📚 Instrumentation & Control (CSE 325) — Lecture 05

Transducers

Transduction:

The process of converting one form of energy into another.

Transducer:

The device that performs this conversion.

Why Use Electrical Transducers?

Most real-world parameters are non-electrical (e.g., pressure, temperature, displacement, force).

Electrical methods of measurement offer major advantages:

- Better sensitivity, accuracy, and speed
- Easier signal conditioning, amplification, and transmission

Electrical Transducer Definition

"A transducer is a device which, when actuated by energy in one form, produces an electrical output energy."

🔷 TOPIC 1: Transduction & Transducer কী?

Transduction (রূপান্তর প্রক্রিয়া)

সংজ্ঞা:

Transduction হলো এক ধরনের energy কে অন্য ধরনের energy তে রূপান্তর করার প্রক্রিয়া।

উদাহরণ:

- তাপ শক্তি (heat) → বৈদ্যুতিক শক্তি (electrical)
- চাপ (pressure) → বৈদ্যুতিক signal
- আলো (light) → voltage

Transducer (রূপান্তরক যন্ত্র)

সংজ্ঞা:

Transducer হলো সেই যন্ত্র যেটা এই রূপান্তর (transduction) সম্পন্ন করে।

Slide এর **Official Definition:**

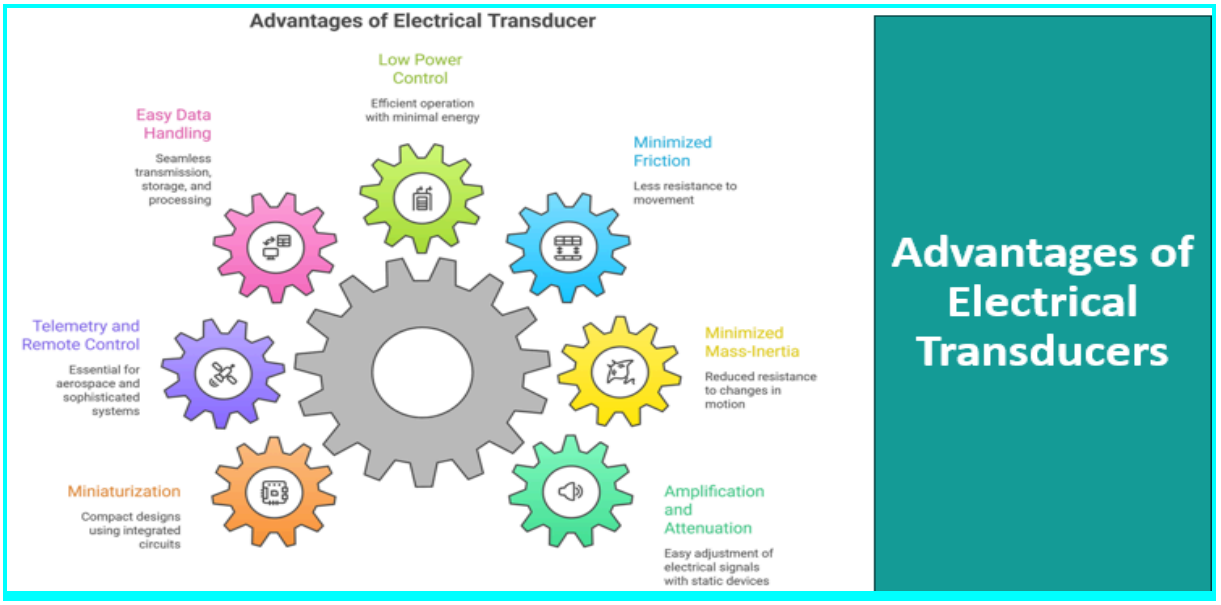
> *"A transducer is a device which, when actuated by energy in one form, produces an electrical output energy."* মানে — একটা form এর energy দিলে, electrical energy বের করে দেয়।

কেন **Electrical Transducer** ব্যবহার করা হয়?

বাস্তব জগতের বেশিরভাগ parameter — যেমন temperature, pressure, displacement, force — এগুলো **non-electrical**। কিন্তু এগুলো measure করতে electrical method ব্যবহার করা হয় কারণ:

সুবিধা	বিস্তারিত
Better Sensitivity (উচ্চ সংবেদনশীলতা)	খুব ছোট পরিবর্তনও ধরতে পারে
Better Accuracy (নির্ভুলতা)	Mechanical method এর চেয়ে অনেক বেশি accurate
Better Speed (গতি)	দ্রুত পরিবর্তন ধরতে পারে — millisecond এ response
Easier Signal Conditioning	Signal কে filter, amplify করা সহজ
Easier Amplification	Weak signal কে সহজে বড় করা যায়
Easier Transmission	দূরে wire বা wireless এ পাঠানো যায়

> 💡 সহজ কথায়: Mechanical method এ একটা কাঁটা নড়ে — চোখে দেখে পড়তে হয়। Electrical method এ signal computer এ যায়, record হয়, দূরে পাঠানো যায় — সব কিছু automatic।



Advantages of Electrical Transducer

1. Easy Data Handling

- **English:** The output of an electrical transducer is an electrical signal, which allows seamless transmission, storage, and processing of data using modern computers and digital systems.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** ইলেকট্রিক্যাল ট্রান্সডিউসারের আউটপুট যেহেতু ইলেকট্রিক্যাল সিগন্যাল (যেমন: ভোল্টেজ বা কারেন্ট), তাই এই ডেটা খুব সহজে এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় পাঠানো (transmission), মেমোরিতে জমা রাখা (storage) এবং প্রসেস করা যায়।

2. Low Power Control

- **English:** Electrical transducers require very little power or control signals to operate efficiently, ensuring minimal energy consumption.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** এগুলো চালানোর জন্য খুব সামান্য পরিমাণ ইলেকট্রিক্যাল পাওয়ার বা শক্তির প্রয়োজন হয়, যা শক্তির অপচয় কমায়।

3. Minimized Friction

- **English:** Unlike mechanical transducers, these devices have very few or no moving parts. This offers less resistance to movement and eliminates friction errors.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** মেকানিক্যাল ডিভাইসের মতো এখানে বেশি নড়াচড়া করা যন্ত্রাংশ থাকে না। ফলে ঘর্ষণ বা ফ্রিকশন খুব কম হয় এবং নির্ভুল রিডিং পাওয়া যায়।

4. Minimized Mass-Inertia

- **English:** Due to the absence of heavy mechanical components, they have reduced resistance to changes in motion (inertia effects), resulting in a very fast dynamic response.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** ভারী মেকানিক্যাল পার্টস না থাকায় এদের জড়তা (Mass-Inertia) অনেক কম থাকে। ফলে ইনপুটে সামান্য পরিবর্তন হলেই এরা খুব দ্রুত রেসপন্স করতে পারে।

