



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Eletrônica de Potência



Operação de Conversores em Malha Fechada

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, outubro de 2020.

Curso Básico de Eletrônica de Potência

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina.
2. Página do professor.
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>



www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

Agenda

Esta aula está organizada em:

1. Operação em malha fechada:
 - Introdução;
 - Principais aspectos do controle em malha fechada.
2. Técnicas de controle:
 - Liga-desliga;
 - Histerese.



A operação em malha fechada de conversores estáticos é comum nas aplicações de eletrônica de potência.



Operação em malha fechada

Objetivos do controle em malha fechada:

- Garantir a precisão no ajuste da variável de saída;
- Rápida correção de eventuais desvios provenientes de transitórios na alimentação ou mudanças na carga.

Características da operação em malha aberta:

- Circuito simples;
- Geralmente sem problemas de estabilidade;
- Erros estáticos (de regime) grande;
- Respostas transitórias com sobressinal;
- Projeto simples;
- Conformação de sinais complicada.



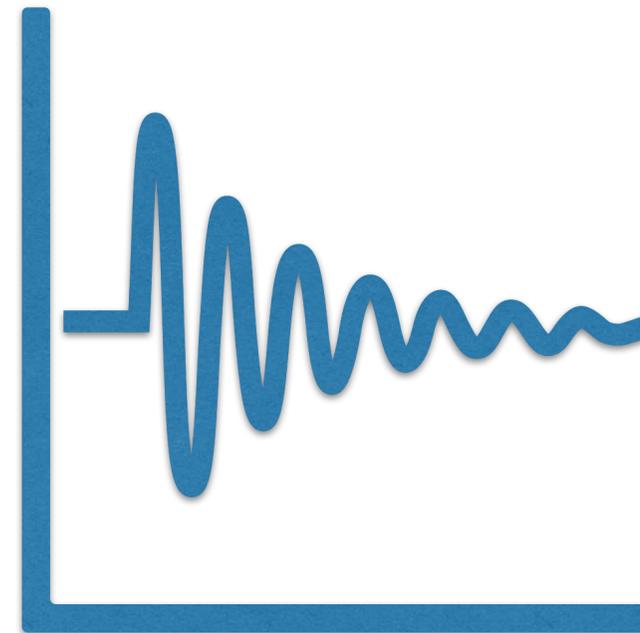
Características da operação em malha fechada:

- Circuitos mais complexos;
- Podem apresentar problemas de estabilidade;
- Erros estáticos praticamente nulos;
- Melhora da resposta transitória;
- Projeto complexo;
- Possibilidade de conformar sinais.

Operação em malha fechada

Principais técnicas de controle:

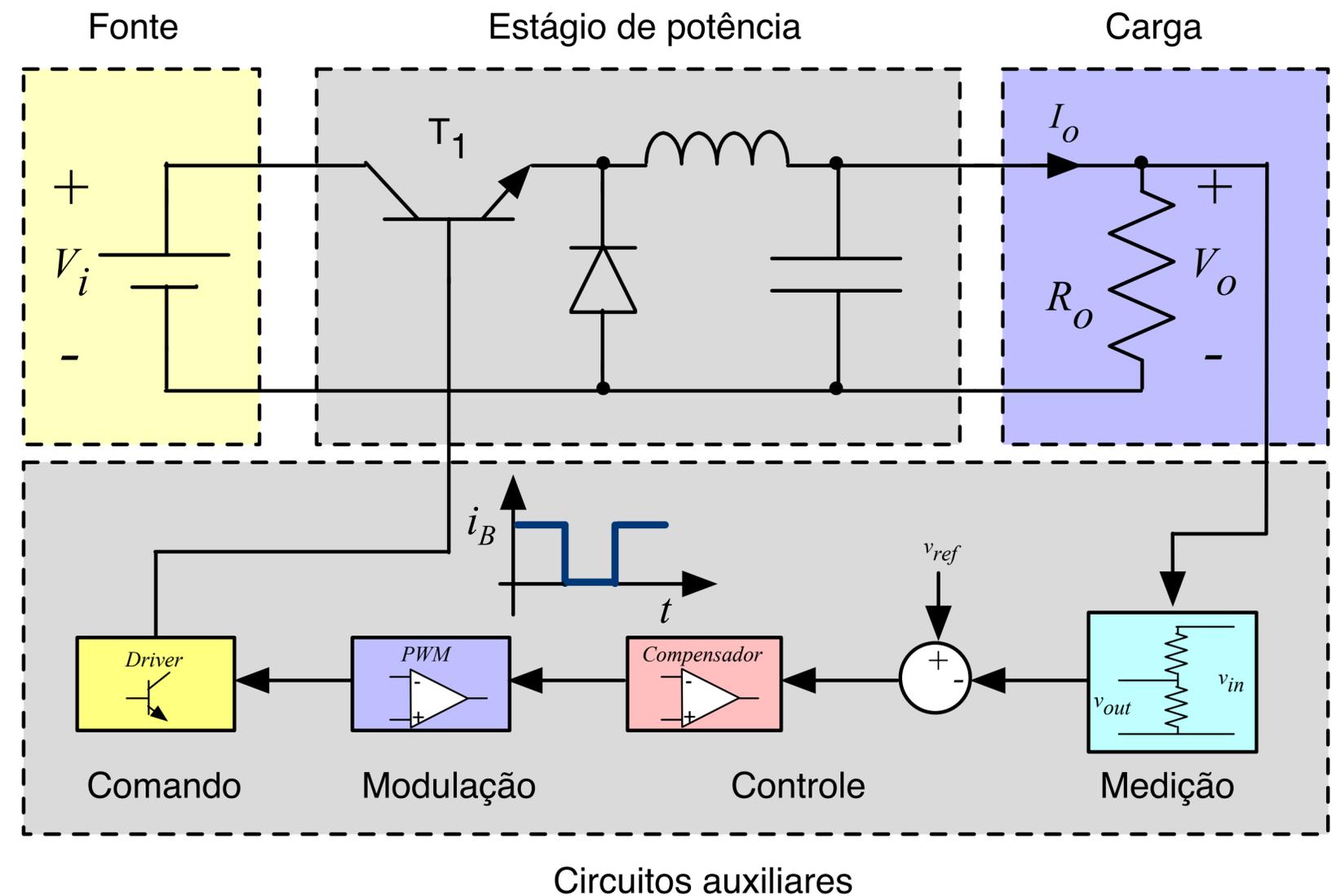
- Técnicas lineares versus não-lineares;
- Controle clássico versus controle moderno;
- Controle no domínio do tempo versus controle no domínio da frequência;
- Controle liga-desliga;
- Controle por histerese;
- Controle fuzzy;
- Controle adaptativo;
- Controle por variáveis de estado;
- Controle por modos deslizantes;
- Dentre outros.



Operação em malha fechada

Sistema de controle em malha fechada:

- Tensão de controle;
- Referência;
- Tensão medida;
- Erro;
- Compensador;
- Modulador;
- Planta;
- Perturbações;
- Medição.



Operação em malha fechada

Sistema de controle em malha fechada:

- Tensão de controle;
- Referência;
- Tensão medida;
- Erro;
- Compensador;
- Modulador;
- Planta;
- Perturbações;
- Medição.

