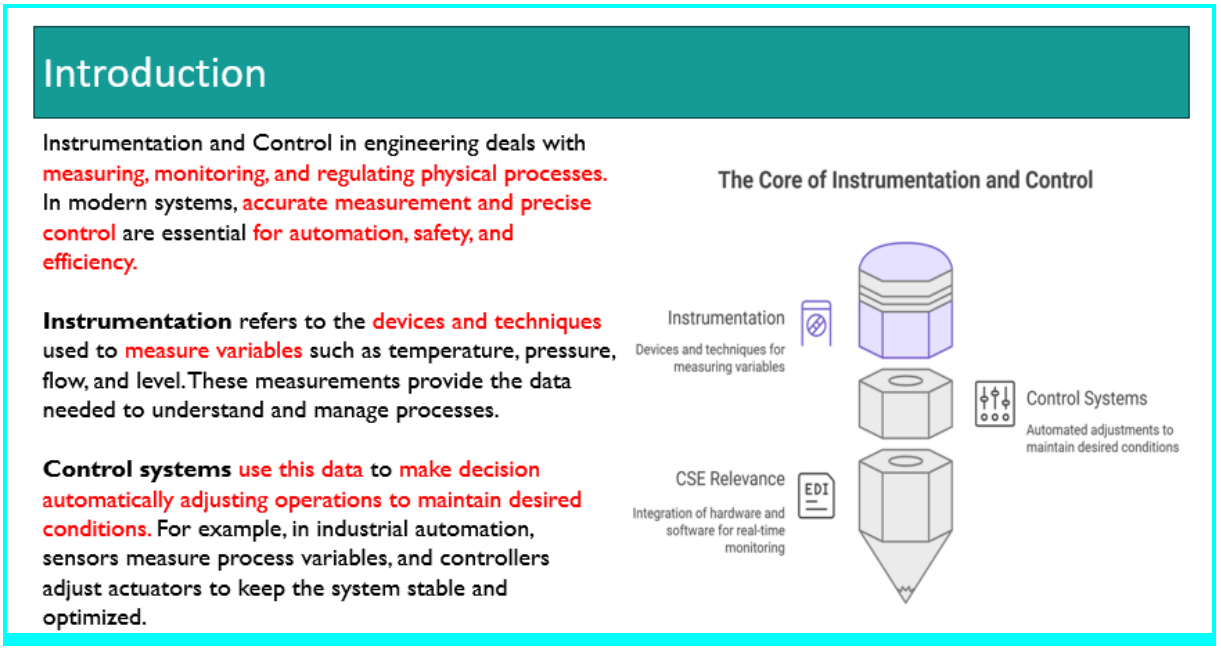
📚 Instrumentation & Control (CSE 325) — Lecture 01

সম্পূর্ণ বাংলা + English গাইড



🔷 TOPIC 1: Introduction — Instrumentation & Control কী?

মূল কথা (এক লাইনে)

Instrumentation and Control হলো — কোনো physical process কে মাপো **(measure)**, পর্যবেক্ষণ করো **(monitor)**, এবং নিয়ন্ত্রণ করো **(regulate)**।

Instrumentation কী?

Instrumentation মানে হলো — বিভিন্ন যন্ত্রপাতি ও কৌশল ব্যবহার করে physical variable গুলো পরিমাপ করা।

কোন কোন **variable** মাপা হয়?

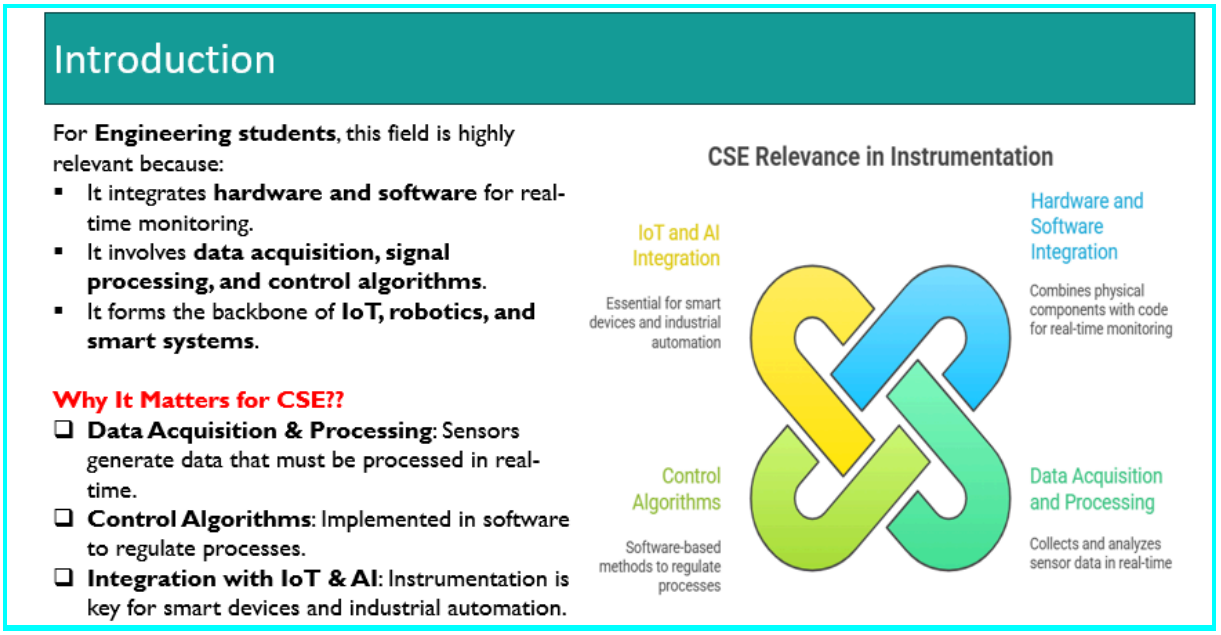
Variable	উদাহরণ
Temperature (তাপমাত্রা)	থার্মোমিটার
Pressure (চাপ)	Pressure gauge
Flow (প্রবাহ)	Flow meter
Level (স্তর)	Water level sensor

💡 সহজ কথায়: Instrumentation = "কতটুকু হচ্ছে" সেটা জানার ব্যবস্থা।

Control কী?