5. Amplification and Attenuation

- **English:** Electrical signals can be easily amplified (increased) or attenuated (decreased) as per requirement using simple static devices like amplifiers.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** সিগন্যাল যদি খুব দুর্বল হয়, তবে অ্যামপ্লিফায়ার ব্যবহার করে খুব সহজেই সেটিকে শক্তিশালী (Amplification) করা যায়। আবার দরকার পড়লে কমিয়েও (Attenuation) ফেলা যায়।

6. Miniaturization

- **English:** Using Integrated Circuits (ICs) and micro-technology, these transducers can be designed in very compact and small sizes.
- বাংলা ব্যাখ্যা**:** ইন্টিগ্রেটেড সার্কিট বা আইসি (IC) প্রযুক্তির কল্যাণে এই ট্রান্সডিউসারগুলোকে আকারে অত্যন্ত ছোট ও কমপ্যাক্ট ডিজাইনে তৈরি করা সম্ভব।

7. Telemetry and Remote Control

- **English:** They can transmit signals over long distances, making them essential for aerospace, satellite communication, and sophisticated remote control systems.
- বাংলা ব্যাখ্যা: ইলেকট্রিক্যাল সিগন্যালকে তার বা তারবিহীন উপায়ে দূর-দূরান্তে পাঠানো যায়। একারণে মহাকাশ গবেষণা (Aerospace) এবং দূর থেকে কোনো সিস্টেম নিয়ন্ত্রণ করার জন্য (Remote control) এগুলো অপরিহার্য।

Classification of Transducers

A classification can be done based on the electrical circuit parameter that is meant to be changed due to the presence of the physical parameter to be measured:

1. Resistance
2. Capacitance
3. Inductance
4. Voltage and Current

Primary transducers

Transducers that sense a physical phenomenon at the first stage of detection; e.g. thermocouple

Secondary transducers

The physical phenomenon is first sensed by a non-electrical transducer. It's output is then converted into an electrical signal by an electrical transducer. This second transducer is called secondary transducer.
For example: in one type of pressure meter, **Stage 01: Bourdon Tube → Input**: Pressure (non-electrical) and **Output**: Mechanical displacement
Stage 02: Secondary Transducer – Electrical Sensing → Input: Mechanical displacement from Bourdon tube and **Output**: Electrical signal (voltage, current, or digital)

🔷 TOPIC 2: Classification of Transducers (শ্রেণীবিভাগ)

Electrical Parameter অনুযায়ী শ্রেণীবিভাগ

Transducer কোন electrical parameter বদলায় তার উপর ভিত্তি করে ৪ ভাগ:

ধরন	কীভাবে কাজ করে	উদাহরণ
Resistance	Physical change → Resistance বদলায়	RTD, Thermistor
Capacitance	Physical change → Capacitance বদলায়	Capacitive pressure sensor
Inductance	Physical change → Inductance বদলায়	LVDT
Voltage & Current	Physical change → সরাসরি voltage/current	Thermocouple

Primary Transducer vs Secondary Transducer

এই দুটোর পার্থক্য quiz এ আসার সম্ভাবনা আছে।

Primary Transducer (প্রাথমিক রূপান্তরক)

সংজ্ঞা:

> যে transducer সরাসরি physical phenomenon টা প্রথম ধাপেই sense করে এবং তা থেকে electrical signal তৈরি করে।

উদাহরণ: Thermocouple — তাপমাত্রা সরাসরি voltage এ convert করে।

Secondary Transducer (মাধ্যমিক রূপান্তরক)

সংজ্ঞা:

> যেখানে physical phenomenon প্রথমে একটা **non-electrical transducer** দিয়ে sense হয় — সেটার output (mechanical) তারপর আরেকটা transducer electrical signal এ convert করে। এই দ্বিতীয় transducer টাই secondary transducer।

উদাহরণ **— Pressure Meter:**

```
Stage 1: Bourdon Tube (Non-electrical)
  Input  → Pressure (চাপ)
  Output → Mechanical displacement (যান্ত্রিক বিস্থাপন)
        ↓
Stage 2: Secondary Transducer (Electrical)
  Input  → Mechanical displacement
  Output → Electrical signal (voltage / current / digital)
```

পার্থক্য এক নজরে:

বিষয়	**Primary Transducer**	**Secondary Transducer**
কাজ	সরাসরি physical → electrical	প্রথমে mechanical, তারপর electrical
ধাপ	এক ধাপ	দুই ধাপ
উদাহরণ	Thermocouple	Bourdon tube + electrical sensor

Resistive Transducers

Transducer that employs change in resistance of a sensing element is called resistive transducer.

The well-known equation of resistance of a resistor element: $R = \frac{\rho L}{A}$

Design basis: vary any combination of the 3 quantities

For example: temperature can change ρ; strain can change L and A, altogether

Applications:

Temperature, strain, displacement, force, pressure etc.

Resistance Temperature Detector (RTD) Or Resistance Thermometer

- An RTD is a **passive temperature sensor** that works on the principle that the **electrical resistance of metals changes predictably with temperature.**
- Most metals exhibit a **positive temperature coefficient (PTC)** – resistance increases as temperature increases.

🔷 TOPIC 3: Resistive Transducers (রোধক রূপান্তরক)

মূল ধারণা

Resistive Transducer সেটাই যেটা কোনো physical change কে **resistance** এর পরিবর্তনে রূপান্তর করে।

> **"A resistive transducer is a device whose electrical resistance changes in response to variations in environmental or physical factors like temperature, pressure, or displacement."**

বাংলায় সহজ কথা: যেসব ট্রান্সডিউসারের ওপর বাইরের কোনো ভৌত প্রভাব (যেমন: তাপমাত্রা, চাপ বা কোনো বস্তুর নড়াচড়া) পড়লে তার ইলেকট্রিক্যাল রেজিস্ট্যান্স বা রোধের মান বদলে যায়, সেগুলোকে রেজিস্টিভ ট্রান্সডিউসার বলে।

Resistance এর সূত্র:

$$R = \frac{\rho \times L}{A}$$

যেখানে:

- **ρ (rho)** = resistivity (উপাদানের বৈশিষ্ট্য)
- **L** = length (দৈর্ঘ্য)
- **A** = cross-sectional area (প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল)

Design এর কৌশল: এই তিনটা quantity এর যেকোনো একটা বা সমন্বয় বদলিয়ে resistance বদলানো যায়।

উদাহরণ:

- তাপমাত্রা → **ρ (resistivity)** বদলায় → RTD
- Strain → **L** এবং **A** বদলায় → Strain gauge

৩টি বাস্তব উদাহরণ (Real-life Examples):

পরীক্ষায় ডেফিনিশনের সাথে এই উদাহরণগুলো দিলে ফুল মার্কস পাওয়া সহজ হবে:

1. **Potentiometer (পটেনশিওমিটার):** এখানে বস্তুর নড়াচড়ার (displacement) কারণে রেজিস্ট্যান্সের দৈর্ঘ্য (L) পরিবর্তিত হয়।
2. **Strain Gauge (স্ট্রেন গেজ):** কোনো বস্তুর ওপর চাপ বা টান (pressure/force) দিলে তার দৈর্ঘ্য ও ক্ষেত্রফল বদলে যায়, ফলে রেজিস্ট্যান্সও পরিবর্তিত হয়।
3. **RTD / Thermistor (থার্মিস্টর):** তাপমাত্রা (temperature) পরিবর্তনের সাথে সাথে এদের ভেতরের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ (ρ) বা রেজিস্ট্যান্স সরাসরি পরিবর্তিত হয়।

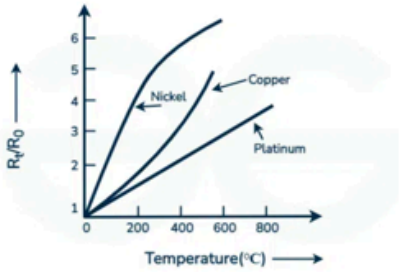
Resistance Temperature Detector (RTD)

Variation of resistance R with temperature T $(°K)$ can be represented by the following well-known relationship:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \ldots\ldots + \alpha_n T^n + \ldots.)$$

R_0 = resistance at temperature $T = 0$
and, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ are constants

Resistance-Temperature characteristics of commonly used RTD metals are plotted (not-exact) here:



The curve shows that the curves are nearly linear, or at least can be approximated as linear for short temperature spans.

🔷 TOPIC 4: RTD (Resistance Temperature Detector)

RTD কী?

সম্পূর্ণ নাম: Resistance Temperature Detector, অথবা Resistance Thermometer

সংজ্ঞা:

> RTD হলো একটা **passive temperature sensor** যেটা এই নীতিতে কাজ করে যে ধাতুর electrical resistance তাপমাত্রার সাথে predictably (অনুমানযোগ্যভাবে) পরিবর্তিত হয়।

> **"An RTD (Resistance Temperature Detector) is a temperature sensor whose electrical resistance increases predictably with a rise in temperature."**

বাংলায় সহজ কথা**:** RTD হলো এমন একটি টেম্পারেচার সেন্সর বা ডিভাইস, যার চারপাশের তাপমাত্রা বাড়লে তার ইলেকট্রিক্যাল রেজিস্ট্যান্স বা রোধের মানও একটি নির্দিষ্ট নিয়মে বৃদ্ধি পায়। এটি মূলত বিশুদ্ধ ধাতু (যেমন: প্লাটিনাম, নিকেল বা তামা) দিয়ে তৈরি হয়।

RTD এর কার্যনীতি (Working Principle)

মূল বিষয়: Positive Temperature Coefficient (PTC)

বেশিরভাগ ধাতু **PTC** দেখায়। মানে:

তাপমাত্রা ↑ বাড়লে → Resistance ↑ বাড়ে
তাপমাত্রা ↓ কমলে → Resistance ↓ কমে

কেন হয়**?** তাপমাত্রা বাড়লে ধাতুর atom গুলো বেশি vibrate (কম্পন) করে। এই কম্পন electron দের চলাচলে বাধা দেয় — ফলে resistance বাড়ে।

PTC মানে কী**:**

> **Positive Temperature Coefficient** মানে — temperature coefficient of resistance positive। অর্থাৎ temperature বাড়লে resistance বাড়ে। এটাই RTD এর কাজের মূল ভিত্তি।

R vs T Curve:

```
Resistance (R)
    ↑
    |        /
    |      /
    |    /
    |  /
    | /
    └──────────────────→ Temperature (T)
```

Curve টা প্রায় **linear (**সরলরেখা**)** — মানে temperature আর resistance এর সম্পর্ক সহজে হিসাব করা যায়। ছোট temperature span এ এটাকে সরলরেখা হিসেবে ধরা হয়।

Resistance Temperature Detector (RTD)

Table: Metals used for RTD

Metal	Resistance Temperature Co-efficient (/°C)	Temperature range (°C)	Melting point (°C)
Platinum	0.39	(-260) – (110)	1773
Copper	0.39	(0) – (180)	1083
Nickel	0.62	(-220) – (300)	1435
Tungsten	0.45	(-200) – (1000)	3370

Desirable characteristics of an RTD material:

- Change in resistance per unit change in temperature should be as large as possible.
- High resistivity, so that a minimum volume of material is used for the construction of RTD
- The R versus T curve should be continuous, stable and repeatable.

RTD এর জন্য ভালো Material এর ৩টি বৈশিষ্ট্য

Exam এ এটা হুবহু আসতে পারে:

১. High Temperature Coefficient of Resistance

প্রতি unit তাপমাত্রা পরিবর্তনে resistance এর পরিবর্তন যত বেশি হবে, তত ভালো।

মানে — 1°C বাড়লে resistance অনেকটা বাড়তে হবে। তাহলে ছোট temperature change ও ধরা যাবে।

২. High Resistivity (উচ্চ রোধকত্ব)

Resistivity বেশি হলে কম পরিমাণ material দিয়েই বেশি resistance পাওয়া যায়।

মানে — RTD element ছোট করা যাবে, কম material লাগবে, cost কমবে।

৩. Stable, Continuous, and Repeatable R vs T Curve

R-T সম্পর্ক বারবার একই থাকতে হবে — দীর্ঘদিন ব্যবহারেও বদলানো যাবে না।

মানে — আজ 100°C তে যদি 138Ω দেয়, ১ বছর পরেও 100°C তে 138Ω দিতে হবে।

Resistance Temperature Detector (RTD)

Material	Use in RTD	Key Characteristics	Application Notes
Platinum (Pt)	Widely used (PRTD)	High temp stability, noble metal, resistant to contamination, high accuracy	Best for precision measurement, industrial standard
Gold (Au)	Rarely used	Low resistivity, expensive	Not practical for RTDs
Silver (Ag)	Rarely used	Low resistivity, expensive	Not practical for RTDs
Tungsten (W)	Limited use	High resistivity, extremely brittle, difficult to work	Reserved for very high temperature applications
Copper (Cu)	Used as alternative	Low resistivity, good linearity, low cost	Requires longer element length; economical choice
Nickel & Nickel Alloys	Commonly used	Moderate resistivity, good sensitivity	Common in mid-range temperature applications

