

# Modelado de sistemas de excitación y motores primarios

## Sistemas de excitación

Requerimientos, elementos y tipos

Comportamiento dinámico

Funciones de control y protección

Modelos

## Suministradores primarios de energía

Reguladores de velocidad

## Sistema de excitación

Suministra corriente continua al circuito de campo para controlar el campo magnético de la máquina.

### Funciones de control:

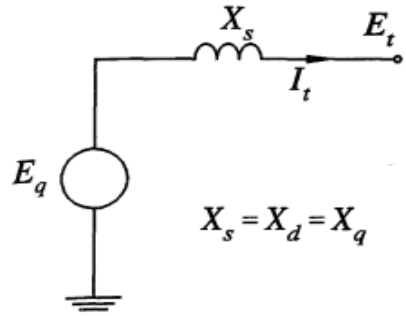
- control de tensión
- acción estabilizadora del sistema de potencia (*PSS: power system stabilizer*)

### Funciones de protección:

de la máquina, del sistema de excitación, de otros componentes...

Detalle: 2-3 kW / MVA ...

# Como responde la máquina en régimen?

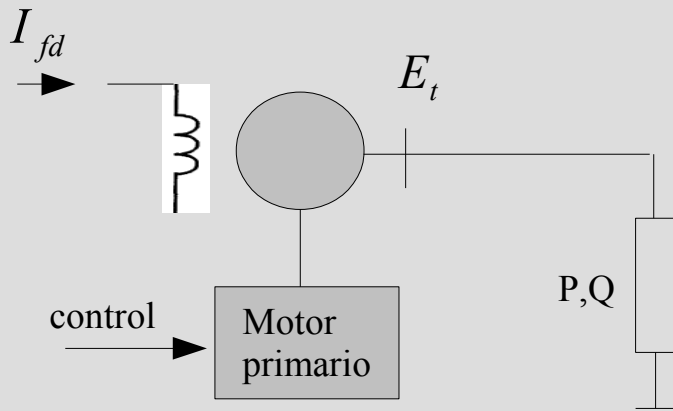


$$\tilde{E}_q = \tilde{E}_{t0} + jX_s \tilde{I}_{t0}$$

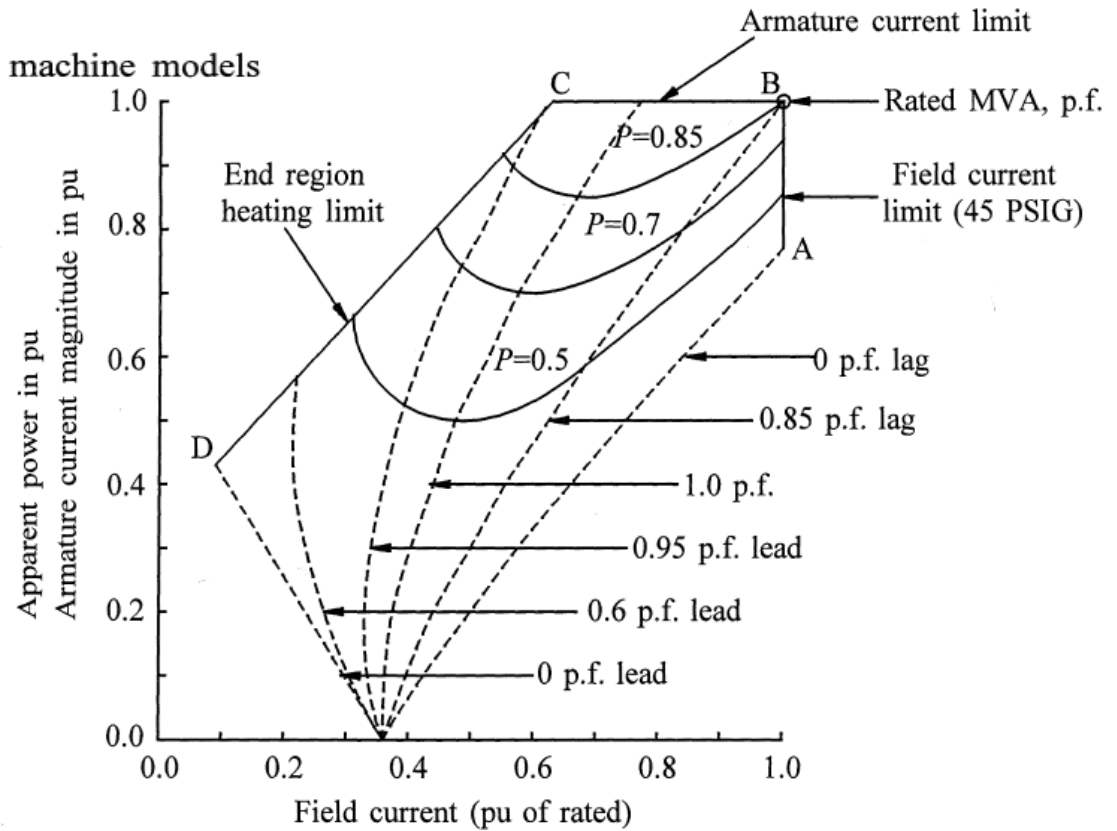
$$|E_q| = X_{ad} i_{fd} = E_I$$

(c) Steady-state model

**Figure 5.11 (Continued)** Simple synchronous machine models



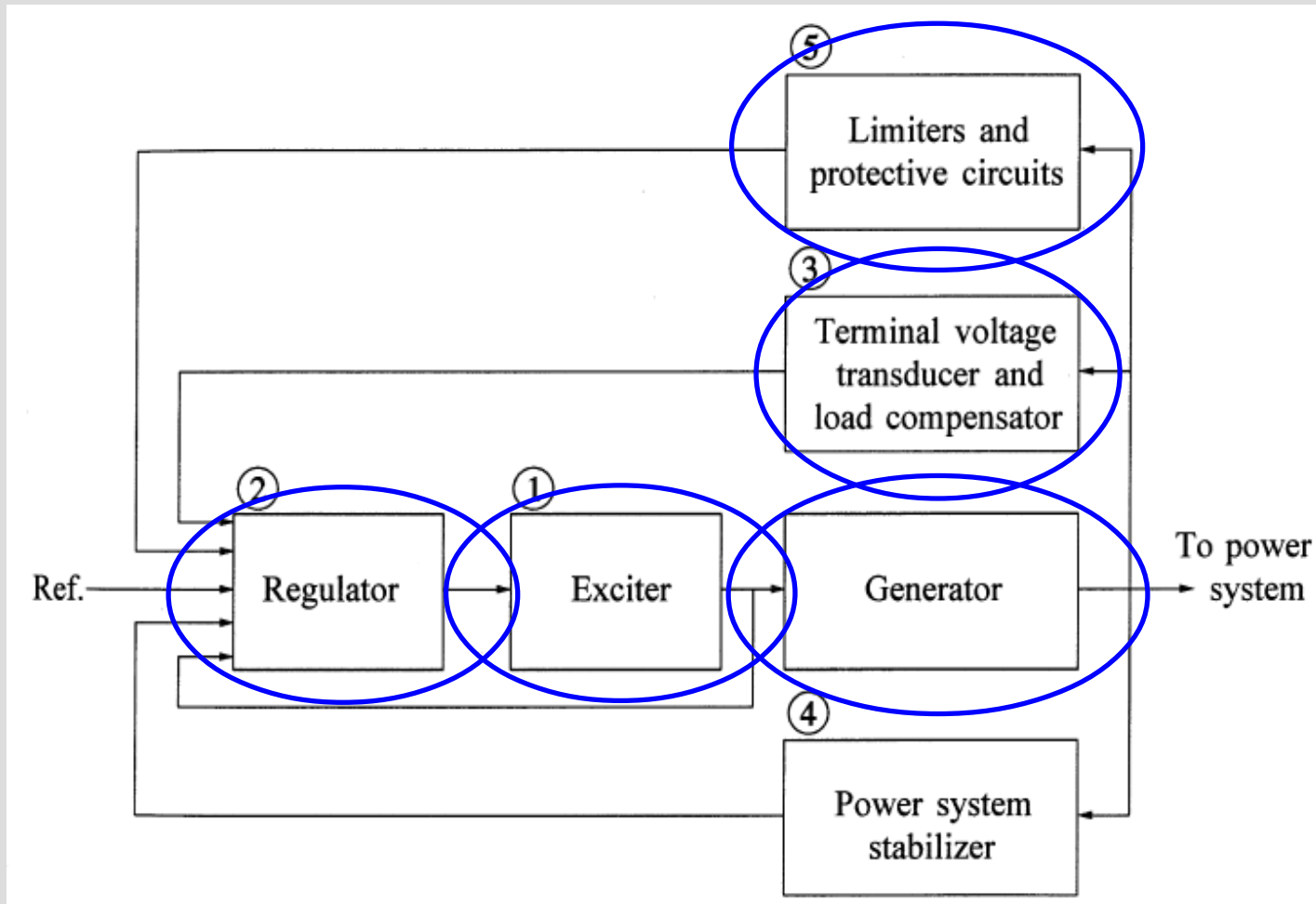
Discutamos el caso P, Et constante, variemos Q.