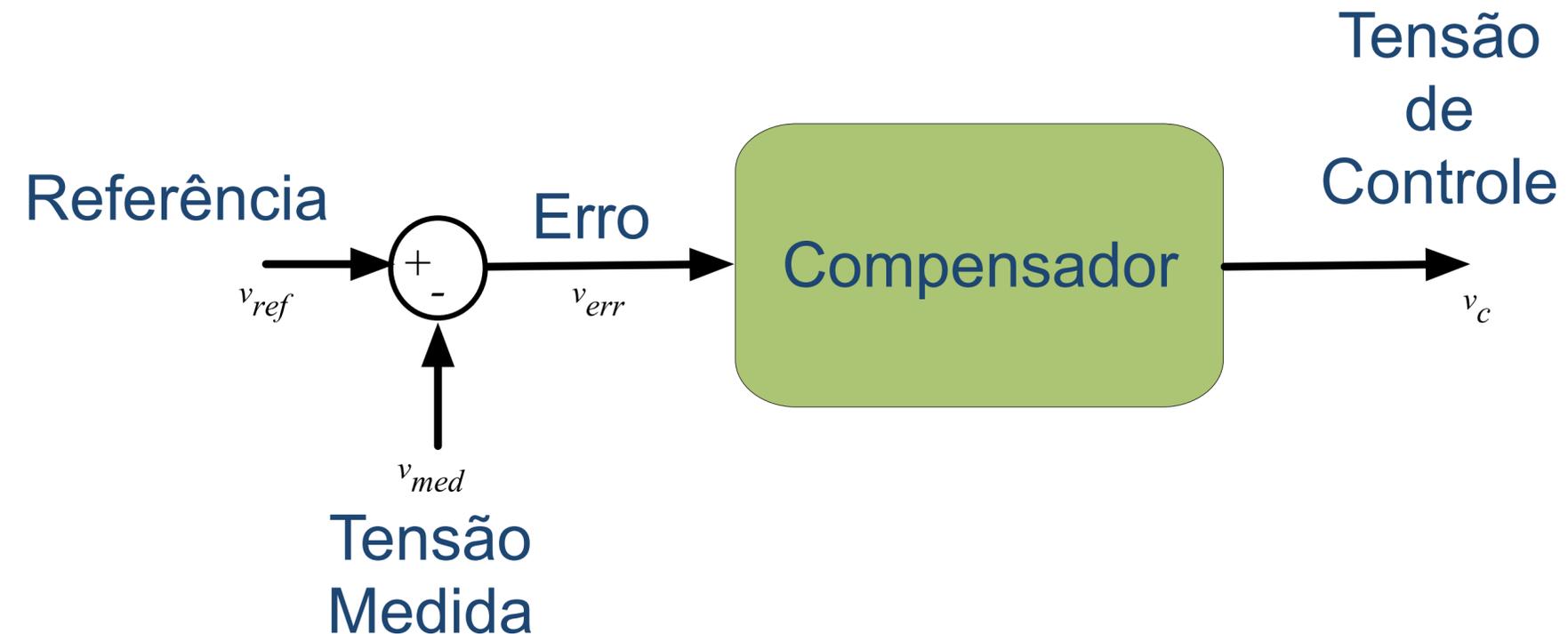


Diagrama de blocos simplificado de um sistema em malha fechada

Operação em malha fechada

Sistema de controle em malha fechada:

- Tensão de controle;
- Referência;
- Tensão medida;
- Erro;
- Compensador;
- Modulador;
- Planta;
- Perturbações;
- Medição.

