



# Disciplina: Controle e Servomecanismos I



Atividade: **Controle de Motores de Indução**

Professor: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Rio de Janeiro, 27 de agosto de 2020.

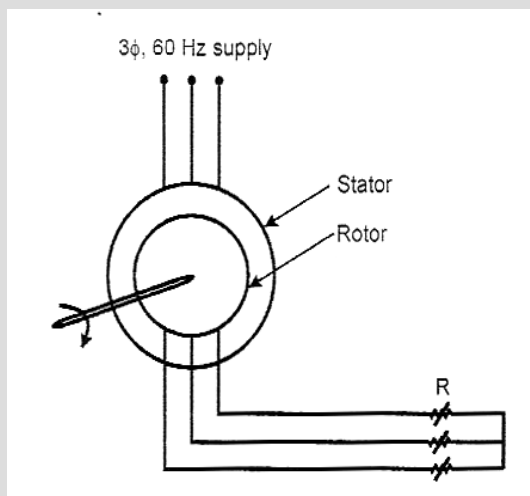


## Referência

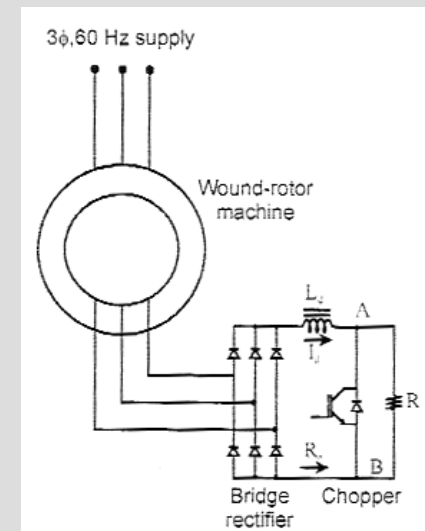
- Bose, B. K. (2001). Modern Power Electronics and AC Drives, Upper Saddle River: Prentice Hall PTR. Seções 5.3, 7.1, 7.2 e Capítulo 8.

# Motores de Indução

- Duas categorias:
  - Rotor bobinado
  - Rotor tipo gaiola
- Controle de motores com rotor bobinado:



Reostato no rotor



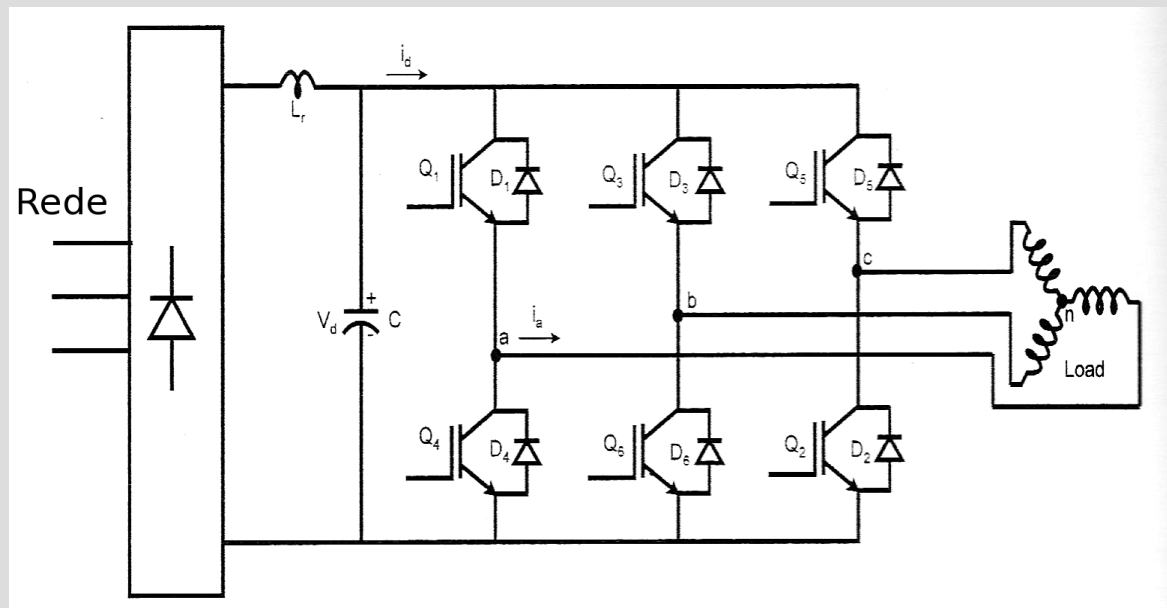
*Chopper* no rotor

# Motores de Indução

- Vantagens dos motores tipo gaiola:
  - Construção simples e de baixo custo
  - Sem escovas
  - Demandam menos manutenção
  - Rotor com menor inércia
  - Mais adequados a atmosferas explosivas ou sujas
- Desvantagens em relação a motores CC:
  - Modelo dinâmico mais complexo
  - Controle e acionamento mais difícil

# Acionamento de Motor de Indução Trifásico

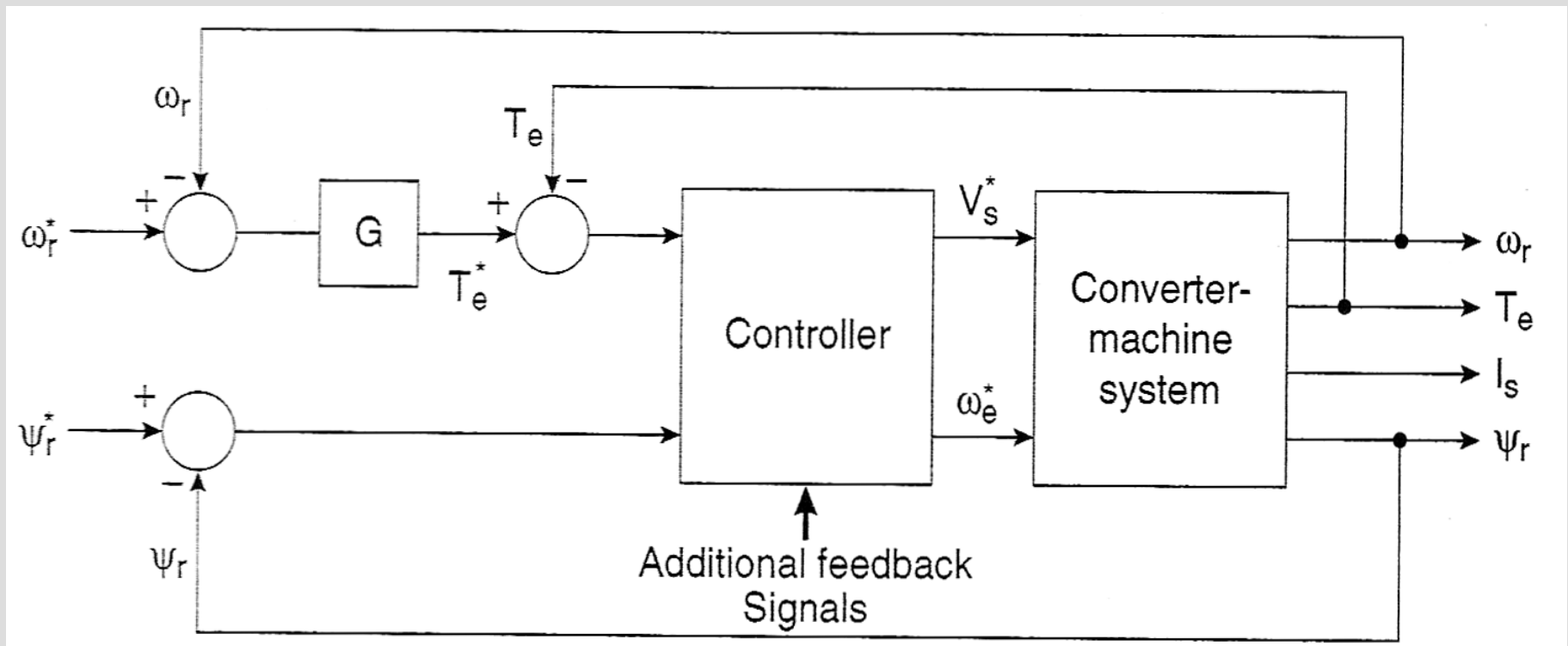
- Inversor tipo ponte conectado a retificador:



- Modos de acionamento:
  - Onda quadrada
  - Modulação de largura de pulso (PWM)

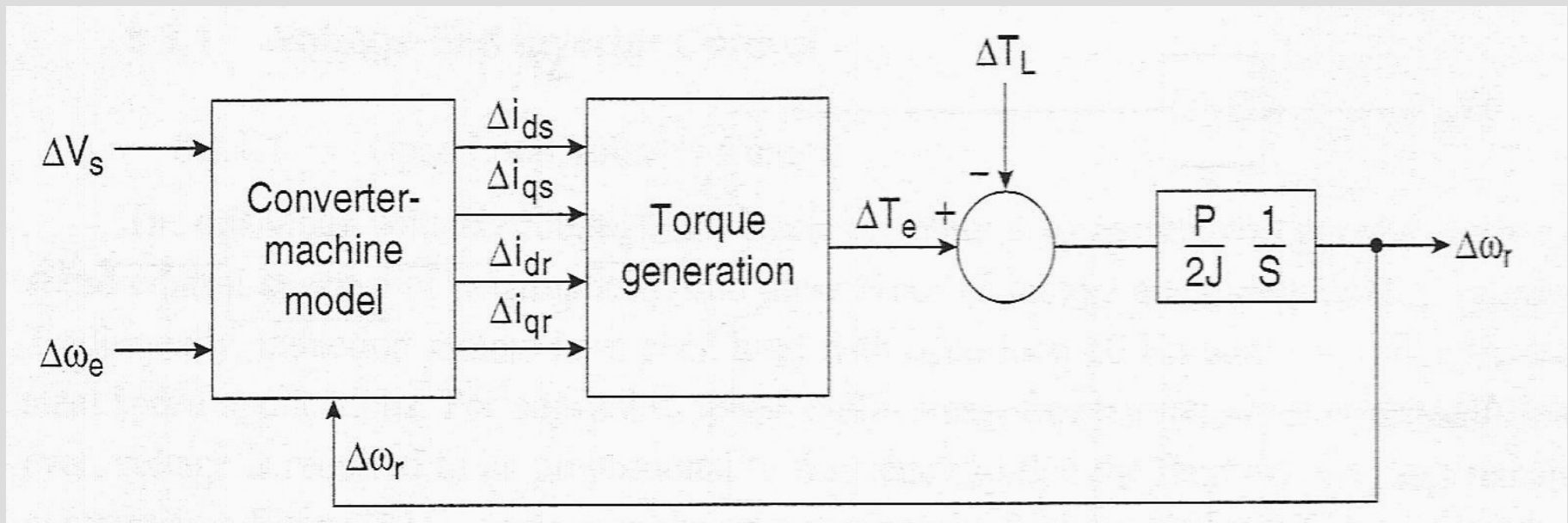
# Controle de Motores de Indução

- Diagrama geral:



# Controle de Motores de Indução

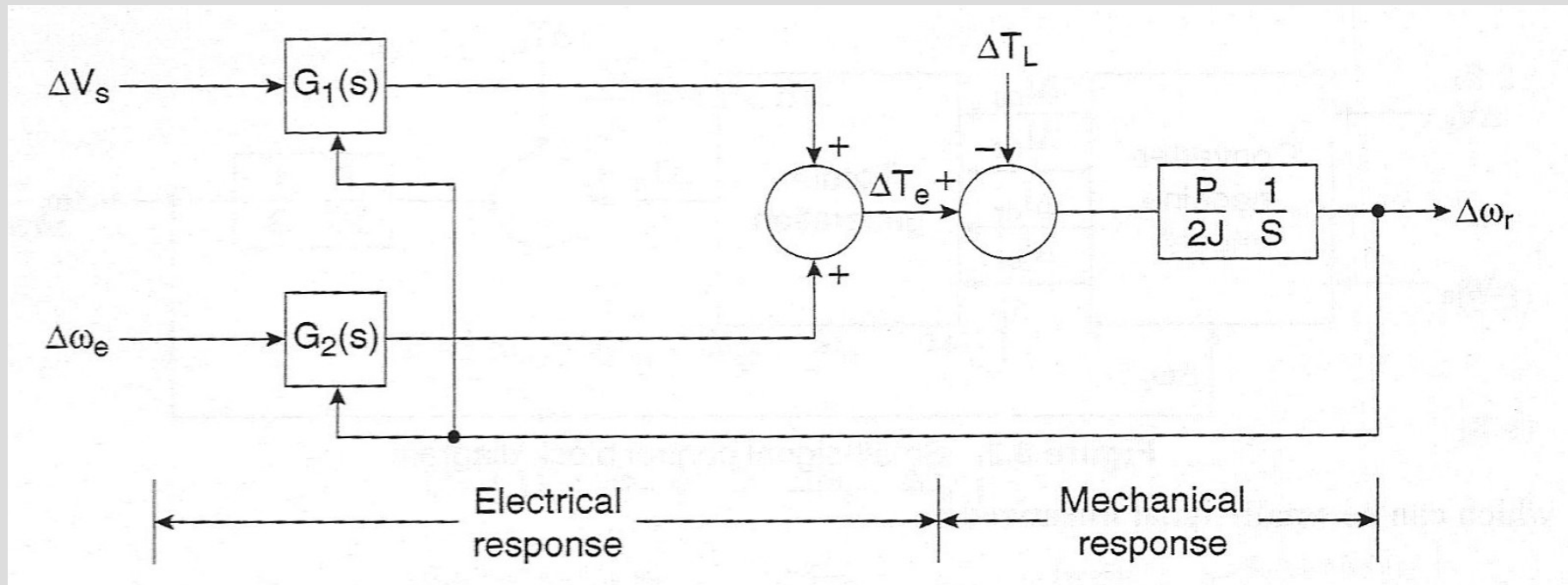
- Modelo para pequenos sinais (incremental):



