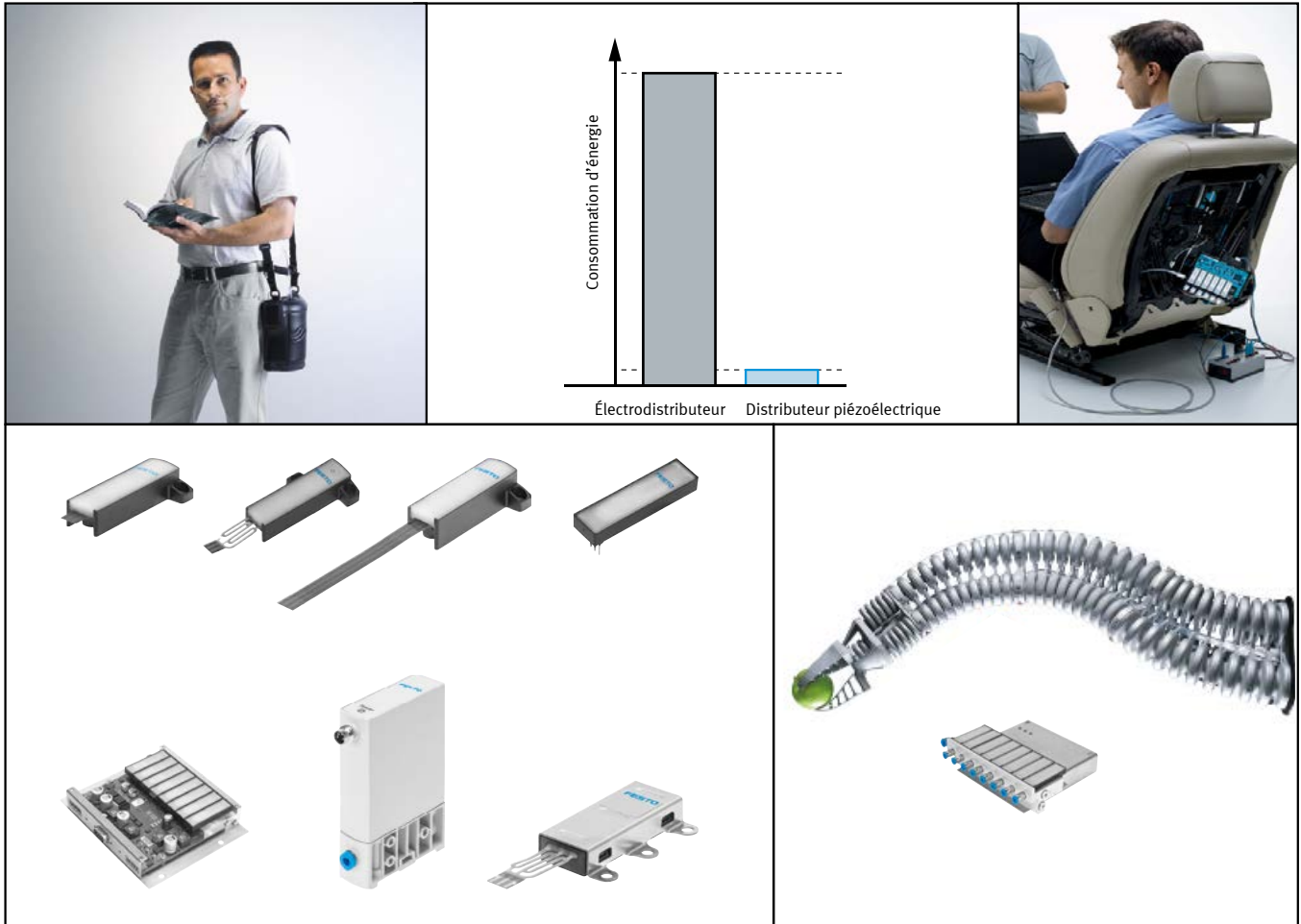


Livre blanc

La technologie piézoélectrique dans les distributeurs pneumatiques



Les distributeurs piézoélectriques constituent souvent la meilleure alternative aux électrodistributeurs - surtout pour les applications de régulation de pression et de débit, ainsi que pour les distributeurs proportionnels directement régulés. Car ils sont petits, légers, hautement précis, très pérennes, incroyablement rapides et surtout particulièrement écoénergétiques. Les distributeurs piézoélectriques ne nécessitent aucune énergie pour conserver l'état de commutation. Par conséquent, ils ne produisent quasiment aucun échauffement. Dans les zones ATEX, de nombreux distributeurs piézoélectriques sont classés comme étant à sécurité intrinsèque. De plus les distributeurs piézoélectriques ont la capacité de fonctionner en silence. Autres avantages centraux : ils travaillent de façon proportionnelle - et ont une très faible usure.

Ces propriétés prédestinent par exemple les distributeurs piézoélectriques à des applications dans l'industrie des semi-conducteurs. Leur haute précision et l'accès rapide aux valeurs de consigne prédéfinies, qui permettent un dosage ultra précis y compris des plus petites quantités de gaz ou d'air y sont leur atout maître. Il en est de même pour la régulation exacte de pression et de vide, avec lesquels les wafers sont pressés sur la table de polissage.

L'application d'adhésifs avec un dosage très précis dans le montage de petites pièces ou la régulation de vitesse douce et sûre de vérins pneumatiques sont d'autres domaines d'application. Même les applications médicales, l'automatisation de laboratoire, voire même les véhicules profitent des avantages des distributeurs piézoélectriques.