Control system হলো — Instrumentation থেকে পাওয়া data ব্যবহার করে স্বয়ংক্রিয়ভাবে সিদ্ধান্ত নেওয়া এবং system কে কাঙ্ক্ষিত অবস্থায় রাখা।

💡 উদাহরণ: Industrial automation এ sensor process variable মাপে, controller সেই data দেখে actuator কে adjust করে যাতে system stable থাকে।



CSE students দের জন্য এটা কেন দরকার?

কারণ	বিস্তারিত
Hardware + Software integration	Real-time monitoring এর জন্য দুটোই লাগে

Data acquisition	Sensor থেকে data সংগ্রহ ও process করা
Signal processing	Raw signal কে কাজের উপযোগী করা
Control algorithms	Process regulate করতে software algorithm লেখা
IoT & AI integration	Smart device ও automation এর মূল ভিত্তি

Applications of Measurement Systems

Applications are generally classified into three major classes:
1. Monitoring of processes and operations
2. Control of processes and operations
3. Experimental engineering analysis

🔷 TOPIC 2: Applications of Measurement Systems (পরিমাপ ব্যবস্থার ব্যবহার)

তিনটি প্রধান শ্রেণী

1. Monitoring of processes and operations
- measuring instrument is used to keep track of some quantity.
- e.g. thermometer, barometer, radar used by weather department
- e.g. water, gas, electric meters in home

📍 Class 1 — Monitoring of Processes and Operations (প্রক্রিয়া পর্যবেক্ষণ)

কী করে: শুধু কোনো quantity track করে রাখে। কোনো control করে না, শুধু দেখে।

উদাহরণ:

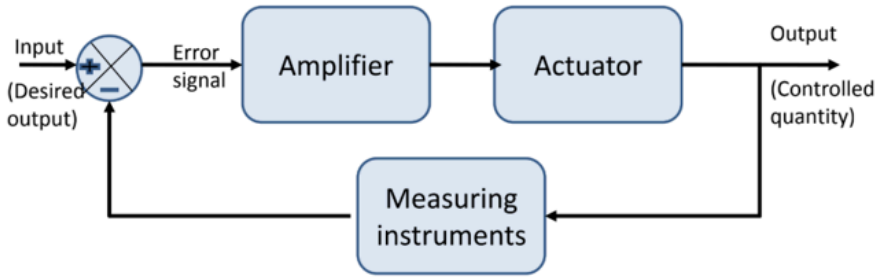
- থার্মোমিটার — তাপমাত্রা দেখে
- Barometer — বায়ুর চাপ দেখে
- Radar — আবহাওয়া বিভাগ ব্যবহার করে
- বাড়ির বিদ্যুৎ/গ্যাস/পানির মিটার — কতটুকু খরচ হচ্ছে track করে

💡 মনে রাখার উপায়: এটা শুধু "দেখে" — হস্তক্ষেপ করে না।

---

2. Control of processes and operations

- The most important class of measurement application (automatic control systems)
- Feedback control system:



📍 Class 2 — Control of Processes and Operations (প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ)

সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ **class**। এখানে measurement শুধু দেখার জন্য না — সেই measurement দিয়ে **automatic control** করা হয়।

এর মূল ধারণা হলো **Feedback Control System** (ফিডব্যাক নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা)।

Feedback Control System কীভাবে কাজ করে**?**

```
                    ┌──────────────────────────────┐
                    │                              ↓
[Desired Value] → [Controller] → [Actuator] → [Process/Plant]
                        ↑                          |
                        |                          ↓
                        └──────────[Sensor/Feedback]┘
```

ধাপগুলো:

ধাপ	কী হয়	উদাহরণ
১. Desired value set করা	কী চাই তা ঠিক করা	Room temperature 25°C রাখতে চাই
২. Sensor মাপে	বর্তমান অবস্থা জানা	এখন 30°C আছে
৩. Controller সিদ্ধান্ত নেয়	পার্থক্য দেখে কী করতে হবে	AC চালু করো
৪. Actuator কাজ করে	সিদ্ধান্ত বাস্তবায়ন	AC ঠান্ডা বাতাস দেয়
৫. আবার মাপা হয়	Feedback loop চলতে থাকে	এখন 25°C হয়েছে — AC বন্ধ

💡 **Real life** উদাহরণ: AC thermostat, গাড়ির cruise control, ইন্ডাস্ট্রিয়াল boiler control।

Applications of Measurement Systems

3. Experimental engineering analysis
- Part of engineering design, development and research
- two basic ways of solving engineering problems: Theory and Experimentation
- Most problems require blend of theory and experiment

- For example,
• Experimental validation of theoretical prediction/simulation
• Formulation of empirical equations

📍 **Class 3 — Experimental Engineering Analysis (পরীক্ষামূলক প্রকৌশল বিশ্লেষণ)**

কী করে: Engineering design, research ও development এর অংশ হিসেবে measurement ব্যবহার হয়।

দুটো উপায়ে **engineering** সমস্যা সমাধান করা যায়:

- **Theory (তত্ত্ব)** — গাণিতিক সমীকরণ দিয়ে
- **Experimentation (পরীক্ষা)** — বাস্তবে করে দেখা

💡 বেশিরভাগ সমস্যায় দুটোর মিশ্রণ লাগে।

উদাহরণ:

- Theoretical simulation করার পর experimental validation করা
- Empirical equations তৈরি করা (পরীক্ষার data থেকে সূত্র বের করা)

Functional Elements of a Measurement System

Generally, measurement systems contain three functional elements:
1. Primary sensing element
2. Signal conditioning element and
3. Data presentation element

Each element is made up of a distinct component or a group of components which perform the required function

1. **Primary sensing element**
Variously known as detector/sensor or transducer

2. **Signal conditioning element**
- sometimes, the raw signal output from the sensor is not suited to the desired performance of the system
- For example: filtering noise, amplifying signal and A/D conversion
- Many instruments do not need any signal conditioning element

🔷 TOPIC 3: Functional Elements of a

Measurement System (পরিমাপ ব্যবস্থার কার্যকরী উপাদান)

তিনটি মূল উপাদান

```
[Physical Variable]
        ↓
[1. Primary Sensing Element] → Signal তৈরি হয়
        ↓
[2. Signal Conditioning Element] → Signal উপযুক্ত করা হয়
        ↓
[3. Data Presentation Element] → Result দেখানো হয়
        ↓
[User / Control System]
```

