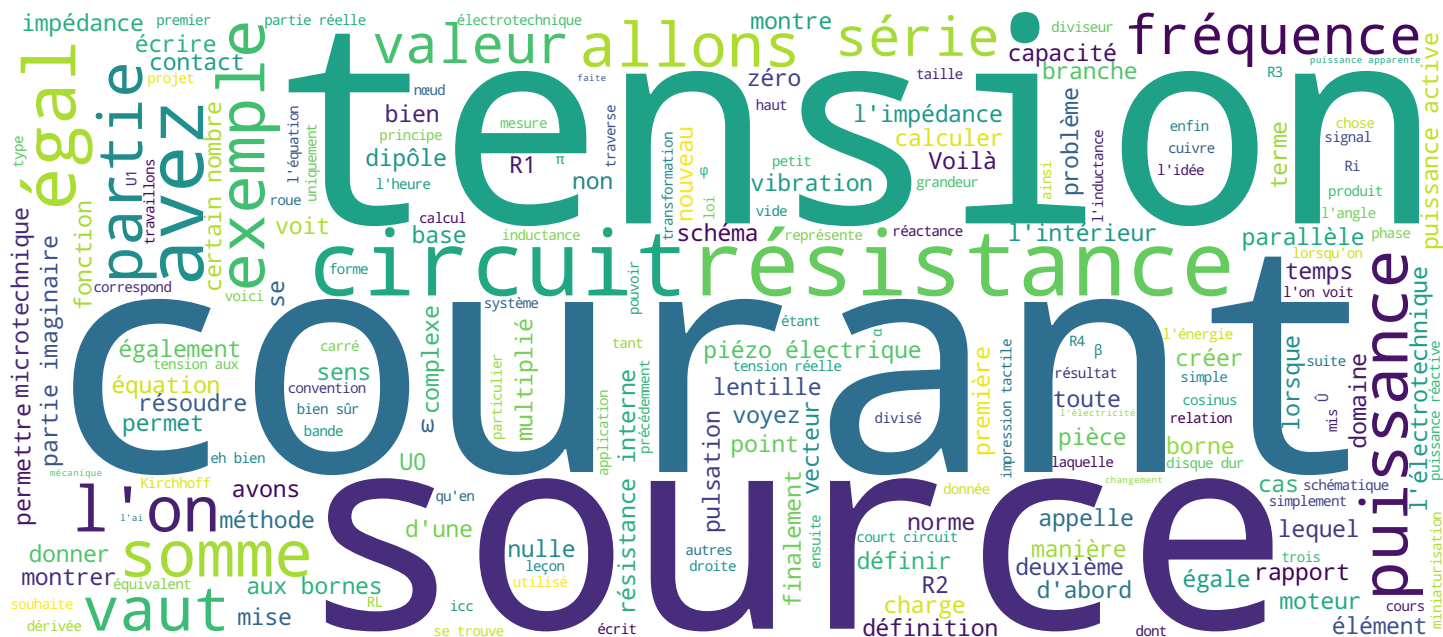


PRÉAMBULE – BASES DE L'ÉLECTRICITÉ

LEÇON 1

Électrotechnique I

Yves PERRIARD & Paolo GERMANO
Laboratoire d'Actionneurs Intégrés





Electrotechnique I

Bonjour ! Une cordiale bienvenue à ce cours MOOC électrotechnique 1 que je donnerai durant ce semestre avec Paolo Germano. L'électricité est un domaine scientifique et technique relativement récent qui a éclot au dix-neuvième siècle mais qui s'impose dans de très nombreuses réalisations techniques. Divers sous-domaines sont apparus qui, tous, s'appuient sur des applications d'électricité, allant des communications à l'énergie. L'électronique, qui elle-même se distingue entre électronique de contrôle et électronique de puissance; l'informatique technique qui inclut le domaine des circuits intégrés, cerveau des traitements de l'information; la télétransmission, téléphone, télévision et GPS; l'énergie électrique, incluant génération, transmission, distribution et conversion de l'énergie, les mesures, leur transmission et leur gestion. Tous ces domaines et sous-domaines font appel à l'électrotechnique que nous allons découvrir durant ce semestre. Avant de débiter ce cours, je souhaite vous donner un aperçu de ce que nous faisons, ici, à l'EPLF, dans un laboratoire, laboratoire d'actionneurs intégrés, qui appartient à l'Institut de microtechnique. Qu'est-ce que la microtechnique ?

Notes

Summary



0m 03s

L'automate de Jaquet-Droz (1768 et 1774)



A.L. Breguet (1747-1823)

né à Neuchâtel. Plusieurs de ses conventions:

- Montres perpétuelles à remontage automatique
- Ressort-timbre pour les montres à répétition
- Dispositif anti-choc «pare-chute» pour des pivots équilibrés



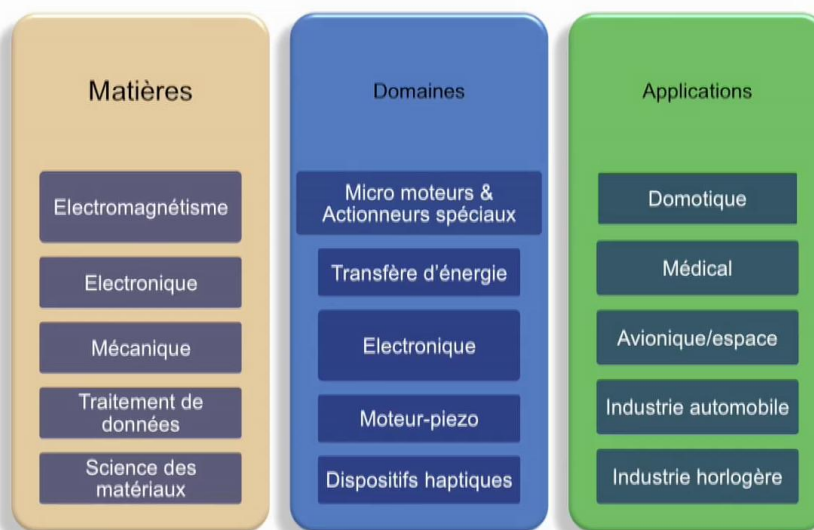
Electrotechnique I

La microtechnique se trouve au cœur d'un certain nombre d'applications telles que les montres, la robotique, des applications, bien sûr, qui allient la précision, qui allient le lien entre énergie, entre information, entre mouvement entre capteur, entre optique, etc. Vous voyez, ici, sur l'image, trois automates qu'on appelle les automates de Jaquet-Droz -né au dix-huitième siècle- qui sont en fait les premiers robots, entièrement mécaniques, issus, en fait, d'une ingéniosité absolument incroyable de Mr. Jaquet-Droz. Ont suivi également un grand homme, comme Mr. Breguet, qui invente la montre perpétuelle à remontage automatique et qui fait que, en Suisse, dans la partie du Jura entre les cantons de Vaud, Neuchâtel et Jura, nous trouvons ce qu'on appelle le berceau de la microtechnique, qui va bien sûr également en France voisine et où l'on trouve un certain nombre d'entreprises liées à la microtechnique qui font, encore aujourd'hui, de la très haute microtechnique.

Notes

Summary





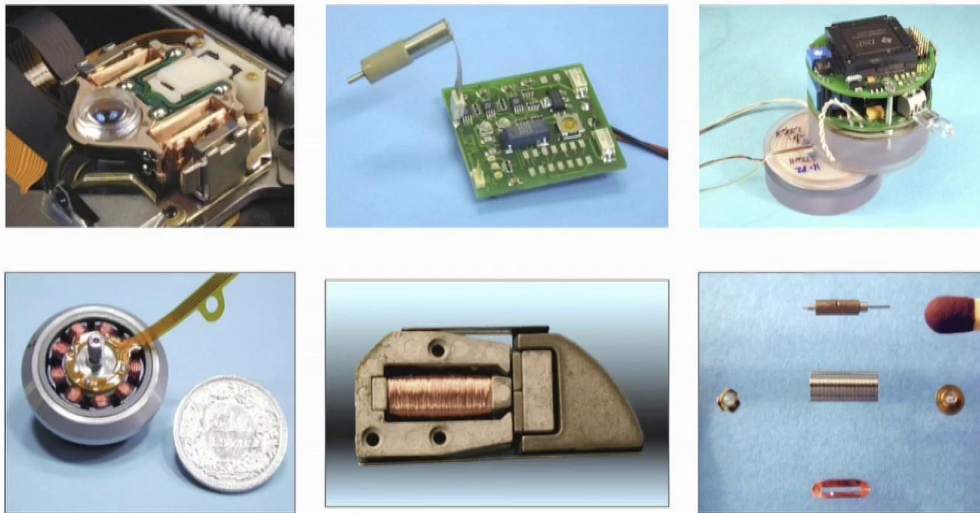
Electrotechnique I

Le laboratoire se trouve dans des domaines au coeur de différentes matières comme l'électromagnétisme, l'électronique, la mécanique, le traitement de données mais également la science des matériaux, comme nous le verrons tout à l'heure. Des domaines tels que micro-moteurs, transfert d'énergie, électronique, moteurs piézo-électriques, ou même dispositifs haptiques, sont nos thèmes de prédilection au sein du laboratoire d'actionneurs intégrés.

Notes

Summary





Electrotechnique I

Très vite, nous nous sommes rendus compte qu'une des pièces maîtresses pour permettre une miniaturisation, c'est de pouvoir intégrer différentes, ou différents mouvements et différentes fonctionnalités à l'intérieur d'un système. Vous avez ici différentes images qui vous montrent comment ces fonctionnalités peuvent être intégrés. Par exemple ici, une lentille de lecteur de DVD, où la lentille doit focaliser le rayon laser sur le disque optique à une précision meilleure que le micron. Et ceci doit être fait à la fois dans la direction verticale mais également latérale, et vous avez ici un microsystème qui permet de régler la position de cette lentille au micron près, dans deux directions différentes. Donc voici un actionneur. Ici encore, un micromoteur qui fait quelques millimètres de diamètre et qui tourne pourtant à plus de 100 000 tours par minute et son électronique de commande est bien plus grande que le moteur lui-même. Ou encore, un moteur de disque dur avec, ici, une pièce de monnaie juste pour vous montrer le lien entre la taille et qui nous permet actuellement une miniaturisation très importante.

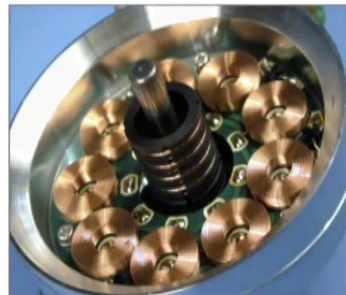
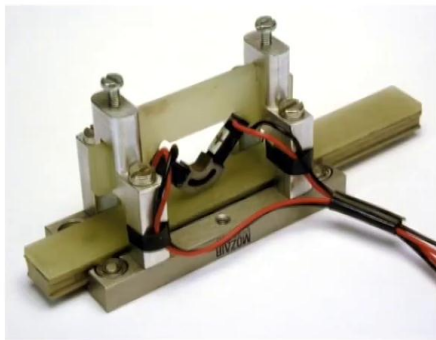
Notes

Summary



2m 51s

- Multiplication des fonctions
- Utilisation du «contactless»
- Analyse globale de l'entraînement



Electrotechnique I

Comme je l'ai dit, l'intégration est au cœur de nos activités pour permettre - non pas pour cette lentille, par exemple de DVD, d'ajouter deux systèmes les uns sur les autres pour faire une table XY - mais bien de combiner deux systèmes ensemble permettant d'allier ingéniosité et microtechnique, pour résoudre, de manière correcte, un problème. Ou encore ici, vous voyez un moteur. Ici, un moteur d'ancien DVD à bande avec quatre bobines, que vous voyez clairement ici qui sont en fait une transformation de l'information du capteur de la bande qui transfère l'information, sans contact, à l'intérieur du moteur.

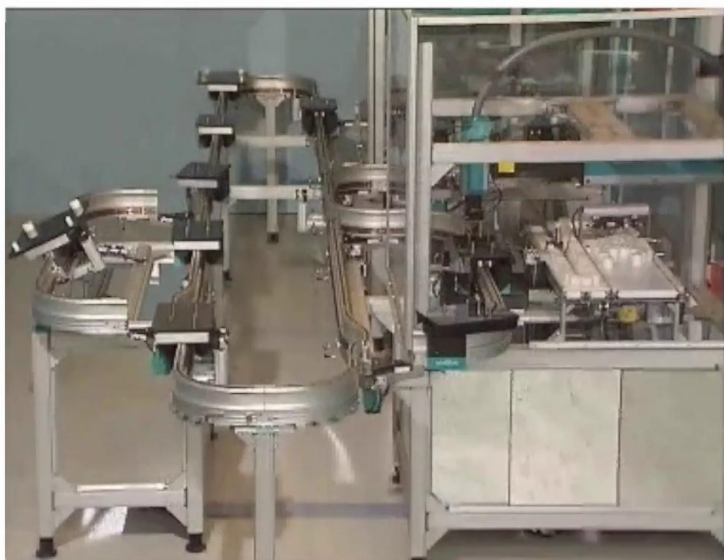
Notes

Summary



4m 04s

Transmission d'énergie et d'information sans contact, travail en salle blanche



Electrotechnique I

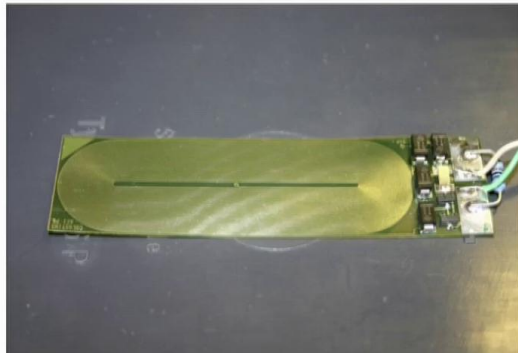
Autre élément sur lequel nous travaillons est la transmission d'énergie sans contact, ici, un projet sur lequel nous avons travaillé où l'on voit des bandes une bande latérale ici - on les voit mieux là - avec un bus d'essai qui permet d'alimenter des chariots. Ces chariots, comme on le voit, circulent sur une ligne d'assemblage. Donc le but est de faire des lignes d'assemblage avec ces petits modules indépendants. Et pour aller en salle blanche, et bien le fait de frotter avec les balais sur ces deux bandes crée trop de poussière. Donc l'idée a été ici de créer un système entièrement sans contact.

Notes

Summary



4m 50s



Electrotechnique I

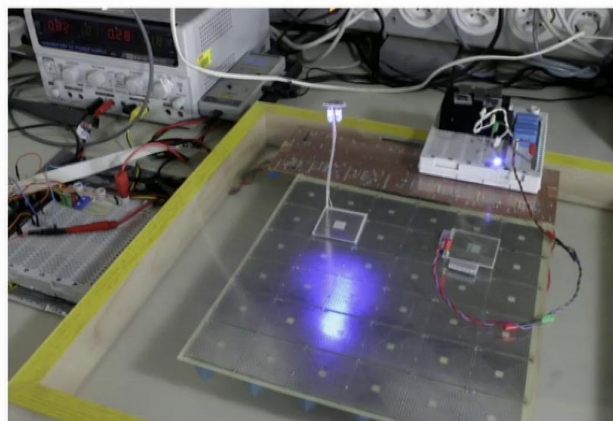
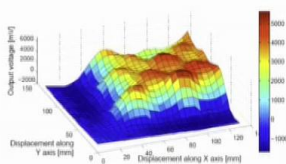
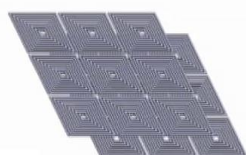
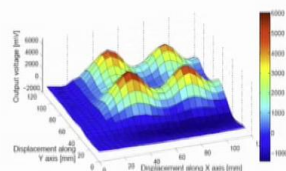
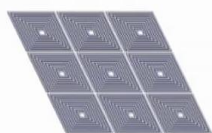
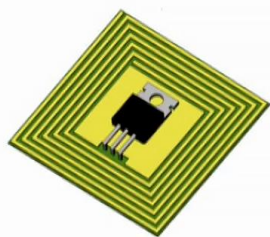
Ce système sans contact est réutilisé ici pour un projet avec une entreprise de la région, que nous avons pu mettre en œuvre grâce à l'hôpital du CHUV ici à Lausanne avec des problèmes où il faut transmettre de l'énergie à l'intérieur du corps humain. Vous voyez ici une expérimentation in vivo où l'on a mis un « secondaire », c'est une bobine, ici, sur un flex print crochée directement sur l'intestin. On referme l'intestin et, par l'extérieur, on va activer l'intestin pour des personnes qui ont des problèmes chroniques de constipation ou des problèmes graves de motilité de l'intestin.