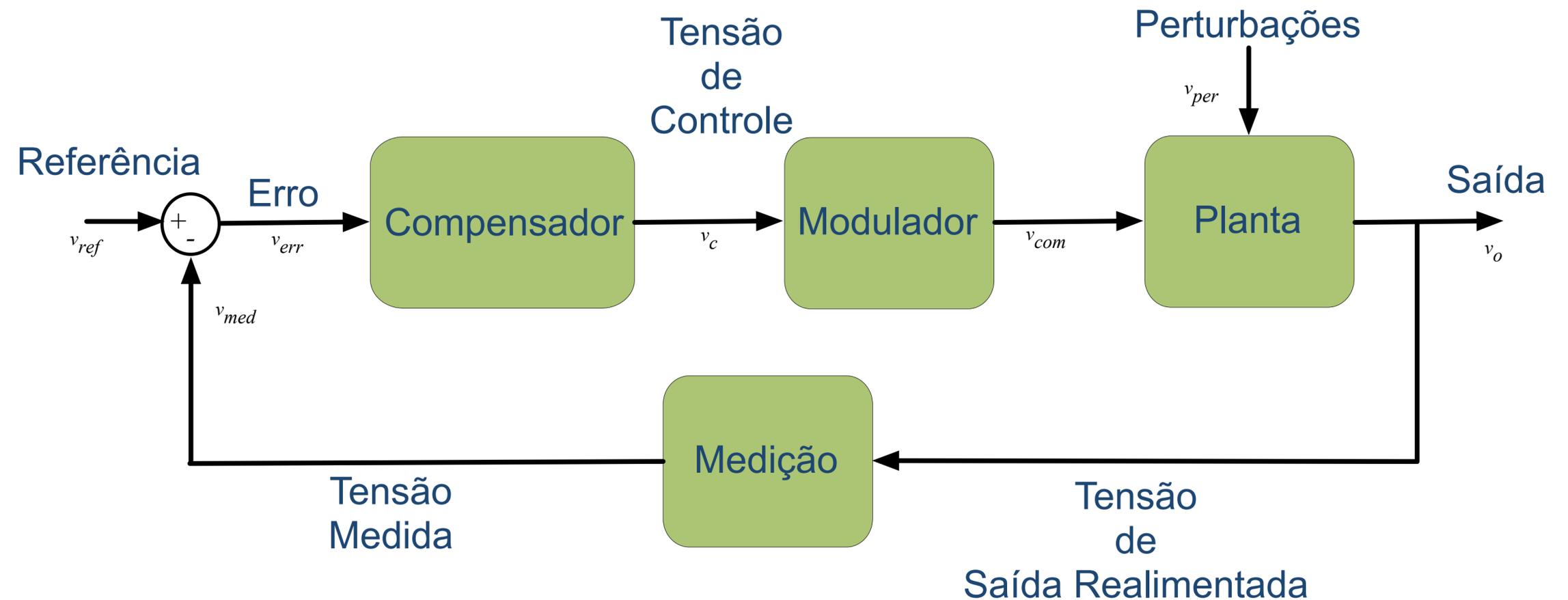


Diagrama de blocos completo de um sistema em malha fechada

Operação em malha fechada

Aspectos de sistemas de controle em malha fechada:

- Modelagem do sistema;
- Tempo de resposta dependente do sistema de controle e das características da planta (indutâncias, capacitâncias, frequência de operação, tecnologias dos semicondutores, etc.);
- Realimentação e pré-alimentação;
- Requisitos de projeto de sistemas de controle:
 - Tempo de subida - tempo que o sinal leva para crescer de 10 a 90% da amplitude final;
 - Tempo de retardo - tempo que o sinal leva para atingir 50% da amplitude final;
 - Tempo de acomodação ou assentamento - tempo que o sinal leva para entrar em regime permanente;
 - Regime transitório - intervalo de tempo em que o sinal está variando (crescendo ou decrescendo);
 - Regime permanente - quando o sinal está estabilizado e não varia mais;
 - Sobressinal (M_p) - amplitude que o sinal atinge acima do valor de regime permanente.

$$G = \frac{V_o}{V_i} = D$$

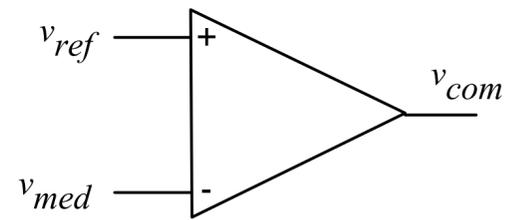
Resposta estática

$$G(s) = \frac{\hat{v}_o}{\hat{d}} = V_i \cdot \frac{R_o}{s^2 \cdot L_o \cdot C_o \cdot R_o + s \cdot L_o + R_o}$$