Ce livre blanc répond aux questions suivantes :

- Comment fonctionne la technologie piézoélectrique, sur quels principes repose-t-elle ?
- Quels sont les avantages de la technologie piézoélectrique ?
- Dans quels secteurs et dans quelles applications, les distributeurs piézoélectriques sont-ils la technologie de l'avenir ?
- Présentation de quelques modèles de distributeurs piézoélectriques.

1. Technologie piézoélectrique : histoire, mode de fonctionnement et applications

Qu'est-ce qu'un élément piézoélectrique ?

Les éléments piézoélectriques sont des convertisseurs électromécaniques. Dans ce qu'il est convenu d'appeler l'effet piézoélectrique, l'élément piézoélectrique convertit les forces mécaniques (pression, étirement ou accélération) en tension électrique mesurable. L'effet piézoélectrique inverse fonctionne totalement à l'inverse : l'élément piézoélectrique se déforme lorsqu'une tension électrique est appliquée, résultant en des mouvements ou oscillations mécaniques.

Brève historique

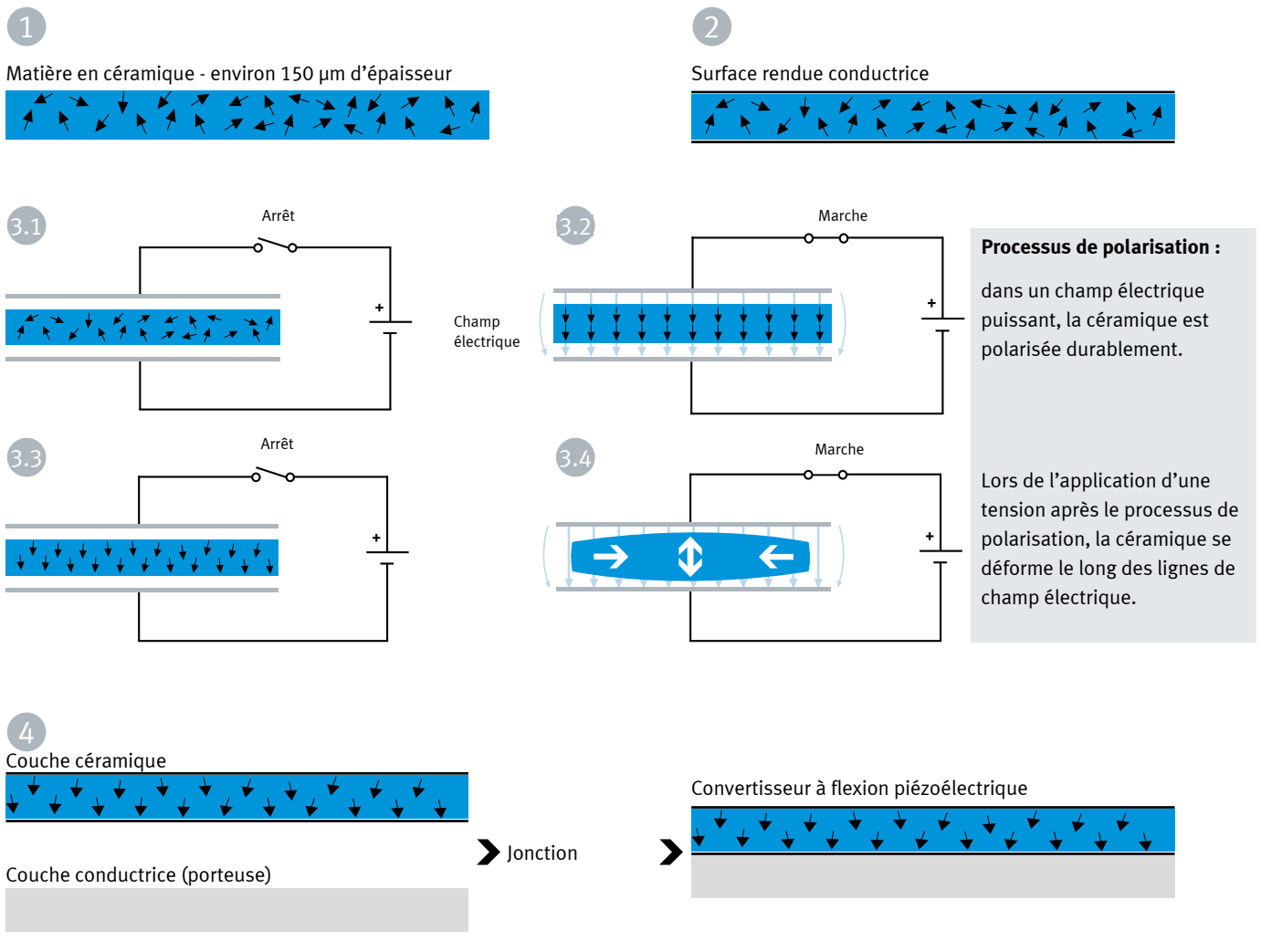
L'effet piézoélectrique (du grec "Πιεζώ" (Piezo) = presser) fut découvert en 1880 par les frères Jacques et Pierre Curie, l'époux de Marie Curie. Ils découvrirent que certains matériaux non conducteurs, lorsqu'ils sont soumis à une charge mécanique, produisent des charges électriques à leur surface devenue conductible.