Notes

Summary



5m 27s



Electrotechnique I

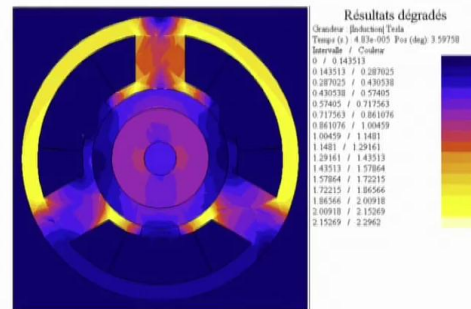
Autre application encore que nous avons pu faire pour l'entreprise Logitech est ici un banc de test, une table, sur lequel on peut poser n'importe quel objet et cet objet va être alimenté énergétiquement.

Notes

Summary



6m 06s



Electrotechnique I

Le laboratoire s'occupe également de micromoteurs ou de moteurs très spéciaux. Nous avons eu l'occasion de travailler également pour des projets très ambitieux de cœurs artificiels. Vous avez ici une des expérimentations in vivo qui a été faite. Ceci a été fait en collaboration avec Montréal, avec, ici, un moteur avec sa coque en titane. Le sang est utilisé pour refroidir le moteur lui-même et cette partie, ici, du moteur va se trouver complètement immergée à l'intérieur du ventricule gauche.

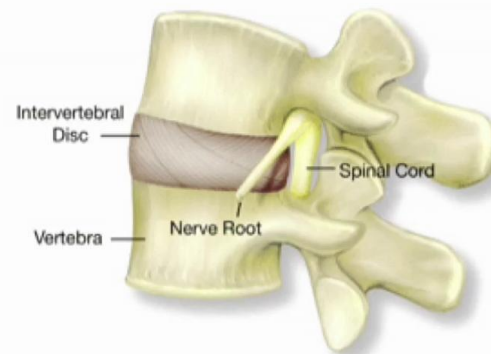
Notes

Summary





Normal Spinal Segment



Electrotechnique I

D'autres applications encore : nous avons travaillé sur un bistouri piézo-électrique, nous allons voir tout à l'heure ce que l'on veut dire par « piézo-électrique ». C'est un cristal que l'on met en vibration et nous avons eu l'idée de fabriquer un bistouri qui puisse sélectionner le tissu qu'il est en train de couper, en particulier pour des opérations à fort risque, comme par exemple, le fait de travailler sur les disques intervertébraux avec la moelle épinière qui se trouve très près ici, et donc le risque est relativement important de blesser le patient et donc de pouvoir obtenir un bistouri qui permette de sélectionner un tissu dur ou mou, revêt un immense avantage pour le chirurgien qui pratique l'intervention.

Notes

Summary





Electrotechnique I

Voici un actionneur piézo-électrique tel que je vous le décrivais tout à l'heure et qui permet en fait, grâce à ses vibrations et au fait que l'on joue sur un contact entre la partie qui vibre et la partie qui est fixe, de créer finalement un mouvement.

Notes

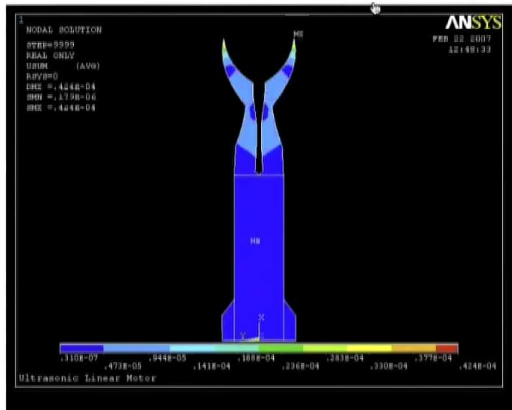
Summary



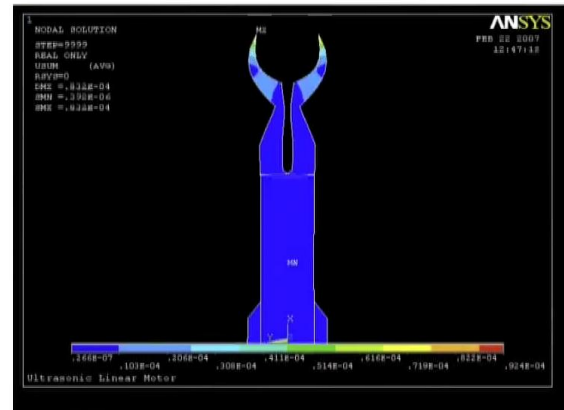
7m 35s

Le phénomène stick-slip induit un mouvement

Mouvement retour : 69 kHz



Mouvement pour avancer : 84 kHz



Electrotechnique I

Donc vous avez ici un petit actionneur linéaire qui a été créé dans notre laboratoire et pour mieux vous faire comprendre comment ce système fonctionne, nous avons préparé une petite animation, pour vous montrer comment en fait, en agrandissant la vibration de la pointe du système, vous voyez ici comment vibre « à la façon d'une nageoire », en fait, comme un poisson et le bout de cette « nageoire » va toucher, en fait, le stator et induire un mouvement. Et pour deux fréquences différentes, on peut créer un mouvement aller ou un mouvement retour.