🔧 উপাদান ১ — Primary Sensing Element (প্রাথমিক সংবেদন উপাদান)

অন্য নাম: Detector, Sensor, Transducer

কী করে: Physical variable (যেমন তাপমাত্রা, চাপ) সরাসরি অনুভব করে এবং সেটাকে একটা signal এ convert করে।

উদাহরণ:

- থার্মোকাপল — তাপমাত্রা → voltage
- Pressure sensor — চাপ → electrical signal
- Microphone — sound → electrical signal

🔧 উপাদান ২ — Signal Conditioning Element (সংকেত পরিশোধন উপাদান)

কী করে: Sensor এর raw signal অনেক সময় সরাসরি ব্যবহারের উপযুক্ত থাকে না। এই element সেটাকে ঠিক করে।

কী ধরনের কাজ করে:

কাজ	কেন লাগে
Filtering (ফিল্টারিং)	Noise (অযাচিত সংকেত) বাদ দেওয়া
Amplifying (বিবর্ধন)	Signal খুব দুর্বল হলে বড় করা
A/D Conversion	Analog signal কে digital এ রূপান্তর

💡 গুরুত্বপূর্ণ: অনেক instrument এ signal conditioning লাগে না — সরাসরি কাজ করে।

Functional Elements of a Measurement System

3. Data presentation element

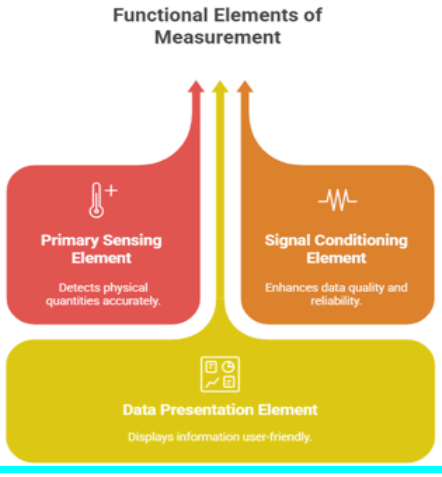
- The quantity under measurement has to be conveyed to a personnel or to the system for monitoring, control, or analyses purposes.

- The data conveyed must be intelligible to the personnel/system

- manual monitoring: visual display (LED/LCD, pointer etc)

- recording: magnetic tape, printers, computer etc

- control and analysis: computer, microcontroller

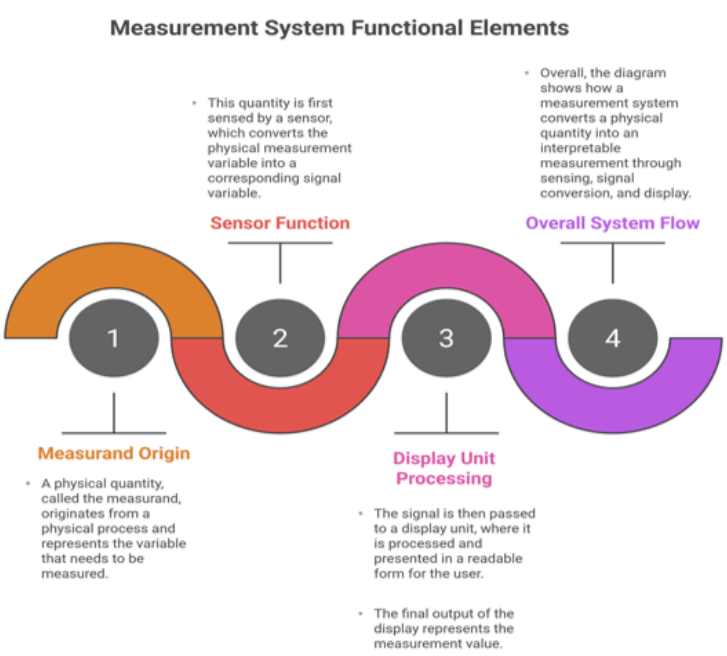


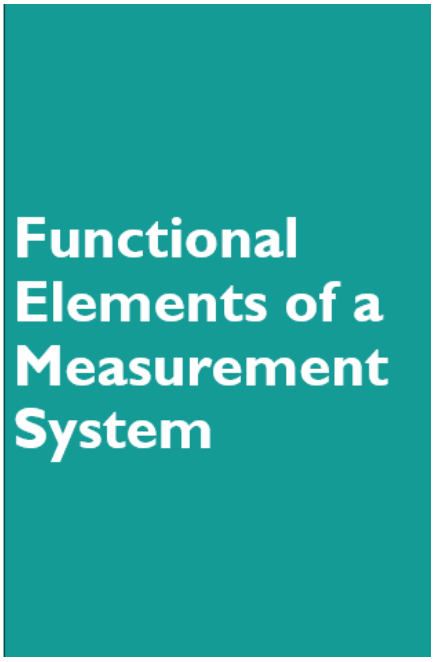
🔧 উপাদান ৩ — Data Presentation Element (তথ্য উপস্থাপন উপাদান)