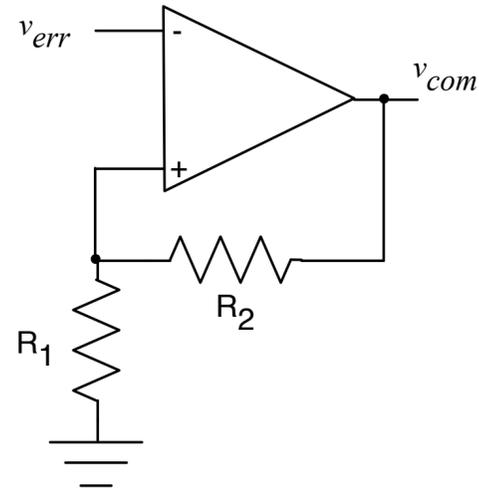
Resposta dinâmica

Operação em malha fechada

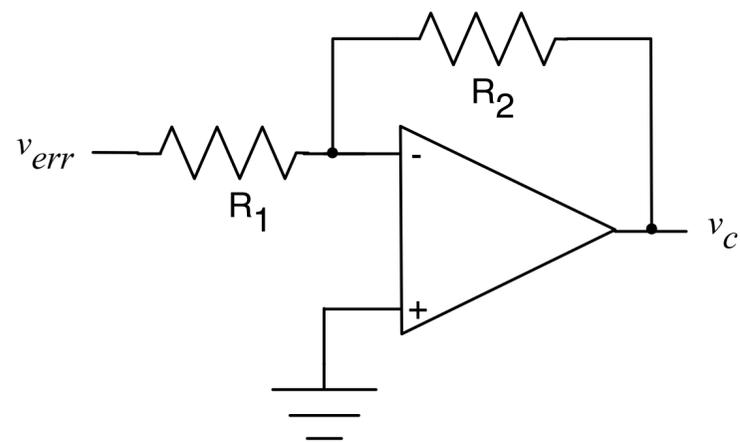
Exemplos de compensadores:



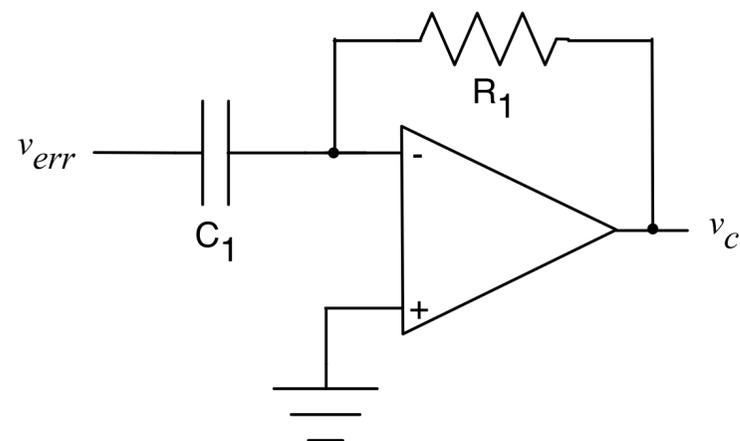
Liga-desliga (on-off)