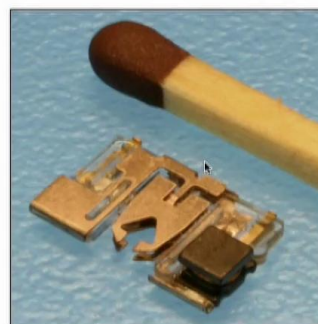
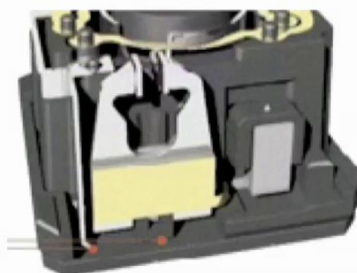
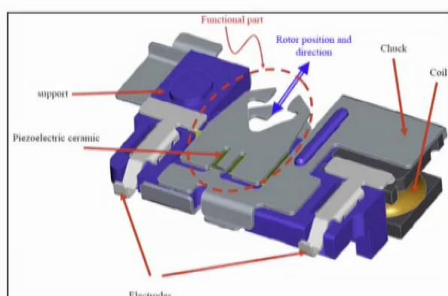
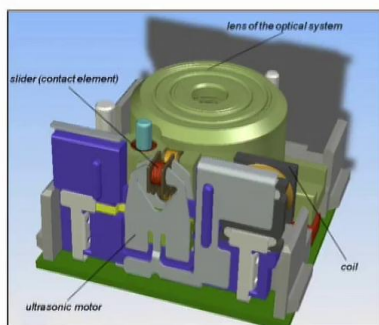
Notes

Summary



7m 48s

LENTILLE DE FOCALISATION



Electrotechnique I

Nous avons également travaillé sur des lentilles de focalisation. Vous avez ici cette lentille en vert, avec une petite boîte qui ne mesure pas plus de cinq millimètres par cinq. Et à l'intérieur, vous avez un petit système piézo-électrique décrit ici, ou encore avec une photo ici, avec une allumette pour vous donner la taille de cet objet qui va en fait, ce petit actionneur, faire monter et descendre la lentille pour faire la focalisation de l'image. Et donc voici des éléments piézo-électriques qui sont utilisés dans le domaine industriel.

Notes

Summary



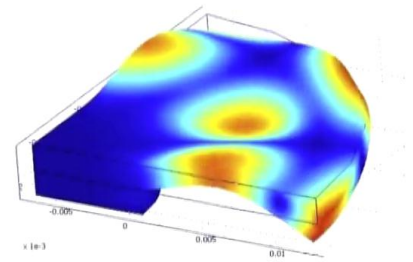


*Sentiment d'un changement local de la surface
en fonction de la position du doigt*



Dimensionnement multiphysique:

- Piézoélectricité
- Mécanique des structures
- Dynamique des fluides



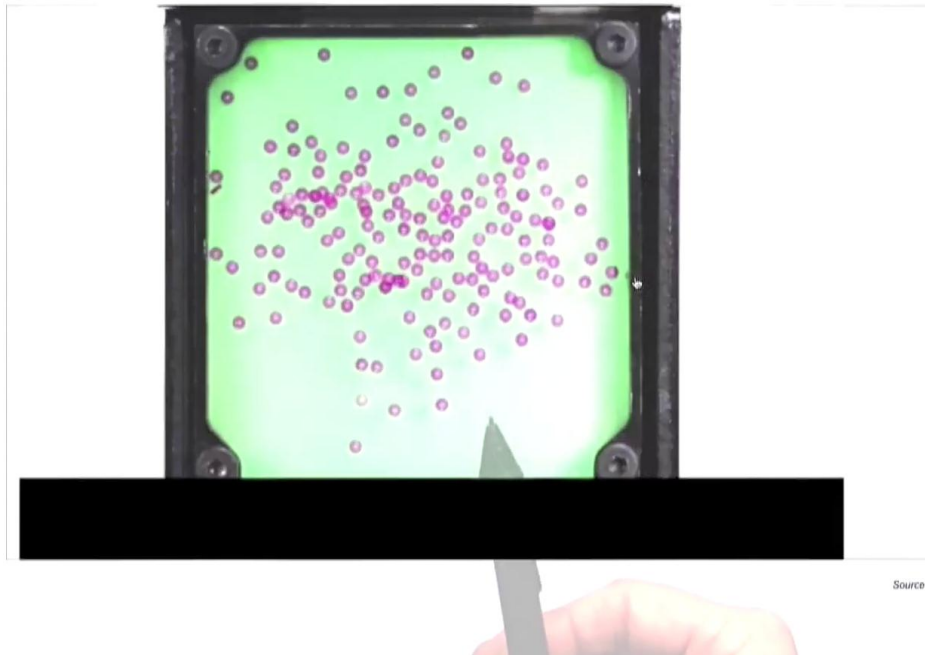
Electrotechnique I

Et enfin, l'utilisation également du piézo-électrique peut se faire pour créer une impression tactile. Nous avons ici fabriqué - sur un iPod, un faux iPod - en fait, une roue sous laquelle vous avez un cristal piézo-électrique qui est mis en vibration. Le quart, ici, vous est présenté et vous voyez une ondulation de ce piézo-électrique qui va donc se faire sur cette roue. En plaçant le doigt sur cette roue, le piézo-électrique, par sa vibration, crée un film d'air qui va vous donner l'impression que votre doigt glisse. Alors qu'en fait, la matière n'a pas changé. En actionnant et en désactionnant ce principe, on peut donc créer l'impression de glisser, frotter, glisser, frotter, et donc donner un sentiment tactile ou une impression tactile à l'utilisateur et ainsi créer une sorte de système virtuel du tactile. Sachant qu'il y a également plusieurs modes de vibration, nous avons l'intention de travailler encore dans les années à venir pour donner même une impression de pattern de cette impression tactile et non pas uniquement un changement on/off de l'impression de glisser et de non glisser.