- Limitação: válido apenas na vizinhança do ponto de operação

# Controle de Motores de Indução

- Modelo para pequenos sinais no domínio da frequência (funções de transferência):

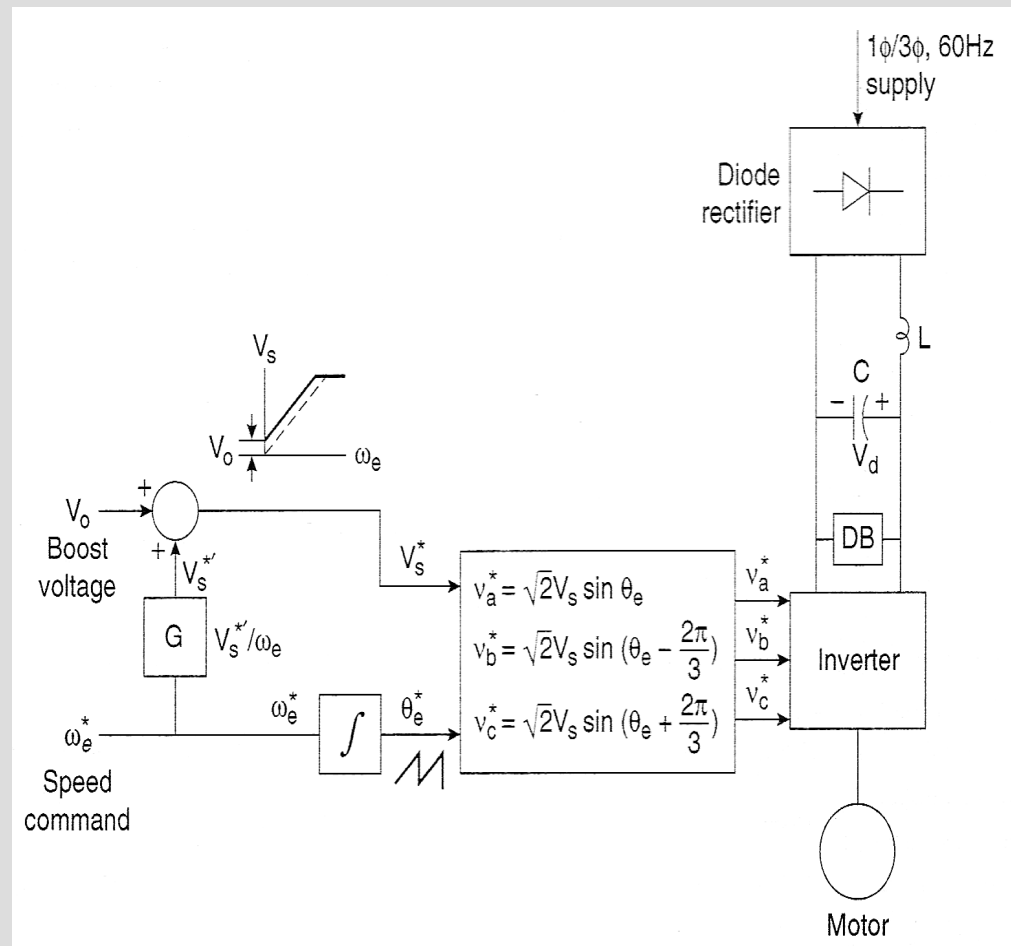


- Facilita projeto de controladores



# Controle Escalar de Motores de Indução

- Controle volts/Hz em malha aberta:



# Controle Escalar de Motores de Indução

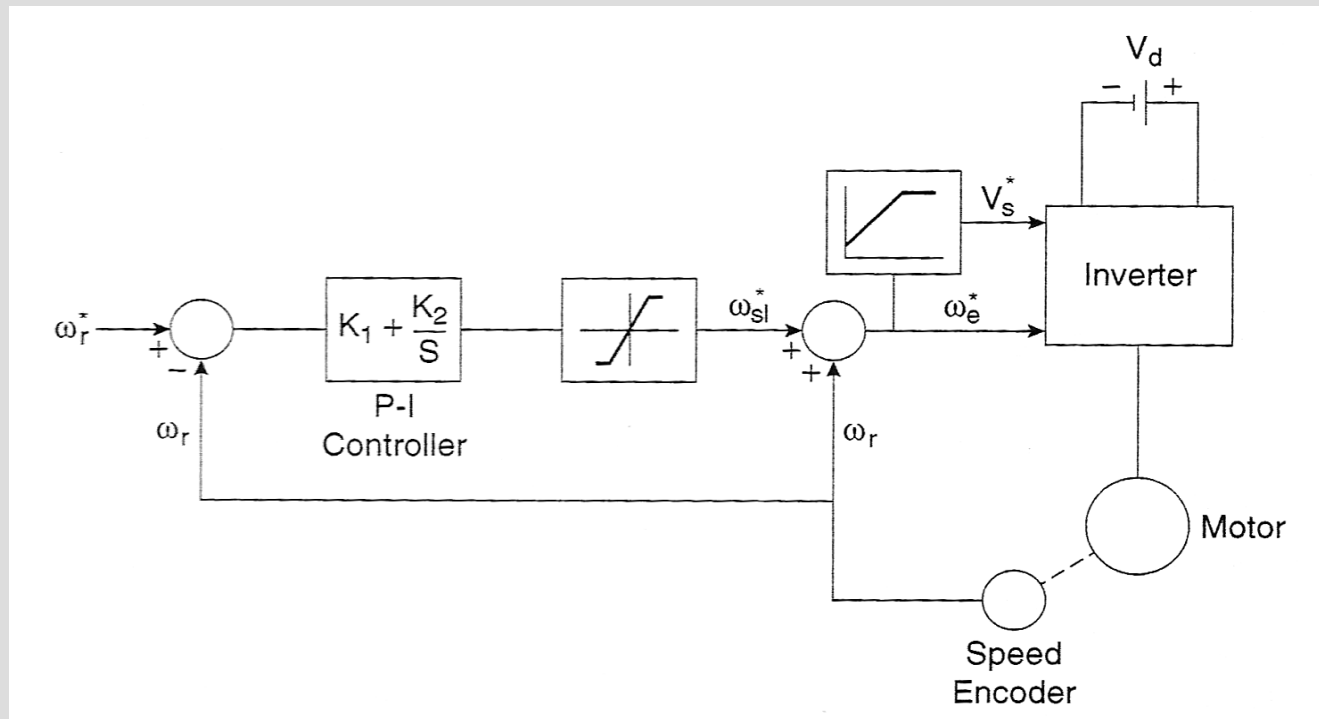
- Controle volts/Hz em malha aberta:
  - Método mais popular de controle de velocidade
  - Frequência comanda velocidade, assumindo-se escorregamento pequeno
  - Ganho  $G$  mantém relação tensão/frequência e fluxo constantes:

$$\psi_s = \frac{V_s}{\omega_e}$$

- Tensão *boost*  $V_o$  mantém fluxo e torque até com velocidade nula

# Controle Escalar de Motores de Indução

- Controle de velocidade em malha fechada via acionamento volts/Hz e malha de controle de escorregamento:

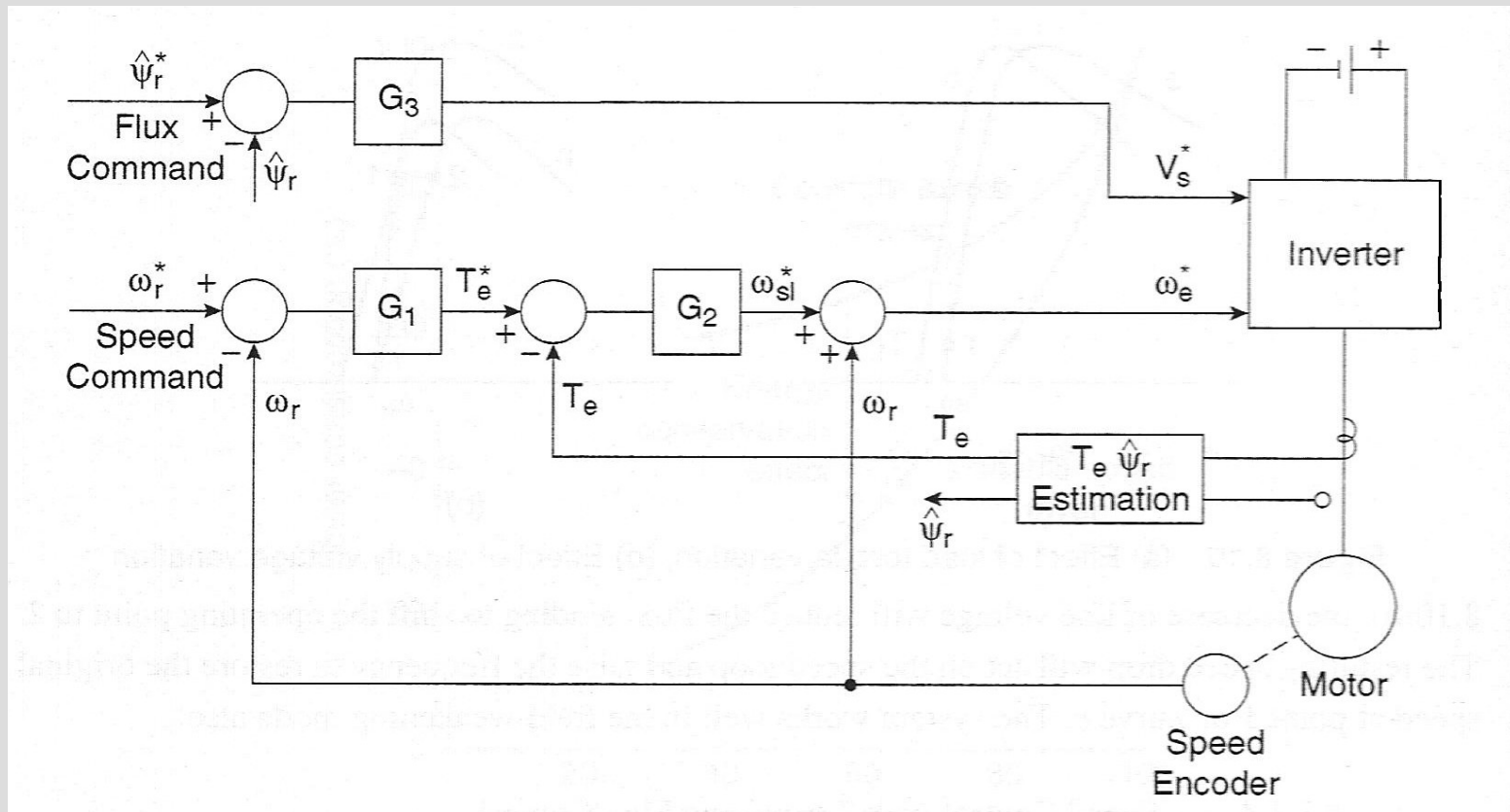


# Controle Escalar de Motores de Indução

- Controle V/Hz permite *variação* no fluxo causada pela:
  - Variação da tensão de alimentação;
  - Variação de parâmetros da máquina;
  - etc.
- Isto reduz torque e o torna sensível ao escorregamento

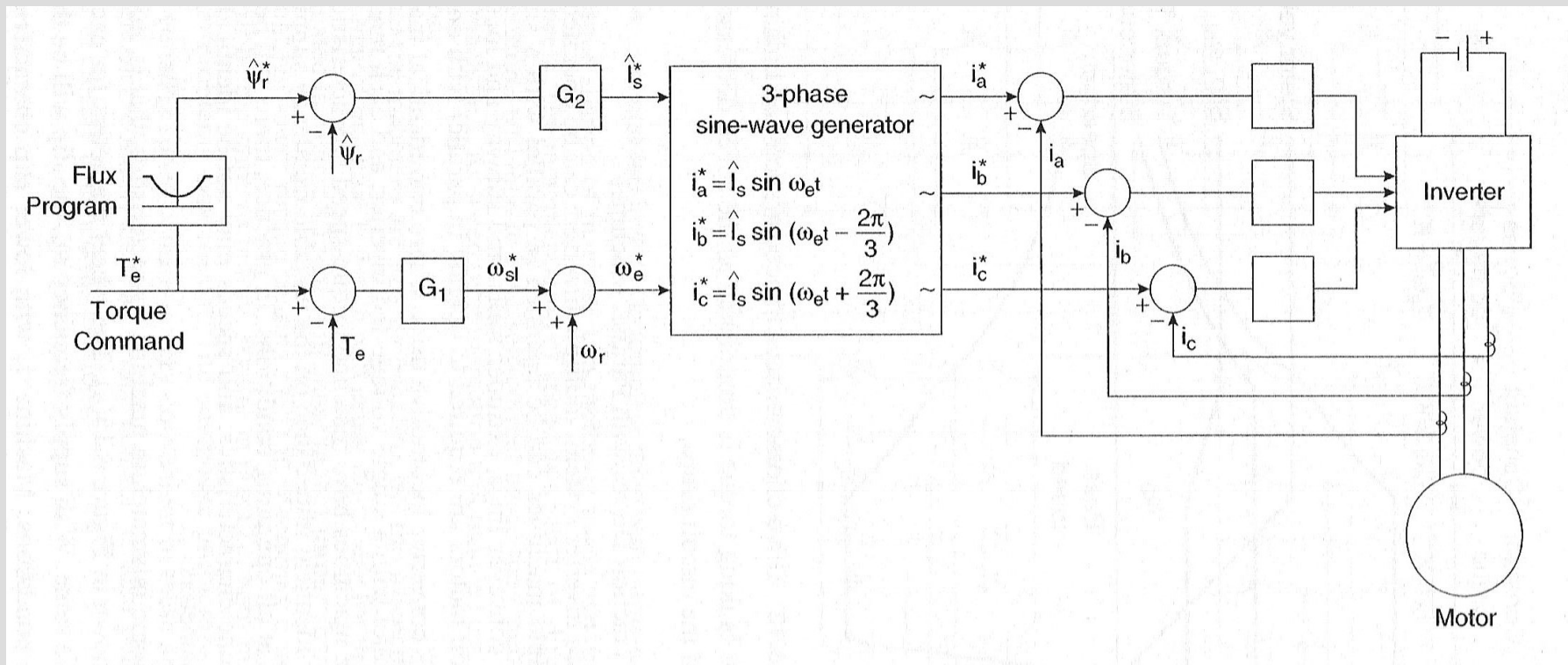
# Controle Escalar de Motores de Indução

- Controle de velocidade com controle de torque e fluxo é alternativa ao V/Hz:



# Controle Escalar de Motores de Indução

- Inversor com realimentação de corrente para controle de torque e fluxo:



# Problemas do Controle Escalar de Motores de Indução

- Inerentemente acoplado: tanto torque quanto o fluxo dependem da tensão e da frequência
- Resposta lenta
- Comportamento não-linear
- Facilmente instabilizável
  
- Alternativa: Controle vetorial

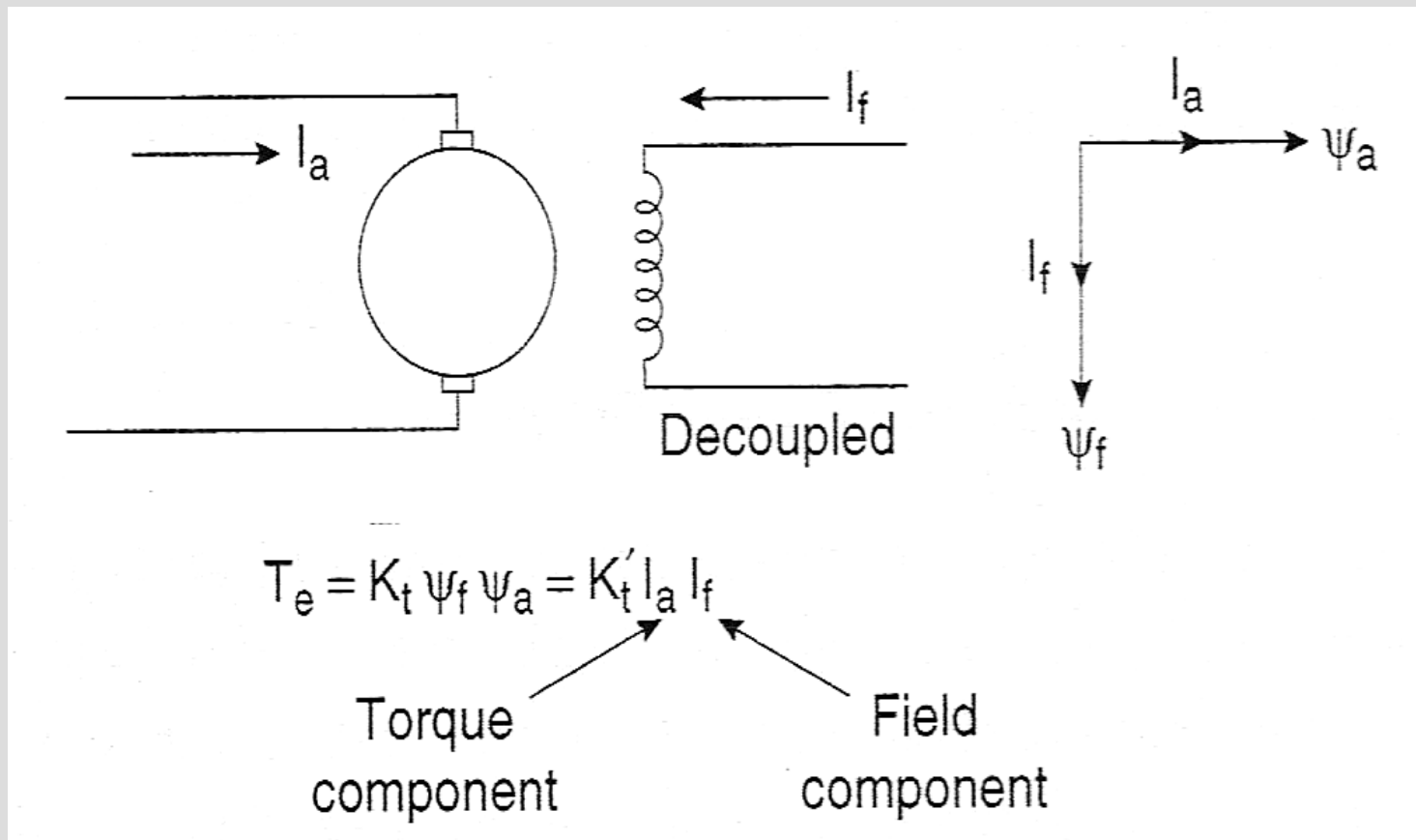
# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Também denominado *controle por campo orientado*
- Aplicável a motores assíncronos ou síncronos
- Permite controlar motor de indução como se fosse motor CC com excitação independente
- Excelente desempenho dinâmico
- Demanda microprocessadores de alto desempenho, ex.: DSP – *digital signal processor*
- Cada vez mais popular

