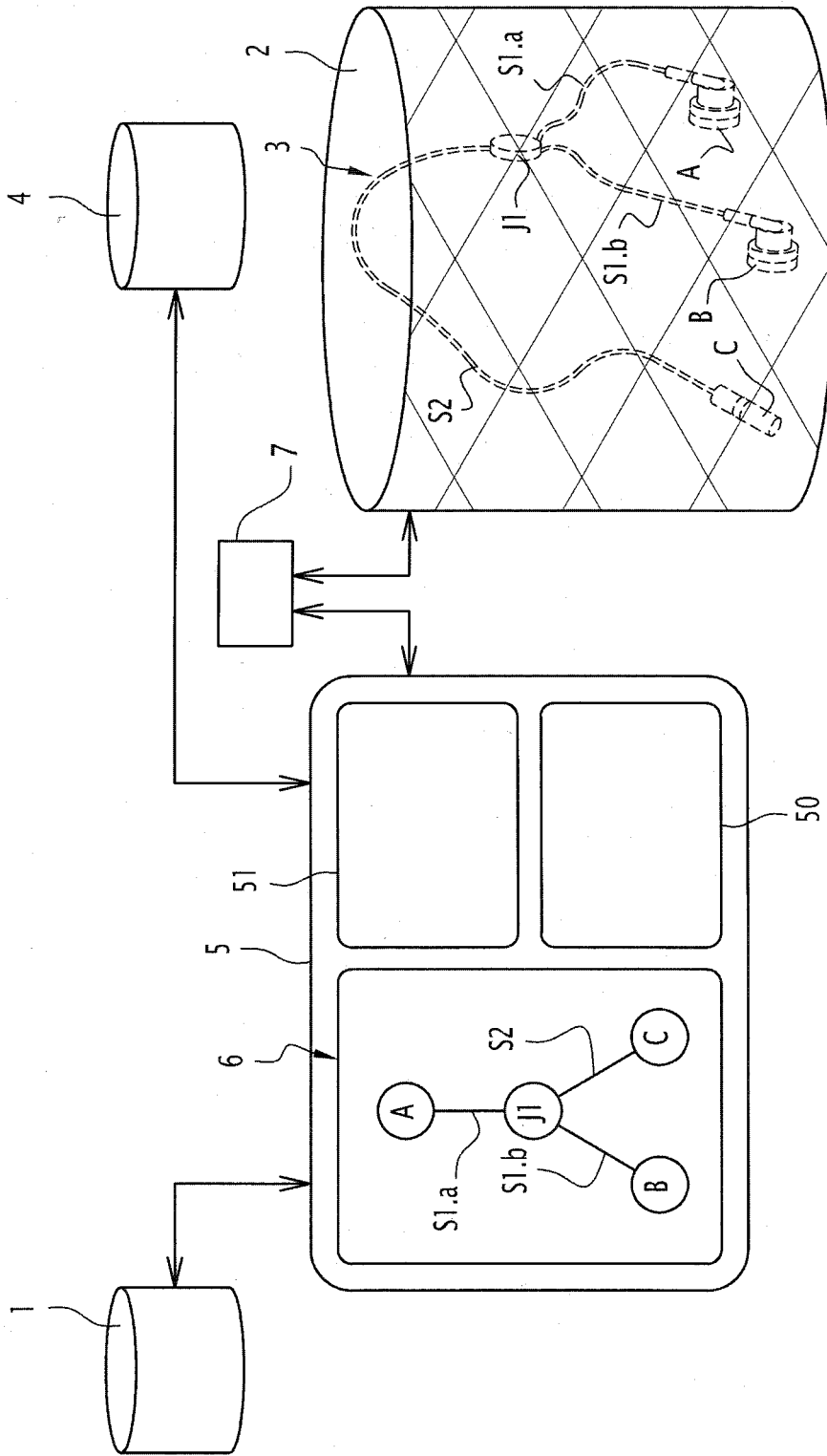


FIG.1

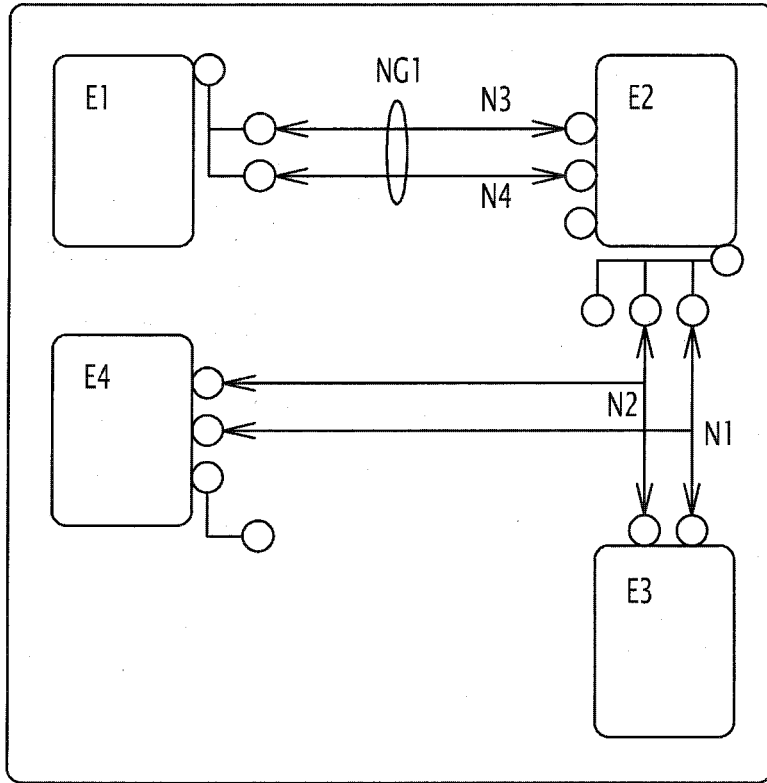


FIG. 2

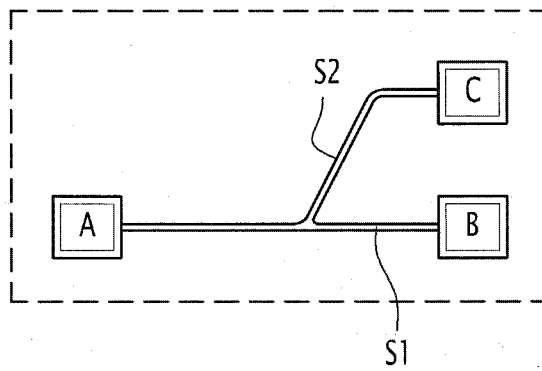


FIG. 3

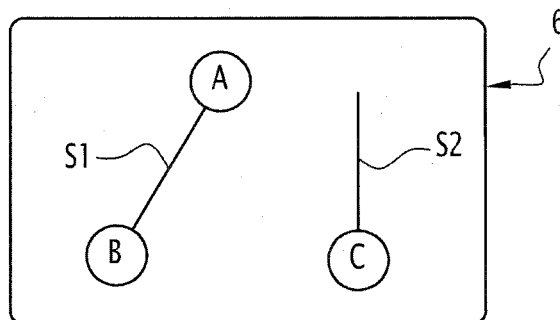


FIG. 4

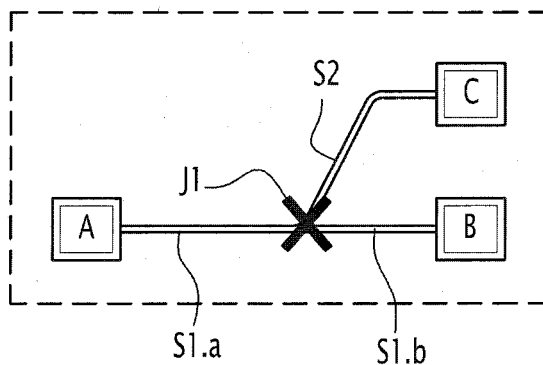


FIG. 5

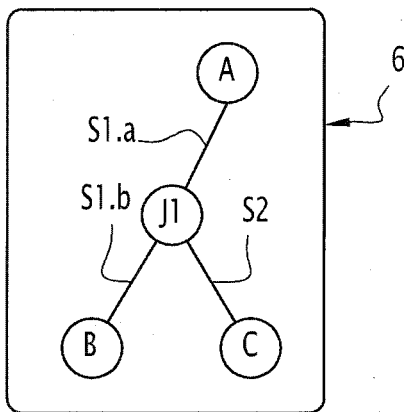


FIG. 6

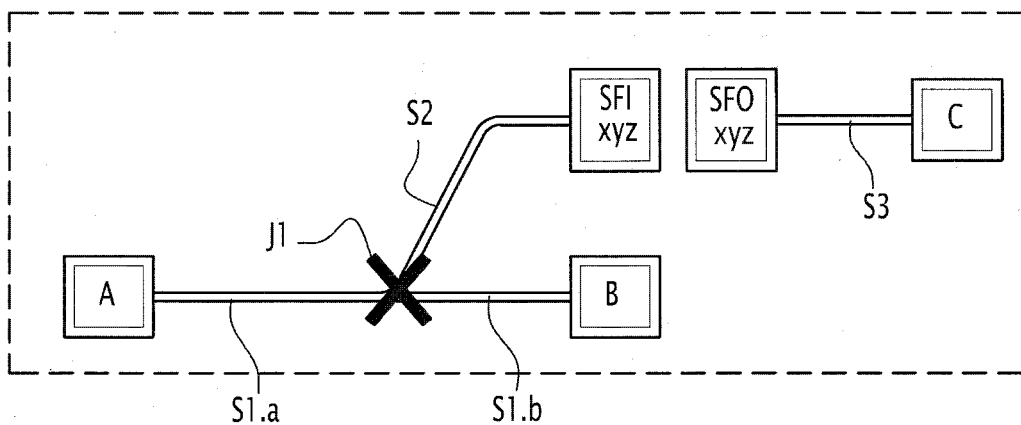


FIG. 7