**Figure 5.19** The V curves and compounding curves for a generator at rated armature voltage

Diagramas extraídos de  
 "Power System Stability and Control",  
 P. Kundur, Mc Graw Hill, 1994

## Estructura general de los sistemas de excitación

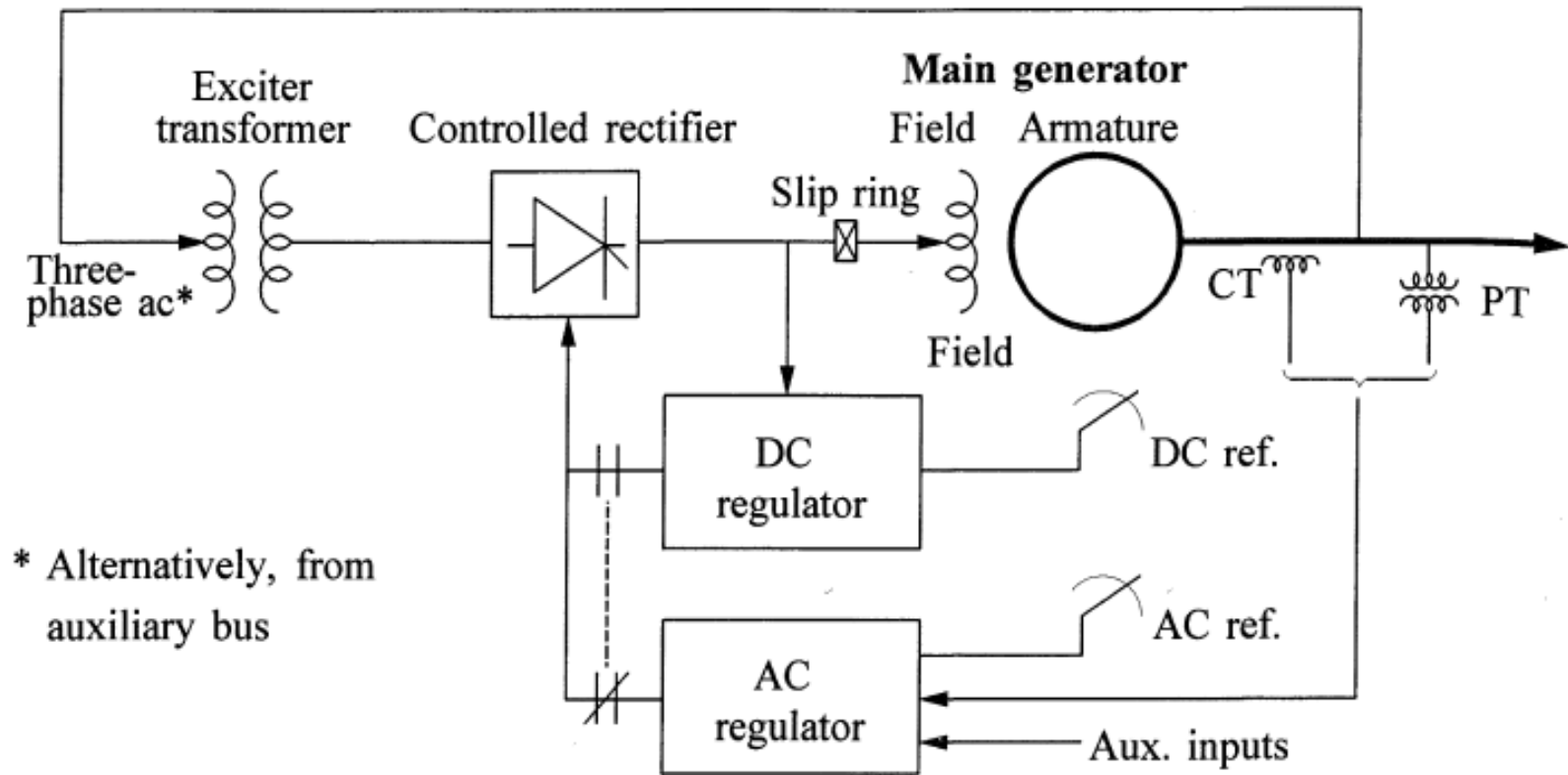


## Tipos básicos de sistemas de excitación

→ Sistemas estáticos