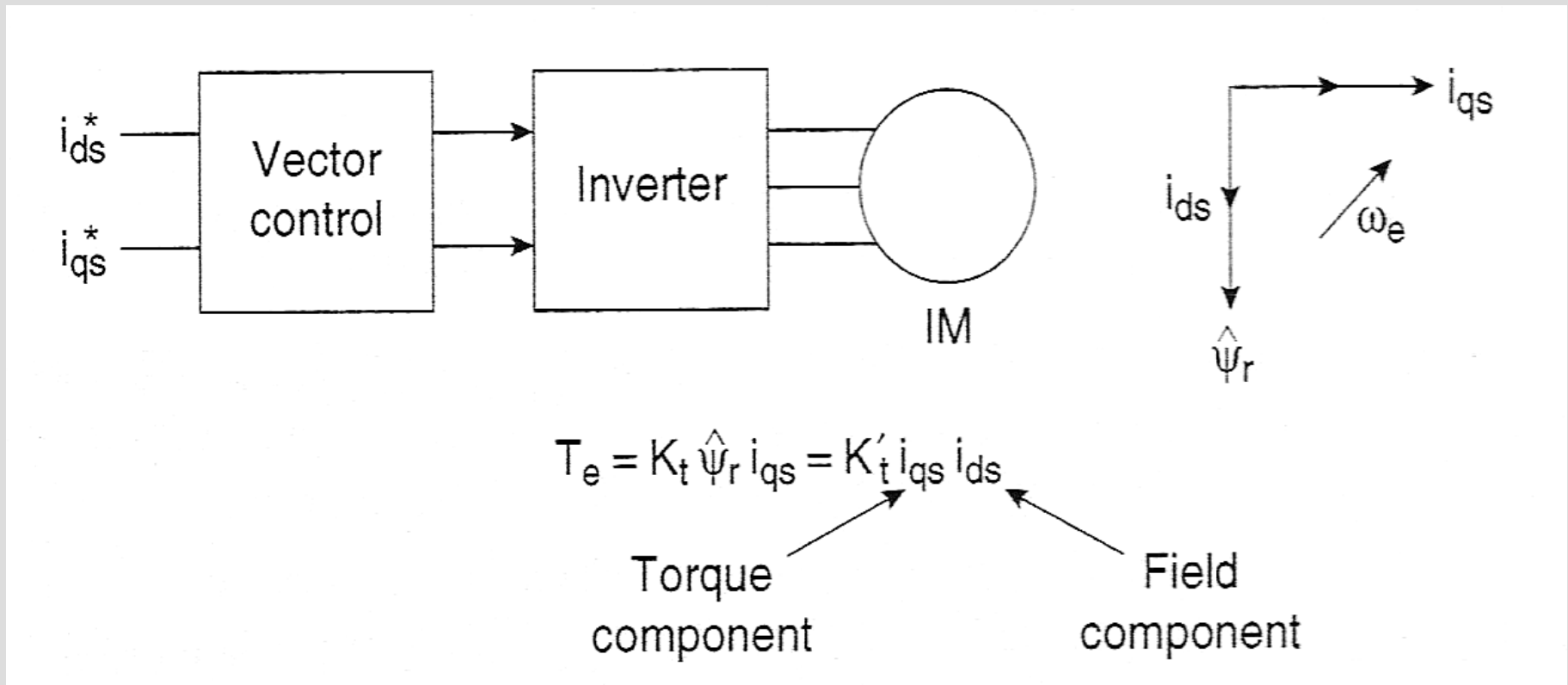


# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Analogia com motor CC:



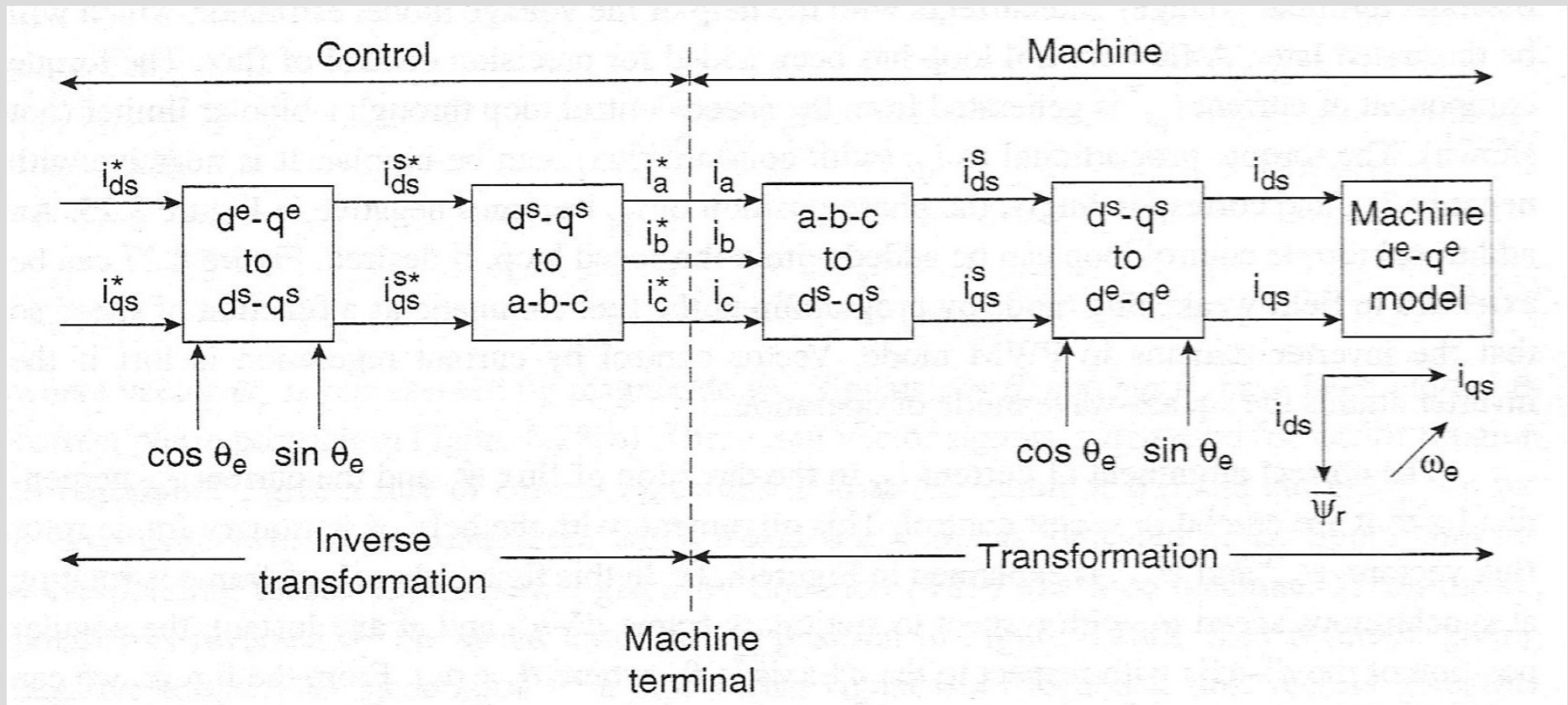
# Controle Vetorial de Motores de Indução



- $i_{qs}$  e  $i_{ds}$  giram sincronamente com  $\omega_e$
- Equações de torque são análogas!