Le principe

Les matériaux piézoélectriques, en règle générale des céramiques spéciales aux surfaces rendues conductibles, convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement. La structure réticulaire des molécules constitutives de ces céramiques piézoélectriques,

est asymétrique sous la température Curie (T_c) et représente donc un dipôle. Sous l'effet de champs électriques puissants, il est possible de polariser durablement les céramiques piézoélectriques, en d'autres termes de leur donner une direction préférentielle. La céramique possède alors des propriétés piézoélectriques et se transforme lorsqu'une tension électrique est appliquée. La déformation en 3D se produit le long des lignes de champ électrique. Comme les céramiques ont un volume constant, il en résulte une rétraction du matériel parallèlement aux lignes de champ électrique. L'avantage des entraînements basés sur l'effet piézo réside dans leur commande presque "sans puissance". En termes électriques, il s'agit d'un condensateur qui se compose de deux plaques conductrices et d'un matériau céramique piézo fonctionnant comme diélectrique. Un courant circule seulement pendant la charge du condensateur mais devient nul dès que la pleine charge est atteinte. Comme la puissance électrique est le résultat de la multiplication tension par courant, la puissance est égale à zéro en l'absence de circulation d'un courant. Il est même possible de récupérer cette énergie de charge en réinitialisant l'entraînement dans les applications caractérisées par la nécessité d'être particulièrement écoénergétiques. L'énergie récupérée peut être réutilisée pour le prochain processus de charge.

Structure d'un élément piézoélectrique

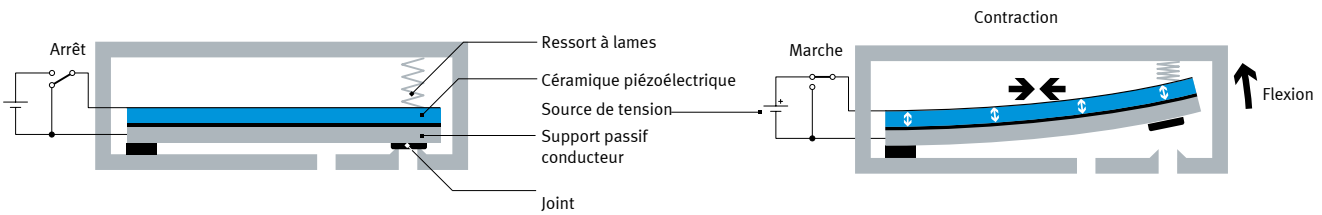


Types et versions de convertisseurs piézoélectriques et leurs domaines d'application

Selon le cas d'application, l'effet décrit peut être exploité via divers types de convertisseurs : les convertisseurs à flexion, transducteurs disques et céramiques piézoélectriques sont les formes de base, dont les éléments piézoélectriques sont dérivés avec plus ou moins de structures complexes.

Le convertisseur à flexion a une forme rectangulaire. L'élément central est une céramique piézoélectrique rendue conductrice sur les deux surfaces. Cette céramique est entièrement reliée sur une face à un élément support, également conducteur. La surface conductrice de la couche céramique et l'élément support servent d'électrodes. Si on applique une tension à ces électrodes, la céramique se dilate en direction du champ électrique. Comme les convertisseurs à flexion sont fixés sur la face avant dans la plupart des applications, il en

résulte un mouvement de torsion sur le côté libre. Il existe de nombreuses versions de convertisseurs à flexion avec différentes forces et mouvements de réglage, qui conviennent particulièrement aux distributeurs pneumatiques. Les données caractéristiques types comprennent une déviation de plusieurs dizaines de millimètres à des forces jusqu'à 1 N. Des trimorphes sur lesquels est appliquée une autre couche de céramique au verso du support, sont fréquemment utilisés en tant que forme spéciale. Ainsi le convertisseur est plus performant et utilisable sur une plage de température plus large, grâce à sa symétrie. Les applications des convertisseurs à flexion se trouvent dans les métiers de tricotage circulaire, les appareils de lecture pour non-voyants (modules Braille) et dans les distributeurs pneumatiques, en particulier dans les distributeurs proportionnels pour la régulation du débit et de la pression.



Fonctionnement du convertisseur à flexion dans un distributeur piézoélectrique : à l'application d'une tension, l'élément piézoélectrique se courbe du fait d'une réduction dans le sens de la longueur

Le **transducteur disque** représente également un élément piézoélectrique très simple. Il a la forme d'un disque céramique mince collé à un élément support métallique. Pour produire le champ électrique, la pièce circulaire de la surface du disque doit être métallisée. Si on applique une tension à l'élément support et à l'électrode sur la céramique, il en résulte comme pour le convertisseur à flexion, un allongement de la céramique en direction du champ électrique - dans ce cas le disque s'épaissit et son diamètre diminue simultanément. Associé à l'élément support passif ce phénomène provoque, de façon similaire à une bilame, une déformation sphérique de l'ensemble du système. Cette déformation est par exemple utilisée dans certains haut-parleurs haute-fréquence, capteurs, micro-pompes, souffleries

et générateurs d'ultra-sons, tels que ceux fréquemment utilisés comme capteurs de distance dans les automobiles. Les convertisseurs à empilement (Piezostacks) sont des disques piézoélectriques empilés, reliés mécaniquement en série et électriquement en parallèle. À l'inverse des transducteurs disques, ce n'est pas la flexion d'un matériau composite qui déclenche l'opération mais la dilatation directe dans la direction du champ. Cette configuration ne produit certes que des courses limitées - maximum 0,2 % de la hauteur totale - mais développe d'énormes forces d'actionnement jusqu'à plusieurs kilonewtons. Les applications se situent dans le domaine des distributeurs de fluides tels que systèmes d'injection diesel et dans le micro-positionnement.

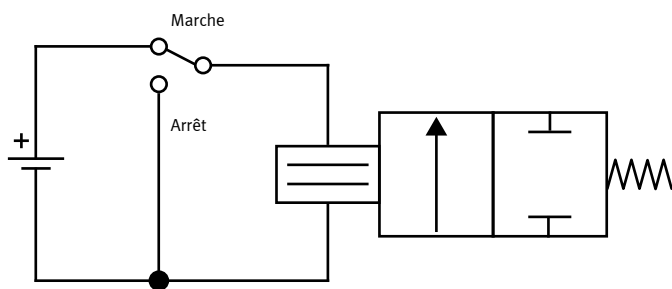
Actionneurs piézoélectriques et caractéristiques techniques des différents types de convertisseurs

	Convertisseur à flexion	Transducteur disque	Convertisseur à empilement
Déviaton	100 µm à 1000 µm	10 µm à 100 µm	10 µm à 100 µm
Force	0,1 à 2 N	1 à 10 N	1000 à 10 000 N

2. Fonctionnement des distributeurs piézoélectriques

Les convertisseurs à flexion sont utilisés de préférence comme éléments piézoélectriques dans les distributeurs pneumatiques. La puissance des distributeurs piézoélectriques dépend de l'intensité du champ électrique : plus l'intensité est élevée, plus la puissance de l'actionneur et donc du distributeur est élevée. Par rapport aux électrodistributeurs, les distributeurs piézoélectriques ne nécessitent aucun courant de maintien pour conserver l'état de commutation. La tension d'alimentation, plus élevée que celle des électrodistributeurs, n'est importante que lors de la mise sous tension. Mais l'énergie absorbée à la mise sous tension est bien inférieure aux niveaux de puissance d'actionnement rencontrés habituellement en pneumatique.

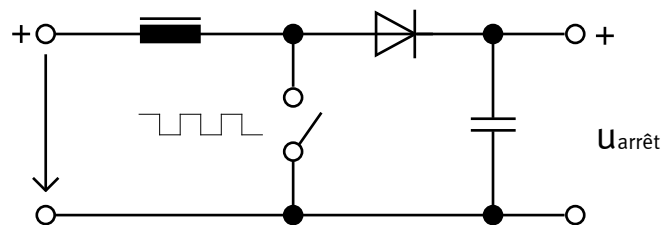
Cette énergie à la mise sous tension "E" peut être calculée approxi-



Pour réinitialiser un distributeur piézoélectrique, il faut le décharger délibérément

Génération de haute tension

La haute tension est nécessaire au fonctionnement de distributeurs piézoélectriques performants. Pour produire celle-ci, le principe du convertisseur élévateur (Boost Converter) s'est avéré être le mieux adapté. Celui-ci est très abordable et ne nécessite que très peu de place. Avec cet appareil, la très haute tension d'induction est stockée dans un condensateur, lors de la coupure cyclique d'une bobine (self de stockage) - dans le cas le plus simple un convertisseur piézoélectrique est également utilisé comme condensateur. Ce circuit permet



Un convertisseur élévateur permet de produire simplement et économiquement la haute tension nécessaire par induction

mativement à l'aide de la formule $E=CU^2/2$, où C = capacité du convertisseur et U = tension de commande. Les valeurs habituelles sont comprises entre 0,5 et 5 mWs, car la capacité du convertisseur atteint la plupart du temps 30 nF tandis que la tension de commande peut atteindre 300 V CC.

Important : pour les distributeurs piézoélectriques, l'énergie de mise sous tension est uniquement chiffrée en milliwatts secondes. Il n'est pas possible de spécifier une puissance en watts comme pour les électrodistributeurs.

L'état d'un distributeur piézoélectrique mis sous tension est conservé en cas de coupure de l'alimentation, car cette interruption empêche l'écoulement des porteurs de charge. Pour réinitialiser le distributeur, la charge doit être activement supprimée du convertisseur. Cette opération peut être réalisée par stockage intermédiaire dans un autre système (récupération) ou par conversion en chaleur (court-circuit). En conséquence, pour le fonctionnement du distributeur, un inverseur est nécessaire plutôt qu'un commutateur.

d'atteindre la tension de sortie de 300 V à partir d'une tension en entrée de 1 V. L'oscillateur du commutateur est fréquemment réalisé avec le microprocesseur qui est déjà présent dans la commande système. Mais il existe aussi des circuits de commutation intégrés prêts à l'emploi spécifiquement conçus pour cette application. De tels modules gèrent ensuite la régulation de tension en sortie et assurent un degré d'efficacité optimal, nettement supérieur à 80 %.

3. Les avantages des distributeurs piézoélectriques

Dans le monde des distributeurs pneumatiques contrôlés électriquement, les électrodistributeurs sont la norme absolue, avec une part de marché proche de 100 %. Cependant les distributeurs piézoélectriques offrent de nombreux avantages par rapport aux électrodistributeurs qui dominent le marché et ouvrent des champs d'application tout à fait nouveaux.

Besoins énergétiques limités - pas d'auto-échauffement

Grâce à leur caractère capacitif les distributeurs piézoélectriques ne requièrent virtuellement pas d'énergie pour maintenir un état actif. Cette caractéristique supprime les risques d'auto-échauffement des distributeurs - dans la mesure où une commande haute fréquence n'est pas utilisée, en raison du fait que l'énergie de mise sous tension est souvent requise. Le bilan énergétique augmente parallèlement à la fréquence de commutation requise.

La technologie piézoélectrique est idéale dans des zones à très basse puissance ("Very Low Power") pour les appareils fonctionnant sur batterie. Par comparaison avec les électrodistributeurs, sa durée de vie peut être plusieurs fois supérieure à celle d'un pack batterie

Sécurité intrinsèque

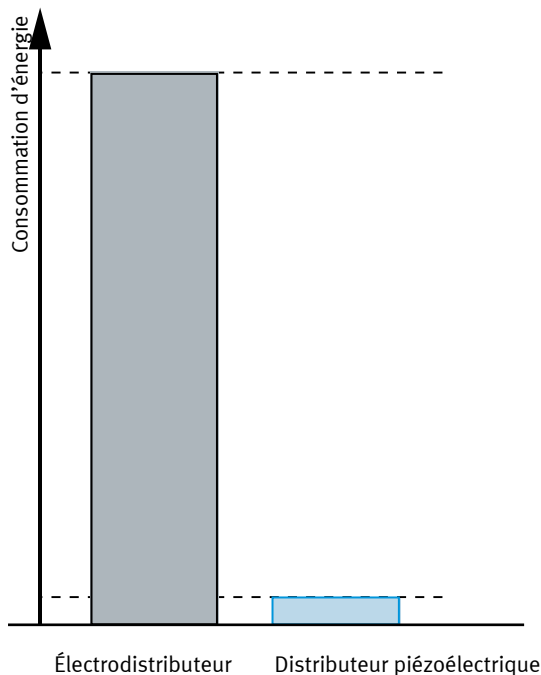
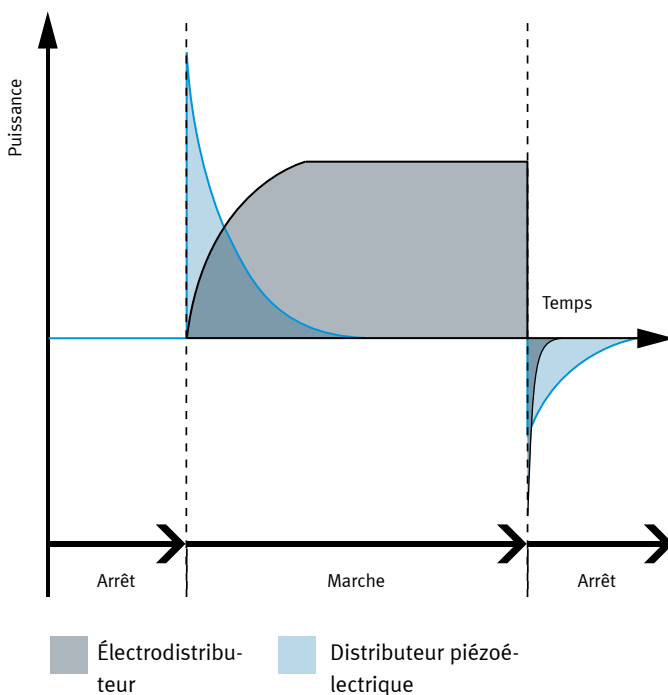
Dans les atmosphères explosibles le type de protection "sécurité intrinsèque" est de plus en plus utilisé. Une installation électrique est dite "à sécurité intrinsèque" lorsque la plus grande quantité d'énergie stockable ne peut être suffisante pour provoquer une ignition de l'atmosphère en cas de défaut. Les distributeurs piézoélectriques remplissent idéalement cette condition, d'où leur très grand potentiel d'utilisation.

Vitesse de commutation

Les distributeurs piézoélectriques peuvent être incroyablement rapides - puisqu'il est possible d'atteindre sans peine le domaine inférieur à la microseconde.

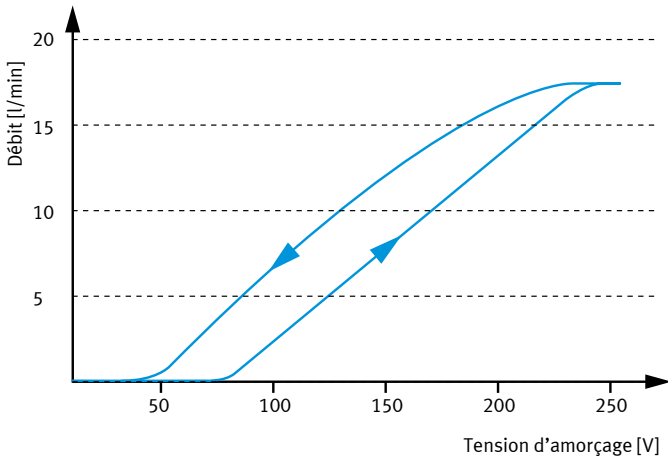
Ces distributeurs piézoélectriques sont la solution idéale pour les applications où la vitesse joue un rôle décisif. Parmi elles, on compte les installations de tri à haute vitesse, et surtout les circuits de régulation en général, car normalement, une régulation fonctionne d'autant mieux que tous les composants sont en mesure de réagir rapidement.

Économies d'énergie possibles des distributeurs piézoélectriques par rapport aux électrodistributeurs



Proportionnalité

La proportionnalité est inhérente au système de la technologie piézoélectrique. Du fait qu'en fin de compte tous les processus pneumatiques d'une application sont analogiques, ceci constitue un avantage décisif : plus besoin de modulation de la largeur d'impulsions et fin des problèmes de bruit associé, en tant que moyen d'atteindre une certaine proportionnalité lors de la mise en marche d'électrodistributeurs. Ceci signifie que les distributeurs piézoélectriques sont très résistants à l'usure et nécessitent une entrée d'énergie minimale. Cette proportionnalité et un temps de réponse court font des distributeurs piézoélectriques les actionneurs idéaux de tous les systèmes de commande de niveau supérieur.



Proportionnalité des distributeurs piézoélectriques : actionneur idéal de tous les systèmes supérieurs de commande

Antimagnétique

La technologie piézoélectrique est également applicable sans risque de pannes dans des domaines à forte intensité de champ magnétique, tel que les tomographes à spin nucléaire.

Poids limité

Le boîtier plastique habituel et surtout l'absence de fer et de cuivre favorisent beaucoup la portabilité.

Faibles coûts

Si de grandes quantités sont nécessaires, cette technologie permet la production en très grande série - par exemple les briquets allumés par piézo, qui sont disponibles à des prix particulièrement modiques.