Notes

Summary





Electrotechnique I

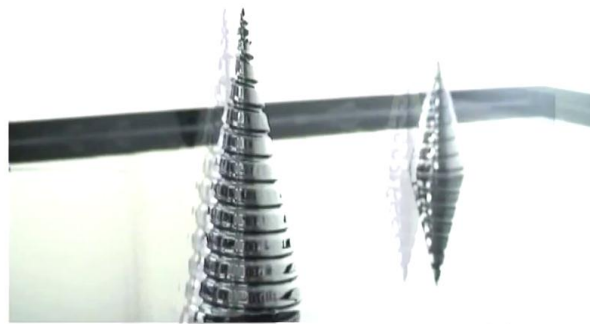
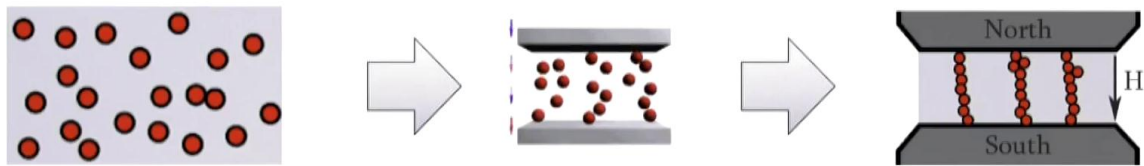
Vous avez ici aussi une image d'un système robotique qui prend des pièces sur une partie, ici en couleur - vous avez des pièces, là, qui arrivent sur cette partie, qui sont dispersées - nous souhaitons, à l'aide de ce système piézo-électrique, pouvoir bouger ces pièces dans une direction donnée et connaître très précisément la position des petites pièces des billes qui sont incluses ici sur la vidéo.

Notes

Summary



10m 18s



"Sachiko Kodama, Yasushi Miyajima, "Morpho Towers"

Electrotechnique I

D'autres éléments encore : des fluides magnétiques. Vous avez, ici en haut, un fluide dit « magnéto-rhéologique », c'est-à-dire que sa viscosité va dépendre du champ magnétique qui traverse ce fluide. Nous sommes à la recherche d'actionneurs qui utilisent ce principe. Et ci-dessous, une petite vidéo plutôt amusante pour montrer que nous pouvons travailler également avec des fluides magnétiques et les faire grimper, comme ici, cette structure conique.

Notes

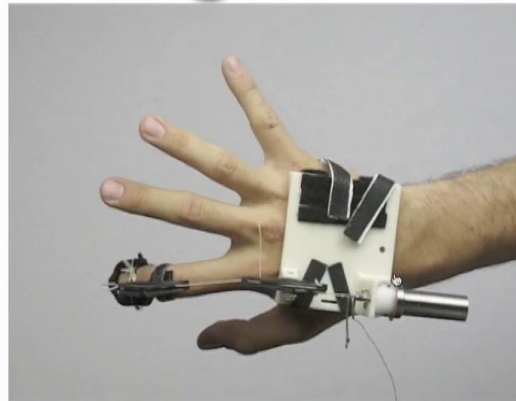
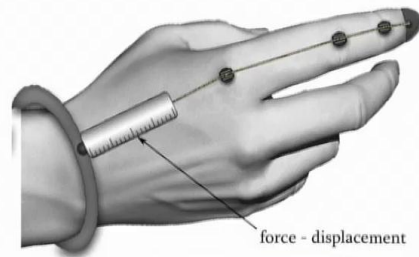
Summary



10m 44s



Réduire la masse de l'actionneur et permettre d'obtenir un système compact pour la rééducation



Electrotechnique I

Vous avez ici, là, une explication d'un gant haptique. où nous avons utilisé - là vous avez sur ce gant haptique - un petit système qui fonctionne avec des liquides magnéto-rhéologiques.

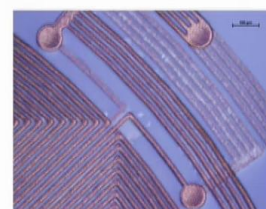
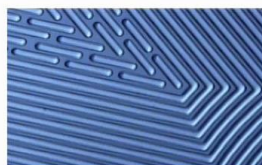
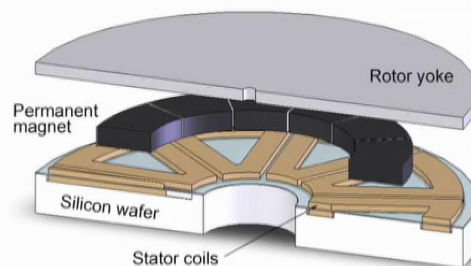
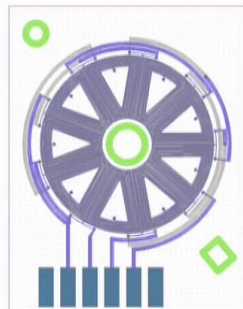
Notes

Summary



MOTEUR HYBRIDE MEMS

- Développement d'un moteur triphasé miniature
- Fabrication du stator en salle blanche