RTD এ ব্যবহৃত ধাতু

ধাতু	ব্যবহার	মূল বৈশিষ্ট্য
Platinum (Pt)	সবচেয়ে বেশি ব্যবহার (PRTD)	High stability, noble metal, contamination resistant, high accuracy — Industrial standard
Copper (Cu)	Alternative হিসেবে	Low resistivity, good linearity, low cost — longer element দরকার
Nickel (Ni)	Common	Moderate resistivity, good sensitivity — mid-range temperature এ
Tungsten (W)	Limited	Very high resistivity কিন্তু brittle — শুধু অনেক বেশি temperature এ
Gold / Silver	Rarely used	Low resistivity, expensive — practical না

💡 **Exam Tip:** Platinum সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ কারণ এটাই industrial standard। PRTD মানে Platinum RTD।

Equation: Linear Approximation

For some metals, linear relationships can exist over a specified span of the curve

$$R_\theta = R_{\theta_0}\left(1 + \alpha_{\theta_0}\Delta\theta\right) \; for\, \theta_1 \le \theta \le \theta_2$$

- Two unknowns are here, so two points in the line are necessary to solve them.

A quadratic approximation of the Resistance-Temperature curve can be more accurate over a limited range of temperature. It has both **1st** and **2nd** order temperature terms.

$$R_\theta = R_{\theta_0}\left[1 + \alpha_1\Delta\theta + \alpha_2\left(\Delta\theta\right)^2\right] for\; \theta_1 \le \theta \le \theta_2$$

Where, α_1 = Linear fractional change in resistance, /°C
α_2 = quadratic fractional change in resistance, /(°C)^2

•Values of the three unknowns (α_1 ,α_2 and R_{θ_0} (can be found from tables or graphs by using three points.

১. Equation: Linear Approximation (রৈখিক অনুমান)

কিছু মেটালের ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা সীমার মধ্যে রেজিস্ট্যান্স এবং তাপমাত্রার সম্পর্কটি **Linear (রৈখিক বা সোজা লাইনের মতো)** হয়।

$$R_\theta = R_{\theta_0}(1 + \alpha_{\theta_0}\Delta\theta) \quad \text{for } \theta_1 \le \theta \le \theta_2$$

- **ব্যাখ্যা:**
  - $R_\theta = \theta$ তাপমাত্রায় নতুন রেজিস্ট্যান্স।
  - $R_{\theta_0} = \theta_0$ (রেফারেন্স বা আদি) তাপমাত্রায় রেজিস্ট্যান্স।
  - α_{θ_0} = তাপমাত্রা গুণাঙ্ক (Temperature coefficient)।
  - $\Delta\theta$ = তাপমাত্রার পরিবর্তন ($\theta - \theta_0$)।
- **পয়েন্টটির অর্থ:** *"Two unknowns are here, so two points in the line are necessary to solve them."*
  - **বাংলা অর্থ:** এখানে দুটি অজানা মান (unknowns) আছে— যেমন আদি রেজিস্ট্যান্স R_{θ_0} এবং সহগ α_{θ_0}। এই অজানা মানগুলো বের করার জন্য গ্রাফ বা সরলরেখার অন্তত **দুটি বিন্দুর (two points)** মান জানা প্রয়োজন।

২. Quadratic Approximation (দ্বিঘাত অনুমান)

তাপমাত্রার পরিসর বা সীমা যদি আরও বেশি হয়, তখন লিনিয়ার ইকুয়েশন দিয়ে নিখুঁত মান পাওয়া যায় না। তখন আরও নিখুঁত ফলাফলের জন্য **Quadratic Approximation (দ্বিঘাত সমীকরণ)** ব্যবহার করা হয়। এতে তাপমাত্রার **1st order** (প্রথম ঘাত বা $\Delta\theta$) এবং **2nd order** (দ্বিতীয় ঘাত বা $(\Delta\theta)^2$) উভয় টার্মই থাকে।

$$R_\theta = R_{\theta_0}\left[1 + \alpha_1\Delta\theta + \alpha_2(\Delta\theta)^2\right] \quad \text{for } \theta_1 \le \theta \le \theta_2$$

- **এখানে সংজ্ঞায়িত করা হয়েছে:**
  - α_1 = Linear fractional change in resistance, $/^\circ\mathrm{C}$ (রেজিস্ট্যান্সের রৈখিক ভগ্নাংশিক পরিবর্তন প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াসে)।
  - α_2 = Quadratic fractional change in resistance, $/(^\circ\mathrm{C})^2$ (রেজিস্ট্যান্সের দ্বিঘাত ভগ্নাংশিক পরিবর্তন)।
- **পয়েন্টটির অর্থ:** *"Values of the three unknowns (α_1, α_2 and R_{θ_0}) can be found from tables or graphs by using three points."*
  - **বাংলা অর্থ:** এই সমীকরণে তিনটি অজানা মান রয়েছে— α_1, α_2 এবং R_{θ_0}। এই তিনটির মান টেবিল বা গ্রাফ থেকে বের করতে হলে আমাদের অন্তত **তিনটি বিন্দুর (three points)** ডেটা বা মান প্রয়োজন হবে।

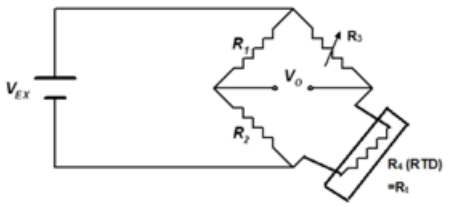
কুইজ বা পরীক্ষার জন্য মূল জিস্ট (Summary):

- সম্পর্ক **Linear** হলে অজানা মান থাকে **২টি**, তাই সলভ করতে পয়েন্ট লাগে **২টি**। ইকুয়েশনে ঘাত বা পাওয়ার থাকে 1 ($\Delta\theta$)।
- সম্পর্ক **Quadratic** হলে অজানা মান থাকে **৩টি**, তাই সলভ করতে পয়েন্ট লাগে **৩টি**। ইকুয়েশনে সর্বোচ্চ ঘাত বা পাওয়ার থাকে 2 ($(\Delta\theta)^2$)।

Measurement of RTD Resistance

Measurement Bridges are used for this purpose.

Wheatstone Bridge:



RTD is connected as one of the arms of the bridge.
So,

$$R_t = R_3\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

Potentiometer R_3 can be calibrated in terms of temperature directly.

Measurement of RTD Resistance (RTD রেজিস্ট্যান্স পরিমাপ)

- **Measurement Bridges are used for this purpose.**
  - বাংলা অর্থ: RTD-এর রেজিস্ট্যান্সের নিখুঁত মান পরিমাপ করার জন্য বিভিন্ন মেজারমেন্ট ব্রিজ সার্কিট ব্যবহার করা হয়।
- **Wheatstone Bridge:**
  - বাংলা অর্থ: এখানে রেজিস্ট্যান্স মাপার জন্য একটি স্ট্যান্ডার্ড হুইটস্টোন ব্রিজ **(Wheatstone Bridge)** সার্কিট ব্যবহার করা হয়েছে (চিত্রে যা চারকোনা ডায়মন্ড শেপে দেখা যাচ্ছে)।

কীভাবে এটি কাজ করে?

- RTD is connected as one of the arms of the bridge.
  - **বাংলা অর্থ:** হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর (arms) মধ্যে একটি বাহুতে অজানা রেজিস্ট্যান্স হিসেবে RTD-টিকে সংযুক্ত করা হয়। চিত্রে দেখো, চার নম্বর বাহুতে $R_4 = R_t$ হিসেবে RTD যুক্ত আছে। বাকি তিনটি বাহুতে জানা মানের রেজিস্ট্যান্স (R_1, R_2) এবং একটি পরিবর্তনশীল রেজিস্ট্যান্স বা পটেনশিওমিটার (R_3) আছে।
- **ব্রিজ ব্যালেন্স ইকুয়েশন:**
  যখন ব্রিজটি ব্যালেন্সড অবস্থায় থাকে (অর্থাৎ আউটপুট ভোল্টেজ $V_o = 0$ হয়), তখন হুইটস্টোন ব্রিজের সূত্রানুযায়ী আমরা লিখতে পারি:

$$R_t = R_3 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

এখানে R_t হলো RTD-এর বর্তমান রেজিস্ট্যান্স।

- Potentiometer R_3 can be calibrated in terms of temperature directly.
  - **বাংলা অর্থ:** ব্রিজের ব্যালেন্স আনার জন্য আমরা পরিবর্তনশীল রোধ R_3-কে কম-বেশি করি। যেহেতু তাপমাত্রার সাথে RTD-এর রেজিস্ট্যান্স R_t সরাসরি সম্পর্কিত, তাই পটেনশিওমিটার R_3 -এর স্কেলটিকে ওহম (Ω) এককে না রেখে সরাসরি তাপমাত্রা বা ডিগ্রি সেলসিয়াসে ($^\circ$C) ক্যালিব্রেট (অঙ্কিত) করা সম্ভব। এর ফলে R_3 ঘোরালে সরাসরি মিটারে তাপমাত্রা কত তা দেখা যায়।

কুইজের জন্য মূল জিস্ট (Summary):

১. RTD রেজিস্ট্যান্স মাপতে Wheatstone Bridge ব্যবহার করা হয়।
২. RTD-কে ব্রিজের **একটি বাহু (arm)** হিসেবে যুক্ত করা হয়।
৩. ব্যালেন্স ইকুয়েশন: $R_t = R_3(R_2/R_1)$।
৪. R_3 **পটেনশিওমিটারকে** সরাসরি তাপমাত্রার স্কেলে ক্যালিব্রেট করা যায়।

Applications

Why RTDs Are Used
•RTDs are among the most accurate and precise temperature sensors.
•Many industrial processes operate at high temperatures where extreme accuracy is not essential *(e.g., ±2 °C error in a 250 °C process is acceptable)*.
•Some applications, however, require very high precision — RTDs are preferred in these cases.

RTD Applications
1. Bioreactors
Requirement: Precise temperature control for growing biological cells.
Why RTD?: Small temperature deviations can kill cells or cause defective growth.
RTD provides: Repeated accuracy and stability for exact temperature regulation.

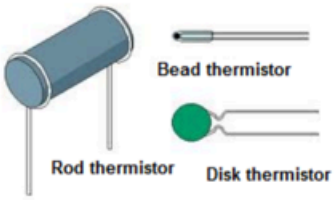
2. Low-Temperature Processes
Examples: Pharmaceutical storage, Chemical synthesis, Climate chambers
Requirement: Detecting small temperature changes reliably.
Why RTD? High sensitivity and repeatability at lower temperature ranges.

RTD এর Applications

Application	কেন **RTD** দরকার
Bioreactors	জীবন্ত কোষ বাড়ানো হয় — ছোট temperature deviation কোষ মেরে ফেলতে পারে। RTD এর repeated accuracy দরকার।
Pharmaceutical storage	ওষুধ নির্দিষ্ট temperature এ রাখতে হয় — RTD এর high sensitivity কাজে লাগে।
Chemical synthesis	Chemical reaction temperature sensitive — RTD reliable।
Climate chambers	Precise temperature control দরকার।

Thermistors

- Contraction of the term, "thermal resistors"
- Generally made of semiconductor materials
- Have negative temperature co-efficients, i.e. resistance decreases with increase in temp (Due to production of higher number of electron-hole pair generation as temperature increases)
- Sensitivity is high, so suitable for very small changes in temperature. This makes them useful for precision temperature measurement applications.
- Relatively low cost and small size.
- Measurement range: approximately, (-60) – (15) °C



🔷 TOPIC 5: Thermistors (থার্মিস্টর)

Thermistor কী?

নামের উৎস: "Thermal" + "Resistor" = **Thermistor**

সংজ্ঞা:

> Thermistor হলো semiconductor material দিয়ে তৈরি একটা temperature-sensitive resistor, যার resistance তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয়।

Measurement and Control of Temperature: Thermistors

High Sensitivity

•Provides a **large change in resistance for a small change in temperature.**

•Much higher sensitivity compared to RTDs and thermocouples.

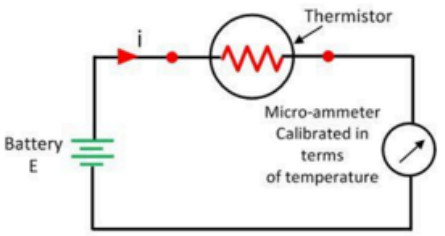
•Ideal for detecting **small temperature variations.**

Simple Circuit:

•Thermistor resistance changes with temperature → current changes.

•**Micro-ammeter can be directly calibrated** in temperature units (°C).

•Simple, low-cost, but less precise.



Series Circuit For Measurement of Thermistor

Measurement and Control of Temperature: Thermistors (থার্মিস্টর)

থার্মিস্টর হলো এমন এক ধরণের রেজিস্টর বা রোধক, যার রেজিস্ট্যান্স তাপমাত্রার সাথে খুব দ্রুত পরিবর্তিত হয়।

High Sensitivity (উচ্চ সংবেদনশীলতা)

- **Provides a large change in resistance for a small change in temperature.**
  - বাংলা অর্থ: তাপমাত্রার খুব সামান্য বা ছোট পরিবর্তনের জন্যই থার্মিস্টরের রেজিস্ট্যান্সে অনেক বড় ধরনের পরিবর্তন দেখা যায়।
- **Much higher sensitivity compared to RTDs and thermocouples.**
  - বাংলা অর্থ: অন্যান্য জনপ্রিয় টেম্পারেচার সেন্সর যেমন— RTD এবং থার্মোকাপল (Thermocouple)-এর তুলনায় থার্মিস্টরের সংবেদনশীলতা বা সেন্সিটিভিটি অনেক বেশি।
- **Ideal for detecting small temperature variations.**
  - বাংলা অর্থ: তাপমাত্রার খুব সূক্ষ্ম বা ছোটখাটো ওঠানামা (variations) শনাক্ত করার জন্য থার্মিস্টর একদম আদর্শ।

Simple Circuit (সহজ সার্কিট ডিজাইন)

ডানপাশের চিত্রটিতে থার্মিস্টর দিয়ে তাপমাত্রা পরিমাপের একটি সিরিজ সার্কিট (Series Circuit) দেখানো হয়েছে।

- **Thermistor resistance changes with temperature rightarrow current changes.**
  - বাংলা অর্থ: যখন তাপমাত্রা পরিবর্তন হয়, তখন সার্কিটে থাকা থার্মিস্টরের রেজিস্ট্যান্সও বদলে যায়। ওহমের সূত্র অনুযায়ী রেজিস্ট্যান্স বদলে যাওয়ার কারণে পুরো সার্কিটের তড়িৎ প্রবাহ বা কারেন্ট (i)-এর মানও পরিবর্তিত হয়।
- **A micro-ammeter can be directly calibrated in temperature units (°C).**
  - বাংলা অর্থ: সার্কিটের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত এই পরিবর্তিত কারেন্ট মাপার জন্য একটি **Micro-ammeter** সিরিজে যুক্ত থাকে। যেহেতু কারেন্টের পরিবর্তন সরাসরি তাপমাত্রার পরিবর্তনের ওপর নির্ভর করে, তাই এই মাইক্রো-অ্যামিটারের রিডিং স্কেলটিকে সরাসরি তাপমাত্রা বা ডিগ্রি সেলসিয়াস (°C) এককে ক্যালিব্রেট (অঙ্কিত) করা যায়। ফলে মিটার থেকে সরাসরি তাপমাত্রা দেখে নেওয়া সম্ভব।
- **Simple, low-cost, but less precise.**

- বাংলা অর্থ**:** এই সিরিজ সার্কিটটি তৈরি করা খুবই সহজ এবং এর খরচও অনেক কম (low-cost); তবে হুইটস্টোন ব্রিজের মতো জটিল সার্কিটের তুলনায় এটি কিছুটা কম নিখুঁত **(less precise)** বা কম একুরেট ফলাফল দেয়।

কুইজের জন্য মূল জিস্ট **(Summary):**

১. থার্মিস্টরের **Sensitivity** অনেক বেশি (RTD বা Thermocouple-এর চেয়েও বেশি)।

২. এটি খুব ছোট তাপমাত্রা পরিবর্তন মাপতে পারে।

৩. এর পরিমাপ সার্কিটটি একটি সাধারণ **Series Circuit**, যেখানে একটি ব্যাটারি, থার্মিস্টর এবং মাইক্রো-অ্যামিটার থাকে।

৪. **Micro-ammeter-**কে সরাসরি তাপমাত্রার ইউনিটে (°C) ক্যালিব্রেট করা যায়।

৫. এটি সহজ ও সস্তা, তবে ব্রিজের তুলনায় কম নিখুঁত **(less precise)**।

Thermistor এর কার্যনীতি **— NTC (Negative Temperature Coefficient)**

RTD এর উল্টো! Thermistor এ **NTC** দেখা যায়:

তাপমাত্রা ↑ বাড়লে → Resistance ↓ কমে
তাপমাত্রা ↓ কমলে → Resistance ↑ বাড়ে

কেন হয়**?** Thermistor semiconductor দিয়ে তৈরি। তাপমাত্রা বাড়লে semiconductor এ বেশি **electron-hole pair** তৈরি হয়। এই বাড়তি charge carrier electric current সহজে বহন করতে পারে → resistance কমে যায়।

Thermistor এর বৈশিষ্ট্য

বৈশিষ্ট্য	**Thermistor**	**RTD (Metal)**
Temperature Coefficient	**Negative (NTC)** — resistance কমে	**Positive (PTC)** — resistance বাড়ে
Sensitivity	অনেক বেশি — ছোট temp change এও বড় resistance change	কম (তুলনায়)
Size	ছোট — compact	বড়
Cost	কম	বেশি (বিশেষত Platinum)

Material	**Semiconductor** (metal oxide — MnO_2, NiO, CoO)	Pure **Metal** (Pt, Cu, Ni)
Range	**-60°C** থেকে **+150°C** (approximately)	অনেক বেশি range
Linearity	কম linear	বেশি linear
Precision	কম precise	বেশি precise

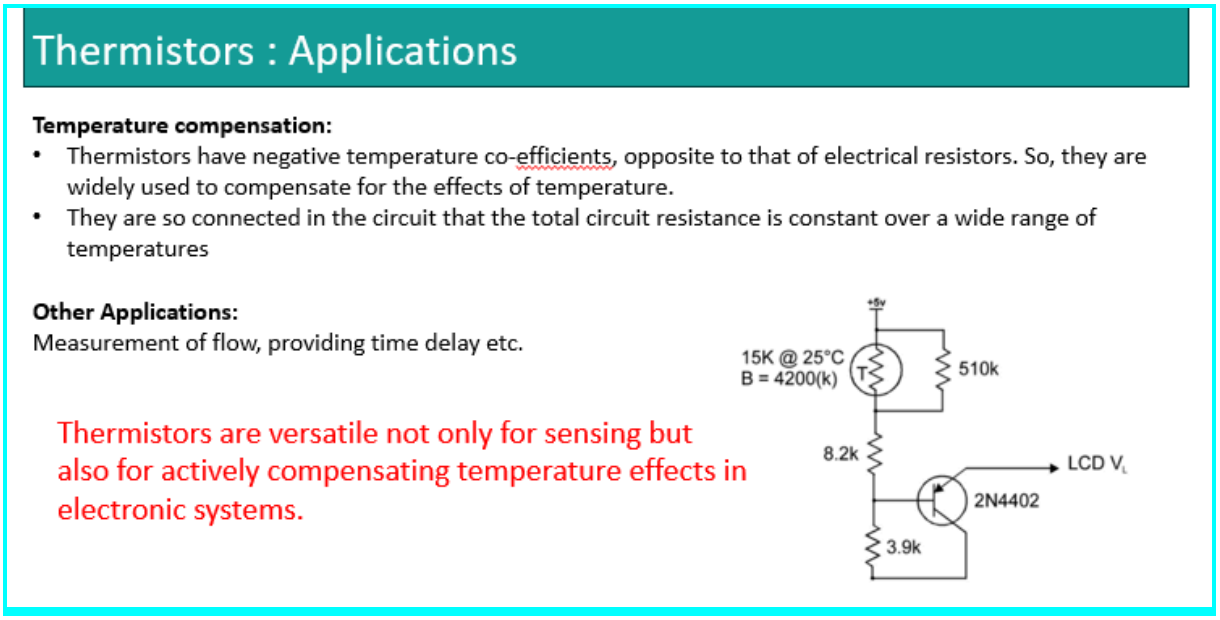
Thermistor কীভাবে ব্যবহার করা হয়?

Simple Circuit:

Battery → [Thermistor] → [Micro-ammeter]

- Temperature বাড়লে → resistance কমে → বেশি current বয়
- Temperature কমলে → resistance বাড়ে → কম current বয়
- Micro-ammeter directly temperature unit (°C) এ calibrate করা যায়

💡 Simple, low-cost, কিন্তু less precise।



Thermistor এর Applications

১. Temperature Compensation (তাপমাত্রা ক্ষতিপূরণ)

এটা Thermistor এর সবচেয়ে চালাক ব্যবহার!

সমস্যা: Electronic circuit এর resistor গুলোর resistance temperature বাড়লে বাড়ে (PTC)। সমাধান: Thermistor (NTC) সেই circuit এ series এ লাগাও।

Temperature বাড়লে:
→ Resistor এর resistance বাড়ে ↑
→ Thermistor এর resistance কমে ↓
→ মোট circuit resistance প্রায় same থাকে ✅

মানে একটা বিস্তৃত temperature range এ total resistance constant রাখা যায়।

২. অন্যান্য ব্যবহার:

- **Flow measurement** — liquid বা gas এর flow মাপা
- **Time delay** — circuit এ নির্দিষ্ট সময় দেরি করানো

🔷 TOPIC 6: Transducer vs Sensor — পার্থক্য

তোমার notes এ আছে "Sensor কী?" — এটা Lecture 01 এর সাথে connected।

বিষয়	**Sensor**	**Transducer**
কাজ	Physical quantity detect করে	Energy একটা form থেকে অন্যটায় convert করে
Output	সবসময় electrical না হতে পারে	সাধারণত electrical output দেয়
সম্পর্ক	সব sensor একটা transducer	সব transducer sensor না
উদাহরণ	Thermometer	Thermocouple

> 💡 সহজ কথায়: Sensor হলো "কী হচ্ছে" detect করে। Transducer হলো সেটাকে অন্য form এ (সাধারণত electrical) convert করে। Thermocouple দুটোই — temperature detect করে এবং electrical signal এ convert করে।

🔷 TOPIC 7: Wheatstone Bridge — RTD Resistance মাপার পদ্ধতি

তোমার notes এ আছে "RTD এর working principle, Wheatstone bridge"।

Wheatstone Bridge কী?

RTD এর resistance সরাসরি measure করা কঠিন কারণ resistance পরিবর্তন খুব সামান্য হতে পারে। তাই **Wheatstone Bridge** circuit ব্যবহার করা হয়।

```
        A
       / \
      R1   R2
     /       \
    B——G——C     ← G = Galvanometer (কোনো current নেই = balanced)
     \       /
      R3   Rx (RTD)
       \ /
        D
        |
       Battery
```

কীভাবে কাজ করে:

- Bridge balanced অবস্থায়: `R1/R2 = R3/Rx`
- RTD (Rx) এর temperature বদলালে → resistance বদলায় → bridge unbalanced হয়
- Galvanometer এ current বয় → এই current দিয়ে temperature বোঝা যায়

কেন ব্যবহার করা হয়:

- অনেক ছোট resistance change ও detect করতে পারে
- Accurate measurement দেয়

📌 Quiz ও Mid এর জন্য প্রশ্নভিত্তিক উত্তর

✅ Q1: RTD কী? Working Principle? Wheatstone Bridge?

RTD (Resistance Temperature Detector) হলো একটা passive temperature sensor যেটা ধাতুর এই বৈশিষ্ট্যের উপর কাজ করে যে ধাতুর electrical resistance তাপমাত্রার সাথে predictably পরিবর্তিত হয়। বেশিরভাগ ধাতু PTC (Positive Temperature Coefficient) দেখায় — মানে temperature বাড়লে resistance বাড়ে। RTD এর resistance Wheatstone Bridge এর মাধ্যমে accurately measure করা হয়। Bridge এ RTD থাকে একটা arm এ — temperature বদলালে bridge unbalanced হয় এবং galvanometer এ current flow করে যা temperature indicate করে।

✅ Q2: Thermistor কী?

Thermistor ("Thermal Resistor" এর সংক্ষেপ) হলো semiconductor material (যেমন MnO_2, NiO) দিয়ে তৈরি একটা temperature-sensitive resistor। এর **NTC (Negative Temperature Coefficient)** আছে — মানে temperature বাড়লে resistance কমে, কারণ বেশি electron-hole pair তৈরি হয়। এটা RTD এর চেয়ে বেশি sensitive, ছোট আকারের, এবং কম দামি — তবে কম precise এবং range কম (−60°C থেকে +150°C)।

✅ Q3: Sensor কী?

