



**UNIVERSIDADE JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DO HUAMBO**

INSTRUMENTAÇÃO ELECTRÓNICA E MEDIDAS

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i1.7711>

HUAMBO 2026

NEUSA REBECA SOARES

INSTRUMENTAÇÃO ELECTRÓNICA E MEDIDAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia Electrónica da Faculdade como
requisito à obtenção do título de Engenheira Electrónica
sobre a Orientação do Prof. Eng.º Pedro Castro Kimuanga

HUAMBO 2026

TERMO DE APROVAÇÃO

NEUSA REBECA SOARES

INSTRUMENTAÇÃO ELECTRÓNICA E MEDIDAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Electrónica da Universidade José Eduardo dos Santos/Instituto Superior Politécnico do Huambo-Huambo como requisito à obtenção do título de obtenção do grau de Engenheira Electrónica, pela seguinte banca examinadora: Dr. Amador Fundora, Eng. André Nany Ngola Jona, Armelinda Jornal, Orientador – Prof. Eng. Pedro Castro Kimuanga.
Huambo, 2017.

HUAMBO 2026 AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus todo poderoso pelo dom da vida que ele nos concedeu, aos meus pais (em memória José Eduardo e Isilda Lucusso Soares) que incansavelmente conduziram-me a escola.

Também não me esquecendo de todos meus colegas pelos anos de convivência e a amizade acima de tudo, ao Professor Pedro Castro Kimuanga o meu muito obrigado pela paciência.

Enfim, a todos que de uma forma directa ou indirecta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Na resolução de problemas de engenharia, teoria e experimentação se complementam. O método experimental requer uso intensivo de instrumentos. Assim, é necessário que o engenheiro conheça as técnicas de medição, os instrumentos, a forma adequada de aplicá-los em seus aparatos experimentais e técnicas de processamento dos dados obtidos. Além disso, para construir o aparato experimental e realizar um experimento de forma eficiente o engenheiro deve conhecer os princípios básicos de funcionamento de uma larga gama de instrumentos. Os sensores serão o tema principal deste trabalho, pós eles estão presentes diariamente quando entramos num banco e são detectados metais; em carros com sensores para estacionamento e em diversas máquinas empregadas na indústria.

Palavras-chave: Instrumentos; Técnicas de medição; Sensores.

ABSTRACT)

In engineering problem-solving, theory and experimentation complement each other. The experimental method requires intensive use of instruments. Thus, it is necessary for the engineer to know measurement techniques, instruments, the proper way to apply them in their experimental apparatus, and techniques for processing the data obtained. Furthermore, to build the experimental apparatus and conduct an experiment efficiently, the engineer must know the basic operating principles of a wide range of instruments. Sensors will be the main topic of this work, as they are encountered daily when we enter a bank and metals are detected; in cars with parking sensors; and in various machines used in industry.

Keywords: Instruments; Measurement techniques; Sensors.

LISTA DE ABREVIATURAS

Span ----- (alcance)	Amplitude da faixa nominal
URL -----	Limite superior da faixa nominal
URV -----	Valor superior da faixa nominal
LRL -----	Limite inferior da faixa nominal
LRV -----	Valor inferior da faixa nominal
PIP -----	proporcional integral derivado
TT -----	Transmissor de temperatura
TC -----	Controlador de temperatura
TIC -----	Controlador indicador de temperatura
PH-----	Percentual de Hidrogenio
Fi-----	variavel de control
FCV-----	controle final de variavel
L -----	Level
LT-----	Level Tank
C - -----	control
TQ -----	tanque
Psi-----	Pound Square Inch
Bar-----	Unidade de medição de pressão
VIM-----	Vocabulario internacional de temperatura
S-----	desvio padrão
MM-----	Média das medidas
M-----	Valor obtudo em cada leitura
n-----	número total de ensaios em cada ponto medido
Ua -----	incerteza de medida do tipo A
Ures -----	incerteza em função da própria resolução
K-----	factor do hrau de probabilidade
RTD-----	Resistêncy temperatura Dector
CCDS-----	Charged coupled device
SI-----	Sistema internacional
SMC -----	Sistema de medida a calibrar
SMP-----	sistema de medida padrão
VVC -----	Valor verdadeiro convencional
AIS -----	amplificador de instrumentação
AOPS -----	Amplificador operacional
In-Amp-----	Amplificador de instrumentação
CMR-----	Comom Mode Rejetion

Introdução

Os seres humanos têm uma necessidade forte de sentir, medir e testar coisas. A habilidade e capacidade para mensurar o estado de equilíbrio e movimento de sólidos, líquidos, gases e dos sistemas que eles constituem é extremamente importante para o entendimento e utilização das coisas e recursos do mundo real.

O estudo da ciência de sensores e da instrumentação é, portanto, fundamental para permitir avanços nas ciências, tecnologia e na indústria. No contexto da engenharia, a instrumentação é associada ao estudo teórico e prático dos instrumentos e seus princípios científico, utilizados para monitorar de forma contínua, ou discreta, o comportamento de variáveis de controlo que de alguma forma venham interessar ao homem nas diversas áreas do conhecimento humano aplicado. Este conhecimento apurado permite um controle mais efetivo da produção possibilitando o uso mais racional da energia e melhoria na qualidade dos produtos.

No contexto de Controlo e Automação Industrial é frequente o uso de análises simplificadoras em que se consideram a instrumentação, tanto sensores quanto atuadores, como sendo componentes ideais, e portanto, relegados como adendos auxiliares no projeto de um sistema de controlo. Entretanto, é importante ressaltar que a instrumentação é o elo de conexão entre o controlador e o processo deve ser abordado com a mesma importância dada ao projeto de controladores e estratégias de controlo. Nesse sentido, há uma tendência moderna de se utilizar instrumentos com funções de validação, comercialmente referidos como instrumentos inteligentes, que incorporam além de funções de comunicação digital, mecanismos que visam robustecer as malhas de controlo tais como: calibração automática, detecção e compensação de falhas, rótulos digitais para identificação automática, reconciliação de dados locais, etc.

O conhecimento de princípios e técnicas de medição, de conceitos associados aos instrumentos de medida (característica estática e dinâmica, calibração), e de procedimentos relacionados com a segurança e instalação apropriada de instrumentos é fundamental para técnicos e engenheiros de projeto, operação e manutenção que almejam obter sistemas de controlo com bom desempenho, confiabilidade, e custos otimizados de instalação, operação e manutenção.

De qualquer forma, o uso inteligente da instrumentação sempre ira depender do nosso conhecimento sobre o assunto, dos materiais disponíveis, e de qual desempenho cada solução proposta pode apresentar. Novos equipamentos estão sendo desenvolvidos a cada dia mas os conceitos e ideias básicas de vários sistemas de medida tem sido usadas com sucesso e continuarão assim por muitos anos ainda. Estudá-los é de grande valia para entender como funcionam e como são aplicados o que possibilitará estendê-los a outras aplicações. Uma das necessidades para o crescimento de qualquer país reside na sua capacidade industrial; Huambo foi no outrora um importante centro industrial de Angola e na, e em tempos de crise é prioridade máxima a recuperação e diversificação da indústria.

A automação dos processos industriais é a peça-chave para o êxito no mercado. Melhor produto e de boa qualidade a preços competitivos só se consegue a acrescentar a eficiência dos processos, e este é o alvo principal da automação. Está aqui a importância de dedicar nas aulas e as pesquisas nas universidades angolanas ao controlo de processos nas indústrias.

No princípio o controlo dos processos industriais era feito de forma manual, necessitando interferência constante de um operador que deveria verificar o valor de saída e uma variável, compará-lo com um valor esperado e realizar os ajustes. Neste procedimento havia muitos problemas, entre eles o tempo de resposta que era muito elevado e as grandes amplitudes geradas no período passageiro do ajuste, além do risco a que estavam expostos os operadores, sempre próximos aos equipamentos.

Este processo mostrou-se muito ineficiente para controlo de processos que primavam pela qualidade dos produtos e segurança de seus operadores, dessa forma iniciou-se uma série de estudos que visavam desenvolver técnicas para automação dos processos de controlo industrial.

Com a aparição dos sistemas de controlo automáticos começa-se a utilizar equipamentos capazes de realizar medições de uma variável, comparação com um valor de referência e ajustes com a finalidade de diminuição do erro do valor da variável de saída em relação ao valor de referência. Com isso surgiram técnicas de controlo como o PID (do inglês *Proporcional Integral Derivativo*), que faziam o controlo de uma variável do processo de forma mais rápida e com menos erros. Esse tipo de controlo trouxe vantagens, tais como:

- Aumento da produtividade;
- Diminuição de mão-de-obra;
- Possibilidade de controlo em áreas instáveis à presença humana;
- Aumento da qualidade dos produtos visto que o tempo necessário à correção dos parâmetros diminuiu e a precisão no ajuste dos mesmos aumentou.

Neste cenário pode-se apresentar o seguinte **problema de investigação**: Angola precisa revitalizar as suas indústrias destruídas pela guerra na necessidade de procurar ampliar o seu mercado frente à crise. Para uma indústria competitiva a automação industrial e controlo de processos é fundamental, e nos últimos anos, com o desenvolvimento das tecnologias de sensores e atuadores inteligentes se tem focado muito no processo de transição de sinais em ambientes ruidosos das indústrias. Só de olhar os programas nos cursos de electrónica se estuda e se pesquisa pouco neste sentido. Desta situação problemática pode-se tirar um:

Problema Científico:

- Como contribuir nas especialidades do curso de engenharia electrónica e Telecomunicações, aos estudos da instrumentação de equipamentos electrónicos de campo para a sua aplicação no sector industrial em Angola?

Objectivo geral:

- Descrever o funcionamento dos sensores industriais, seus princípio de medição, os circuitos eletrônicos utilizados para o tratamento dos sinais provenientes dos mesmos (amplificadores, filtros, conversores tensão/corrente), procedimentos de calibração, testes para identificação das características estáticas e dinâmicas dos instrumentos e análise destas respostas.

Objectivos específicos

- Apresentar uma revisão de conceitos relacionados à instrumentação industrial, discutir o problema da medição envolvendo a análise de incerteza de medidas, verificar procedimentos de calibração, identificação de características estáticas e dinâmicas de instrumentos e propor um roteiro de experimentos.

Resultado esperado

- Usar correctamente instrumentos electrónicos em medições de sinais e avaliar eventuais fontes de erro que afectem a qualidade dessas medições
- Interpretar e apresentar resultados de medições e avaliar a qualidade de medição.
- Explicar e analisar os princípios e modos de funcionamento de dispositivos electrónicos em situações de medição.
- Adquirir e aplicar conhecimentos sobre a utilização de sensores e instrumentos electrónicos para medição de sinais analógicos e digitais.

Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em três capítulos:

Capítulo I: Apresentar-se-á uma revisão teórica dos conceitos relacionados com a Instrumentação Industrial, quais sejam, conceito de instrumentação, classes de aplicação de instrumentos de medida, definição de instrumento, definição das características estáticas dos instrumentos (precisão, exatidão, polarização, calibração, span, range, etc.), caracterização dinâmica dos instrumentos, segurança intrínseca.

Capítulo II: Problema da medição e a análise de incerteza de medidas.

Capítulo III: Apresentam-se roteiros de experimentos de laboratório objetivando familiarizar-se com os sensores industriais, seus princípios de medição, os circuitos eletrônicos utilizados para o tratamento dos sinais provenientes dos mesmos (amplificadores, filtros, conversores tensão/corrente), procedimentos de calibração de Sensores.

Capítulo 1- Conceito de Instrumentação

1. Introdução

A instrumentação é a ciência que se dedica em desenvolver e aplicar técnicas de instrumentos de medição, indicação, transmissão, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos de transformação, visando a otimização da eficiência dos mesmos. Essas técnicas são normalmente suportadas teoricamente em princípios físicos e ou físico-químicos e utiliza-se das mais avançadas tecnologias de fabricação para viabilizar os diversos tipos de medição de variáveis industriais. Dentre essas variáveis encontra-se a pressão cuja medição possibilita não só sua monitoração e controle como também de outras variáveis tais como nível, vazão e densidade.

Os instrumentos de medição e controle permitem manter constantes as variáveis do processo, objetivando a melhoria em qualidade, o aumento em quantidade do produto e a segurança. No princípio da era industrial, o operário atingia os objetivos citados através de controle manual destas variáveis, utilizando somente instrumentos.

1.1 - Aspectos Gerais da área de instrumentação

1.1.1 - Conceito de Processo

Existem muitas definições para processo. Vejamos a seguir duas definições interessantes:

- Equipamento ou meio físico que precisa ser controlado ou monitorado de forma a transformar a matéria-prima em um produto. (STARLING, 2003,)
- Operação onde se varia pelo menos uma característica física ou química de um determinado material. (STARLING, 2003),
- É toda operação ou sequência de operações unitárias que envolvam uma ou mais alterações (físicas, químicas ou biológicas) na substância em tratamento e que resultará num produto final desejado.

Um processo pode ser simples, como um bombeamento de água ou pode ser complexo, como a produção de gasolina por destilação da mistura de produtos químicos do óleo cru. Os diversos aspectos de instrumentação e de controle automático de processos podem ser mostrados mais apropriadamente por meio de um exemplo prático. Para ilustrar os diversos aspectos, utilizar-se-á, como processo típico, o trocador de calor mostrado na Figura 1.1, que é utilizado para aquecer um fluido com vapor.

Este processo consiste em aquecer um fluido que entra frio (à direita da figura) no trocador de calor. Dentro do trocador existe uma serpentina. Ele possui um controle de temperatura formada pela válvula de vapor (à esquerda da figura). Na saída do trocador (parte superior da figura) aparece um cano de fluido aquecido que leva este fluido para outro sistema.

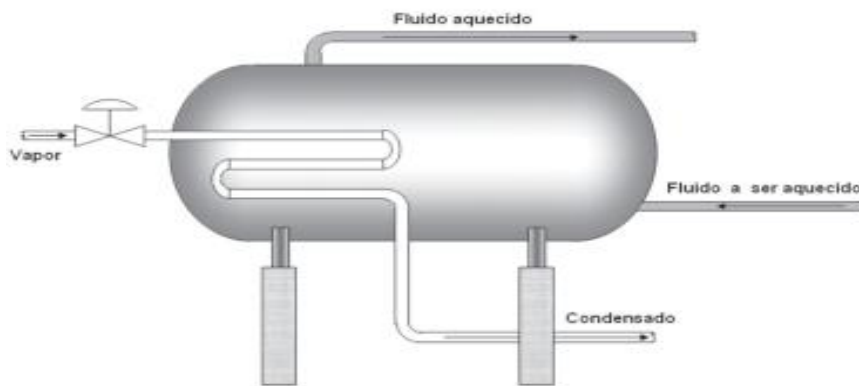


Figura1.1-Processo típico de um trocador de calor [BEGA, 2006]

1.1.2 - Variável de processo.

A variável de Processo são grandezas físicas ou químicas com condições internas ou externas, cuja sua variação no tempo afeta na operação de um processo.

Em todos os processos industriais é absolutamente necessário controlar e manter constantes algumas variáveis de processo, tais como pressão, nível, vazão, temperatura, pH, condutividade, velocidade, humidade etc. Estas variáveis também são imprescindíveis controlar as suas propriedades físicas tais como viscosidade, calor de combustão e densidade. No exemplo citado anteriormente do trocador de calor, a temperatura será a variável de processo. Ela é influenciada por diversos fatores, sendo que os principais são:

- Vazão,
- Temperatura de entrada do fluido a ser aquecido,
- Características do vapor utilizado no aquecimento,
- Capacidade calorífica dos fluidos,
- Perda térmica do trocador para o ambiente, etc.

1.1.3 - Principais objetivos ao medir ou controlar as variáveis de processo

O objetivo principal de qualquer sistema de medição ou controle é aumentar a eficiência do processo, e conseqüentemente os lucros da instalação, atuando sobre:

- A qualidade do produto final;
- A segurança das pessoas e equipamentos;
- A preservação do meio ambiente;
- A economia de matéria prima, de energia e de mão de obra.

1.1.4 - Diferentes tipos de variáveis

Na variável de processo podemos encontrar diferentes tipos de variáveis como:

1.1.4.1 - Variável Controlada de um processo

Os sistemas de controlo mantêm a variável controlada no valor especificado, comparando o valor da variável medida, ou a condição do controlador, com o valor desejado (referência ou *set point*), e fazendo as correções em função do desvio existente entre estes dois valores (erro ou *offset*), sem a necessidade de intervenção do operador.

As variáveis controladas são todas as aquelas que diretamente indicam a forma ou o estado desejado de um determinado produto.

1.1.4.2 - Malhas de controlo

Uma malha de controlo consiste em um conjunto de equipamentos e instrumentos utilizados para controlar uma determinada variável de processo (saída). De acordo com o tipo de controlo, a malha pode ser definida como aberta ou fechada.

Num processo controlado, algumas variáveis (entradas) são convertidas em sinais, possibilitando que as ações de controlo sejam executadas por instrumentos elétricos, eletrónicos, mecânicos, pneumáticos, etc.

A seguir serão mostrados os dois tipos de malhas de controlo existentes: malha aberta e a malha fechada.

Malha aberta - a informação sobre a variável controlada não é utilizada para ajustar qualquer entrada do sistema para compensar variações nas variáveis do processo, como se pode observar na figura 1.2

No caso do exemplo citado anteriormente, a temperatura do fluido aquecido na saída do trocador não exercera nenhuma influência sobre o vapor que entra no trocador de calor.

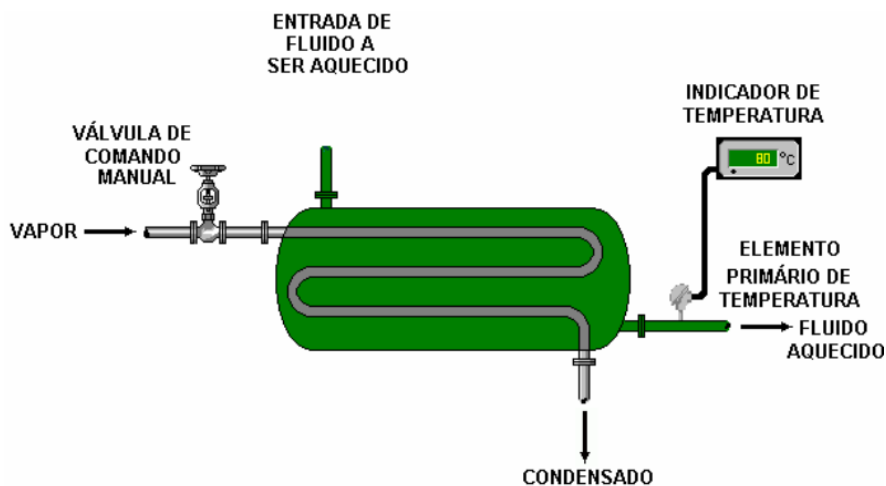


Figura 1.2 - Processo típico de um trocador de calor em malha aberta (BEGA,2006)

Malha fechada- No processo típico de troca de calor do exemplo citado, bem como nos demais casos de controlo de processos, a função fundamental do sistema de controlo em malha fechada, ou sistema de controlo com realimentação, é manipular a relação

entrada/saída de energia ou material. Desta forma a variável controlada do processo será mantida dentro dos limites estabelecidos, ou seja, o sistema de controlo em malha fechada regula a variável controlada, fazendo correções em outra variável de processo, que é chamada de variável manipulada. O controlo em malha fechada pode ser realizado por um operador humano (controlo manual) ou mediante a utilização de instrumentação (controlo automático).

No controlo manual o operador terá como função medir a temperatura do fluido aquecido (variável de processo) e corrigir a vazão do vapor adicionando ao trocador (variável manipulada), de forma a manter a temperatura da variável controlada no valor desejado (referência ou *set point*). Ou seja, o operador irá medir a temperatura do fluido aquecido por meio de um instrumento indicador e este sinal será comparado com a temperatura desejada, caso a temperatura esteja acima ou abaixo do valor desejado, o operador deverá atuar sobre a válvula de admissão de vapor fazendo a correção.

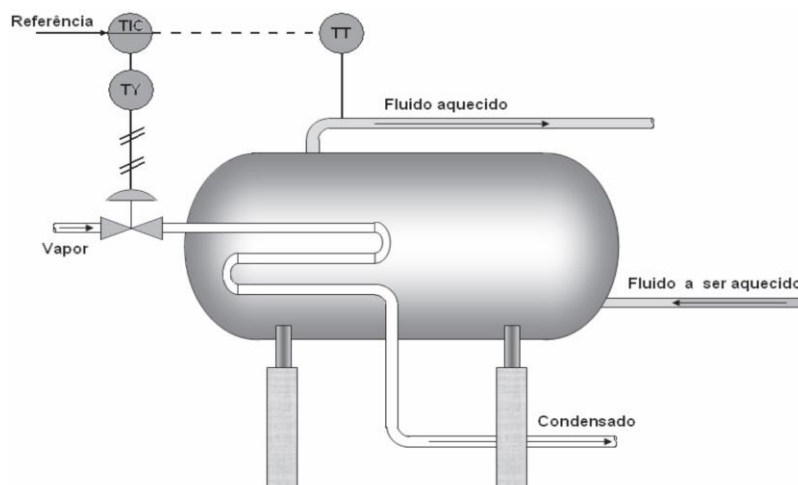


Figura1. 3 – Processo típico de um trocador de calor com controlo automático em malha fechada (BEGA, 2006)

Caso o processo típico de um trocador de calor seja controlado utilizando-se controlo automático, as acções executadas pelo sistema de controlo automático serão as mesmas que as executadas pelo operador quando estiver fazendo controlo manual. A medição do valor da variável de processo é feita pelo transmissor de temperatura (TT); a comparação do valor medido pelo transmissor com a referência (dado pelo operador) para obtenção do valor do erro ($\text{erro} = \text{referência} - \text{valor medido}$) é feita pelo controlador indicador de temperatura (TIC), enquanto a correção será efetivada pela válvula de controlo, com base no valor recebido pelo TIC.

Tabela 1.1 – Ações que serão executadas pelos elementos do processo

Acções	Executada por
Medição do valor da variável do processo	Transmissor de temperatura (TT)
Comparação do valor medido pelo transmissor com a referência para obtenção do valor verdadeiro	Controlador indicador de temperatura (TIC)
Gerar sinal de correção levando em consideração o erro	Algoritmo de controlo contendo. Controlador, indicador de temperatura (TIC)
Correção da variável	Válvula de controlo no valor do TIC

Para além das variáveis de processo acima mencionadas podem existir outras tais como:

- **Meio controlado** - é a energia ou material no qual a variável é controlada.
- **Variável manipulada**- É aquela sobre a qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado.
- **Agente de controlo**- é a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica.

No controlo de temperatura no trocador de calor, temos como variável de processo a temperatura medida (sinal 1), e a variável manipulada será a vazão de combustível (sinal 2) controlada pela válvula de combustível. O *set point* deste processo será um valor de referência de temperatura que está sendo inserido no controlador de temperatura TC.

Quando se fala em controlo, deve-se necessariamente subentender uma medição de uma variável qualquer do processo, isto é, a informação que o controlador recebe. Recebida essa informação o sistema controlador compara-a com um valor pré-estabelecido (chamado SET POINT), verifica a diferença entre ambos, e age de maneira a diminuir ao máximo essa diferença.

Esta sequência de operações medira variável; comparar com o valor pré-determinado e atuar no sistema de modo a minimizar a diferença entre a medida e o set point, denomina-se malha de controlo, que pode ser aberta ou fechada.

1.2 - Classes de Aplicação de Instrumentos de Medida

Basicamente existem três tipos de aplicação para a instrumentação: O monitoramento de processos e operações, a análise experimental, e o controle de processos e operações.

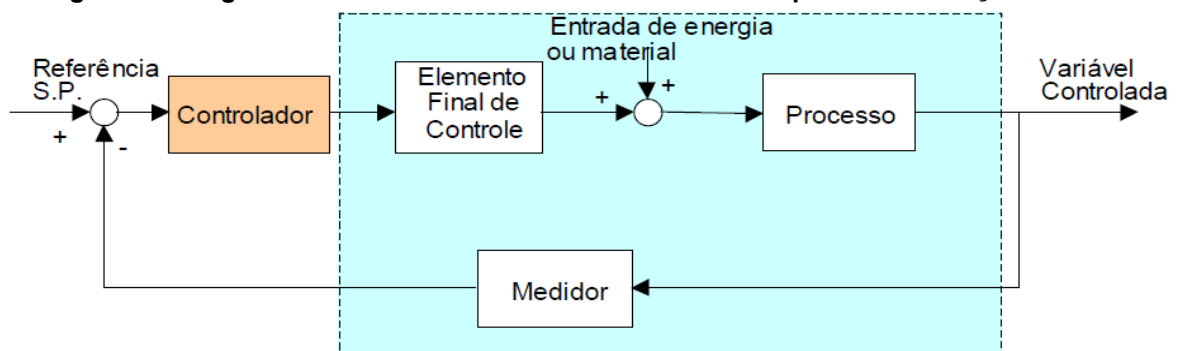
- **O monitoramento de processos e operações-** algumas aplicações de instrumentos de medida tem a simples função de monitoração da variável medida, ou seja, suas medidas não são utilizadas para controle. Medidores de consumo de gás, água e energia elétrica utilizados em residências, são bons exemplos desta classe de aplicação. Mas mesmo em alguns processos industriais ainda utilizam medidores para funções exclusivas de monitoração. Isto acontece quando uma estratégia de controle adequada ainda não está definida para o processo, ou quando a aplicação de técnicas de controle e automação ainda não é muito usado na área.

- **Análise Experimental-** refere-se às aplicações onde a medição fornecida por algum instrumento tem uso destinado à uma análise pós-medição, para determinação de algum parâmetro, modelo e/ou validação do mesmo [Doebelin, 1990].

- **Controle de Processos e operações-** o caso mais clássico, com o qual engenheiros e técnicos trabalham no dia a dia, relaciona-se à especificação de instrumentos de medida como elementos de uma malha

de controle. Esta classe de aplicação é representada no diagrama em blocos segundo a ilustração da figura 1.4.

Figura 1.4 Diagrama em blocos de um sistema de controle por realimentação.



Um exemplo clássico é uma malha de controle de nível de um tanque, como mostrado na figura 1.4 onde:

- TQ, tanque reservatório de água, é o processo, do qual deseja-se controlar o nível;
- L, o nível do tanque, é a variável controlada, e portanto, deve ser medida;
- LT é o instrumento de medição de nível;
- Fi, vazão de água afluente ao tanque TQ, é a variável manipulada;
- FCV é o elemento final de controle, neste caso, uma válvula;
- C é o controlador;

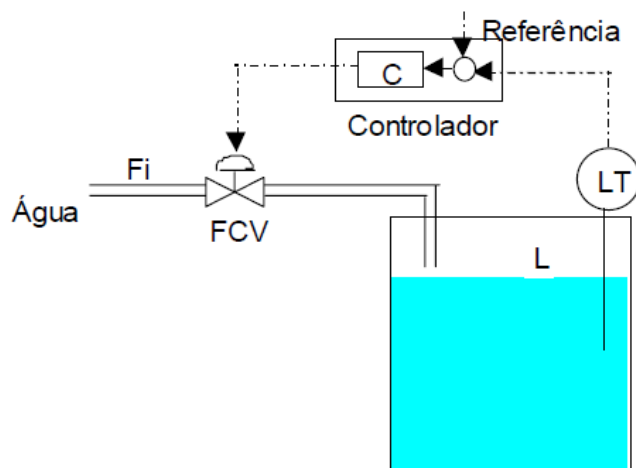


Figura 1.5- Malha de controle de nível de um tanque

Para qualquer classe de aplicação, a seleção de um instrumento de medida deve ser criteriosa, responsável e adequada aos objetivos definidos para a aplicação. Mas esta tarefa não é fácil. Esta demanda um amplo espectro de informações a respeito da instrumentação comercial disponível e de suas características técnicas, que precisam ser especificadas de acordo com as condições operacionais a serem impostas ao instrumento (tipo de instrumento e span) e com as demandas do processo em relação à medição (precisão e tempo de resposta). Em outras palavras, demanda-se um bom conhecimento do trabalho a ser desempenhado pelo instrumento e das características de desempenho possíveis de serem atingidas.

1.2.1 - Instrumento de medição

A tecnologia exige que as avaliações das grandezas que tomam parte nos fenômenos físicos sejam feitas com precisão e exatidão cada vez maior. Na engenharia elétrica a medida de certas grandezas é de fundamental importância tanto na pesquisa, quanto na monitorização funcionamento e redes elétricas.

Medida é um processo de comparação de grandezas de mesma espécie, ou seja que possuem um padrão único e comum entre elas.

Padrão é um elemento ou instrumento de medida destinado a definir, conservar e reproduzir a unidade base de medida de uma determinada grandeza. Possui uma alta estabilidade com o tempo quando mantido em um ambiente neutro e controlado (temperatura, pressão, humidade contantes).

Um instrumento de medição que apresenta uma indicação. A indicação pode ser analógica (continua ou descontinua) ou digital. Os valores de mais de uma grandeza podem ser apresentados simultaneamente. Um instrumento de medição indicador pode também fornecer um registro.

O instrumento de medida incorpora:

- Sensores
- Condicionador de Sinais
- Tratamento de Informação
- Apresentação ao observador na forma analógica, digital ou gráfica

Os principais elementos envolvidos na medição e utilização de uma variável de processo são:

- Sensor Primário: é o elemento que primeiro recebe a energia do meio onde a medida é feita;
- Conversão de Energia: é nesse elemento que a variável medida é convertida em outra de mais fácil manipulação, sem entretanto modificar o conteúdo da informação original;
- Manipulação da Variável: é o elemento que produz uma mudança no valor numérico da variável preservando sua natureza física (amplificação de tensão, por exemplo);
- Transmissão da Informação: é o elemento que transfere a informação de um ponto do instrumento a outro;
- Apresentação: é o elemento que converte a informação em uma forma reconhecível por um dos sentidos do ser humano.

Apesar de não serem o mesmo dispositivo, na maioria dos casos, os sensores e conversores, podem vir integrados em um só elemento chamado transdutores. Os transdutores podem ser classificados como:

- Activos geram um sinal eléctrico em resposta de um estímulo e não precisam receber energia externa para produzir um sinal de saída.
- Passivos precisam ser excitados por uma fonte externa de energia para produzir um sinal de saída.

1.2.2 - Padrões de grandezas eléctricas

O instrumento de medida são aparelhos que fornecem uma avaliação da grandeza eléctrica, baseando-se em efeitos físicos causados por essas grandezas. Vários são os efeitos aplicáveis, tais como: forças electromagnéticas, forças electrostáticas, efeito joule, efeito termoelectrico, efeito da temperatura na resistência, sensores, condicionador de Sinais, tratamento da Informação e apresentação ao observador na forma analógica, digital ou gráfica.

Para verificação do correto funcionamento de um circuito eléctrico, comparar com os valores pré-definidos de projeto, estabelecer comparações para proteção ou realizar a tarifação, e necessário realizar medições das grandezas eléctricas. Nas medições eléctricas as grandezas fundamentais são:

- Corrente;
- Tensão;

- Frequência;
- Potência.

Além disso, existem outras grandezas que podem ser medidas, tais como:

- Resistência;
- Capacitância;
- Indutância;
- Fator de potência;
- Energia.

1.3- Classificações dos instrumentos de medidas

Existem vários métodos de classificar os instrumentos de medição.

Dentre os quais podem ser classificados:

Segundo sua localização- Instrumentos de painel, localizados na sala de controle que são: registradores, controlador, estações de supervisão, reset(reiniciar) de alarme e outros. Os instrumentos de campo, localizados na área das unidades, tais como pressão (manômetro tipo bourdon, manômetro tipo coluna, diafragma, pressão diferencial), nível (flutuador, diferencial, capacitivo e ultrassônico), vazão (medidores pressão diferencial, medidores área variável, medidores magnéticos, medidores ultra-sônico), temperatura (termômetro de Os parâmetros do bloco funcional definem as entradas, saídas e os dados usados para controlar a operação dos blocos funcionais. Eles são visíveis e acessíveis na rede. Os parâmetros adicionais, chamados "*contained within*" são parâmetros usados para definir os dados privados de um bloco funcional. Embora visíveis na rede não podem participar de trocas de dados cíclicas.

A troca de dados cíclica indica que um parâmetro da entrada de um bloco funcional obtém seu valor, ciclicamente, dos parâmetros de saída específicos de um outro bloco funcional no outro equipamento. Não há nenhuma ligação interna entre os blocos funcionais no dispositivo.

Em geral, um bloco funcional do equipamento transmissor, ou actuador, troca dados ciclicamente com o controlador (por exemplo, um PLC mestre). Tipicamente, o transmissor obtém os dados do sensor e o equipamento controlador requisita estes dados, faz cálculos e envia o resultado para um actuador que tomará algumas ações no processo. Vidro/metálico, termômetro bimetálico, termopar, bulbo de resistência, termômetro óptico) , atuador elétrico, válvula de controle.

Segundo suas funções- instrumentos que podem estar interligados entre si para realizar uma determinada tarefa nos processos industriais. A associação desses instrumentos chama-se malha, e em uma malha cada instrumento executa uma função. Os instrumentos elétricos empregados na medição das grandezas elétricas apresentam um conjunto móvel que é deslocado aproveitando um dos efeitos da corrente elétrica: efeito térmico, efeito magnético, efeito dinâmico, etc. Preso a um conjunto móvel, está um ponteiro que se

desloca na frente de uma escala graduada de valores da grandeza que o instrumento é destinado a medir, podendo estar agrupados da seguinte forma:

- Instrumentos de medição da variável;
- Instrumentos de controlo da variável- que fornecem informações obtidas segundo os instrumentos de medição;
- Instrumentos de alarme- alertam o operador sobre condições anormais das variáveis, dentro da margem de segurança que o processo e a unidade exigida.

Segundo o tipo de sinal- os instrumentos segundo o sinal de transmissão ou suprimento classificam-se em:

- Pneumático: 3 a 15 psi, 0,2 a 1 kgf/cm²
- Hidráulico
- Elétrico/Eletrônico – Analógico: 4 a 20 mA
- Elétrico/Eletrônico – Digital

Todas as faixas possuem zero vivo para detectar avarias no sinal de transmissão (detecção de erros) e facilitar a calibração no início da faixa.

Sinal Pneumático- nesse tipo de instrumento é utilizado um gás comprimido, cuja pressão é alterada conforme o valor que se deseja representar.

O padrão de transmissão ou recepção de instrumentos pneumáticos mais utilizado é de 0,2 a 1,0 kgf/cm² (aproximadamente 3 a 15 psi no Sistema Inglês) para uma faixa de medidas de 0 à 100% da variável..

Note que o valor mínimo do sinal pneumático não é zero, e sim, 3 psi ou 0,2 kgf/cm². Deste modo, conseguimos calibrar corretamente o instrumento e detectar vazamentos de ar nas linhas de transmissão.

Vantagem:

- Em utilizar os instrumentos pneumáticos está no fato de se poder operá-los com segurança em áreas onde existe risco de explosão (centrais de gás, por exemplo).

Desvantagens:

- Necessita de tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para seu suprimento e funcionamento.
- Necessita de equipamentos auxiliares tais como compressor, filtro, desumidificador, etc, para fornecer aos instrumentos ar seco, e sem partículas sólidas.
- Devido ao atraso que ocorre na transmissão do sinal, este não pode ser enviado à longa distância, sem uso de reforçadores. Normalmente a transmissão é limitada a aproximadamente 100 m.
- Vazamentos ao longo da linha de transmissão ou mesmo nos instrumentos são difíceis de serem detectados.
- Não permite conexão direta aos computadores

Sinal Hidráulico - similar ao tipo pneumático e com desvantagens equivalentes, o tipo hidráulico utiliza-se da variação de pressão exercida em óleos hidráulicos para transmissão de sinal. É especialmente utilizado em aplicações onde torque elevado é necessário ou quando o processo envolve pressões altas.

Vantagens:

- Podem gerar grandes forças e assim acionar equipamentos de grande peso e dimensão.
- Resposta rápida.

Desvantagens:

- Necessita de tubulações de óleo para transmissão e suprimento.
- Necessita de inspeção periódica do nível de óleo bem como sua troca.
- Necessita de equipamentos auxiliares, tais como reservatório, filtros, bombas, etc.

Sinal Elétrico/Eletrônico – Analógico- assim como na transmissão pneumática, o sinal é linearmente modulado em uma faixa padronizada (4~20mA) representando o conjunto de valores entre o limite mínimo e máximo de uma variável de um processo qualquer. O zero vivo utilizado quando adotamos o valor mínimo de 4 mA, oferece a vantagem também de podermos detectar uma avaria (rompimento dos fios), que provocará a queda do sinal, quando o mesmo estiver em seu valor mínimo.

Vantagens:

- Permite transmissão rápida para longas distâncias sem perdas.
- A alimentação pode ser feita pelos próprios fios que conduzem o sinal de transmissão.
- Não necessita de equipamentos auxiliares.
- Permite fácil conexão aos computadores.
- Fácil instalação.
- Permite de forma mais fácil realização de operações matemáticas.

Desvantagens:

- Exige utilização de instrumentos e cuidados especiais em instalações localizadas em áreas de riscos.
- Os cabos de sinal devem ser protegidos contra ruídos elétricos.

1.3.1 Sinal Elétrico/Eletrônico – Digital

Nesse tipo de sinal, pacotes de informações sobre a variável medida são enviados para uma estação receptora, através de sinais digitais modulados e padronizados. Para que a comunicação entre o elemento transmissor receptor seja realizada com êxito é utilizada uma linguagem padrão chamado protocolo de comunicação.

Vantagens:

- Não necessita ligação ponto a ponto por instrumento.

- Pode utilizar um par trançado ou fibra óptica para transmissão dos dados.
- É imune a ruídos externos.
- Permite configuração, diagnósticos de falha e ajuste em qualquer ponto da malha.
- Permite que o mesmo sinal seja lido por mais de um instrumento.
- Menor custo final.

Desvantagens:

- Existência de vários protocolos no mercado, o que dificulta a comunicação entre equipamentos de marcas diferentes.
- Caso ocorra rompimento no cabo de comunicação pode-se perder a informação.

Quanto à corrente

Instrumentos de corrente continua- (CC)

Instrumentos de corrente alternada- (CA)

Quanto à grandeza a ser medida

- O Amperímetro: para a medida de corrente;
- O Voltímetro: adequado para a medida de tensão;
- O Ohmímetros: para a leitura de resistência;
- O Wattímetro: capaz de medir a potência activa;
- O Varímetro: para a medida de potência reativa;
- O Fasímetros: apropriado para a medida de defasagem ($\cos\phi$);
- O Frecuencímetro: que mede a frequência

Quanto ao uso

- Instrumentos industriais
- Instrumento de laboratório

1.4 - Características dos Instrumentos de medida no acto da medição

Os resultados da medição são afectados por uma série de factores que dependem essencialmente:

- Da grandeza a ser medida;
- Do instrumento de medição;

Em qualquer instrumento de medição é fundamental e importante o conhecimento das características dos instrumentos, que definirão a qualidade final dos instrumentos de medida. Pode ser caracterizado da seguinte forma:

1.4.1 - Característica estática dos instrumentos

As características estáticas de um equipamento são obtidas através de um procedimento chamada calibração estática. Este consiste em apresentar ao instrumento diferentes valores das grandezas desejadas mantendo constantes as entradas

modificadoras e as interferências. A relação entre as entradas e saídas é chamada de calibração estática. Este procedimento pode ser repetido várias vezes para cada entrada desejada. A calibração então pode ser apresentada como uma curva, uma equação ou uma tabela ou ainda como uma família delas.

Apesar de a definição acima exigir que todas as variáveis modificadoras e de interferência sejam mantidas constantes durante o processo de calibração, isto é impossível de se obter na prática. Também não é possível garantir um valor verdadeiro para a grandeza que se deseja medir.

O desempenho estático dos instrumentos de medida pode ser caracterizado a partir dos conceitos apresentados a seguir:

Faixa de medida (range) - Conjunto de valores da grandeza medida que pode ser fornecido por um instrumento de medir, consideradas todas as suas faixas nominais de escala. A faixa nominal é expressa em unidades da grandeza a medir, qualquer que seja a unidade marcada sobre a escala e é normalmente especificada por seus limites inferior e superior. O range é determinado pelos valores máximos e mínimos. Deve-se cuidar para que a especificação do instrumento propicie que o mesmo opere em torno de 30% da sua faixa máximo para o valor nominal da variável medida, evitando-se leituras no início e no final da escala onde a confiabilidade da medida é inferior.

Span (Amplitude de medição) - formalmente conhecida por faixa dinâmica é um escalar que indica o valor da faixa total de operação do sensor indo do mínimo até o máximo da sua entrada.

URL (*Upper Range Limit*) - máximo valor de medida que pode ser ajustado para a indicação de um instrumento de medir.

URV (*Upper Range Value*) - máximo valor que pode ser indicado por um instrumento de medir. O URV ajustado num instrumento é sempre menor ou igual ao URL do instrumento.

LRL (*Lower Range Limit*) - mínimo valor de medida que pode ser ajustado para a indicação de um instrumento de medir.

LRV (*Lower Range Value*) - mínimo valor que pode ser indicado por um instrumento de medir. O LRV ajustado num instrumento é sempre maior ou igual ao LRL do instrumento.

Exatidão - característica quantitativa que determina a capacidade do instrumento em fornecer valores iguais ao valor da grandeza medida. Quanto mais próximo as medidas ficarem do valor real, melhor é a exatidão do instrumento.

A exatidão é determinada através do processo de calibração estático do instrumento como por Exemplo:

Padrão = 2,000 Ω

Instrumento (1) = 2,010 Ω

Instrumento (2) = 2,100 Ω

Então, (1) é mais exato que (2)

A exatidão dos instrumentos é geralmente expressa em termos de erro máximo que este pode apresentar na medida, quando empregado corretamente.

Precisão - é caracterizada pela capacidade do instrumento fornecer o mesmo resultado para um dado valor medido, independente da proximidade do valor real da grandeza medida.

Em geral, os instrumentos são especificados em termos de sua exatidão e não da sua precisão. A especificação informa o valor da exatidão em termos de percentagem em torno do valor exato (para mais ou para menos), isto é, informa o desvio que o instrumento pode proporcionar.

Polarização e Imprecisão - Um processo de calibração pode propiciar a decomposição do erro total do processo de medição em duas partes: polarização (bias) e imprecisão.

A polarização pode também ser chamada de erro sistemático, uma vez que será sempre a mesma para cada toda leitura realizada, e, portanto pode ser removida pela calibração.

O erro causado pela imprecisão pode ser denominado erro aleatório ou não repetibilidade uma vez que é diferente para cada leitura. As somas da polarização e da imprecisão caracterizam a incerteza total de uma medida.

Portanto, a calibração é o processo realizado para remover a polarização (minimizando, assim, a incerteza da medida) e definir a imprecisão numericamente.

Resolução - é a menor variação de entrada necessária para produzir uma alteração mensurável na saída.

Sensibilidade - medida do quando varia a leitura do instrumento para uma determinada variação na grandeza medida.

Repetibilidade - é a capacidade do instrumento de reproduzir as mesmas saídas, quando as mesmas entradas são aplicadas, na mesma sequência e nas mesmas condições ambientais.

Condições de repetibilidade incluem:

- Mesmo procedimento de medição
- Mesmo observador
- Mesmo instrumento de medição sob as mesmas condições
- Mesmo local
- Repetição em curto período de tempo.

Ganho - O ganho é a relação entre a variação na saída e a variação unitária na entrada, ou o *span* da saída dividido pelo *span* da entrada.

Linearidade - de um instrumento indica a máxima aproximação da relação entrada-saída, com uma determinada linha reta. Geralmente quantifica-se a não-linearidade expressando-se como porcentagem do fundo de escala.

Histerese - o efeito da histerese é notado em instrumentos que possuem comportamento diferente para entrada crescente em relação a entrada decrescente.

Carga do Instrumento - Um instrumento de medida (elemento primário) sempre extrai alguma energia do meio onde encontra-se instalado realizando suas medições. Sem isto seria impossível realizar a medição. Mas a grandeza medida é sempre perturbada pelo meio ou pelo ato da medição, o que torna uma medida perfeita, teoricamente, impossível de ser alcançada. Portanto, bons instrumentos devem ser projetados para minimizar este efeito.

1.4.2 - Características Dinâmicas dos Instrumentos

A grande maioria dos sistemas reais é dinâmica. Os instrumentos de medida também são sistemas de igual modo aos processos industriais. Os sistemas dinâmicos sempre respondem a uma entrada qualquer (um sinal a ser medido ou uma perturbação) passando por uma resposta transiente antes de encontrarem sua condição de estado estacionário. Basicamente duas características definem a resposta dinâmica de um sistema: o tempo morto, ou atraso de transporte (tempo decorrido antes que o sistema começa a responder a uma dada entrada aplicada) e a constante de tempo (tempo necessário para a resposta do sistema atingir 63,2% do seu valor final de estado estacionário). Estas características definem o tempo de resposta do sistema, neste caso, do instrumento de medida. Pode-se, então, dizer que o tempo de resposta é o tempo requerido para o sensor responder completamente à uma mudança na sua entrada e corresponde a aproximadamente 4 vezes a constante de tempo do mesmo.

Embora as características que determinam o desempenho estático do instrumento, discutidas no item anterior, sejam muito importantes, elas não são suficientes para determinar o desempenho final do instrumento em sua aplicação. Se vamos especificar um instrumento para medir uma variável controlada de dinâmica rápida, precisamos de um instrumento de medida com velocidade de resposta maior que a da variável medida, caso contrário, a dinâmica do instrumento poderá interferir consideravelmente na dinâmica do sistema de controle da malha, introduzindo atrasos e provocando oscilações na resposta.

1.5 - Segurança Intrínseca

Em alguns processos industriais existem áreas consideradas de risco, devido à presença de substâncias potencialmente explosivas. O risco de ignição da atmosfera destas áreas está relacionado à simultaneidade de três condições:

1. Presença de uma substância inflamável em estado e quantidade suficiente para formar uma atmosfera explosiva (Combustível);
2. Existência de uma fonte de ignição com energia elétrica ou térmica suficiente para provocar a ignição (Fonte de Ignição);
3. Existência de atmosfera em torno da fonte de ignição (Comburente: ar ou oxigênio).

Para se evitar a ocorrência desta simultaneidade de condições causadora de explosões, pode-se optar por vários métodos de prevenção, quando for necessária a instalação de um instrumento ou equipamento eletroeletrônico em uma área de risco. De uma maneira geral estes métodos baseiam-se em um dos seguintes princípios.

- **Confinamento** - evita a detonação da atmosfera, confinando a explosão em um encapsulamento robusto, capaz de resistir à pressão desenvolvida durante uma possível explosão, evitando a propagação para áreas vizinhas.
- **Segregação** - visa separar fisicamente a atmosfera potencialmente explosiva da fonte de ignição. Instrumentos pressurizados utilizam este princípio, Além da pressurização, as técnicas de encapsulamento (para circuitos eletrônicos), imersão em óleo (para transformadores, disjuntores e similares) e enchimento com areia (proteção em leitos de cabos) utilizam o princípio da segregação.
- **Prevenção da ignição** - é o método mais elegante para se implementar proteção contra explosões. Baseia-se na limitação dos níveis de potência elétrica envolvidos na área, os dispositivos de segurança intrínseca utilizam este conceito de prevenção.
- **Segurança Intrínseca** - os instrumentos com proteção baseada na segurança intrínseca têm o excesso de energia elétrica na forma de tensão e corrente, limitados através da inserção de dispositivos limitadores de energia, conhecidos como barreiras de segurança intrínseca, nos seus circuitos.

Pode-se dizer que um circuito intrinsecamente seguro possui três componentes básicos:

- O dispositivo de campo a ser instalado na área de risco;
- A barreira de segurança intrínseca;
- A fiação de campo envolvida.

Para selecionar-se uma barreira adequada ao dispositivo de campo, este deve ser conhecido. Estes dispositivos são classificados basicamente em dois tipos:

- Dispositivos simples (que não armazenam energia);
- Dispositivos Complexos (que armazenam energia).

Para proteger o sistema de segurança intrínseca numa área de risco, um dispositivo limitador de energia deve ser instalado. Este dispositivo é conhecido como barreira ou sistema de segurança intrínseca associado. Sob condições normais, o dispositivo é passivo e permite o sistema de segurança intrínseca funcionar normalmente. Sob condições de falta,

ele protege o circuito de campo prevenindo que o excesso de corrente e tensão atinja a área de risco.

Durante a análise do problema de segurança intrínseca de uma dada área de risco, é fundamental comparar os valores da entidade de um sistema intrinsecamente seguro (dispositivo de campo) com os do sistema associado (barreira), para definir a escolha da barreira adequada. Esses parâmetros são normalmente encontrados nas placas de características dos instrumentos ou nos diagramas de fiação.

Os níveis adequados de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito são definidos a partir de curvas de ignição dos gases. Aplicações de segurança intrínseca deverão sempre estar abaixo destas curvas, onde o nível de energia de operação é de cerca de 1Watt ou menos. As curvas de capacitância e indutância também devem ser analisadas para a especificação de circuitos intrinsecamente seguros. Um outro ponto importante a ser analisado na especificação de dispositivos intrinsecamente seguro é a operação correta do dispositivo de campo em condições normais. Em outras palavras, é preciso certificar-se de que o resistor limitador de corrente do circuito de barreira exerça sua função de proteção com segurança sem influenciar nas medições do instrumento em condições normais. O cálculo adequado desta queda de tensão, faz, portanto, parte da especificação de um instrumento de campo intrinsecamente seguro.

Conclusão do capítulo

Pode se concluir que a instrumentação é a ciência que se dedica em desenvolver e aplicar técnicas de instrumentos de medição, indicação, transmissão, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos de transformação, visando a otimização da eficiência dos mesmos. Em todos os processos industriais é absolutamente necessário controlar e manter constantes as variáveis de processo. E que as características estáticas e dinâmica e que definem a qualidade dos instrumentos.

Capítulo 2- Problema da medição e análise de incerteza de medidas

2.1- Introdução

Como já foi escrito, a instrumentação é a ciência que se ocupa em desenvolver e aplicar técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos de transformação, visando a otimização da eficiência dos mesmos. Essas técnicas são normalmente suportadas teoricamente em princípios físicos e ou físico-químicos e utiliza-se das mais avançadas tecnologias de fabricação para viabilizar os diversos tipos de medição de variáveis industriais. Dentre essas variáveis encontra-se a pressão cuja medição possibilita não só sua monitoração e controle como também de outras variáveis tais como nível, vazão e densidade. Assim por ser sua compreensão básica para o entendimento de outras áreas da instrumentação iniciaremos revisando alguns conceitos físicos importantes para medição.

Medir uma grandeza física significa compará-la com uma outra grandeza do mesmo tipo, escolhida como termo de comparação ou padrão.

Medição: é o relacionamento entre duas grandezas físicas, comparação. É um ato projetado para obter informação quantitativa a respeito de algum fenômeno físico através da comparação com uma referência ou padrão [Hercerg, 1972, em Carr, 1996]. Medição é atribuição de números para representar-se propriedades (físicas) [Herceg, 1972].

Quando alguma grandeza física é medida com auxílio de algum instrumento que indica um determinado valor numérico surge a necessidade de se saber quão verdadeiro é esse valor numérico, isto é, quão próximo o número está da medida verdadeira

2.1.1 - Resultados do processo de medição

A apresentação dos resultados das medidas é parte integrante do processo de medição, entende-se que uma apresentação adequada do resultado engloba:

- Mostrar cada resultado com uma apresentação condizente com as características de exatidão do processo.
- Apresentar o conjunto de resultados de forma clara, ressaltando as informações nele contidas.
- Formato dos resultados. Cada resultado de uma medida é composto pelo valor real da grandeza e mais uma parcela de incerteza relativa à faixa de erro que o processo pode apresentar.
- A apresentação correta dos resultados de uma medição deve fornecer tais informações, indicando qual o valor mais provável da medida, através dos algarismos significativos, e do grau de incerteza existente. Os algarismos significativos são aqueles que contêm de fato, informações relevantes e confiáveis sobre grandeza em questão.
- A apresentação de leituras com algarismo não significativo, além da falsa impressão de exatidão, pode levar à propagação de erros.

Classe de exatidão- é o limite do erro garantido pelo fabricante de um instrumento, que se pode cometer em qualquer medida efetuada pelo mesmo, ou seja, é uma classificação do instrumento de medida para designar a sua exatidão. O número que a designa chama-se índice de classe.

Índice de classe- é o número que designa a classe de exatidão, o qual deve ser tomado como uma percentagem do valor de plena escala de um instrumento.

A classe de exatidão do instrumento deve ser levada em conta na expressão do resultado obtido. Assim sendo facilmente se conclui que o valor da medida será tanto mais exata (ou seja, com o valor mais próximo do real), quanto menor for o erro; assim, é conveniente conhecer-se o erro em cada ponto da escala de um instrumento para se ter exatidão na medida. Naturalmente, que isso é impraticável nas medidas cotidianas, o que

leva á ideia de se conhecer, ao menos uma ordem de grandeza dos erros cometidos. Desta forma, emprega-se a chamada classe de exatidão, a qual se constitui em uma classificação dos instrumentos que estabelece a exatidão de uma medida dentro de uma faixa de valores. Observa-se que o erro que define a citada faixa é sempre expresso em relação ao valor final da escala, ou ao valor nominal ou a um campo nominal.

Resolução- se a entrada do instrumento for aumentando gradualmente partir de um valor arbitrário valor diferente de zero, mais uma vez a saída do instrumento não variará até que um certo valor do incremento seja excedido, define-se então resolução como a menor variação de entrada que pode ser medida pelo instrumento. Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida. Para dispositivo mostrador digital, é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade.

Resultado de uma medição - valor atribuído a um mensurando obtido por medição. Deve-se indicar claramente se o resultado se refere á indicação, se é resultado corrigido ou não corrigido e se corresponde ao valor médio de várias medições. A expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza das medições.

Estimativa - valor de uma estatística utilizada para estimar um parâmetro de totalidade de itens (em geral finitos), obtidos como resultado de uma operação sobre uma amostra (em geral um conjunto limitado de dados) supondo um determinado modelo estatístico de distribuição.

Valor - expressão quantitativa de uma grandeza específica, geralmente sob a forma de uma unidade multiplicada por um número.

Mensurando: gradeza específica submetida á medição. Exemplo: temperatura de fusão de um determinado composto químico.

2.1.2 - Formato dos resultados

O formato dos resultados pode ser apresentados em:

- Tabelas: os dados são dispostos em linhas e colunas identificados com informações sobre os mesmos (tipo de grandeza, unidade e condições da medida). Têm vantagem de acesso direto aos dados, permitindo sua análise com maior exatidão.
- Gráficos: os valores da medida são apresentados como coordenadas em um conjunto de eixos em disposições um ou mais dimensionais, dependendo das variáveis em função das quais foram relidas as medidas. Cada tipo de gráfico leva a um determinado tipo de interpretação.
- Equações: em alguns casos é possível estabelecer equações relacionando os dados em um conjunto de medidas. A equação pode ser utilizada para a representação dos resultados, podendo ser utilizada de forma complementar ás demais representações.

2.1.3 - Erros em medidas

Erro é a diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento, em relação ao valor real da variável medida. Se tivermos o processo em regime permanente, chamaremos de erro estático, que poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento, o qual poderá estar indicando a mais ou a menos.

Quantidade (medida) – atributo ou fenômeno, corpo ou substância que pode ser distinguida qualitativamente e determinada quantitativamente, exemplo:

- Quantidade no sentido geral: comprimento, tempo, massa, temperatura etc.
- Quantidades particulares: o comprimento de uma dada vara, a resistência de um fio elétrico particular etc.

Valor (de uma quantidade) – é a magnitude de uma quantidade particular expressada como uma unidade de medida multiplicada por um número, exemplo:

- Comprimento de uma vara: 3,24m
- Massa de um corpo: 0.6 kg

Valor Verdadeiro (de uma quantidade) - Valor que caracteriza uma grandeza perfeitamente definida nas condições existentes quando ela é considerada. O valor verdadeiro de uma grandeza é um conceito ideal e não pode ser conhecido exatamente.

Valor Verdadeiro Convencional (de uma quantidade) - Valor de uma grandeza que para um determinado objetivo pode substituir o valor verdadeiro. Um valor verdadeiro convencional é, em geral, considerado como suficientemente próximo do valor verdadeiro para que a diferença seja insignificante para determinado objetivo.

Considerando-se um determinado instrumento analógico, por exemplo, tem-se que para que ele responda á grandeza que se pretende medir, é necessário que o sistema medido forneça ao medidor a energia necessária para deslocar suas partes móveis. Isso indica que o processo de medição frequentemente provoca uma perturbação na grandeza a ser avaliada. Assim sendo, uma vez que não se pode evitar a modificação introduzida pelo instrumento de medida, procura-se minimizá-la.

A primeira noção fundamental é a de que cada medida é um intervalo e não um número. Isso decorre do processo de medição, do erro do medidor, da incerteza do valor verdadeiro. Verifica-se que a leitura ou indicador de um medidor sempre estará sujeita a erros e incerteza, tanto nos instrumentos analógicos, quanto nos digitais.

Erro de medição- á diferença entre o valor real (verdadeiro) e o medido. O erro é uma característica do processo de medição, estando sempre presente em menor ou maior grau nos resultados obtidos.

O erro de medição é caracterizado como a diferença algébrica entre o valor da indicação de uma grandeza e o seu valor verdadeiro o mensurando. Na prática é impossível eliminar todos os erros e obter um valor aceite como verdadeiro, que substitui o valor verdadeiro. É a medida de amostra de um determinado número de medidas técnicas,

usando o mesmo material e mantendo-se, a medida do possível, as mesmas condições ambientais.

Erro absoluto -é a diferença entre o valor medido e o valor aceite como verdadeiro.

Erro relativo- é definido como a relação entre o erro absoluto e o valor aceite como verdadeiro de uma grandeza, podendo ou não ser expresso em percentual.

2.2 - Tipos específicos de erros de medição

Diversos são os erros presentes nos sistemas de medição, a importância de se conhecer alguns deles e as interferências que eles causam nas medidas, vale para que se possa adotar ações apropriadas para minimizá-los ou, dependendo do caso, providenciar a substituição ou manutenção dos instrumentos envolvidos.

2.2.1 Erros estáticos

São erros que provocam o desvio da medida do valor real quando a grandeza medida se fixa num determinado valor ou apresenta variações muito lentas. Ele indica a diferença entre o valor verdadeiro de uma grandeza física que não varia com o tempo (estática) e o valor indicado pelo instrumento. Normalmente o erro estático é indicado em percentagem do span.

Grandes erros estáticos são indesejáveis; contudo, em alguns processos não afetam significativamente o resultado final, já em outros até mesmo pequenos erros estáticos podem ser desastrosos.

O erro estático é menos danoso, por exemplo, para processos que não tenham necessidade de grande exatidão de medidas.

2.2.2 – Erros grosseiros

São geralmente decorrentes do mau uso ou mau funcionamento dos instrumentos de medidas. Pode, por exemplo, ocorrer em função de enganos nas leituras e anotações de resultados, operação indevida ou dano do instrumento de medida. Seu valor é totalmente imprevisível, porém geralmente sua existência é facilmente detectável. Sua aparição pode ser resumida a casos muito esporádicos, desde que o trabalho de medição seja feito com consciência.

Para evitá-los é necessário proceder a repetição dos trabalhos, mas é necessário sobretudo, que se trabalhe com muita atenção. Tem como característica apresentarem o mesmo sinal e com pouca variação na amplitude ao longo das medições. Como exemplo tem-se a má utilização dos instrumentos (instrumentos não adequados ou conectados de forma errada) e erros de leitura em equipamentos analógicos, dentre outros. Estes, geralmente, são os maiores erros encontrados em medições e são possíveis de ser diminuídos ou eliminados.

2.2.3- Erros Sistemáticos

São erros que sempre estarão presente nas medições realizadas em idênticas condições de operação. Um dispositivo mostrador com seu ponteiro torto é um exemplo clássico de erro sistemático, que sempre se repetirá enquanto o ponteiro estiver torto. Este tipo de erro surge em geral, devido às características inerentes da fabricação do instrumento (tais como, tolerâncias de componentes) ou, também, como resultado do método utilizado na medição, emprego inadequado do instrumento e distúrbios ambientais. Em princípio, os erros sistemáticos podem ser reduzidos a valores desprezíveis por aferição com um padrão.

- Erros de construção e ajuste
- Erros de graduação da escala na indústria.
- Erros de ajuste entre pinos e eixos, assim como de componentes eléctricos.

Estes erros tendem a crescer com a idade do instrumento devido a:

- Oxidação;
- Desgaste dos contactos entre peças móveis e fixas.
- Variação dos coeficientes de elasticidade de molas.

Esses erros são diferentes em diferentes pontos de escala. Eles podem ser contornados através da construção de uma tabela de correção de erros.

2.2.4 - Erros dinâmicos

Qualquer instrumento gasta um determinado tempo para responder as variações do sinal de entrada, pois esta resposta depende dos efeitos físicos de transporte e conversão de energia.

Erros dinâmicos - são aqueles que ocorrem quando a grandeza sofre variações bruscas ou variam continuamente no tempo. Os erros dinâmicos dependem da resposta dinâmica, ou seja, do comportamento da saída do instrumento sua entrada varia com relação ao tempo.

Como um instrumento mede variáveis cuja evolução no tempo é imprevisível, procura-se caracterizar sua resposta dinâmica através da análise da sua saída a alguns sinais de testes aplicados a entrada. Estes sinais são o degrau e a rampa. Variações na forma de degrau e rampa não são comuns no processo, assim, tais sinais devem ser produzidos e aplicados em ensaios de laboratório.

2.3 - Análise de incerteza de medida

Muitos dos ensaios, análise e medições que diariamente são realizados em todo o mundo têm como objectivo garantir que determinados valores limite (mínimos e máximos) não são exercidos. Com a indicação de uma estimativa realista da incerteza, a informação contida nos resultados torna-se muito mais útil, a incerteza compreende muitos componentes. Alguns podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições, os outros são avaliados por meio de distribuição de

probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações. O resultado das medições é a melhor estimativa do valor do mensurando.

Possíveis fontes de incerteza:

- Definição incompleta do mensurando;
- Realização imperfeita da definição do mensurando;
- Amostragem não representativa;
- Condições ambientais;
- Tendências pessoais na leitura de instrumentos analógicos;
- Resolução finita do instrumento;
- Valores inexatos dos padrões e dos materiais de referência;
- Valores inexatos de constantes utilizadas;
- Aproximações e suposições incorporadas ao método e ao procedimento de medição;
- Variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas;

2.3.1 – Tipos de incerteza

Existem dois tipos básicos de incerteza de medições, que são baseadas em duas análises diferentes: incerteza do tipo A e tipo B. além desta denominação a incerteza pode ser separada em dois grupos: combinada e a expandida.

Incerteza tipo A – este tipo trata somente de aspectos estatísticos, ela depende de uma sequência de observações sobre as mesmas condições de um evento.

Incerteza tipo B – envolve factores como: factor de segurança, nível de confiabilidade, erros sistemáticos, etc.

Incerteza combinada – é calculada tomando-se como base diversos cálculos de incerteza de medição previamente calculados com base em fatores diversos.

Incerteza expandida – é a incerteza combinada multiplicada por um factor de abrangência.

A incerteza é um parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando. Para se efectuar o cálculo da incerteza de medição devemos seguir uma sequência de passos.

- Cálculo do desvio padrão (S);

$$S = \sqrt{\frac{\sum (MM - M^2)}{n - 1}}$$

Incerteza do tipo A

- Calculo da incerteza tipo A (Ua);

$$U_a = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

- Cálculo da incerteza em função da resolução (Ures);

$$U_{res} = \frac{r_{es}}{s}$$

A incerteza em função do padrão deve ser dividida por seu factor multiplicativo (k). O factor k está directamente relacionado com o grau de probabilidade de acerto do cálculo da incerteza. Para cada percentual existe um valor k definido. Este valor pode ter variações no seu valor em função do número de medidas realizadas e também das fontes a serem consideradas.

- K = 1 probabilidade = 68%;
- K = 2 probabilidade = 95%;
- K = 3 probabilidade = 99%;

Incerteza do tipo B

A incerteza do tipo B é obtida por meios não estatísticos, podemos citar:

- Dados de medições anteriores;
- Especificações de fabricantes,
- Experiência na utilização e verificação do comportamento do instrumento com o tempo;
- Dados fornecidos em certificados de calibração;

Eis alguns dos muitos casos possíveis:

- Incerteza declarada com fator de segurança k que é informado.

Alguns fabricantes fornecem através dos manuais ou certificados de calibração um valor de fator de segurança, que é baseado no nível de confiabilidade dos resultados fornecidos pelo instrumento.

K = 2; a incerteza declarada estimada para um nível de confiabilidade de 95%;

K = 3; a incerteza declarada estimada para um nível de confiabilidade de 99,8%;

Para sabermos o valor da incerteza de medição tipo B se conhecemos o fator de segurança, basta dividir o resultado encontrado por 2 ou 3 (dependendo do nível de confiabilidade informado).

- Limites de erro especificados pelo fabricante.

Em alguns casos o fabricante nos fornece apenas os limites de erro do equipamento de medição. Então adota-se o seguinte procedimento:

- Calcular “a”, que é a média dos limites inferior e superior.
- Calcular a incerteza do tipo B

2.3.2 - Avaliação da incerteza padrão

Avaliação tipo A relacionada com a incerteza padrão. Uma avaliação tipo A levará em consideração a distribuição estatísticas do resultado de uma série de medições, caracterizando desvios padrões experimentais. Este tipo de avaliação será normalmente utilizado para obter um valor para a repetibilidade ou aleatoriedade de um processo de medição.

As contribuições do tipo A deverão ser avaliadas por métodos apropriados, sendo então, expressas como um desvio padrão. Após o tratamento apropriado, cada incerteza individual será denominada como incerteza padrão.

- Avaliação do tipo B com a incerteza padrão

Uma avaliação do tipo B levará em consideração as distribuições de probabilidade assumidas, baseadas na experiência ou outras informações. Este tipo de contribuição é avaliado através de um julgamento científico baseado em todas as informações sobre a variabilidade possível de uma grandeza de entrada.

- Conhecimento do comportamento e das propriedades dos materiais e instrumento;
- Especificações de fabricantes;
- Dados fornecidos em certificados de calibração\ensaio;

As contribuições do tipo B deverão ser avaliadas por métodos apropriados, devendo assim geralmente ser então, expressas como um desvio padrão. Após o tratamento apropriado, cada incerteza individual será denominada como incerteza padrão.

Neste capítulo pode se concluir que as medidas de qualquer grandeza física são exatas. A exatidão e a precisão de um certo dado medido estarão sempre limitadas tanto pela sofisticação do equipamento utilizado, pela habilidade do sujeito que realiza a medida, pelos princípios físicos básicos tanto do instrumento de medida, quanto do fenômeno que gerou o experimento e o conhecimento que se tem sobre o valor verdadeiro de uma quantidade. É importante destacar que a incerteza não é erro; o cálculo do erro depende de conhecermos o valor verdadeiro daquilo que estamos medindo. O cálculo da incerteza não tem esse tipo de restrição. A incerteza pode ser calculada mesmo quando não temos nenhuma ideia do valor verdadeiro, por isso a incerteza é um conceito muito mais instrumental e com mais aplicabilidade que o conceito de erro.

Capítulo 3 – Sensores de instrumentação

3.1 Introdução

Não é difícil perceber nos dias de hoje que uma vasta gama de equipamentos depende de uma certa interação com o ambiente em que estão inseridos para desempenharem uma determinada função, desde um ajuste automático no brilho da tela de um celular até aplicações bastante complexas existentes em uma indústria.

Os elementos responsáveis por perceberem o meio à sua volta são os sensores, no entanto, estes podem ser de diversos tipos, como por exemplo: chaves, dispositivos de acionamentos mecânicos ou até mesmo aqueles que geralmente convertem alguma grandeza física em uma grandeza elétrica. Os sensores atuam informando a ocorrência de um evento externo a um determinado sistema (respondendo a um estímulo de maneira mensurável) de modo que este deverá executar alguma ação a partir da informação recebida.

Os principais tipos de sensores encontrados na indústria, possuem algumas características, princípios de funcionamento bem como suas aplicações (obviamente o foco deste capítulo reside nos sensores eletrônicos e seus mecanismos para o seu funcionamento).

3.2 - Sensores industriais e seus princípios de funcionamento

Sensor é um dispositivo que converte uma grandeza física, presente em um processo, em um sinal elétrico ou qualquer outra forma de interesse.

Qualquer sensor é um conversor de energia. Sempre haverá transferência de energia entre o objeto medido e o sensor, processo de sensorialmente é um caso particular de transmissão de informação, com transferência de energia. Essa energia pode fluir para ambos os sentidos (do objecto para o sensor ou do sensor para o objecto) e esse fato reflete-se no sinal de saída, que pode ser positivo ou negativo.

Quando se fala em sensores, é importante ter em mente que podemos ter domínios elétricos da informação relacionados aos mesmos:

- Domínio analógico, onde se tem a amplitude do sinal (corrente, voltagem, potência)
- Domínio do tempo, onde se tem relação de tempos (período ou frequência, largura de pulso, fase)
- Domínio digital, onde a informação é caracterizada binariamente e pode ser conduzida por um trem de pulsos, ou codificação serial ou paralela.

Devido à ampla variedade de sensores, normalmente os mesmos são classificados de acordo com alguns critérios:

Alimentação: segundo este critério pode ser classificado em ativos, onde utilizam a alimentação derivada de uma fonte auxiliar ou passivos quando não consomem energia e a potência para a saída vem da entrada.

Saída: segundo este critério pode ser classificado em analógicos e digitais.

Modo de operação: neste caso são classificados em termos de suas funções em modo de deflexão ou modo nulo. No primeiro caso, o valor medido gera um efeito físico de ação contrária a variável medida. No caso de modo nulo, o sensor tenta compensar a deflexão de um ponto nulo pela aplicação de um efeito conhecido que se opõe ao valor medido. Normalmente, o de modo nulo é mais exato já que se pode calibrar o efeito contrário com referências de alta exatidão, porém podem ser lentos.

Entrada-saída: podem ser classificados de acordo com a relação entrada-saída em sensores de primeira, segunda, terceira ou maior ordem. A ordem está relacionada com números de elementos independentes que conseguem armazenar energia e afeta a exatidão e tempo de resposta, o que são importantes quando estes sensores fazem parte de malhas de controles.

Existe uma ampla variedade de sensores e suas aplicações são infinitas em automação, controles industriais: temperatura, pressão, densidade, vazão, umidade, posição, velocidade, aceleração, força, torque, deslocamento, cor, etc.

São vários os tipos de sensores: indutivos, capacitivos, ópticos, ultra-sônicos, etc.

3.2.1- Características dos sensores

Na prática o que se espera de um sensor é que sua sensibilidade seja somente devido à grandeza a ser medida e que o sinal de saída seja inteiramente em função da entrada. Porém, nenhuma medição é obtida em circunstâncias ideais e qualquer sensor sofre algum tipo de interferência e perturbações internas, como por exemplo, efeitos em temperatura, efeitos em pressões estáticas, efeitos devido a interferência magnética, etc.

Outro fator a ser considerado é o comportamento estático e que afeta diretamente o comportamento dinâmico de um sensor, tais como a exatidão, precisão, sensibilidade, linearidade, resolução, erros sistemáticos, impedância de entrada, etc.

3.3 - Sensores industriais mais utilizados

Os sensores mais utilizados nos processos industriais subdividem-se em quatro categorias: temperatura, Pressão, nível e vazão.

3.3.1 Sensores de Medição de temperatura

Existem muitos métodos para se medir a temperatura. A maioria deles baseia-se na medição de uma propriedade física de um material, propriedade esta que varia com a temperatura.

Por exemplo, um sensor para supervisão de temperatura que pode ser aplicado para avaliar temperaturas em meios sólidos, líquidos ou gasosos (Proteção de motores, monitoração de forma geral envolvendo temperatura em processos industriais, etc), onde a temperatura é adquirida pelo sensor, avaliada pelo relé e monitorada dentro dos limites pré-

configurados. O relé de saída é acionado ou desligado no valor de referência, dependendo dos ajustes dos parâmetros do dispositivo. Existem outras famílias voltadas à segurança como, detector de chama, que utiliza sensores do tipo ionização e fotoresistor.

Um sensor de temperatura muito utilizado em equipamentos eletrônicos é o de resistência, que opera com a variação da resistividade elétrica de um metal com a temperatura. Dispositivos importantes para medir a temperatura são os termômetros, os termopares, os termístores, os RTDs (*Resistance Temperature Detector*), os pirômetros óticos e os pirômetros eletrônicos com CCDs (*Charged Coupled Device*). Assim, os instrumentos de medição operam com diferentes princípios físicos, respondendo à variação da temperatura:

- Expansão da substância, provocando alteração de comprimento, volume ou pressão.
- Alteração da resistência elétrica;
- Alteração do potencial elétrico de metais diferentes;
- Alteração da potência radiante;
- Alteração da intensidade de carga elétrica em um fotodíodo;

3.3.2 Sensores de medição de pressão

A medição e controle de pressão é a variável de processo mais usada na indústria de controle de processos nos seus mais diversos segmentos. Além disso, através da pressão é facilmente possível inferir uma série de outras variáveis de processo, tais como nível, volume, vazão e densidade.

Em função da referência pode-se classificar a medição de pressão como: manométrica, absoluta e diferencial ou relativa.

Os sensores utilizados na medição de pressão são: Capacitância Variável (Capacitivos), Piezo-resistivo (*Strain Gage*), Potenciométrico, Piezoelétrico, Relutância Variável, Ressonante Ótico e Outros.

Na indústria, dentre os diversos equipamentos usados para medir pressão podemos destacar dois deles: o manômetro e o transmissor de pressão.

O manômetro é usado para leituras locais da pressão, possuindo normalmente uma conexão com o processo e um display (quadro eletrônico) ou ponteiro (quando mecânico) para que se possa ler a pressão localmente. Normalmente são dispositivos de baixo custo e são usados quando a pressão não precisa ser transmitida para um sistema de controle e não se precisa exatidão. Por exemplo, pressões estáticas, pressões de bomba, etc. Existem também modelos diferenciais, vacuômetros, sanitários, etc.

Os transmissores de pressão microprocessados possuem a grande vantagem de permitirem uma melhor interação com o usuário, além disso, possuem características de auto-diagnose que facilitam a identificação de problemas. Com o advento das redes fieldbuses, pode-se agora extrair ao máximo os benefícios da tecnologia digital. Estes transmissores possuem melhor exatidão, uma estabilidade eletrônica superior aos modelos analógicos, além de facilitarem ajustes e calibrações. A tecnologia digital também permite

que poderosos algoritmos possam ser implementados a favor da melhoria de performance e exatidão da medição e a monitoração *on-line* da vida do equipamento.

3.3.3 Sensores de medição de nível

A maneira mais simples de definição de nível é dizer que nível é a altura do conteúdo de um reservatório ou tanque de armazenamento, através do qual torna-se possível basicamente avaliar o volume estocado de produto, determinando e controlando a quantidade de material em processo físico ou químico, levando ainda em conta a segurança, onde o nível do produto não pode ultrapassar determinados limites.

Além disso, existe a condição de monitoração e controle visando controle operacional, onde aplicam-se métodos básicos de medição de nível; onde podemos encontrar três tipos medição.

- Direto
- Indireto
- Descontínuo

A medição direta pode ser feita medido diretamente a distância entre o nível do produto e um referencial previamente definido. Neste tipo de medição podemos utilizar a observação visual, como por exemplo, réguas, gabaritos, visores de nível, bóia ou flutuador, ou até mesmo através da reflexão de ondas ultra-sónicas pela superfície do produto.

Na medição indireta, o nível é medido indiretamente em função de grandezas físicas a ele relacionadas, como por exemplo, pressão (manômetros de tubo em U, níveis de borbulhador, níveis de diafragma, células de pressão diferencial, etc), empuxo (níveis de deslocador) e propriedades elétricas (níveis capacitivos, detector de nível condutivo, níveis radioativos, níveis ultra-sónicos, detector de nível de lâminas vibrantes, etc).

Na medição descontínua, tem-se a indicação apenas quando o nível atinge certos pontos especificados, como por exemplo, condições de alarmes de nível alto ou baixo. Na prática a preferência é pelas medições diretas, pois o peso específico do líquido varia com o tempo.

3.3.4 Sensores de medição de vazão

O medidor de vazão é um instrumento capaz de medir a massa (medidor de vazão mássica) ou o volume de um fluido (medidor de vazão volumétrica) que escoar em uma tubulação ou um canal em um determinado intervalo de tempo.

As aplicações são muitas, indo desde aplicações simples como a medição de vazão de água em estações de tratamento e residências, até medição de gases industriais e combustíveis, passando por medições mais

complexas. A escolha correta de um determinado instrumento para medição de vazão depende de vários fatores. Dentre estes, pode-se destacar:

- Exatidão desejada para a medição
- Tipo de fluido: líquido ou gás, limpo ou sujo, número de fases,
- Condutividade elétrica, transparência, etc.
- Condições termodinâmicas: por exemplo, níveis de pressão e temperatura nos quais o medidor deve atuar.
- Espaço físico disponível
- Custo, etc.

As unidades volumétricas mais comuns são: m^3/s , m^3/h

3.4 – Procedimentos de calibração de sensores

Um sistema de medição (SM) de boa qualidade deve ser capaz de operar com menos erros, seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar erros sistemáticos e aleatórios ao longo da sua faixa de medição, nas suas condições de operação nominal, por melhor que sejam as características de um SM, As operações de calibração são baseadas na comparação dos instrumentos padrão de modo determinar a sua exatidão e verificar se essa exatidão continua de acordo com a especificação do fabricante.

Em termos práticos, a calibração é uma ferramenta básica que visa a assegurar a confiabilidade de um instrumento de medição, por meio da comparação do valor medido com um padrão rastreado ao [Sistema Internacional](#) (SI), usando os métodos de calibração: Calibração direta e indireta. Na calibração direta o mensurado é aplicado sobre o sistema de medição por meio de medidas materializadas, cada qual com o seu valor verdadeiro convencional suficientemente conhecido.