Electrotechnique I

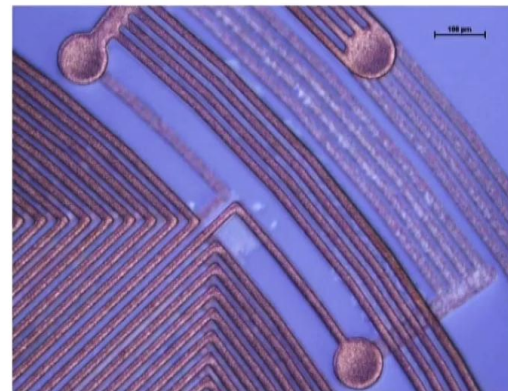
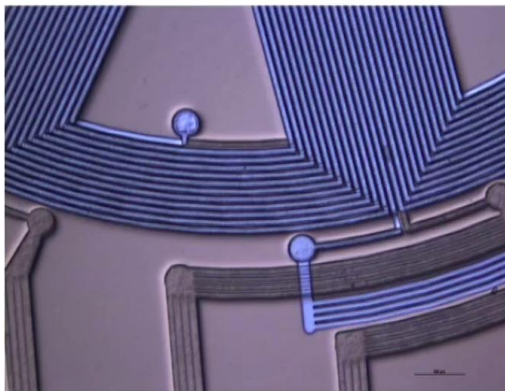
Le moteur hybride mems peut vous montrer aussi l'intégration sur lequel nous travaillons. Nous avons eu l'idée de faire un stator imprimé sur du silicium avec un aimant, on va dire « classique », que l'on place par-dessus, ici, le silicium. Pourquoi ? Pour faire un moteur extrêmement petit et donc finalement les stators peuvent se fabriquer comme des petits pains.

Notes

Summary



11m 28s



Electrotechnique I

Vous avez ici une magnifique photographie où l'on voit une couche de cuivre et derrière, en transparence, l'autre couche de cuivre et l'on peut comme cela, mettre en sandwich différentes couches de cuivre les unes sur les autres avec ici des canaux qui servent à relier ces couches entre-elles pour créer un vrai bobinage.

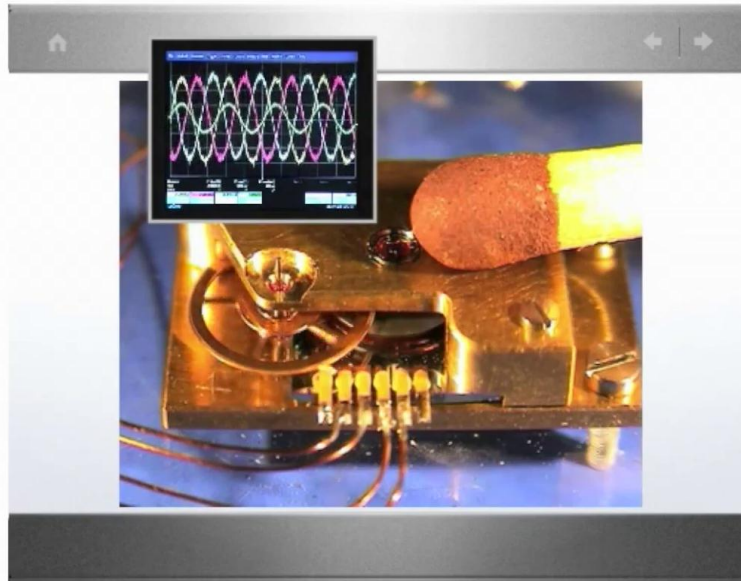
Notes

Summary



11m 54s

Rendement de plus de 45% ! Soit une durée de vie de la batterie passant de 2 ans à 6 ans



Electrotechnique I

Vous avez ici le moteur finalement terminé avec une allumette, de nouveau pour vous montrer la taille. Et le rendement est de plus de 45%, ce qui par rapport au moteur actuellement utilisé de 15% permet, en fait, de faire passer les batteries d'une durée de vie de deux ans, à environ six ans. Donc l'impact écologique est phénoménal en faisant ce type de changement ou ce type d'étude d'intégration.

Notes

Summary



12m 14s

- Une des premières branches de l'ingénieur dans la formation microtechnique
- Définition:
Utilisation technique de l'électricité soit en tant que support d'énergie, soit en tant que support d'information.
- Application à un grand nombre d'autres disciplines qui utilisent le circuit électrique comme schématisation de base

Electrotechnique I

Voilà donc ceci me permet d'aboutir - maintenant vous avez vu tout ce qui peut se faire en électrotechnique et ce n'est pas exhaustif - toutes ces applications que je vous ai montré utilisent la base de l'électrotechnique. Et c'est donc une des premières branches de l'ingénieur dans la formation microtechnique, mais pas seulement : mécanique, matériaux, robotique... Toutes ces formations font et utilisent l'électrotechnique. On peut en faire donc une définition : ce serait « l'utilisation technique de l'électricité, soit en tant que support de l'énergie, soit en tant que support d'information ». Et donc, comme vous l'avez vu, une application à un très grand nombre d'autres disciplines qui utilisent le circuit électrique comme schématisation de base.