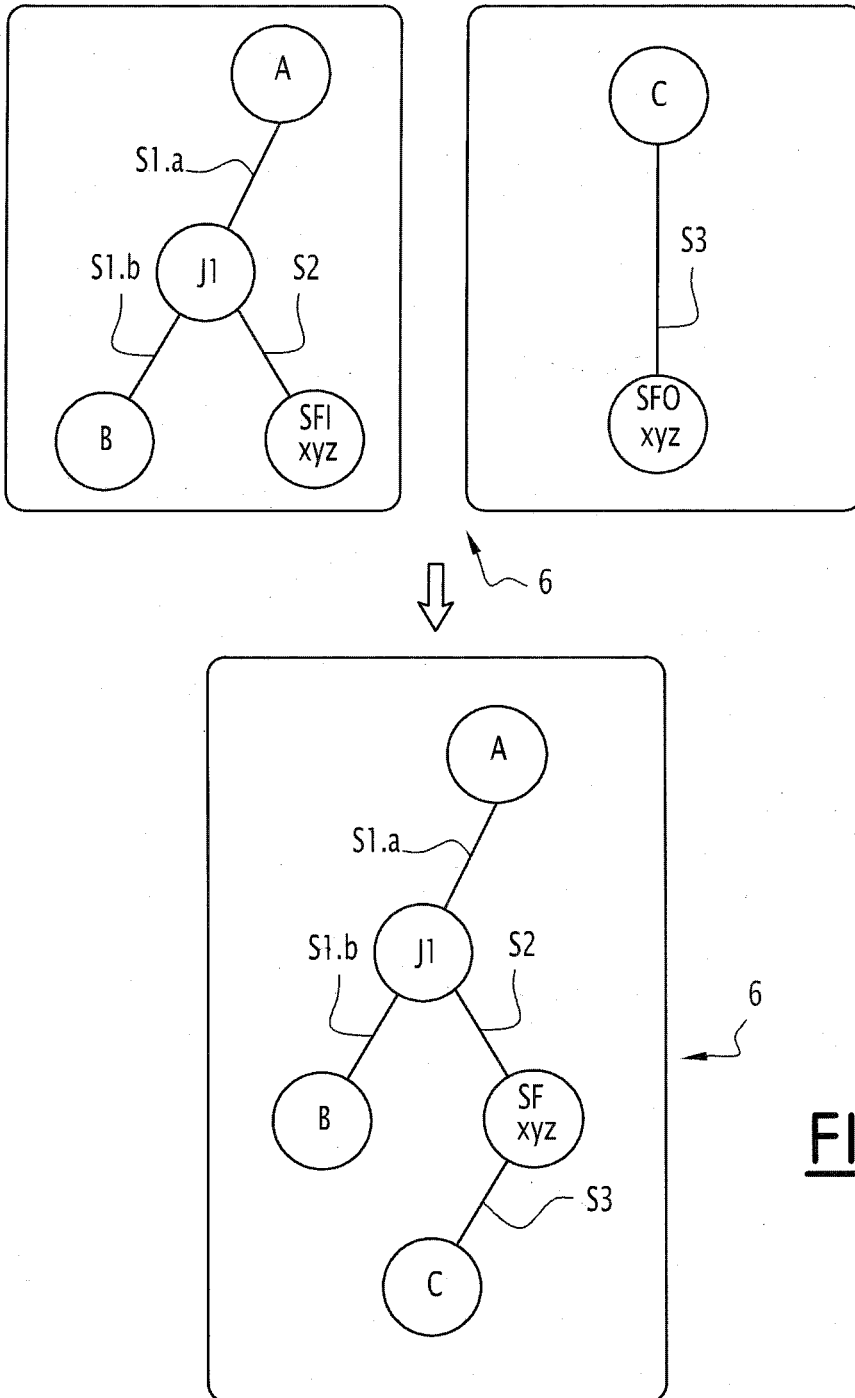


FIG.8

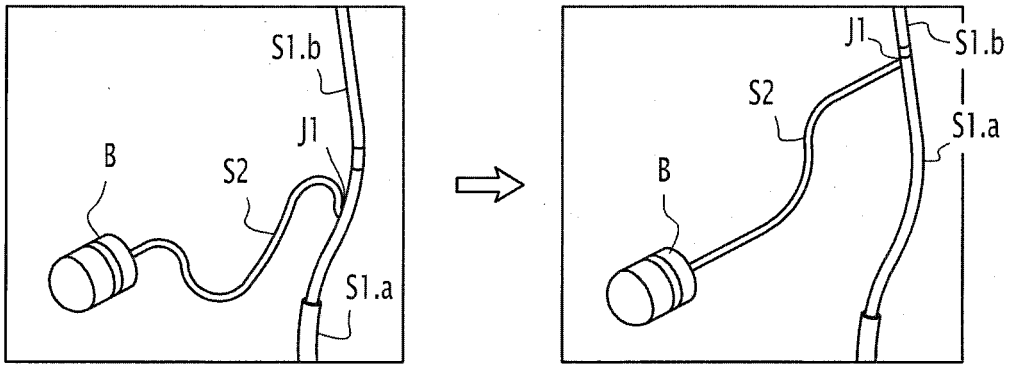


FIG.9

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 7 558 705 B1 (HUGHES ANDREW CHARLES [GB] ET AL) 7 juillet 2009 (2009-07-07)

US 2005/240383 A1 (HASHIMA MASAYOSHI [JP] ET AL) 27 octobre 2005 (2005-10-27)

EP 2 249 270 A1 (YAZAKI CORP [JP]) 10 novembre 2010 (2010-11-10)

EP 1 205 862 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 15 mai 2002 (2002-05-15)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

Introduction: "CATIA Electrical Harness Design V5R19", , 3 mars 2010 (2010-03-03), XP55173251, Extrait de l'Internet: URL:[http://www.cadcamlab.org/courseware/PDFs/Electrical Harness Design.pdf](http://www.cadcamlab.org/courseware/PDFs/Electrical%20Harness%20Design.pdf) [extrait le 2015-03-03]

"CABLE AND HARNESS EDA ENABLES ADVANCED ELECTRICAL-SYSTEM DESIGN", EDN ELECTRICAL DESIGN NEWS.(TEXAS INSTRUMENT), REED BUSINESS INFORMATION, HIGHLANDS RANCH, CO, US, vol. 46, no. 7, 29 mars 2001 (2001-03-29), XP008011655, ISSN: 0012-7515

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT