

Le refroidissement par liquide et l'impératif de compatibilité chimique

Comprendre les liquides de refroidissement et les matériaux de construction des composants — ainsi que leur interaction

Par

Elizabeth Langer, responsable ingénierie, gestion thermique, CPC

Koray Sekeroglu, PhD, ingénieur de recherche principal, gestion thermique, CPC

Les densités de puissance dans les sous-systèmes électroniques continuent d'augmenter, ce qui entraîne une demande de puissance de refroidissement plus extrême - une puissance de refroidissement telle que celle disponible avec le refroidissement liquide. Aujourd'hui plus que jamais, pour optimiser l'efficacité, la durabilité et la fiabilité de la gestion thermique, les concepteurs de systèmes utilisant le refroidissement par liquide explorent des combinaisons innovantes de matériaux de composants, notamment des thermoplastiques avancés, des élastomères spécialisés, des alliages métalliques et des fluides d'ingénierie.

Qu'il s'agisse de concevoir un système de refroidissement en boucle fermée, par immersion monophasique, par immersion biphasique ou directement sur la puce, la compatibilité des matériaux des composants est essentielle à la performance. Ce guide technique fournit des conseils généraux sur le choix des bons ingrédients pour votre solution de refroidissement par liquide.

PENSER DE MANIÈRE HOLISTIQUE LORS DE LA SÉLECTION DES COMPOSANTS

Une variété de sous-systèmes et de composants constituent l'architecture qui est essentielle au bon fonctionnement et à la fiabilité de tout système de refroidissement.

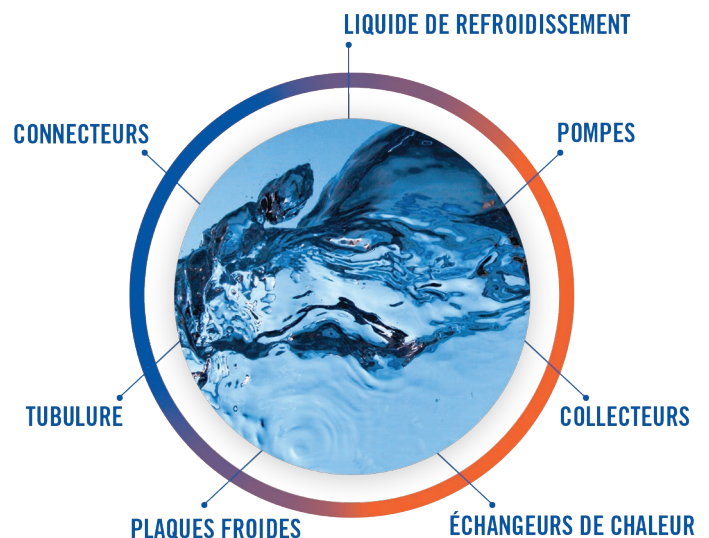
Chaque composant du système a un potentiel d'interaction avec les autres matériaux constitutifs. Par conséquent, les interactions et les dépendances des matériaux justifient une analyse détaillée lors de la conception et de la spécification.

Les liquides de refroidissement présentent un intérêt particulier, non seulement en tant que canal principal de transfert thermique, mais aussi parce qu'ils sont en contact avec tous les matériaux en contact avec le liquide dans un système de refroidissement particulier et surtout qu'ils « connectent » tous les composants. Certains liquides peuvent favoriser la corrosion ou l'encrassement biologique en présence de certains matériaux, créant ainsi un potentiel

d'impédance ou de défaillance du système de refroidissement. Il est donc essentiel de comprendre ce que sont tous ces matériaux et les interactions qu'ils peuvent avoir. Plus précisément, lors de l'évaluation de la compatibilité chimique, de la perméation potentielle ou des pertes par diffusion, il convient d'identifier les points de connexion critiques - notamment les jonctions de tubes, les orifices de collecteurs et les raccords rapides - et d'évaluer chacun d'entre eux en fonction des risques pour la fiabilité et les performances.

Dans l'ensemble, lorsqu'il s'agit de la sélection des matériaux, il faut penser de manière holistique. Prendre en compte tous les composants du système et considérer les effets potentiels de l'environnement, du liquide de travail, de la température, de la pression et de la charge mécanique, qui pourraient avoir un impact négatif sur les performances.

Dans ce guide technique, nous examinerons les liquides de refroidissement couramment utilisés dans les applications de refroidissement par liquide et donnerons un aperçu des matériaux de construction. Enfin, nous donnerons des indications sur la compatibilité potentielle de ces liquides et matériaux lorsqu'ils sont utilisés ensemble.



Chaque composant avec un système de refroidissement liquide a le potentiel d'interaction avec d'autres composants via la boucle mouillée

EXPLOITER LES ALTERNATIVES AUX LIQUIDES DE REFROIDISSEMENT CLASSIQUES

De toute évidence, le choix d'un liquide de refroidissement est un point central lors de la conception d'un système de refroidissement par liquide. Du point de vue de la compatibilité, il est important de reconnaître que le liquide relie pratiquement tous les composants lorsqu'il circule dans le système de refroidissement par liquide. Consultez le tableau pour un bref aperçu d'un certain nombre de liquides généralement utilisés dans le refroidissement de l'électronique.

Commencez par examiner les températures de fonctionnement et de stockage. Identifiez les liquides ayant des propriétés appropriées à votre environnement d'application, comme un point d'ébullition qui satisfait la charge thermique et l'efficacité thermique nécessaires sans dépasser le flux de chaleur critique. Vérifiez les caractéristiques des basses températures pendant le stockage et l'expédition, les expositions environnementales, en particulier avec les diélectriques techniques tels que les produits chimiques fluorés et les réfrigérants. Il est souvent nécessaire de comprendre l'impact environnemental du fluide tout au long de son cycle de vie - comment il est fabriqué, l'impact potentiel de sa lixiviation dans l'installation ou l'atmosphère pendant son utilisation, et les exigences de récupération du fluide en fin de vie.

Lors de la sélection des fluides, il faut tenir compte de l'appauvrissement de la couche d'ozone et du potentiel de réchauffement global, notamment en ce qui concerne les réfrigérants et les diélectriques. Depuis une dizaine d'années, les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé mettent de plus en plus l'accent sur ces paramètres, ce qui a incité à développer des alternatives plus écologiques, telles que 3M Novec™, le réfrigérant HFE, et les réfrigérants hydrofluoro-oléfiniques de quatrième génération plus respectueux de l'environnement comme le R-1234 ou le R-1336.

En plus de la stabilité thermique et des compatibilités chimiques, il faut tenir compte de la toxicité, de l'inflammabilité, des exigences de propreté, de l'impact environnemental et du coût du liquide de refroidissement. Et bien sûr, lorsque vous comparez les types de liquides de refroidissement et les options, assurez-vous de prendre en compte tous les matériaux avec lesquels le liquide peut entrer en contact dans l'ensemble du système.

DIMENSIONNEMENT DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Les composants des systèmes de refroidissement électroniques sont, en général, composés de trois types de polymères - plastiques de base, thermoplastiques techniques et élastomères - et de quatre types d'alliages métalliques - aluminium, laiton, cuivre et acier inoxydable. Le tableau (à droite/en bas) fournit une comparaison de haut niveau des matériaux de construction des composants des systèmes de refroidissement par liquide.

Résistance des polymères

Les propriétés des polymères peuvent varier considérablement en fonction du traitement, des additifs, des charges, et de l'endroit où ils se trouvent sur le spectre, des thermoplastiques et élastomères de base à ceux à ultra-haute performance.

Les polymères peuvent remplacer le métal dans de nombreux domaines et apportent souvent des avantages

LIQUIDES DE REFROIDISSEMENT

Fluides couramment utilisés dans les applications électroniques de refroidissement.

Eau	Excellent transfert de chaleur, faible viscosité, ininflammable et faible coût. Plage de fonctionnement relativement étroite et sensible au gel ou à l'ébullition. Sensible à l'encrassement biologique qui inhibe le transfert de chaleur. Peut contenir des impuretés ayant des effets corrosifs potentiels ; la déionisation peut fonctionner au début, bien que les impuretés puissent être extraites des surfaces mouillées avec le temps.
Éthylèneglycol (EG)	Contrôle la croissance biologique, diminue le point de congélation et augmente le point d'ébullition lorsqu'il est utilisé en solution avec de l'eau, allant de 10 % à 90 % d'EG. Coût inférieur par rapport aux réfrigérants ou aux diélectriques. L'eau dans la solution peut toujours favoriser la corrosion, dégradant le liquide de refroidissement au fil du temps. Hautement toxique, nécessite une manipulation prudente.
Propylène glycol (PG)	Contrôle la croissance biologique lorsqu'il est utilisé en solution avec de l'eau, allant de 10 à 90 % PG. Coût inférieur par rapport aux réfrigérants ou aux diélectriques. Conductivité thermique plus faible et viscosité plus élevée que l'EG. L'eau dans la solution peut toujours favoriser la corrosion, dégradant le liquide de refroidissement au fil du temps. Faible toxicité pour une manipulation et une élimination plus faciles.
Huile minérale	Sans odeur, non toxique et chimiquement inerte. Aucune évaporation ou volatilité. Permet les applications d'immersion. Incompatibilité potentielle avec le cuivre ou certains élastomères.
Réfrigérants	Légers avec d'excellentes propriétés de transfert thermique. Incompatibles avec certains plastiques et élastomères. Coût plus élevé que l'eau, l'EG, le PG ou l'huile minérale. Les exemples incluent R-1234yf et R-1336.
Diélectriques	Fluides techniques non conducteurs qui permettent l'immersion totale de l'électronique dans des applications monophasées, biphasées et directement sur puce. Points d'ébullition bas. Stabilité chimique élevée. Coût plus élevé. Incompatibilité potentielle avec les thermoplastiques ou les élastomères fortement plastifiés.

supplémentaires. Par exemple, les thermoplastiques techniques comme le PPSU et le PEEK peuvent répondre à des exigences thermiques, chimiques et mécaniques plus élevées que les métaux tout en offrant les avantages supplémentaires d'un poids réduit et d'une meilleure résistance à la corrosion à un coût potentiellement inférieur.

Les thermoplastiques techniques peuvent être un excellent choix, surtout si l'on tient compte des effets du poids, de la compatibilité chimique et du prix par rapport à leurs homologues métalliques. Lorsque vous spécifiez des matériaux thermoplastiques, recherchez les caractéristiques de résistance mécanique, de compatibilité chimique et de stabilité thermique.



Limites des polymères

Les polymères, en particulier les plastiques de base et certains thermoplastiques, peuvent présenter des problèmes dans certaines applications.

Étant donné la prédominance émergente des systèmes de refroidissement à eau chaude, la résistance des polymères à l'hydrolyse est devenue un facteur important. Les polymères à liaisons hydrolysables peuvent être exposés à une grave dégradation de leurs propriétés dans les environnements d'eau chaude. Le même risque peut s'appliquer aux produits chimiques fluorés en contact avec des polymères fluorés. Il y a un risque de solubilité de certains plastifiants ou additifs dans le liquide de refroidissement.

L'inflammabilité peut également être un problème avec certains polymères. Recherchez des matériaux intrinsèquement ininflammables, en particulier des thermoplastiques non halogénés. L'exposition à long terme à une large gamme de températures est certainement une considération clé pour le choix des matériaux dans les systèmes de refroidissement.

Les risques supplémentaires associés aux thermoplastiques comprennent les attaques chimiques et le faïençage, la fissuration, la décoloration et, comme mentionné précédemment, l'extraction ou la lixiviation dans le liquide de refroidissement. L'absorption de fluides, le gonflement, certainement le vieillissement thermique et les effets de dégradation au fil du temps, ainsi que la charge mécanique et les contraintes de pression interne sont également des menaces potentielles pour l'intégrité.

Élastomères

Les élastomères peuvent être conçus pour répondre à un large éventail d'exigences de performance.

Les élastomères sont des polymères qui ont la propriété de la viscoélasticité - ils sont caoutchouteux et flexibles - et sont principalement utilisés dans les composants pour le transport

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Couramment utilisés dans les applications électroniques de refroidissement.

POLYMÈRES

Matières plastiques de base	Comprennent PEHD, POM, PP, PS, PVC. Coût relativement faible et facilement disponibles. Inflammabilité potentielle dans les applications à haute température. Dégradation thermique et rétrécissement potentiels dans certains environnements.
Thermoplastiques techniques	Comprennent PEEK, PEI, PESU, PPSU, PSU. Amélioration des propriétés mécaniques et thermiques. Coût plus élevé que les matières plastiques de base.
Élastomères	Comprennent le CR, l'EPDM/EPM, le FKM, le HNBR, le silicone. Peuvent être modifiés pour améliorer leur résistance aux flammes, leur durabilité ou leur résistance chimique. Certains types peuvent s'infiltrer dans les fluides pendant le cyclage thermique ou l'exposition à certains solvants, ce qui a un impact négatif sur les performances du liquide de refroidissement.

ALLIAGES MÉTALLIQUES

Aluminium	Métal durable, léger. Excellentes propriétés thermiques. Potentiel de corrosion galvanique, en particulier avec les liquides de refroidissement à base d'eau et en présence de cuivre. L'anodisation augmente la résistance à la corrosion.
Laiton	Durable. Excellentes propriétés thermiques. Coût relativement faible. Souvent plaqué avec du nickel et/ou du chrome pour une meilleure résistance à la corrosion.
Cuivre	Durable. Excellentes propriétés thermiques. Potentiel de corrosion galvanique, en particulier avec les liquides de refroidissement à base d'eau en présence d'aluminium.
Acier inoxydable	Supérieur en termes de durabilité et de stabilité. Conductivité thermique plus faible. Coût plus élevé. La passivation augmente sa résistance à la corrosion.

des fluides, tels que les tubulures et les tuyaux, ainsi que dans les composants d'étanchéité tels que les joints toriques et les joints d'étanchéité. Pour comprendre comment les élastomères ont tendance à se comporter, nous pouvons examiner leur fabrication.

La vulcanisation, ou le processus de durcissement, crée des liaisons transversales permanentes dans les longues chaînes de polymères des élastomères. Ces chaînes garantissent que lorsque les contraintes sont appliquées ou non, le composant élastomère reviendra à sa position initiale. Dans le cas d'un joint torique et d'un raccord rapide, par exemple, un élastomère conservera son étanchéité.

À un niveau élevé, la spécification des élastomères pour une application de refroidissement par liquide, nécessite une analyse et une évaluation détaillées avec le liquide de refroidissement sélectionné afin de garantir la compatibilité et la fiabilité à long terme.

Ainsi, le nitrile hydrogéné, l'éthylène-propylène ou EPDM, et le chloroprène sont des catégories courantes de composés de matériaux que l'on peut voir dans ces applications. Le HNBR possède une grande résistance chimique, d'excellentes propriétés mécaniques, notamment la résistance à la traction, à la déchirure dans une large gamme de températures et peut être mélangé pour obtenir une excellente résistance aux applications à haute pression. L'EPDM possède d'excellentes caractéristiques de résistance à l'eau chaude et à la vapeur. Cependant, sa résistance aux hydrocarbures étant plus faible, il n'est pas vraiment adapté à une application de type réfrigérant.

Le chloroprène, communément appelé néoprène, est très résistant à de nombreux chlorofluorocarbures ou CFC, qui sont utilisés comme réfrigérants. Il est peu coûteux, mais présente une résistance chimique modérée et une résistance limitée à la température.

Certains éléments supplémentaires à prendre en compte lors de la spécification des élastomères sont la dureté, la résistance thermique ou la robustesse en cas d'expositions continues et intermittentes, et certainement la composition en lien direct avec la compatibilité chimique.



Alliages métalliques

Par rapport aux polymères plastiques de base, les composants métalliques des systèmes de refroidissement par liquide sont généralement plus stables, plus durables et ont une perception de fiabilité à long terme. Les composants métalliques ont également tendance à être plus lourds et

peuvent être plus chers. Dans de nombreuses applications, les caractéristiques de performance améliorées des métaux justifient l'investissement supplémentaire. Dans d'autres applications, le bon polymère peut réellement fournir la meilleure solution.

Lorsque vous envisagez d'utiliser des alliages métalliques dans des systèmes, tenez compte de la résistance mécanique, du traitement de surface et de la propreté. Bien que de nombreux réfrigérants et fluides techniques soient peu ou pas corrosifs pour les métaux, les concepteurs doivent quand même tenir compte de l'environnement opérationnel en ce qui concerne la corrosion.

AINSI : COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

Avec une compréhension fondamentale des fluides, plastiques et métaux qui pourraient être utilisés dans une application de refroidissement par liquide donnée, nous pouvons évaluer l'éventuelle compatibilité chimique des composants du système, en fonction de leur composition, pour assurer un fonctionnement fiable à long terme.

Alors que les polymères et les métaux peuvent être efficaces dans n'importe quelle combinaison lorsqu'ils sont correctement spécifiés, il est essentiel de distinguer les matériaux de construction en contact avec le fluide, des matériaux structurels. Les matériaux en contact avec le fluide comprennent tous les composants qui sont directement exposés au liquide de refroidissement et, par conséquent, potentiellement indirectement exposés les uns aux autres. Les matériaux structurels ne sont pas exposés au liquide de refroidissement pendant le fonctionnement normal. La création d'une liste des matériaux en contact avec le liquide et des matériaux structurels au début du cycle de conception peut aider à éviter les complications.

Un composant donné peut potentiellement être construit à partir d'une combinaison de polymères et de métaux, il est donc important de distinguer les matériaux en contact avec le fluide des matériaux structurels au sein d'un composant donné. Par exemple, un raccord rapide comme celui de gauche peut être fabriqué en laiton nickelé et comporter un joint torique en élastomère, un bouton-poussoir en polysulfone et des ressorts en acier inoxydable. Toutefois, seule la surface intérieure du connecteur et le joint en élastomère seraient en contact avec le liquide dans un système de refroidissement en boucle fermée, de sorte que seule la compatibilité de ces matériaux doit être prise en compte par rapport au liquide de refroidissement choisi.

À un niveau élevé, les fluides peuvent affecter les polymères de deux manières différentes : physiquement ou chimiquement. La première est généralement réversible alors que l'autre ne l'est pas. Par exemple, un composé de joint torique dans un raccord rapide peut avoir une affinité pour un certain liquide de refroidissement, provoquant un gonflement du joint torique, créant des problèmes de connexion et de déconnexion qui peuvent potentiellement entraîner des fuites. Le remplacement du joint torique par un autre plastique ou la spécification d'un liquide différent pourrait corriger le problème.

Cependant, dans une interaction chimique où un plastifiant est extrait d'un composant tel qu'une tubulure, les effets de ce

plastifiant dissous sur les performances du fluide peuvent être dramatiques et irréversibles, ce qui peut être un problème important dans les applications sensibles à haute valeur.

Les directives générales peuvent fournir un bon point de départ. Le tableau ci-dessous fournit un aperçu de la compatibilité relative entre les différents matériaux et options de liquide de refroidissement. N'oubliez pas qu'une vue holistique des détails complets de l'application est la meilleure façon de s'assurer que les bons matériaux sont spécifiés. Il incombe aux concepteurs de systèmes de tester les composants dans des conditions de fonctionnement

extrêmes prévues pour leurs applications afin d'évaluer les interactions entre les fluides et les matériaux à des températures, des pressions et d'autres conditions environnementales spécifiques à l'application.

Communiquez rapidement avec les fournisseurs de composants. Identifiez tous les matériaux qui pourraient être exposés au liquide de refroidissement, et toutes les autres variables qui pourraient être présentes. Il est probable qu'ils puissent fournir des informations utiles ou même concevoir une solution optimisée pour vos besoins.

Compatibilité des matériaux et du liquide de refroidissement

Lorsque l'on prend en compte des composants en contact avec le liquide dans un système de refroidissement par liquide, les combinaisons suivantes sont possibles :

- **A = Recommandé.** Peu ou pas de potentiel de réaction chimique ou de corrosion.
- **B = Bonnes options.** Risque mineur de réaction chimique ou de corrosion, avec un effet limité sur les performances du système.
- **F = Déconseillé.** Réactions chimiques ou corrosives légères à sévères probables. Peut entraver la performance du système.

		EAU	ÉTHYLÈNE GLYCOL (EG)	PROPYLÈNE GLYCOL	HUILE MINÉRALE	RÉFRIGÉRANTS	DIÉLECTRIQUES
POLYMÈRES	Matières plastiques de base	A	A	B	A	F	B
	Thermoplastiques techniques	A	A	B	A	A à F ¹	B
	Élastomères	A	A	A	A ²	A à F ³	A à F ³
MÉTAUX	Aluminium	B	A	B	A	A	A
	Laiton (plaqué)	A	A	B	A	A	A
	Cuivre	B	B	A	B	A	A
	acier inoxydable	A	B	B	A	A	A

¹Les thermoplastiques peuvent être conçus de façon à améliorer leur compatibilité avec des réfrigérants spécifiques.

²La plupart des élastomères sont compatibles, mais l'EPDM n'est pas recommandé pour une utilisation avec de l'huile minérale.

³Les élastomères peuvent être conçus de façon à améliorer leur compatibilité avec des réfrigérants et des fluides diélectriques spécifiques.

RÉFÉRENCES

Guide de résistance chimique des élastomères IV, Compass Publications, 2014.

Guide de résistance chimique des plastiques, Compass Publications, 2000.

Guide de résistance chimique des métaux et alliages, Compass Publications, 1995.

ATTENTION : En raison de la grande variété de fluides et de conditions d'utilisation possibles, des conséquences imprévues peuvent résulter de l'usage des produits CPC, qui sont toutes indépendantes de la volonté de CPC. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de déterminer et de tester avec soin la compatibilité pour une utilisation avec son application. Tous ces risques seront assumés par l'acheteur.

Confidence at every point of connection.