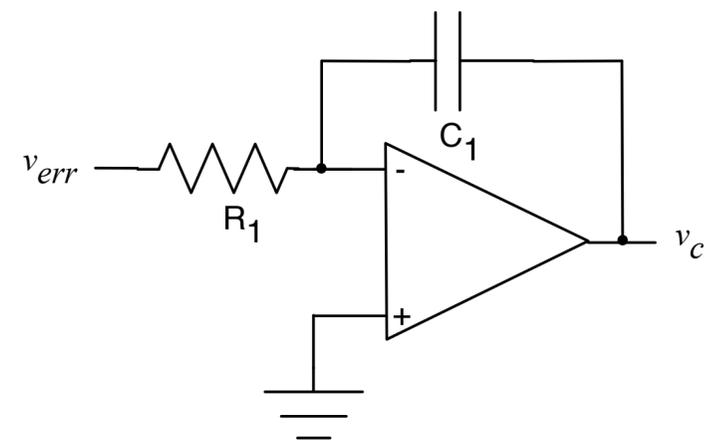
Histerese



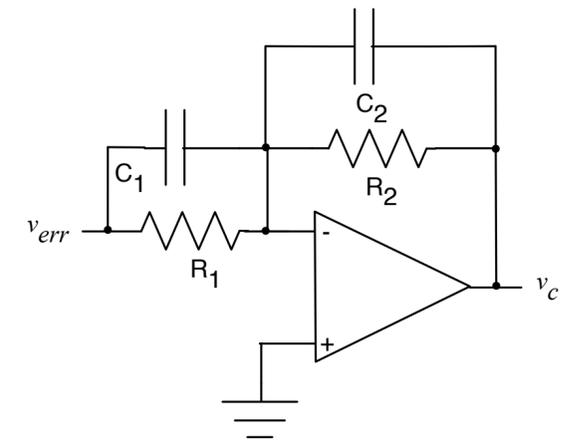
Proporcional



Proporcional-derivativo



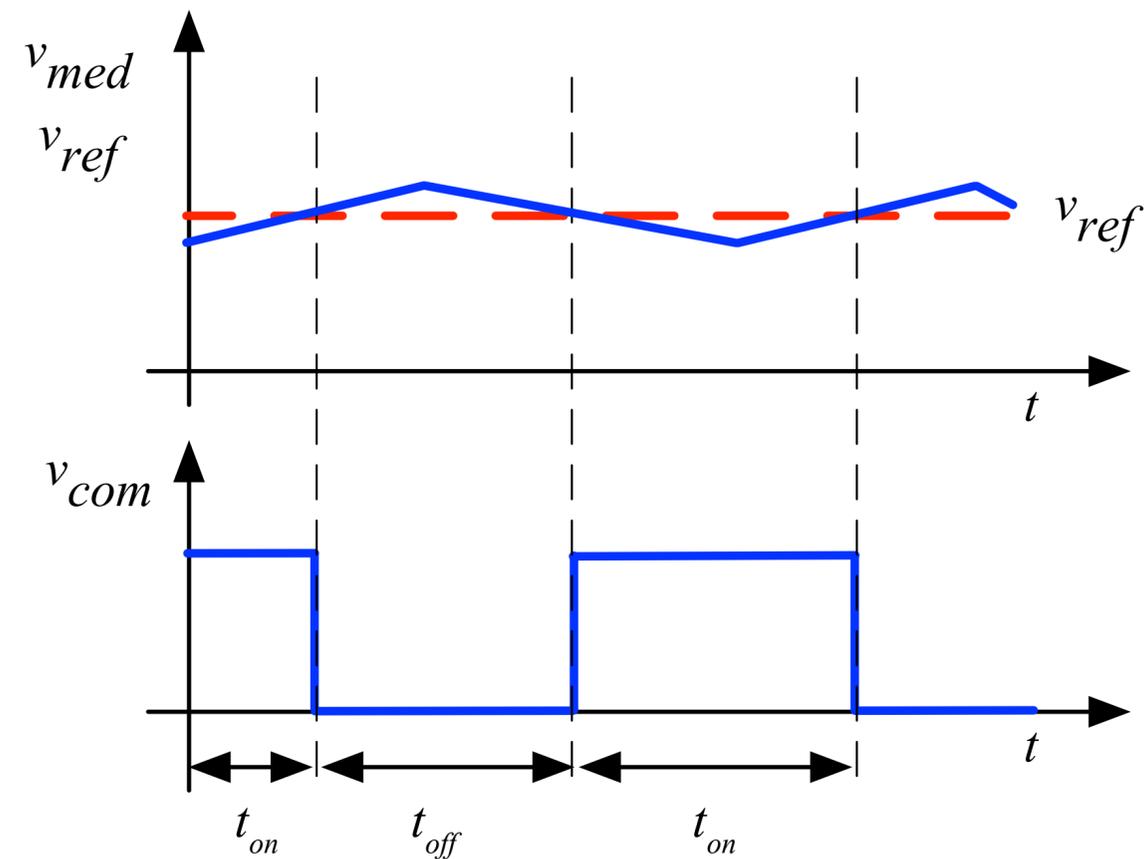
Proporcional-integral



Proporcional-derivativo-integral

Controle liga-desliga:

- Simples;
- Bons resultados em sistemas lentos;
- Sem modelagem da planta;
- Respostas oscilatórias e lentas;
- Frequência de comutação desconhecida.



Controle por histerese:

- Simples;
- Melhores resultados que liga-desliga;
- Sem modelagem da planta;
- Respostas rápidas para altas frequências de operação;
- Frequência de comutação variável entre zero e infinito.