Notes

Summary



12m 41s



Electrotechnique I

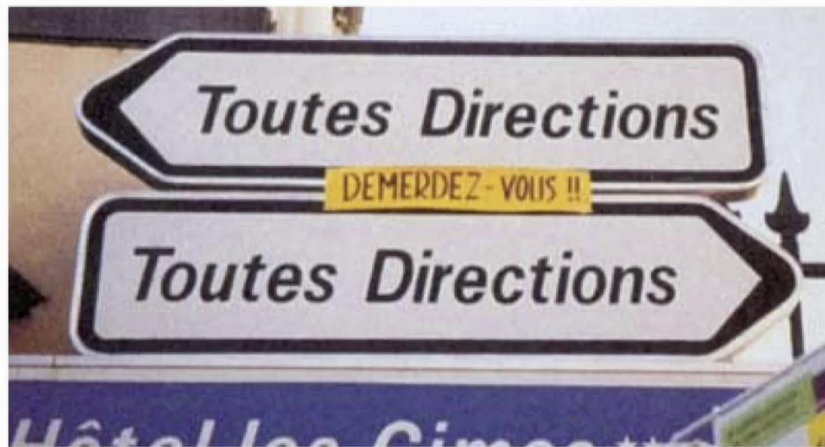
Alors l'électrotechnique ce n'est pas ce type d'image où vous voyez que pour aller tout droit, il faut prendre à gauche.

Notes

Summary



13m 28s



Electrotechnique I

Donc ce n'est pas non plus de vous dire « Allez absolument ici ! », non. On va essayer de vous donner des pistes, de vous donner des méthodes pour vous permettre de faire le meilleur choix lorsque vous serez confrontés à un problème électrotechnique.

Notes

Summary

13m 34s



- Calcul de circuits électriques
- Electronique
- Machines électriques et micro-actionneurs
- Mécanique et thermique
- Formalisme de l'ingénieur:
Ecriture et symbolique

Electrotechnique I

Et ce qu'il faut savoir également, c'est que l'électrotechnique, en tant que discipline de l'électricité, ne s'applique pas qu'à l'électricité proprement dite, mais, comme je l'ai déjà dit, à l'électronique, mais aussi aux machines électriques, aux micro-actionneurs, donc à l'électromagnétisme. Également, ce qui peut paraître plus étrange, à la mécanique et à la thermique, parce qu'en fait, on peut modéliser les flux thermiques par des schémas électriques équivalents et donc réutiliser tout ce formalisme étudié et toutes ces méthodes étudiées en électrotechnique, à l'aide des bases de l'électrotechnique que nous allons voir ici. Donc l'écriture, la symbolique et la schématique que nous allons voir ici vont être des éléments fondamentaux pour pouvoir faire un langage de l'ingénieur cohérent pour toutes ces disciplines.

Notes

Summary



13m 50s



Electrotechnique I

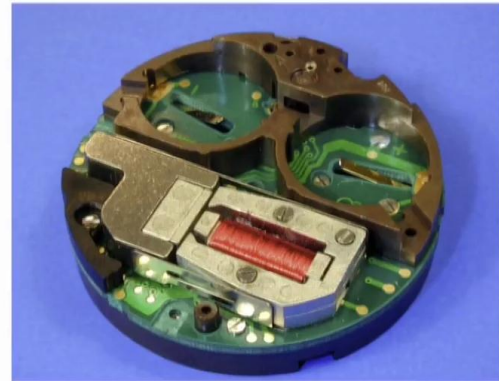
Voilà encore, par exemple, une magnifique application de l'ingénieur qui a bénéficié des travaux de l'électrotechnique et de l'électromagnétisme. Ceci est un moteur de disque dur relativement ancien, des années 1990, et qui vous montre ici deux actionneurs : un qui permet de faire tourner le disque dur, un qui permet d'actionner, vous avez ici l'actionneur linéaire la tête de lecture ou les têtes de lecture qui supportent en fait le capteur.

Notes

Summary



14m 46s



Electrotechnique I

Un autre exemple de miniaturisation encore qui fait appel à tout ceci c'est une montre qui est faite par une entreprise suisse, qu'on appelle la touch et vous avez ici en fait deux actionneurs sur cette même montre, sur le recto et le verso. Donc d'abord deux moteurs biphasés qui permettent chacun de commander une aiguille - puisque ces aiguilles sont indépendantes les unes des autres pour les différentes fonctionnalités qui sont présentées - et de l'autre, un petit vibreur, ici, qui va permettre de donner une alarme silencieuse à l'intérieur de la montre.

Notes

Summary



15m 13s



Electrotechnique I

D'autres phénomènes naturels, comme ici ce magnifique double éclair sur le lac Léman, peuvent être expliqués ou peuvent être formalisés par ce que nous allons voir en électrotechnique. Mais également, ici, trois micro-tornades sur le lac de Neuchâtel, en Suisse, qui peuvent être, par la mécanique des fluides, également approchées par des modèles simplifiés qui font appel à de la schématisation de l'électrotechnique.

Notes

Summary

15m 46s



- Conventions et symboles
- Lois de Kirchhoff
- Analyse de circuits
- Régime sinusoïdal
- Puissance

Electrotechnique I

Voilà donc le programme de cours que je vais vous proposer, c'est de tout d'abord nous atteler à la convention et aux symboles, très importants, puisque dans le monde nous n'avons pas tous la même manière d'écrire et de concevoir la schématique. Donc nous mettre d'accord pour le début de ce cours. Voir ensuite les lois de Kirchhoff, bases de l'électrotechnique et de l'électricité. Nous allons ensuite aborder l'analyse de circuit qui va nous amener à vous proposer un certain nombre de méthodes qui vont vous permettre de résoudre des circuits. Vous aurez le choix de ces méthodes, et c'est au travers des exercices que nous vous proposerons que vous sentirez mieux la manière et quelle méthode finalement utiliser pour votre propre résolution de circuit. Enfin, nous passerons au régime sinusoïdal qui nous amènera après à l'étude des puissances pour terminer ce cours numéro un. Pour conclure, je vous souhaite donc tout de bon et vous rejoindrai donc dans la leçon numéro deux de ce MOOC 1.

Notes

Summary



16m 14s