Longue durée de vie

Dans un système bien conçu, les actionneurs piézoélectriques atteignent un nombre de cycles inhabituellement élevé. Le seul composant solide ne contient plus de pièces d'usure soumises à frottement.

"Mais" restrictif :

Ces avantages ne peuvent pas tous être réunis simultanément dans un seul distributeur. La plupart du temps, ils sont conçus pour une application donnée qui permet d'exploiter des avantages spécifiques et personnalisés.

Les distributeurs piézoélectriques offrent de nombreux avantages :



Très faible consommation d'énergie



Sécurité intrinsèque



Télé-contrôlable



Pas de développement de chaleur



Proportionnalité



Longue durée de vie



Poids limité



Antimagnétique



Temps de réponse courts



Économies potentielles



Mise en route silencieuse



Compact

4. Secteurs et applications : Futures applications piézoélectriques

Régulation de débits

De nombreuses applications de régulateurs de débit nécessitent un débit constant sur de longues périodes. Un exemple type est la fabrication d'atmosphères artificielles, tel que dans l'industrie des semi-conducteurs dans le domaine frontal des processus de revêtement et dans le domaine dorsal des processus de collage. Ce type de charge est facile à gérer pour un distributeur piézoélectrique puisqu'il s'agit d'un état stationnaire ne consommant virtuellement aucune énergie. Si au contraire un distributeur à modulation d'impulsions est utilisé, la fonction représente une charge extrême pour ce distributeur - à la fois énergétique et mécanique. La durée de vie de tels systèmes est en conséquence limitée, ce qui explique la préférence pour la technologie piézoélectrique en pareil cas.

Manipulation de pièces fragiles sans risque de destruction

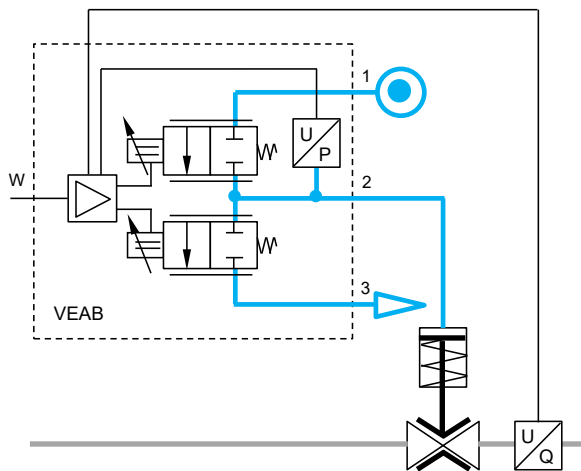
Une solution remarquable de manipulation des pièces sensibles est ce qu'il est convenu d'appeler "le contrôleur de vitesse" (Speed-controller) pour vérins pneumatiques à double effet. Ce dispositif permet d'effectuer des mouvements régulés par la vitesse avec un vérin pneumatique, sans à-coups.

Dans ce but, quatre distributeurs piézoélectriques sont combinés à une unité de commande pour former un ensemble raccordé à un vérin à double effet. La régulation de vitesse est ensuite réalisée en maintenant un débit constant d'évacuation de l'air du vérin. Ce système économique fonctionne sans nécessiter un coûteux système de mesure de déplacement. Il permet de plus le démarrage et le freinage en douceur.

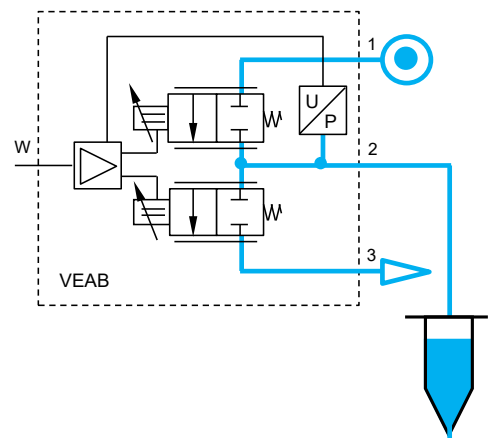
Applications adhésives industrielles : dosage précis et rapide

Pour prévenir tout égouttement intempestif, il faut créer un vide dans les applications industrielles, après application d'une quantité donnée d'adhésif. Par ailleurs un dosage très précis est nécessaire, surtout dans le montage de petites pièces. Les applications conventionnelles travaillent normalement avec deux distributeurs, un pour le vide et l'autre pour la pression. Les distributeurs piézoélectriques sont ici plus précis et plus rapides. La régulation du vide et de la pression est effectuée par le même distributeur - le deuxième devenant ainsi superflu.

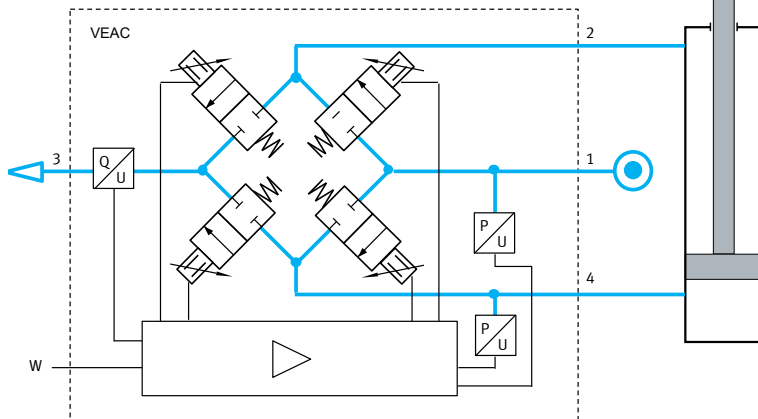
Applications industrielles avec du potentiel pour les distributeurs piézoélectriques