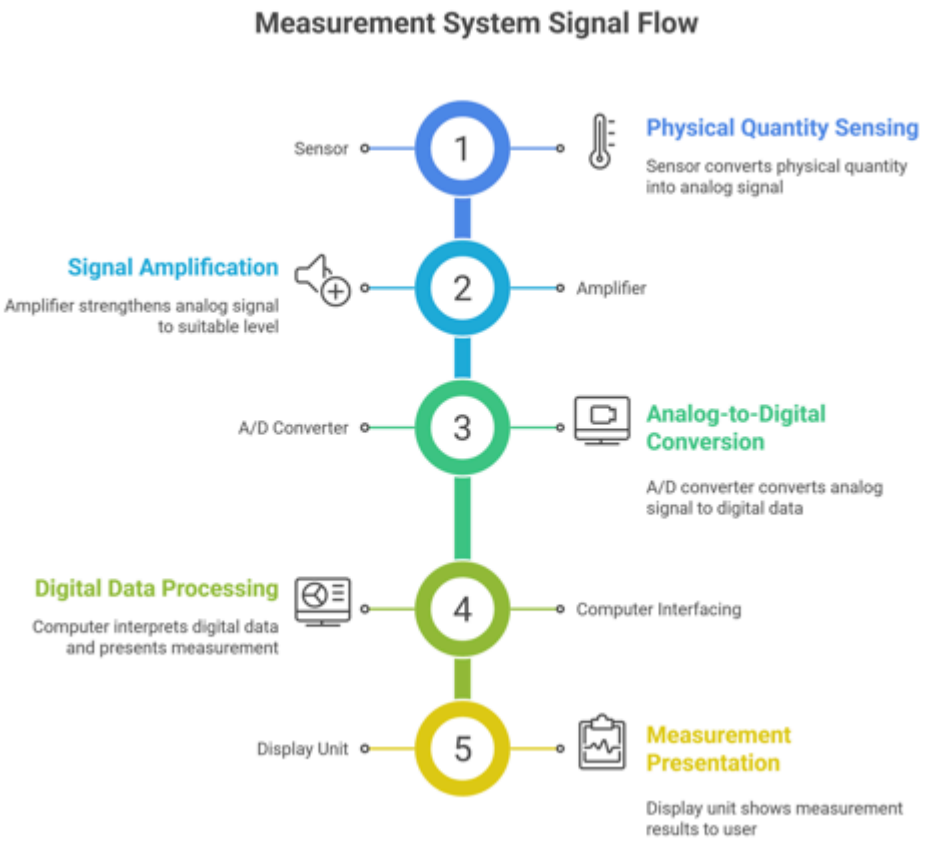
কী করে: পরিমাপ করা quantity কে মানুষ বা system এর কাছে বোধগম্যভাবে পৌঁছে দেয়।

তিন ধরনের **presentation:**

ধরন	উপকরণ	উদাহরণ
Manual monitoring	Visual display	LED, LCD, pointer/কাঁটা
Recording	Storage device	Magnetic tape, printer, computer
Control & Analysis	Processing unit	Microcontroller, computer







ছবিতে একটি **Measurement System** (পরিমাপক ব্যবস্থা)-এর ভেতরের সিগন্যাল কীভাবে এক ধাপ থেকে অন্য ধাপে প্রবাহিত হয় (**Measurement System Signal Flow**), তা দেখানো হয়েছে।

সহজ বাংলায় এই ৫টি ধাপ নিচে বুঝিয়ে দেওয়া হলো:

১. Physical Quantity Sensing (ভৌত রাশি অনুধাবন)

- কাজ: এটি সিস্টেমের প্রথম ধাপ, যা **Sensor** (সেন্সর) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।
- সহজ কথা: আমাদের চারপাশের যেকোনো ভৌত রাশি (যেমন: তাপমাত্রা, চাপ বা আর্দ্রতা) সেন্সর প্রথমে বুঝতে পারে এবং সেটিকে একটি **Analog Signal** বা অ্যানালগ সংকেতে (যেমন: সামান্য ভোল্টেজ বা কারেন্ট) রূপান্তর করে।
- **Radio-Frequency Identification** (রেডিও-ফ্রিকোয়েন্সি আইডেন্টিফিকেশন)।

২. Signal Amplification (সংকেত বর্ধিতকরণ)

- কাজ: এই ধাপে একটি **Amplifier** (অ্যাম্প্লিফায়ার) ব্যবহার করা হয়।
- সহজ কথা: সেন্সর থেকে পাওয়া অ্যানালগ সিগন্যালটি সাধারণত খুবই দুর্বল থাকে। অ্যাম্প্লিফায়ার সেই দুর্বল সিগন্যালটিকে শক্তিশালী করে একটি উপযুক্ত বা পরিমাপযোগ্য স্তরে (suitable level) নিয়ে আসে।

৩. Analog-to-Digital Conversion (অ্যানালগ থেকে ডিজিটালে রূপান্তর)

- কাজ: এই ধাপটি সম্পন্ন করে **A/D Converter** (এনালগ-টু-ডিজিটাল কনভার্টার)।

- সহজ কথা: আমাদের কম্পিউটার বা ডিজিটাল ডিভাইসগুলো অ্যানালগ সিগন্যাল সরাসরি বুঝতে পারে না। তাই এই কনভার্টারটি অ্যানালগ সিগন্যালকে ডিজিটাল ডাটায় (০ এবং ১ এর বাইনারি কোডে) রূপান্তর করে।

৪. Digital Data Processing (ডিজিটাল ডাটা প্রসেসিং)

- কাজ: এটি **Computer Interfacing**-এর মাধ্যমে কম্পিউটারে ঘটে।
- সহজ কথা: রূপান্তরিত ডিজিটাল ডাটা বা ইনফরমেশন কম্পিউটার গ্রহণ করে। এরপর কম্পিউটার ডাটাটিকে বিশ্লেষণ (interpret) করে এবং প্রয়োজনীয় হিসাব-নিকাশ সম্পন্ন করে পরিমাপের চূড়ান্ত রূপ তৈরি করে।

৫. Measurement Presentation (পরিমাপ প্রদর্শন)

- কাজ: এটি সিস্টেমের শেষ ধাপ, যা **Display Unit** (ডিসপ্লে ইউনিট বা মনিটর) এর মাধ্যমে সম্পন্ন হয়।
- সহজ কথা: সবশেষে, কম্পিউটার থেকে প্রাপ্ত চূড়ান্ত ফলাফল বা পরিমাপটি ডিসপ্লে স্ক্রিনে ফুটিয়ে তোলা হয়, যাতে ব্যবহারকারী (User) সহজেই রিডিংটি দেখে বুঝতে পারেন।

কোনো পরিমাপক যন্ত্র (যেমন: ডিজিটাল থার্মোমিটার) ঠিক এই ৫টি ধাপের মাধ্যমেই নিখুঁতভাবে কাজ করে থাকে।

Important Terminologies

Active Sensors
Active sensors **send out their own energy** (like a signal or wave) toward an object and then **measure the energy that comes back** after hitting it.
•They work at **day or night even in cloudy or dark conditions.** Common in radar and laser systems
Example:
Radar sends radio waves to the Earth and measures the reflected waves to detect objects or land features.

Passive Sensors
Passive sensors **do not send out energy**. They only **detect natural energy** coming from objects, usually **sunlight reflected** or **heat emitted**.
•Very common in cameras and satellites
Example:
A satellite camera that captures images using sunlight reflected from Earth.

