

Cours : Capteurs et Mesures en Télécommunications

Conférence 1 : Introduction aux Systèmes de Mesure et à la Métrologie

Durée : 1 Heure 30 Minutes

Instructeur : Prof. Abdelmalek Bouhadjera

1. Mot de bienvenue et Objectifs d'Apprentissage

Bienvenue à la première conférence de notre cours. Aujourd'hui, nous allons jeter les bases pour comprendre comment nous quantifions et évaluons les performances des systèmes de télécommunications. À la fin de cette session, vous devriez être capable de :

- Expliquer pourquoi la mesure précise est cruciale dans les télécommunications.
 - Décrire les trois blocs fonctionnels principaux d'un système de mesure généralisé.
 - Définir le terme **transducteur** et expliquer le processus de conversion d'une grandeur physique en un signal électrique.
 - Donner des exemples de grandeurs physiques pertinentes pour les télécoms.
-

2. Le Rôle de la Mesure dans les Télécommunications

Pourquoi avons-nous même besoin de mesurer ?

Dans les télécommunications, l'objectif est de transmettre des informations (voix, données, vidéo) de manière fiable et efficace sur une distance. La mesure est la science qui consiste à acquérir des *données objectives* pour s'assurer que cela se produit. Sans elle, nous "volons à l'aveugle".

Principales Raisons de la Mesure :

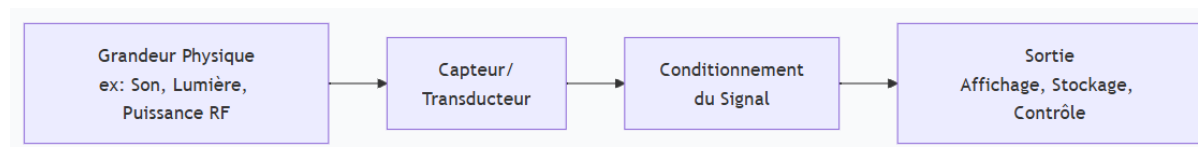
- **Conception et Validation du Système** : Cette nouvelle conception d'antenne fonctionne-t-elle comme simulée ? Cette fibre optique a-t-elle une perte suffisamment faible pour une liaison de 50 km ?
- **Installation et Mise en Service** : La force du signal est-elle suffisante sur toute la zone de couverture du pylône ? Toutes les connexions sont-elles correctement terminées ?

- **Surveillance des Performances et Maintenance** : La latence du réseau est-elle dans les limites acceptables pour les appels VoIP ? Un câble fibre a-t-il été endommagé, causant une perte de signal ?
- **Dépannage et Localisation des Défauts** : Pourquoi les utilisateurs d'une zone spécifique connaissent-ils des ralentissements de débit ? Où se situe exactement la rupture dans ce câble ?

Développement : Imaginez un simple appel téléphonique. Des mesures ont constamment lieu en arrière-plan : votre téléphone mesure la force du signal de la station de base, le réseau mesure la latence de vos paquets vocaux, et le système mesure les erreurs de bits pour garantir la clarté de votre appel. Ce cours explique le "comment" de ces mesures.

3. Schéma Fonctionnel d'un Système de Mesure Généralisé

Presque tous les systèmes de mesure, d'un simple thermomètre à un analyseur de spectre complexe, peuvent être décomposés en trois étapes fondamentales. Ce modèle nous aide à comprendre le parcours du signal, du phénomène du monde réel à une lecture utilisable.



Examinons chaque bloc en détail.

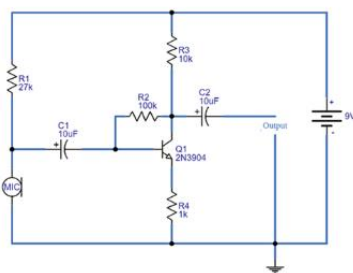
a) Étage Capteur / Transducteur

- **Fonction** : C'est l'interface entre le monde physique et le système de mesure. Son rôle est de **détecter** une grandeur physique et de la **convertir** en une forme plus pratique, presque toujours un signal électrique.
- **Terme Clé – Transducteur** : Un *transducteur* est tout dispositif qui convertit l'énergie d'une forme à une autre. Un **capteur** est un type de transducteur qui convertit spécifiquement une *grandeur physique* en un *signal électrique*.
 - *Exemple* : Un microphone (capteur) convertit l'*énergie acoustique* (ondes de pression sonore) en une *tension électrique*.