Pérenne et précis - distributeur piézoélectrique de régulation de débits



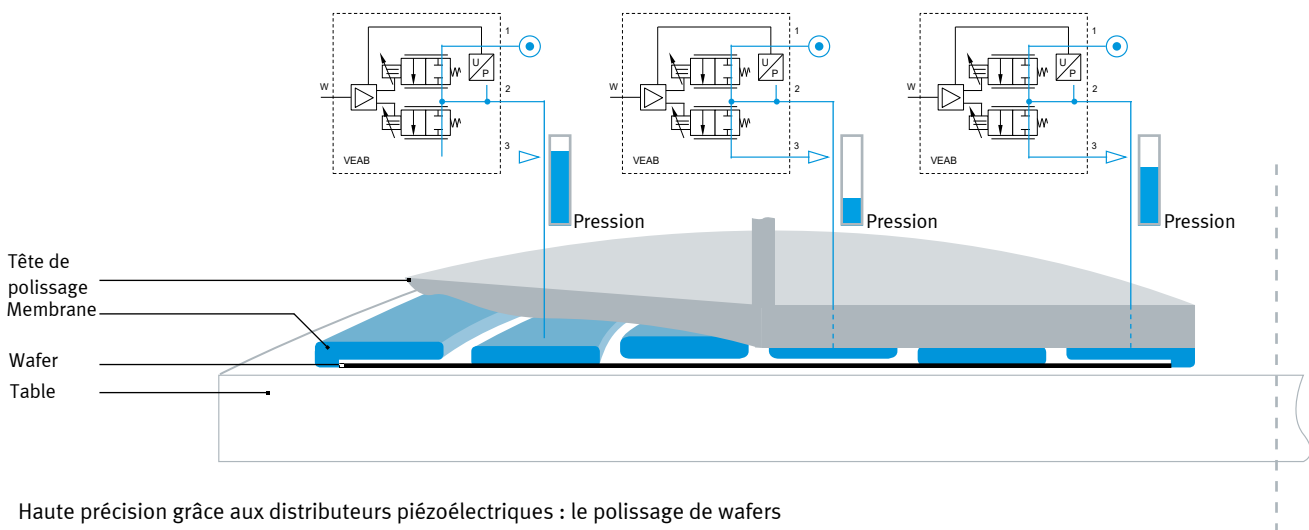
Dosage précis, même pour les plus petites quantités : les distributeurs piézoélectriques facilitent les processus d'application d'adhésifs



Les distributeurs piézoélectriques régulent les vitesses en douceur, sans à-coups et sans système de mesure de déplacement

Production de semi-conducteurs : polissage de wafers

Grâce à la haute précision et l'accès rapide aux valeurs de consigne prescrites, le distributeur piézoélectrique est particulièrement destiné aux applications de production de semi-conducteurs. Il s'agit ici de doser précisément des quantités infimes d'air pour répondre aux hautes exigences de traitement précis des composants. Lors du polissage des wafers, par exemple, l'exigence consiste à presser le wafer sur la table de polissage rotative, avec une pression réglée très précisément. Ce n'est qu'ainsi qu'il est possible d'obtenir une surface totalement plane. Pour obtenir un résultat parfait, plusieurs bagues de diaphragme sont pressées sur le wafer avec une force différente. Ces contacts doivent être appliqués avec une précision extrême aussi bien par le vide que par la pression. Les distributeurs piézoélectriques réunissent les deux fonctions sous un seul appareil, avec un gain de place.



Outil chirurgical : ophtalmologie

Régulation d'outils chirurgicaux actionnés pneumatiquement pour l'opération de la cataracte, qui compte parmi les interventions chirurgicales les plus courantes. La chirurgie est le seul remède possible à la cataracte évolutive ou liée à l'âge. Au cours de l'intervention, le cristallin opacifié est enlevé et remplacé par une lentille intraoculaire (IOL) artificielle.

Les outils utilisés pour cette opération sont à actionnement pneumatique. Les distributeurs piézoélectriques sont ici des composants importants pour la régulation de la pression et du vide. De plus, il y a divers fluides à manipuler, dont l'humeur aqueuse (fluide oculaire) et des solutions de substitution (infusions). Les distributeurs piézoélectriques permettent un dosage précis et régulent le transport des fluides et de la solution de remplacement du corps vitré.

Des sièges auto confortables : gonflage de coussins d'air

Aujourd'hui les distributeurs piézoélectriques sont déjà utilisés dans les sièges auto. Ils permettent le gonflage et dégonflage rapides, précis et surtout silencieux de coussins d'air et renforcent le confort et la sensation de bien-être du conducteur. Les chambres d'air intégrées dans les côtés et le dossier sont remplies de façon adéquate selon la situation de conduite. Pour offrir un support latéral optimal au conducteur et au passager, le volume et la pression des chambres d'air latérales dans les dossiers varient à la seconde près via des distributeurs piézoélectriques disposés de façon centrale. Cette variation

Technique médicale : respirateurs mobiles

Les respirateurs mobiles utilisés dans la technique médicale ont des exigences très spéciales quant à leurs composants. Une construction compacte et un poids restreint sont des facteurs décisifs pour préserver la mobilité du patient malgré la présence du respirateur. De plus les appareils fonctionnent sur batterie et leur consommation d'énergie doit donc rester faible. Comme de nombreux patients dépendent de cette alimentation en oxygène également la nuit, il faut que l'appareil soit aussi silencieux que possible. Les distributeurs piézoélectriques sont ici déjà utilisés avec succès et peuvent déployer toutes leurs capacités.

est effectuée selon l'angle d'inclinaison, l'accélération transversale et la vitesse. Ainsi le système augmente le débit de la pompe dans les chambres d'air du côté droit du dossier, lors des virages à gauche.