🔷 TOPIC 4: Important Terminologies (গুরুত্বপূর্ণ পরিভাষা)

Active Sensors (সক্রিয় সেন্সর)

সংজ্ঞা: Active sensors নিজেরাই **energy** (শক্তি) পাঠায় — যেমন signal বা wave — এবং সেটা object এ লেগে ফিরে আসলে পরিমাপ করে।

বৈশিষ্ট্য:

- দিনে বা রাতে, মেঘলা বা অন্ধকারে — সব সময় কাজ করে
- Radar ও laser system এ বেশি ব্যবহার হয়

উদাহরণ:

> Radar — radio wave পাঠায় পৃথিবীর দিকে, ফিরে আসা wave মেপে object বা ভূমির বৈশিষ্ট্য জানা যায়।

Passive Sensors (নিষ্ক্রিয় সেন্সর)

সংজ্ঞা: Passive sensors নিজে কোনো energy পাঠায় না। শুধু object থেকে স্বাভাবিকভাবে আসা **energy** (সূর্যের আলো বা তাপ) detect করে।

বৈশিষ্ট্য:

- Camera ও satellite এ সবচেয়ে বেশি ব্যবহার হয়

উদাহরণ:

> Satellite camera — পৃথিবী থেকে reflected sunlight ব্যবহার করে ছবি তোলে।

১. Active Sensor (অ্যাক্টিভ সেন্সর) — ৫টি সহজ নাম

- **Ultrasonic (আল্ট্রাসনিক):** এটি শব্দ দিয়ে দূরত্ব মাপে।
- **Radar (রাডার):** এটি রেডিও তরঙ্গ দিয়ে উড়োজাহাজ বা গাড়ি খোঁজে।
- **LiDAR (লিডার):** এটি লেজার লাইট দিয়ে চারপাশের ম্যাপ বানায়।
- **Sonar (সোনার):** এটি পানির নিচে সাবমেরিন বা মাছের অবস্থান খোঁজে।
- **Laser Sensor (লেজার সেন্সর):** এটি লেজার রশ্মি দিয়ে নিখুঁত দূরত্ব মাপে।

২. Passive Sensor (প্যাসিভ সেন্সর) — ৫টি সহজ নাম

- **LDR (এল-ডি-আর):** এটি আলো কম-বেশি হলে কাজ করে (Light Sensor)।
- **PIR (পি-আই-আর):** এটি মানুষের শরীরের তাপ বা নড়াচড়া ধরে ফেলে (Motion Sensor)।
- **Thermocouple (থার্মোকাপল):** এটি বাইরের তাপ দিয়ে নিজেই কারেন্ট তৈরি করে (Heat Sensor)।
- **Microphone (মাইক্রোফোন):** এটি আমাদের গলার আওয়াজ বা শব্দ গ্রহণ করে (Sound Sensor)।
- **Photodiode (ফটোডায়োড):** এটি আলো পড়লে সিগন্যাল দেয়।

Active Sensor

Definition: A sensor that requires an **external power source** (like a battery or voltage supply) to operate and generate its output signal.

- **Example: Ultrasonic Distance Sensor** or **Radar**, which must actively emit a wave to measure the reflection.

Active Sensors
Active sensors **send out their own energy** (like a signal or wave) toward an object and then **measure the energy that comes back** after hitting it.
•They work at **day or night even in cloudy or dark conditions.** Common in radar and laser systems
Example:
Radar sends radio waves to the Earth and measures the reflected waves to detect objects or land features.

Passive Sensor

Definition: A sensor that does not require any external power source to operate; it directly detects and absorbs **natural energy** from the environment.

- **Example: LDR (Light Dependent Resistor)** or **Thermocouple**, which naturally reacts to light/heat changes on its own.

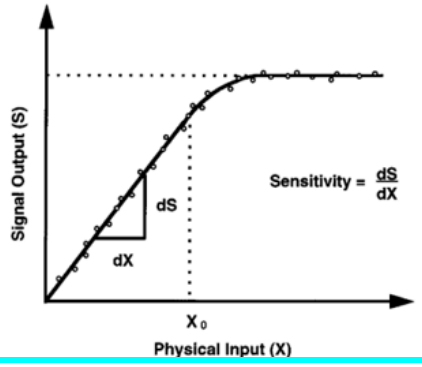
Passive Sensors
Passive sensors **do not send out energy**. They only **detect natural energy** coming from objects, usually **sunlight reflected** or **heat emitted**.
•Very common in cameras and satellites
Example:
A satellite camera that captures images using sunlight reflected from Earth.

Active vs Passive — পার্থক্য এক নজরে

বিষয়	Active Sensor	Passive Sensor
নিজে energy পাঠায়?	✅ হ্যাঁ	❌ না
রাতে কাজ করে?	✅ হ্যাঁ	❌ সাধারণত না
উদাহরণ	Radar, Lidar, Sonar	Camera, Infrared thermometer

Calibration: The relationship between the physical measurement variable (input) and the signal variable (output) for a specific sensor is known as the calibration of the sensor. Typically, a sensor (or an entire instrument system) is calibrated by providing a known physical input to the system and recording the output.

Calibration Curve:



Sensitivity: Ratio of output signal or response of the instrument to a change of input or measured variable

Calibration (ক্যালিব্রেশন)

সংজ্ঞা: Sensor এর **input (physical variable)** এবং **output (signal)** এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করাকে Calibration বলে।

কীভাবে করা হয়**?**

- একটা known (জানা) physical input দেওয়া হয়
- সেই সময় sensor এর output record করা হয়
- এভাবে একটা **calibration curve** তৈরি হয়

Calibration Curve কী? এটা একটা graph যেখানে X-axis এ input আর Y-axis এ output থাকে। এই curve দেখে যেকোনো output দিলে input কত ছিল বোঝা যায়। "A **calibration curve** is a graph that shows the relationship between a **known concentration or standard value** of a substance (the independent variable) and the **measured response or signal** produced by an instrument (the dependent variable)."