b) Étage de Conditionnement et de Traitement du Signal

- **Fonction** : Le signal électrique brut provenant du capteur est souvent très faible, bruyant ou pas sous une forme idéale. Cette étape manipule le signal pour le préparer à l'étape finale.
- **Fonctions Courantes Incluent** :
 - **Amplification** : Augmenter le niveau du signal (ex : amplifier une tension infime d'un capteur de température).
 - **Filtrage** : Supprimer les fréquences indésirables ou le bruit (ex : supprimer l'interférence du secteur 50/60 Hz).
 - **Conversion Analogique-Numérique (CAN)** : Convertir une tension analogique continue en nombres numériques discrets pour qu'un ordinateur ou un microprocesseur puisse les traiter. Ceci est crucial dans les instruments modernes.

Développement : Imaginez que le signal d'un microphone est de 0,01 Volt pour une voix normale. C'est trop faible pour être utile. Le circuit de conditionnement du signal l'amplifie à un niveau standard, disons 1 Volt. Il peut également filtrer les grondements basse fréquence.



c) Étage de Sortie

- **Fonction** : Cet étage présente l'information mesurée à l'utilisateur ou à un autre système.
 - **Exemples** :
 - **Affichage Visuel** : Une aiguille sur un cadran, un chiffre numérique sur un écran LCD (ex : l'affichage d'un multimètre), ou un graphique sur un analyseur de spectre.
 - **Stockage de Données** : Sauvegarder les résultats de mesure dans un fichier pour une analyse ultérieure.
 - **Signal de Contrôle** : Utiliser la mesure pour contrôler activement un système. Par exemple, la mesure d'un capteur de puissance peut être utilisée pour ajuster automatiquement la puissance de sortie d'un émetteur.
-

4. Grandeurs Physiques vs Signaux Électriques : Principes de Transduction

C'est le concept central de la détection. Nous vivons dans un monde physique, mais nos instruments de mesure comprennent le langage électrique (tension, courant, fréquence). Le traducteur est le **capteur**.

Que sont les "Grandeurs Physiques" dans les Télécommunications ?

Ce sont les propriétés mesurables qui définissent l'état d'un système de télécom.

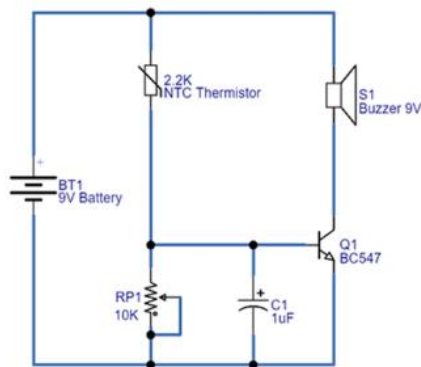
Grandeur Physique	Exemple en Télécom	Capteur Courant
Pression Acoustique (Son)	Voix dans un combiné téléphonique	Microphone
Température	Surveillance des équipements dans un armoire de station de base	Thermistance, RTD
Lumière / Puissance Optique	Force du signal dans une fibre optique	Photodiode
Intensité du Champ Électromagnétique	Puissance du signal RF d'une antenne	Sonde RF / Antenne
Déformation / Force	Tension sur un hauban pour un mât d'antenne	Jauge de contrainte
Position / Proximité	Détecter si une porte de baie est ouverte	Interrupteur reed, capteur à effet Hall

Le Processus de Transduction :

Le capteur a une propriété qui change de manière prévisible lorsque la grandeur physique qu'il est conçu pour mesurer change. Ce changement de propriété est converti en une modification électrique.