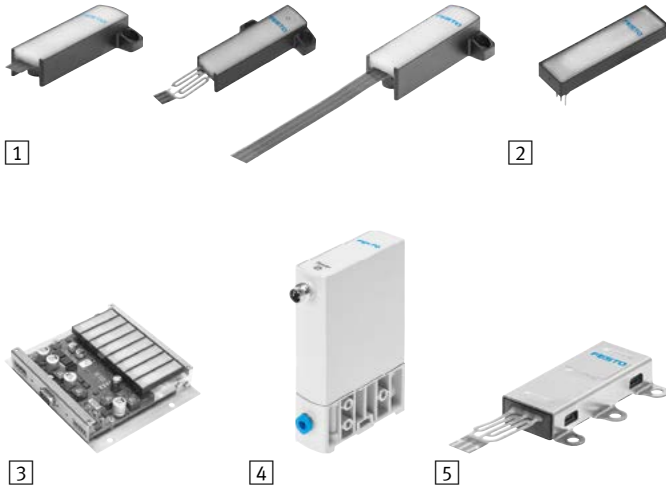
Des champs d'applications innovants pour la technologie piézoélectrique :
[1] Technologie médicale [2] Siège auto [3] Assistant de manipulation bionique

L'avenir des distributeurs piézoélectriques

Grâce à ses propriétés, la technique des distributeurs piézoélectriques offre de toutes nouvelles possibilités pour les produits du futur. Ainsi elle trouve déjà des applications dans les assistants de manipulation bioniques de Festo. La possibilité de doser l'air comprimé de façon très précise et ciblée et l'encombrement extrêmement réduit par rapport à d'autres distributeurs, furent décisifs pour l'utilisation de la technologie piézoélectrique dans les assistants de manipulation bioniques.

5. Diverses versions de distributeurs piézoélectriques et leurs avantages

Les distributeurs piézoélectriques peuvent effectuer toute une variété de fonctions distributrices dans diverses applications. Ceci est expliqué ci-dessous sous forme d'exemples à l'aide des types de distributeurs piézoélectriques actuels de la société Festo.



Distributeurs piézoélectriques de la société Festo :

- 1 Distributeur VEMR 2/2 voies
- 2 Distributeur VEMC/VOMP 3/3 voies
- 3 Terminal de distributeur proportionnel de pression VEMA
- 4 Distributeur de pression proportionnel à régulation directe VEAB
- 5 Distributeur VEAA 3/3 voies

Distributeur VEMR 2/2 voies

Grâce à l'insert de siège interchangeable, ces distributeurs peuvent être utilisés dans diverses applications, car la pression et le débit sont définis pour l'essentiel par le diamètre du siège. Dans les appareils de thérapie à l'oxygène, le VEMR commande de façon ciblée l'alimentation et le dosage en oxygène au cours de l'inhalation. Le VEMR peut être combiné à un capteur de débit pour créer un distributeur de débit proportionnel.

Distributeur VEMC ou VOMP 3/3

Ces distributeurs sont également connus sous le nom de distributeurs de capteurs d'écart (gap transducer valves). Le convertisseur à flexion spécial fonctionne sur la base des mouvements différentiels et compense ainsi presque entièrement les erreurs liées à la température. Les VEMC/VOMP conviennent particulièrement à la régulation de pression, par exemple dans les appareils de drainage lymphatique, mais sont utilisables également comme dérivation, pour aiguiller deux débits différents. Associés à un capteur de débit et une électronique de régulation, les VEMC/VOMP deviennent des distributeurs proportionnels de pression.

Terminal de distributeur proportionnel de pression VEMA

Dotée de 8 canaux, commandée par microprocesseur et combinée à un bus de terrain, la technologie piézoélectrique dévoile également ses forces dans ce domaine.

- 8 distributeurs VEMC : encombrement d'installation divisé par 10, car aucune chaleur dangereuse n'est émise en cours de fonctionnement
- Installation simple par une alimentation de pression et de vide centralisée pour tous les distributeurs
- Commande par bus CAN : interconnexion simple des terminaux de distributeurs entre eux ou avec d'autres appareils
- Capot équipé de LED témoins pour une détection rapide de l'état de fonctionnement

Distributeur VEAA 3/3 voies

Connu également comme distributeur-convertisseur à bascule, il comprend un convertisseur trimorphe qui peut se déplacer dans les deux directions et fermer ainsi le port P ou R. Le très grand domaine de pression d'alimentation de vide jusqu'à 12 bar en fait un système idéal pour de nombreuses applications industrielles avec régulation de pression.

Distributeur de pression proportionnel à régulation directe VEAB

Les distributeurs de ce type sont des distributeurs proportionnels précieux qui fournissent une pression de sortie via une électronique intégrée avec capteur manométrique. La valeur de consigne peut être spécifiée comme une valeur de tension de 0 à 5 V, ou 0 à 10 V, ainsi que comme intensité de 4 à 20 mA. Le distributeur fournit également un signal de référence dans la même plage. Le rapport taille/débit, ainsi que les caractéristiques suivantes sont remarquables : temps de réponse courts < 10 ms, régulation de pression ultra précise, très faible puissance absorbée, pas de bruit de commutation.

Auteurs :

Hannes Wirtl
Directeur développement
distributeurs piézoélectriques
Festo AG & Co. KG, Allemagne

Ulrich Sixt
Gestion de produit distributeurs
piézoélectriques
Festo AG & Co. KG, Allemagne

Votre interlocuteur local :

www.festo.fr