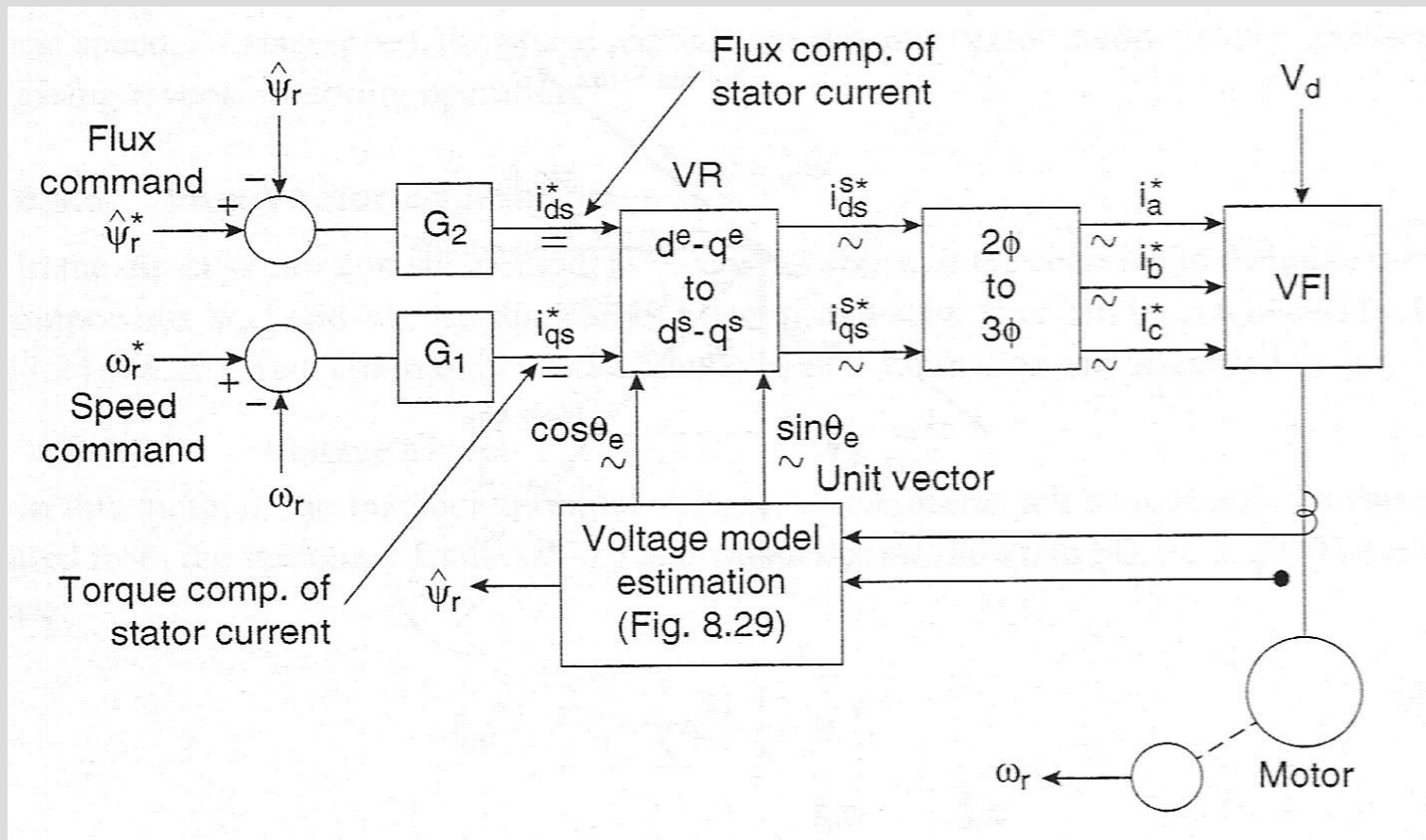
# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Princípio de implementação:



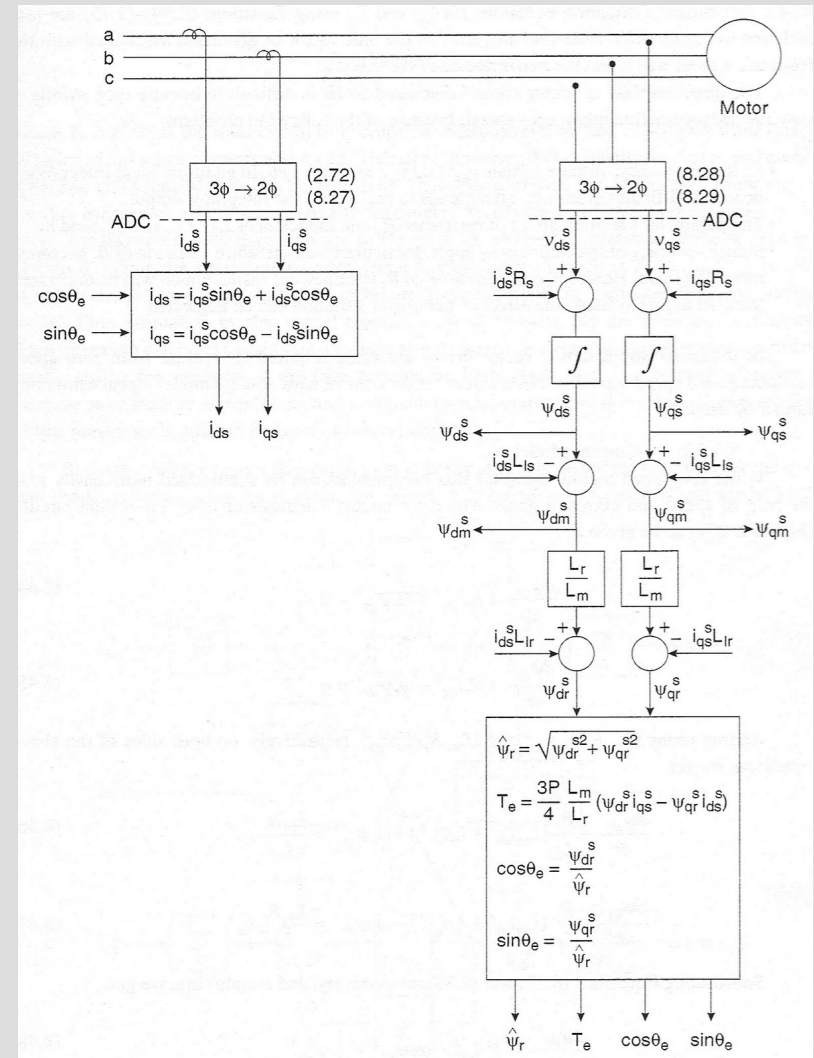
# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Controle vetorial direto:



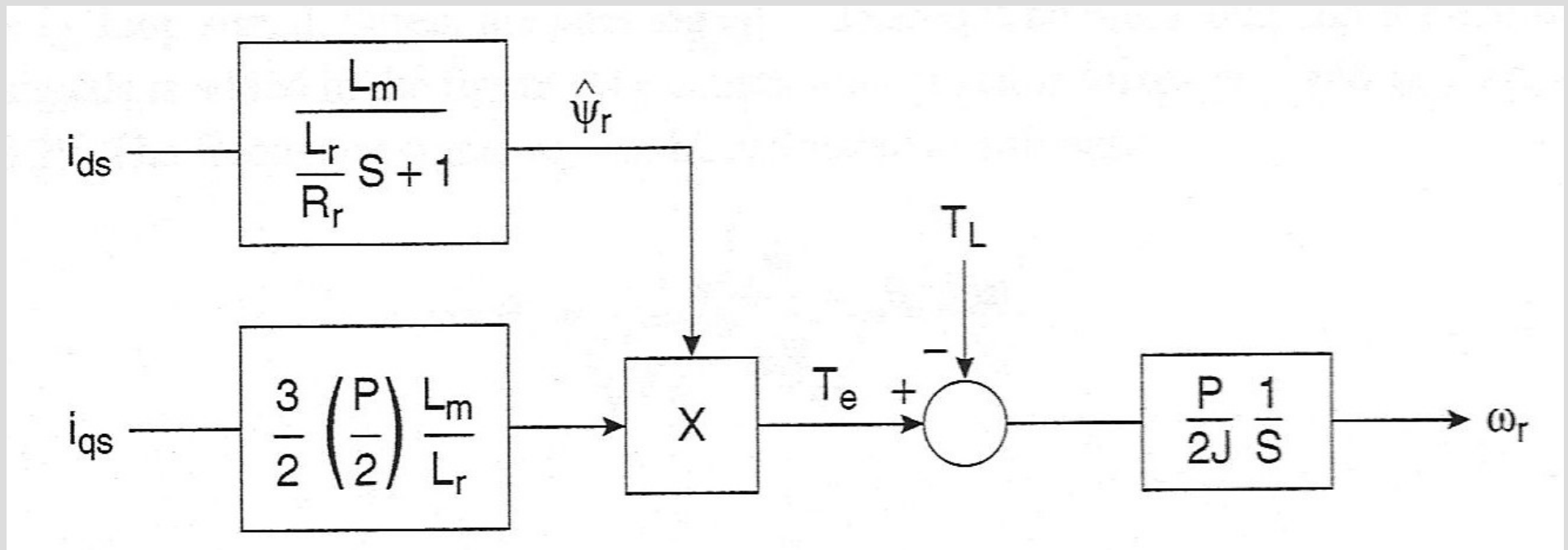
# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Controle vetorial direto, estimador de fluxo embutido no diagrama anterior:



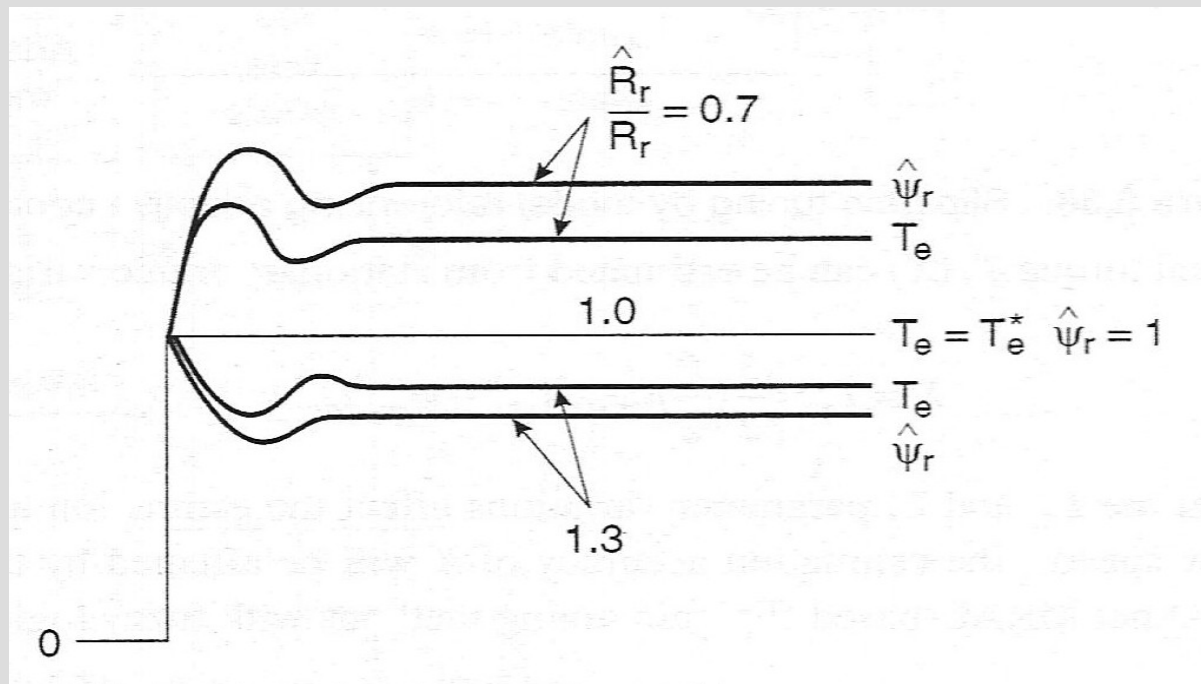
# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Modelo dinâmico de um acionamento vetorial:



# Controle Vetorial de Motores de Indução

- Efeito do descasamento da resistência do rotor:



- Parâmetros podem ser estimados pelo DSP

# Conclusões

- Acionamentos básicos:
  - Controle escalar realizado por inversores com frequência variável
  - Acionamento mais popular: V/Hz
  - Mérito: simplicidade
  - Problema: baixo desempenho dinâmico
- Controle vetorial:
  - Melhor desempenho dinâmico
  - Possibilidade de implementação sem sensores
  - Problema: mais complexo