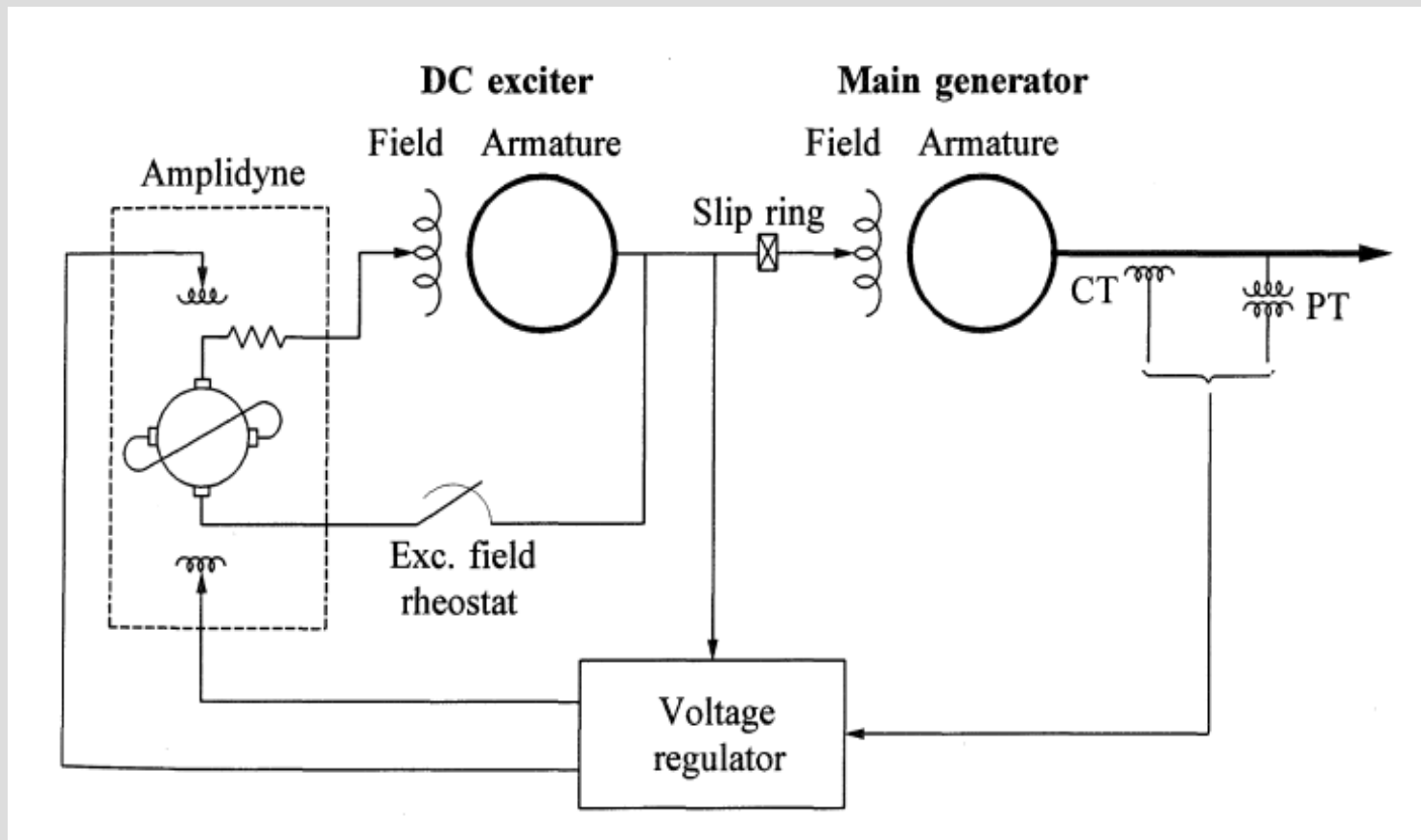
Sistemas rotantes: DC, AC

## Sistemas estáticos



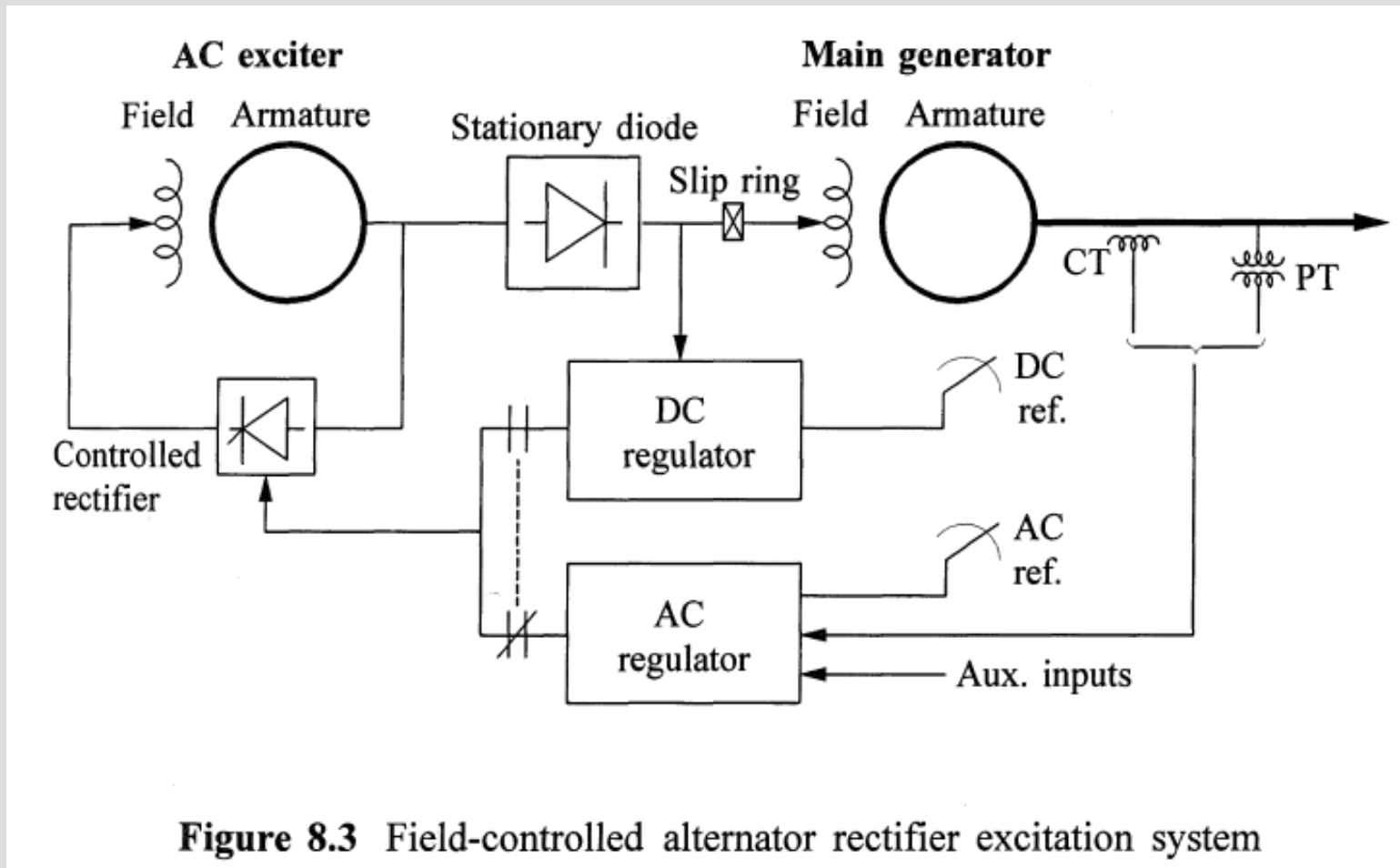
**Figure 8.6** Potential-source controlled-rectifier excitation system