A calibração indireta o mensurado é gerado por meio de um dispositivo auxiliar, que atua simultaneamente no sistema de medição que não apresenta erros superiores a dos erros do SMC. As indicações do SMC são comparadas com as do SMP, sendo estas adotadas como VVC.

3.4.1 Procedimento Geral de Calibração

A calibração de sistemas de medição é um trabalho especializado e exige amplos conhecimentos de metrologia, total domínio sobre os princípios e o funcionamento do SMC.

Os procedimentos a seguir para calibração de um SM qualquer são:

- Definição dos objectivos
- Identificação do sistema de medição a calibrar;
- Seleção do SMP;
- Preparação do experimento;

- Execução do ensaio;
- Processamento e documentação dos dados;
- Análise dos resultados;
- Certificado de calibração;

A calibração pode ser efetuada por qualquer entidade, desde que esta disponha dos padrões rastreados e pessoais competentes para realizar o trabalho. Para que uma calibração tenha validade oficial é necessário que seja realizada por entidade legalmente credenciada.

3.5 Amplificadores de Instrumentação

Ao falarmos do amplificador de instrumentação deve-se recordar em primeira instancia os amplificadores operacionais ideais ou reais devido as expressividades que os mesmos nos apresentam.

Um amplificador operacional é um amplificador com ganho muito elevado, tendo dois terminais de entrada: um designado por terminal inversor (-) e o outro identificado por terminal não inversor (+).A saída do amplificador pode ser única ou diferencial, o que é menos comum. Os circuitos que utilizam AmpOps frequentemente utilizam a realimentação negativa, Porque devido ao seu ganho elevado, o comportamento destes amplificadores é quase totalmente determinado pelos elementos de realimentação.

As portas lógicas AND, OR e NOT são os blocos básicos da Eletrônica Digital; os amplificadores operacionais (op-amps) são os blocos básicos da Eletrônica Analógica. Os op-amps foram criados na época das válvulas termoiônicas, logo depois da segunda guerra mundial, quando os computadores analógicos estavam em desenvolvimento.

Já o amplificador de instrumentação (In-amp em inglês *Instrumentation amplifier*) é um circuito eletrônico que basicamente elimina a necessidade do casamento de impedância com a resistência de entrada. Na prática é muito útil devido a maior proximidade com a idealidade e praticidade para com a variação do ganho, utilizando-se um potenciômetro. O In-amp é um ótimo circuito de amplificação para sinais de sensores.

Os amplificadores para instrumentação se caracterizam por ter uma entrada diferencial e uma elevadíssima impedância de entrada que é conseguida reduzindo-se o ganho da primeira etapa, normalmente funcionando como seguidor de tensão segundo que se pode observar na figura 3.1

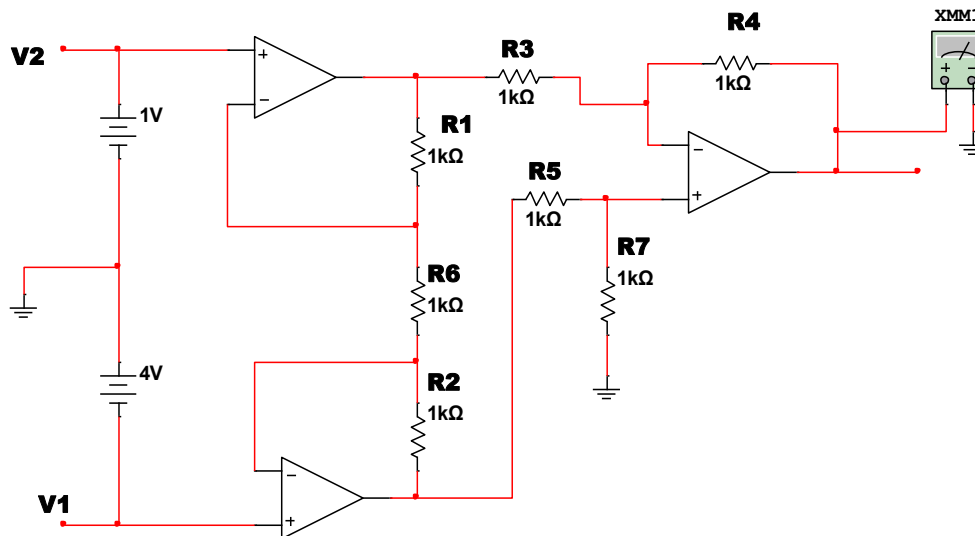


Figura 3.1- Esquema de um amplificador de instrumentação inversor

As principais características de um amplificador de instrumentação são:

- Elevada impedância de entrada.
- Controle do ganho através de uma única resistência.
- Elevado ganho.
- Elevada Rejeição de Modo Comum. (CMR)
- Perfeita simetria entre as entradas inversoras e não inversora.

3.5.1 Aplicações dos amplificadores de instrumentação

Estes amplificadores são aplicados essencialmente nas seguintes áreas:

1-Em Instrumentação Médica, onde é amplamente utilizado em equipamentos médicos, como:

- Eletrocardiogramas
- Eletroencefalogramas
- Medidores de pressão sanguínea e desfibriladores.

2- Amplificação de áudio - devido à alta rejeição de modo comum, o In-amp é usada em aplicações de áudio para extrair um sinal pequeno de um ambiente barulhento, e para minimizar offsets e ruídos devido a loops de terra (dois componentes aterrados apresentando uma pequena diferença de tensão).

Aplicações em Video High-speed (alta velocidade), o In-amp são utilizadas em diversos sistemas de vídeo para amplificar ou processar sinais em alta frequência.

3.6 Filtros

Um filtro é qualquer dispositivo que tem a função de separar misturas. Um filtro eletrônico é um circuito que aceita em sua entrada sinais elétricos de um amplo espectro de frequências, mas que só deixa passar (ou não passar) para sua saída sinais que estejam dentro de uma faixa selecionada. E de acordo com essa faixa de frequências passantes os filtros são classificados em quatro tipos: filtros passa-baixas, passa-altas, passa-faixa e rejeita-faixa (quando uma faixa de frequências é bloqueada). Os filtros em Eletrônica também podem ser passivos, quando são construídos com resistores e capacitores; ou ativos, quando também utilizam componentes como transistores e circuitos integrados, como os op-amps.

3.6.1 Tipos de filtros

- [Filtro Butterworth](#): Filtro que tem função de transferência com característica plana em baixas [frequências](#), queda acentuada a partir da frequência de corte, caindo a zero na frequência infinita.
- [Filtro de Cauer](#) ou [filtro elíptico](#): Filtro que apresenta uma característica de amplitude equirritante, tanto na faixa de passagem quanto na faixa de rejeição.
- [Filtro Chebyshev](#): Filtro que apresenta uma característica de [amplitude](#) equirritante na faixa de passagem.
- [Filtro de absorção](#): Filtro que tem elementos dissipativos de calor que absorvem os componentes indesejáveis de volta para a entrada.
- [Filtro de linha](#): Filtro elétrico ou eletrônico cuja finalidade é suprimir [ruídos](#) e surtos de tensão da rede.
- [Filtro de reflexão](#): Filtro que, na configuração ideal, não tem elementos dissipativos, refletindo os sinais indesejáveis de volta para a entrada.
- [Filtro LC](#): Filtro elétrico passivo formado por combinação de [indutores](#) e [capacitores](#).

Classificação dos filtros:

- [Filtro passa-altas](#): Filtro elétrico ou eletrônico que permite a passagem de sinais de altas frequências, atenuando sinais abaixo da frequência de corte do filtro.
- [Filtro passa-baixas](#): Filtro elétrico ou eletrônico que permite a passagem de sinais de baixas frequências, atenuando sinais acima da frequência de corte do filtro.

Conclusão geral

Este trabalho teve como propósito fundamental a abordagem da instrumentação Electrónica e medição, aplicadas em unidades industriais com o equilíbrio e a correção necessária, sobre os erros de medição que são admissíveis e como se pode fazer a calibragem dos sensores de controlo das variáveis de processos em malhas abertas e fechadas, assim como vimos os tipos de amplificadores que são usados em instrumentação para amplificação os sinais eléctricos e electrónicos.

Puderam ser verificadas as subdivisões e níveis hierárquicos de instrumentação, bem como parâmetros gerais de calibragem. Foi possível, ainda, fornecer informações que podem se tornar decisivas no acerto da escolha pelo sistema de instrumentação ser empregado, o que pode reduzir drasticamente os custos operacionais de uma planta.

Observa-se a busca constante pela interoperabilidade de equipamentos, os quais, agora, são capazes de operar de forma eficiente independentemente do fabricante do sistema de comunicação de padrão aberto ao qual será empregado

Foram mostrados, ainda, conceitos de manutenção e gerenciamento de ativos, que vem ganhando bastante notoriedade e crescente procura por parte das empresas, dadas as possibilidades de redução de custos com manutenção e substancial elevação de padrões produtivos. Estes resultados podem ser otimizados utilizando-se, em sincronia, um sistema eficiente de instrumentos inteligentes e um sistema de gerenciamento de ativos.

Ainda observou-se que a instrumentação contém uma variedade de aplicações e funcionalidades, que o oferece toda a flexibilidade e autonomia que o usuário necessita de automatizar e otimizar os processos industriais, com uma facilidade de instalação, operação, manutenção e diagnósticos de variáveis que sejam importantes para o correto funcionamento da planta.

Recomendações

O material elaborado destina-se principalmente aos estudantes e professores de engenharias, Electrónica, Electricidade e automação para que o mesmo sirva de uma fonte bibliográfica, onde futuros estudos e investigações a serem realizados, em relação a este tema, onde este material possa servir de uma base.

Em função do desenvolvimento e crescimento que as tecnologias de comunicação industrial tem apresentado nos dias de hoje , a autor(a) deste trabalho recomenta, para estudantes de engenharia e profissionais de electrónica e telecomunicações, Electricidade e técnicos de automação, ao instalarem um sensor de transmissão é necessário que o mesmo seja devidamente calibrado para se evitar erros de leitura de informação proveniente dos mesmos .

REFERÊNCIAS

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, [s.d.]. ISBN 8571931372.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, [s.d.]. ISBN 85-7193-085-6.

BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. v. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, [s.d.]. ISBN 85-216-1496-9.

BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, [s.d.]. ISBN 978-85-216-1563-7.

BOLTON, W. **Instrumentação e controle**. São Paulo: Hemus, [s.d.].

DALLY, J. W.; RILEY, W. F.; McCONNELL, K. G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2. ed. Singapore: John Wiley, 1993.

DELMÉE, Gérard Jean. **Manual de medição de vazão**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2003. ISBN 978-85-212-0321-6.

FOWLER, K. R. **Electronic instrument design: architecting for the life cycle**. Oxford: Oxford Press, 1996.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. São Paulo: Prentice Hall, 1994.

INMETRO. **Guia para a expressão da incerteza de medição**. Rio de Janeiro: ABNT/INMETRO/SBM, 1998.

LIRA, F. A. **Metrologia na indústria**. São Paulo: Érica, 2001.

SCHNELL, L. **Technology of electrical measurements**. New York: John Wiley, 1993.

SIGHIERI, L.; NISHINARI, A. **Controle automático de processos industriais: instrumentação**. São Paulo: Edgard Blücher, [s.d.].