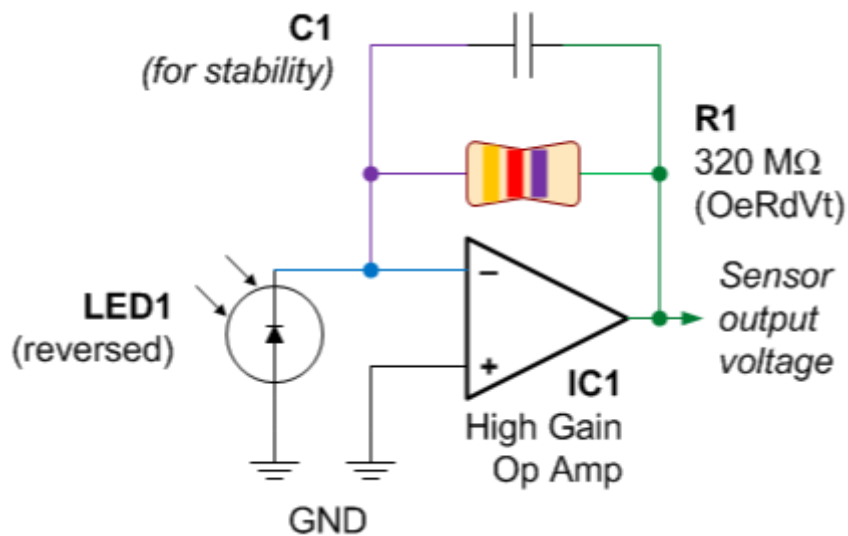
-
-

- **Exemple 1 : Mesure de Température (Thermistance)**



- 1.
- 2.
3. **Grandeur Physique** : La température augmente.
4. **Changement de Propriété du Capteur** : La *résistance* électrique de la thermistance *diminue*.
5. **Signal Électrique** : En faisant passer un faible courant constant à travers la thermistance, la variation de résistance crée une **variation de tension** (selon la Loi d'Ohm : $V = I \times R$). Cette tension représente directement la température.

- **Exemple 2 : Mesure de Puissance Optique (Photodiode)**



- 1.
- 2.
3. **Grandeur Physique** : L'intensité lumineuse dans la fibre optique.
4. **Changement de Propriété du Capteur** : Les photons de lumière frappent la photodiode, générant des paires électron-trou.
5. **Signal Électrique** : Cette génération de porteurs de charge provoque l'apparition d'un **faible courant** (photocourant). L'amplitude de ce courant est proportionnelle à l'intensité lumineuse.

5. Résumé et Perspective

Points Clés à Retenir Aujourd'hui :

- La mesure est essentielle pour concevoir, maintenir et dépanner les systèmes de télécom.
- Tous les systèmes de mesure peuvent être modélisés avec trois blocs : **Capteur** → **Conditionnement du Signal** → **Sortie**.
- Un **capteur/transducteur** convertit une **grandeur physique** (comme le son ou la lumière) en un **signal électrique** (comme la tension ou le courant).

Prochaine Étape ?

Lors du prochain cours, nous commencerons à répondre à une question critique : "**Cette mesure est-elle de bonne qualité ?**" Nous explorerons les **caractéristiques statiques** des systèmes de mesure, notamment :

- **Justesse vs Fidélité** : Quelle est la différence ?
 - **Résolution** : Quel est le plus petit changement que le système peut détecter ?
 - **Étendue de Mesure et Linéarité** : Dans quelle mesure la sortie suit-elle l'entrée ?
-

6. Questions pour l'Étude Personnelle

Pour tester votre compréhension, essayez de répondre à ces questions :

1. Pour un smartphone, identifiez les capteurs impliqués dans la réalisation d'un appel vidéo et associez-les aux grandeurs physiques qu'ils mesurent.
2. Esquissez le schéma fonctionnel d'un système de mesure pour un routeur Wi-Fi qui mesure sa propre température interne pour éviter la surchauffe. Étiquetez chaque bloc et suggérez quel composant pourrait se trouver dans chacun.
3. Expliquez avec vos propres mots pourquoi le conditionnement du signal est une étape nécessaire dans la plupart des systèmes de mesure.

Références bibliographiques:

1. M. Grout et P. Saloun, "Instrumentation industrielle", édition Dunod, 2010.
2. G. Asch et al, "Acquisition de données: Du capteur à l'ordinateur", Editions Dunod.
3. K. Hoffmann, "An Introduction to Measurements using Strain Gages", 1987.
4. J. Fraden, "Handbook of modern sensors: physics, designs and applications", Springer
5. M. Ferretti, "Capteurs à fibres optiques", Techniques de l'ingénieur.
6. W. Nawrocki, "Measurement Systems and Sensors", Artech House, 2005.
7. F. Gardiol, "Hyperfréquences", Presses Polytechniques Romandes, 1996.