# Sistemas DC





# Sistemas AC



**Figure 8.3** Field-controlled alternator rectifier excitation system

## Parámetros de desempeño dinámico

- En pequeña señal  
sobretiro,  $t_p$ ,  $t_r$ ,  $t_s$   
frecuencia de corte, MG, MF, etc
- En gran señal  
*Rated load field voltage*  
*Ceiling voltage*: máxima tensión que es capaz de aplicar en ciertas condiciones  
(temp, carga,  $f_p$ ,  $E_t$ , etc.)  
*Ceiling current*,  
*Voltage time response*: tiempo en alcanzar el 95% del CV, partiendo del RV,

¿Porqué tanto énfasis en el tiempo de respuesta y en el *ceiling voltage*?

## Parámetros de desempeño dinámico

### **Parámetros típicos:**

Rated voltage (V)	125	250	350-500
S (MVA)	10	100	>100

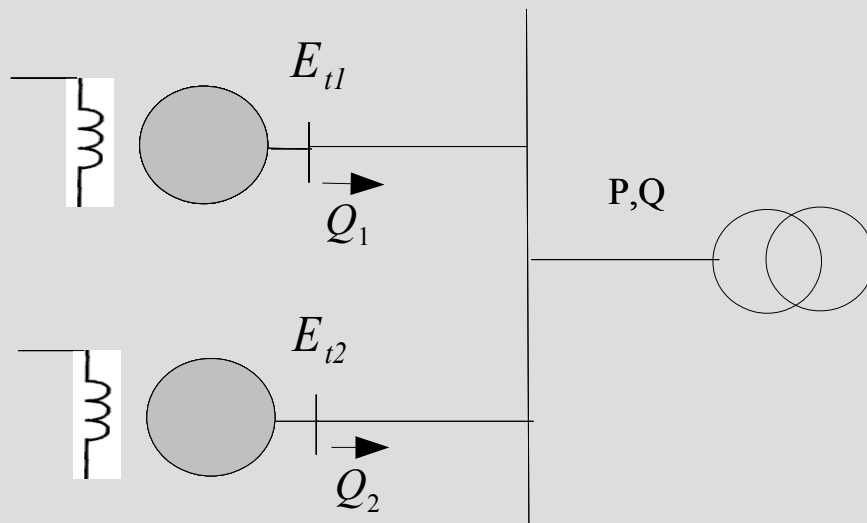
$$h := \frac{CV}{RV} \quad \begin{array}{l} 1.25 < h < 1.8 \text{ para SE lentos} \\ 1.2 < h < 2.10 \text{ para SE estáticos} \end{array}$$