Sensor হলো সেই device যেটা physical environment থেকে কোনো quantity detect বা measure করে। এটা physical world এর একটা primary sensing element। Sensor সবসময় electrical output দেয় না। Transducer হলো broader concept — যেটা energy convert করে (সাধারণত electrical output দেয়)। সব sensor মূলত transducer, কিন্তু সব transducer sensor না।

✅ Q4: RTD ও Thermistor এর পার্থক্য

বিষয়	**RTD**	**Thermistor**
Temperature Coefficient	Positive (PTC)	Negative (NTC)
Sensitivity	কম	অনেক বেশি
Size	বড়	ছোট
Material	Metal (Pt, Cu, Ni)	Semiconductor (metal oxide)
Range	অনেক বেশি	−60 to +150°C
Precision	বেশি	কম
Cost	বেশি	কম

✅ Q5: Transduction ও Transducer — সংজ্ঞা ও Electrical Transducer এর সুবিধা

Transduction হলো এক form এর energy কে অন্য form এ রূপান্তর করার প্রক্রিয়া। **Transducer** হলো সেই device যেটা এই কাজ করে এবং electrical output দেয়।

Electrical Transducer এর সুবিধা: ১. Better sensitivity — ছোট পরিবর্তন ধরতে পারে ২. Better accuracy — mechanical এর চেয়ে নির্ভুল ৩. Better speed — দ্রুত response ৪. Easy signal conditioning — filter ও amplify করা যায় ৫. Easy transmission — দূরে পাঠানো যায়

✅ Primary vs Secondary Transducer

Primary transducer সরাসরি physical phenomenon থেকে electrical signal তৈরি করে — যেমন Thermocouple (temperature → voltage)।

Secondary transducer দুই ধাপে কাজ করে — প্রথমে non-electrical transducer physical quantity কে mechanical output এ convert করে, তারপর secondary transducer সেই mechanical output কে electrical signal এ convert করে। উদাহরণ: Bourdon tube (pressure → mechanical displacement) + electrical sensor (mechanical displacement → voltage)।

🏛️ Q1: What is an RTD? Explain its Working Principle and the role of the Wheatstone Bridge.

Definition & Working Principle

An **RTD (Resistance Temperature Detector)** is a passive temperature sensor that operates on the principle that the electrical resistance of a metal changes predictably with temperature.

- Most metals exhibit a **PTC (Positive Temperature Coefficient)**—meaning their electrical resistance increases as the temperature rises. This happens because thermal agitation increases electron collisions within the metal structure.

Role of the Wheatstone Bridge

The resistance of an RTD is measured with high accuracy using a **Wheatstone Bridge** circuit.

- The RTD is connected as one of the arms of the bridge (e.g., $R_4 = R_t$).
- When the temperature changes, the resistance of the RTD alters, causing the bridge to become **unbalanced**.
- This unbalance drives a current through the output indicator (or galvanometer), which is directly calibrated to display the corresponding temperature.

🌡️ Q2: What is a Thermistor?

A **Thermistor** (short for *Thermal Resistor*) is a temperature-sensitive resistor made from semiconductor materials, such as manganese, nickel, or cobalt oxides.

- **Temperature Coefficient:** It typically exhibits an **NTC (Negative Temperature Coefficient)**—meaning its resistance decreases as temperature increases because higher thermal energy frees more electron-hole pairs for conduction.

- **Key Characteristics:** Compared to an RTD, a thermistor is highly sensitive, more compact, and less expensive. However, it is less precise, highly non-linear, and operates over a limited temperature range (typically -60C to +150C).

📡 Q3: What is a Sensor? (Sensor vs. Transducer)

A **Sensor** is a physical device that detects or measures a physical quantity from the environment. It acts as the primary sensing element that interacts directly with the physical world.

Sensor vs. Transducer

- A sensor **detects** a change but does not necessarily output an electrical signal (e.g., a liquid-in-glass thermometer).
- A **Transducer** is a broader concept; it is a device that **converts energy** from one form to another, typically providing a usable electrical output.
- **Core Distinction:** All sensors used in electrical instrumentation function as transducers, but not all transducers are sensors (e.g., an electric motor or actuator converts electrical energy to mechanical work).

📊 Q4: Comparison Between RTD and Thermistor

Feature	RTD	Thermistor
Temperature Coefficient	Positive (PTC)	Typically Negative (NTC)
Sensitivity	Moderate / Low	Extremely High
Size	Larger	Compact / Small (Bead-type)
Material	Pure Metals (Platinum, Copper, Nickel)	Semiconductors (Sintered Metal Oxides)
Temperature Range	Very Wide (up to $650^\circ\mathrm{C}$ or more)	Narrow (typically $-60^\circ\mathrm{C}$ to $+150^\circ\mathrm{C}$)
Precision & Linearity	Highly Precise and Linear	Less Precise and Non-linear
Cost	Expensive	Low-cost

⚡ Q5: Transduction, Transducer, and Advantages of Electrical Transducers

Definitions

- **Transduction:** The underlying physical process or mechanism of converting energy from one form into another.
- **Transducer:** The physical hardware device that executes the transduction process, changing non-electrical variables into a measurable output.

Advantages of Electrical Transducers

1. **High Sensitivity:** Capable of detecting minute changes in the input physical parameter.
2. **Superior Accuracy:** Minimizes errors caused by mechanical friction and mass inertia.
3. **Fast Dynamic Response:** Responds rapidly to transient changes due to low inertial resistance.
4. **Easy Signal Conditioning:** The electrical output can easily be amplified, filtered, or attenuated using static circuits.
5. **Remote Transmission & Telemetry:** Signals can easily be transmitted over long distances using cables or wireless telemetry systems.

🔄 Q6: Primary vs. Secondary Transducers

Primary Transducer

A primary transducer directly senses the physical phenomenon and converts it straight into an electrical signal without intermediate steps.

- **Example:** A **Thermocouple** absorbs heat directly and outputs a proportional millivolt signal {Temperature} rightarrow {Voltage}.

Secondary Transducers

A secondary transducer operates in two stages:

1. A primary **non-electrical** sensing element converts the physical quantity into an intermediate mechanical output (like displacement or force).
2. The **secondary transducer** then senses this mechanical output and converts it into a final electrical signal.

- **Example:** A pressure measurement setup combining a **Bourdon tube** and an **LVDT** {Pressure} rightarrow {Mechanical Displacement via Bourdon tube} \rightarrow {Voltage via LVDT}.

🎯 সব Topic এক নজরে — Revision

Topic	মূল কথা
Transduction	Energy এর form পরিবর্তন
Transducer	Energy convert করে, electrical output দেয়
Electrical Transducer সুবিধা	Sensitive, accurate, fast, transmit করা যায়
Primary Transducer	সরাসরি physical → electrical (Thermocouple)

Secondary Transducer	Physical → Mechanical → Electrical (Bourdon tube)
RTD কার্যনীতি	Metal এর resistance temperature বাড়লে বাড়ে (PTC)
RTD Material বৈশিষ্ট্য	High coefficient + High resistivity + Stable R-T curve
Best RTD Material	Platinum (PRTD) — industrial standard
Thermistor	Semiconductor, NTC (temp বাড়লে resistance কমে)
Thermistor সুবিধা	বেশি sensitive, ছোট, সস্তা
Thermistor অসুবিধা	কম precise, কম range
Thermistor Application	Temperature compensation, flow measurement
Wheatstone Bridge	RTD resistance accurately measure করার circuit
Sensor vs Transducer	Sensor detect করে, Transducer convert করে