> 💡 উদাহরণ: থার্মোমিটার calibrate করতে — বরফের পানিতে রাখলে 0°C হওয়া উচিত, ফুটন্ত পানিতে 100°C — এটাই calibration।

Sensitivity (সংবেদনশীলতা)

সংজ্ঞা:

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{Output signal এ পরিবর্তন}}{\text{Input variable এ পরিবর্তন}}$$

সহজ কথায়: Input একটু বদলালে output কতটুকু বদলায় — সেটাই sensitivity।

উদাহরণ:

- একটা thermometer এ 1°C temperature বাড়লে যদি pointer 2mm নড়ে → sensitivity = 2 mm/°C
- Sensitivity বেশি মানে sensor বেশি সূক্ষ্ম পরিবর্তন ধরতে পারে

"Sensitivity is the ratio of the change in output to the change in input."

Alternative Easiest Version:

> **"Sensitivity is the measure of how much the output changes when the input changes slightly.**

Types of Errors

Gross errors: largely human errors, e.g. misreading, incorrect adjustment and improper application of instruments.

Systematic errors (bias): shortcomings of the instruments, e.g.effects of environment (temperature, humidity etc) on the instrument, change in instrument response due to aging.
Way to reduce:
- Use of compensation can reduce/remove some systematic error
- periodic recalibration can prevent systematic error

Random error (noise): caused by the noise introduced during the measurement process and random variation of input itself
Way to reduce:
- taking a large number of readings and averaging them can reduce the effect of noise

🔷 TOPIC 5: Types of Errors (ত্রুটির প্রকারভেদ)

পরিমাপে তিন ধরনের error হয়:

১. Gross Errors (স্থূল ত্রুটি)

কারণ: মানুষের ভুল — human errors

উদাহরণ:

- Scale ভুল পড়া (misreading)
- Instrument ভুলভাবে set করা
- ভুল instrument ব্যবহার করা

💡 মনে রাখো: Gross error সবসময় মানুষের কারণে হয়।

২. Systematic Errors / Bias (পদ্ধতিগত ত্রুটি)

কারণ: Instrument এর নিজের সমস্যা, limitations or shortcomings of instrument

উদাহরণ:

- Environment এর প্রভাব — temperature, humidity বদলে গেলে instrument ও বদলে যায়
- Instrument পুরনো হলে (aging) response বদলে যায়

কমানোর উপায়:

- **Compensation** ব্যবহার করলে কিছুটা কমানো যায়
- **Periodic recalibration** — নিয়মিত calibrate করলে prevent করা যায়

---

৩. Random Errors / Noise (দৈব ত্রুটি)

কারণ: Measurement process এ noise বা input এর random variation

বৈশিষ্ট্য: এটা predict করা যায় না — কখনো বেশি কখনো কম হয়।

কমানোর উপায়:

- অনেকবার মাপো এবং **average** নাও — noise random হওয়ায় average নিলে cancel হয়ে যায়

তিন ধরনের **Error —** তুলনামূলক চিত্র

Error	কারণ	কমানোর উপায়
Gross	মানুষের ভুল	সাবধানে কাজ করা
Systematic	Instrument এর সমস্যা	Compensation, Recalibration
Random	Noise ও random variation	বারবার মেপে average নেওয়া

---

1. Gross Error

Definition: Gross errors are caused entirely by **human mistakes** in reading instruments, recording data, or using the wrong settings.

- **In short:** It is due to human carelessness or oversight.
- **Examples:** * Reading 21.5 V instead of 25.1 V (parallax error or reading mistake).
    - Forgetting to set a multirange meter to the correct scale before measuring.

2. Systematic Error

Definition: Systematic errors are consistent, predictable errors that occur due to **faulty equipment, environmental changes, or flawed experimental setups**.

- **In short:** The error always happens in the same direction (either always too high or always too low).
- **Examples:**
    - **Instrumental Error:** A voltmeter has a worn-out spring inside, so it always reads 1 V higher than the actual value.
    - **Environmental Error:** High temperatures or humidity changing the internal resistance of your circuit.

3. Bias Error

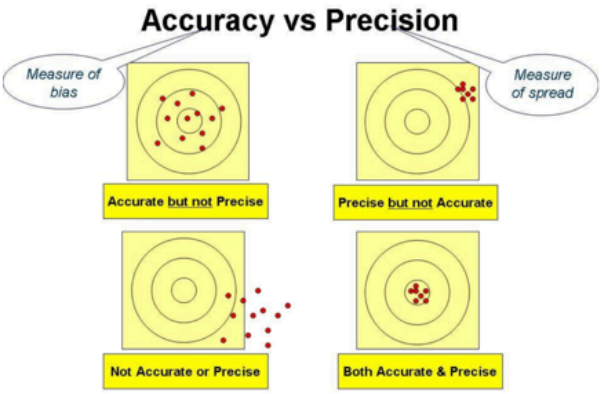
Definition: Bias error is a specific type of systematic error where the measurement is **consistently shifted or skewed** away from the true value by a fixed amount.

- **In short:** It is a constant offset or "one-sided" error built into the system.
- **Examples:**
    - **Zero Error:** A weighing scale that reads 0.5 kg even when there is nothing placed on it. Every measurement taken on this scale will be biased by adding an extra 0.5 kg.

Accuracy Vs Precision

Accuracy: Closeness with which an instrument reading approaches the true value of the variable.
- It is affected by the systematic error (bias) of the instrument
= true value – statistical mean of the measurements

Precision: A measure of the reproducibility (or spread) of the measurements. It is a measure of the degree to which successive measurements differ from one another.
- It is affected by the random error (noise) of the instrument
= standard deviation (σ) of the measurement



🔷 TOPIC 6: Accuracy vs Precision (নির্ভুলতা বনাম সুক্ষ্মতা)

এই দুটো শব্দ অনেকেই গুলিয়ে ফেলে — কিন্তু এরা সম্পূর্ণ আলাদা।

Accuracy (নির্ভুলতা)

সংজ্ঞা: Instrument এর reading কতটা সত্যিকারের মানের **(true value)** কাছাকাছি।

Accuracy = True Value − Statistical Mean of Measurements

প্রভাবিত করে: Systematic Error (Bias)

> 💡 উদাহরণ: যদি সত্যিকারের temperature 100°C হয় কিন্তু thermometer সবসময় 98°C দেখায় — তাহলে accuracy কম।

Precision (সুক্ষ্মতা)

সংজ্ঞা: পরপর measurement গুলো একে অপরের থেকে কতটুকু ভিন্ন — মানে reproducibility।

Precision = Standard Deviation (σ) of the measurements

প্রভাবিত করে: Random Error (Noise)

💡 উদাহরণ: যদি বারবার মাপলে 98.1°C, 97.9°C, 98.0°C পাই — এগুলো কাছাকাছি, তাই precision বেশি।

সবচেয়ে সহজ বোঝার উপায় — দার্টবোর্ড (Dartboard) উদাহরণ

লক্ষ্য = বোর্ডের কেন্দ্র (True Value)

পরিস্থিতি	ছবি	মানে
Accurate & Precise	সব dart কেন্দ্রে	Systematic error নেই, Random error নেই ✅
Precise but NOT Accurate	সব dart এক জায়গায় কিন্তু কেন্দ্রে না	Bias আছে, কিন্তু consistent
Accurate but NOT Precise	Dart গুলো চারদিকে কিন্তু কেন্দ্রের কাছে average	No bias, কিন্তু বেশি noise
Neither Accurate nor Precise	Dart সব জায়গায় ছড়ানো	সবচেয়ে খারাপ

Accuracy vs Precision — তুলনামূলক সারণী

বিষয়	**Accuracy**	**Precision**
সংজ্ঞা	True value এর কাছাকাছি কিনা	Measurements কতটা consistent
মাপা হয়	True value − Mean	Standard deviation (σ)
প্রভাবিত করে	Systematic error	Random error
উদাহরণ	Calibrated thermometer	Repeated stable readings

Here are the easiest, exam-focused English definitions for **Accuracy** and **Precision** (perfect for 1–2 marks):

Accuracy

Definition: Accuracy is the closeness of a measured value to the **true or actual value**.

- **In short:** It tells you how **correct** your measurement is.
- **Example:** If your actual weight is 60 kg and the scale reads 59.9 kg, the scale is highly accurate.

Precision: A measure of the reproducibility (or spread) of the measurements. It is a measure of the degree to which successive measurements differ from one another.
- It is affected by the random error (noise) of the instrument
= standard deviation (σ) of the measurement

Precision

Definition: Precision is the closeness of **two or more measurements** to each other when **repeated under the same conditions.**

- **In short:** It tells you how **consistent** or repeatable your measurements are (regardless of whether they are correct or not).
- **Example:** If you weigh yourself three times and the scale reads 65.1 kg, 65.2 kg, and 65.1 kg, the scale is highly precise (even if your true weight is 60 kg).

The Dartboard Example to remember forever:

- **Accurate and Precise:** All darts hit the center bullseye together.
- **Precise but Not Accurate:** All darts hit the exact same spot, but far away from the bullseye.
- **Accurate but Not Precise:** The darts are scattered around the bullseye but not close to each other.

Accuracy is the closeness of a measurement to its true or actual value

Precision is the **reproducibility** of measurements when repeated under the same conditions

📌 Quiz এর জন্য Short Questions (৫ marks × ৫টা)

এই প্রশ্নগুলো আসতে পারে এবং এভাবে উত্তর দিলে full marks পাবে:

Q1: Instrumentation and Control কী? (What is Instrumentation and Control?)

> Instrumentation and Control হলো physical processes কে measure, monitor এবং regulate করার বিজ্ঞান। Instrumentation যন্ত্রপাতি দিয়ে temperature, pressure, flow, level ইত্যাদি মাপে। Control system সেই data দিয়ে automatically process regulate করে desired condition বজায় রাখে।

Q2: Active ও Passive sensor এর পার্থক্য কী?

Active sensor নিজে energy (signal/wave) পাঠায় এবং reflected energy মাপে — যেমন Radar। রাতেও কাজ করে। Passive sensor নিজে energy পাঠায় না, শুধু object থেকে স্বাভাবিকভাবে আসা energy (যেমন sunlight) detect করে — যেমন satellite camera।

Q3: Accuracy ও Precision এর মধ্যে পার্থক্য কী?

Accuracy হলো measurement কতটা true value এর কাছাকাছি — systematic error দ্বারা প্রভাবিত। Precision হলো repeated measurements কতটা consistent — random error দ্বারা প্রভাবিত। একটা instrument accurate কিন্তু imprecise হতে পারে, বা precise কিন্তু inaccurate হতে পারে।

Q4: Calibration কী?

Calibration হলো একটা sensor এর physical input এবং signal output এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করার প্রক্রিয়া। Known input দিয়ে output রেকর্ড করে calibration curve তৈরি করা হয়।

Q5: Measurement system এর functional elements কী কী?

তিনটি — (১) Primary Sensing Element: physical variable detect করে signal তৈরি করে, (২) Signal Conditioning Element: signal কে filter, amplify বা convert করে, (৩) Data Presentation Element: result কে মানুষ বা system এর কাছে বোধগম্যভাবে উপস্থাপন করে।

📌 Mid এর জন্য বড় প্রশ্ন (৫ marks)

"Measurement system এর applications বিস্তারিত আলোচনা করো।" বা **"Functional elements বর্ণনা করো।"**

এই দুটোর যেকোনো একটা আসলে উপরের TOPIC 2 ও TOPIC 3 থেকে বিস্তারিত লেখো — diagram সহ লিখলে বেশি marks পাবে।

🎯 সব Topic এক নজরে (Revision চার্ট)

Topic	মূল কথা
Instrumentation	Physical variable মাপার যন্ত্র ও কৌশল
Control	Measurement দিয়ে process automatic control
Monitoring	শুধু track করা, control না
Feedback Control	Sensor → Controller → Actuator → Process → আবার Sensor
Experimental Analysis	Theory + Experiment মিলিয়ে সমস্যা সমাধান
Primary Sensing Element	Physical variable → Signal
Signal Conditioning	Filter + Amplify + A/D convert
Data Presentation	LED/LCD, Printer, Computer
Active Sensor	নিজে energy পাঠায় (Radar)
Passive Sensor	শুধু detect করে (Camera)
Calibration	Known input → Output record → Curve
Sensitivity	Output change ÷ Input change
Gross Error	মানুষের ভুল
Systematic Error	Instrument এর সমস্যা → Recalibrate করলে ঠিক
Random Error	Noise → Average নিলে কমে
Accuracy	True value এর কাছাকাছি (Systematic error)
Precision	Readings consistent (Random error)

Lecture 01

Question 1 (5 Marks)

Identify and briefly explain the three major classes of applications for measurement systems.

Answer (Write in Exam):

The three major classes of applications for measurement systems are:

1. Monitoring Applications

These systems continuously observe and record the value of physical variables without directly affecting the process. Their main purpose is to provide information about the system's condition.

Example: Temperature monitoring in a power plant.

2. Control Applications

In control applications, measurement systems provide feedback information that is used to regulate and control a process automatically.

Example: Automatic temperature control in an air conditioner.

3. Experimental Engineering Analysis

These applications involve measuring various parameters during experiments and research to analyze system behavior and improve designs.

Example: Measuring stress and strain during material testing.

Conclusion:

Measurement systems are mainly used for monitoring, controlling, and analyzing engineering processes.

বাংলায় বুঝার জন্য:

- **Monitoring** = শুধু পর্যবেক্ষণ করা।
- **Control** = পরিমাপ করে সিস্টেমকে নিয়ন্ত্রণ করা।
- **Experimental Analysis** = গবেষণা ও পরীক্ষার জন্য তথ্য সংগ্রহ করা।

Question 2 (5 Marks)

List the three core functional elements of a measurement system and describe the primary purpose of each element.

Answer (Write in Exam):

The three core functional elements of a measurement system are:

1. Sensor (Primary Sensing Element)

The sensor detects the physical quantity being measured and converts it into a usable signal.

2. Signal Conditioning Element

This element modifies, amplifies, filters, or converts the sensor output into a suitable form for further processing.

3. Data Presentation Element

This element displays, records, or stores the measured information for the user.

Conclusion:

A measurement system consists of a sensor for detection, signal conditioning for processing, and a data presentation unit for displaying results.

বাংলায় বুঝার জন্য:

- **Sensor** = তথ্য সংগ্রহ করে।
- **Signal Conditioning** = তথ্যকে ব্যবহারযোগ্য করে।
- **Data Presentation** = ফলাফল দেখায়।

Question 3 (1 Mark)

Why do raw sensor outputs often require a signal conditioning element? Give two examples of signal conditioning processes.

Answer (Write in Exam):

Raw sensor outputs are often weak, noisy, or incompatible with measuring instruments; therefore, signal conditioning is required to make the signal suitable for processing and measurement.

Examples:

- Amplification
- Filtering

বাংলায় বুঝার জন্য:
Sensor থেকে আসা signal অনেক সময় দুর্বল বা noise যুক্ত থাকে, তাই সেটাকে ঠিক করার জন্য signal conditioning ব্যবহার করা হয়।

Question 4 (5 Marks)

Differentiate between active sensors and passive sensors, and provide a real-world example of each.

Answer (Write in Exam):

Active Sensor	Passive Sensor
Generates its own electrical output signal without external power.	Requires external power to produce an output signal.
Converts physical energy directly into electrical energy.	Modifies an externally supplied electrical signal.
Example: Thermocouple	Example: Strain Gauge

Conclusion:

Active sensors are self-generating, whereas passive sensors require external excitation.

বাংলায় বুঝার জন্য:

- **Active Sensor** = নিজে থেকেই output দেয়।
- **Passive Sensor** = বাইরের power লাগে।

Question 5 (5 Marks)

What is meant by the "calibration" of a sensor, and what does a calibration curve represent?

Answer (Write in Exam):

Calibration is the process of comparing a sensor's output with a known standard input and adjusting the sensor to ensure accurate measurements.

A calibration curve is a graphical representation showing the relationship between the input quantity and the corresponding output of the sensor.

Calibration helps determine the accuracy, sensitivity, and operating characteristics of the sensor.

Example:

A thermometer is calibrated by comparing its readings with a standard temperature reference.

বাংলায় বুঝার জন্য:
Calibration মানে হলো sensor-এর output কে standard value-এর সাথে মিলিয়ে দেখা এবং প্রয়োজন হলে ঠিক করা। Calibration curve হলো input আর output-এর সম্পর্কের graph।

Question 6 (5 Marks)

Define gross errors and systematic errors. Provide one example and one mitigation method for each type of error.

Answer (Write in Exam):

Gross Errors

Gross errors are human mistakes occurring during measurement or data recording.

- **Example:** Recording a meter reading incorrectly.
- **Mitigation:** Careful observation and repeated measurements.

Systematic Errors

Systematic errors are consistent errors caused by faulty instruments, environmental effects, or improper calibration.

- **Example:** Zero error in an ammeter.
- **Mitigation:** Proper calibration and regular maintenance of instruments.

বাংলায় বুঝার জন্য:

- **Gross Error** = মানুষের ভুল।
- **Systematic Error** = যন্ত্র বা পরিবেশের কারণে বারবার একই ধরনের ভুল।

Question 7 (1 Mark)

What causes random errors (noise) in a measurement system, and what is the standard method used to minimize their effect?

Answer (Write in Exam):

Random errors are caused by unpredictable variations such as electrical noise, environmental disturbances, and component fluctuations.

The standard method to minimize random errors is to take multiple measurements and calculate their average value.

বাংলায় বুঝার জন্য:
Random error আসে noise বা পরিবেশগত পরিবর্তনের কারণে। এটি কমানোর উপায় হলো একাধিক measurement নিয়ে average করা।

Question 8 (5 Marks)

Distinguish clearly between accuracy and precision in measurement systems, detailing which type of error affects each property.

Answer (Write in Exam):

Accuracy	Precision
Accuracy refers to how close a measured value is to the true value.	Precision refers to how close repeated measurements are to each other.
It is mainly affected by systematic errors.	It is mainly affected by random errors.
High accuracy means low systematic error.	High precision means low random error.

Example:

A measurement system may produce readings that are very close to each other (high precision) but far from the true value (low accuracy).

Conclusion:

Accuracy measures correctness, whereas precision measures consistency.

বাংলায় বুঝার জন্য:

- **Accuracy** = আসল মানের কত কাছাকাছি।
- **Precision** = বারবার মাপলে একই রকম ফল পাওয়া।
- **Systematic Error** → **Accuracy** নষ্ট করে।
- **Random Error** → **Precision** নষ্ট করে।