## Funciones de control

- Regulación de tensión AC,
- Regulación de tensión DC,
- Circuitos estabilizadores del S.E. (*para S.E. rotativos...*)
- Compensación de carga,
- PSS: *Power System Stabilizers*.

## Funciones de control

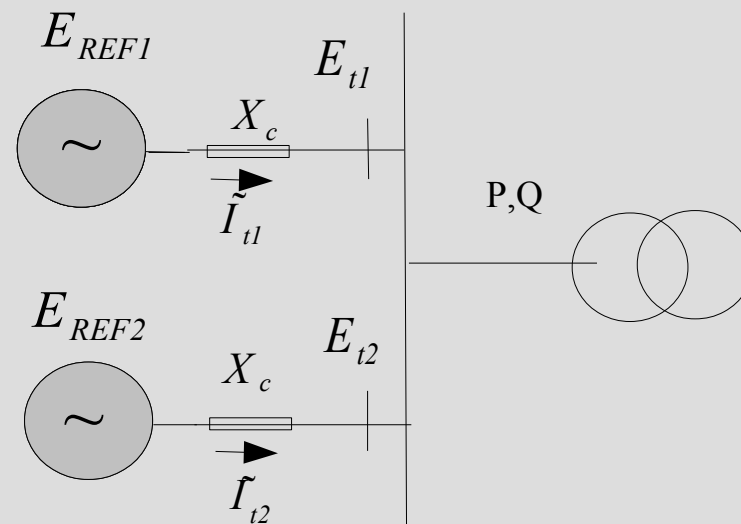
### Compensación de carga



¿Qué pasa si ambas máquinas controlan  $E_{ti}$ ?

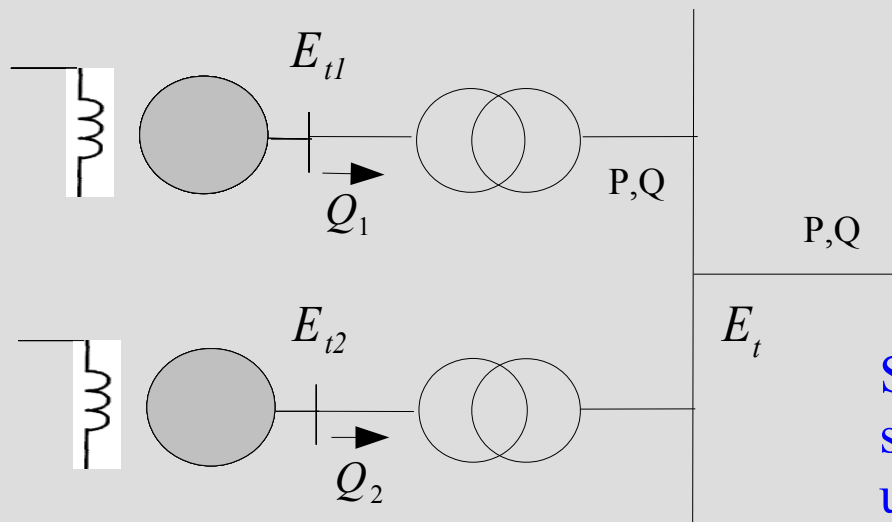
## Funciones de control

Idea: cada una controla  $E_{ci} := |\tilde{E}_{ti} + (R_c + jX_c) \tilde{I}_{ti}|$



## Funciones de control

Otra situación en que se usa compensación de carga:

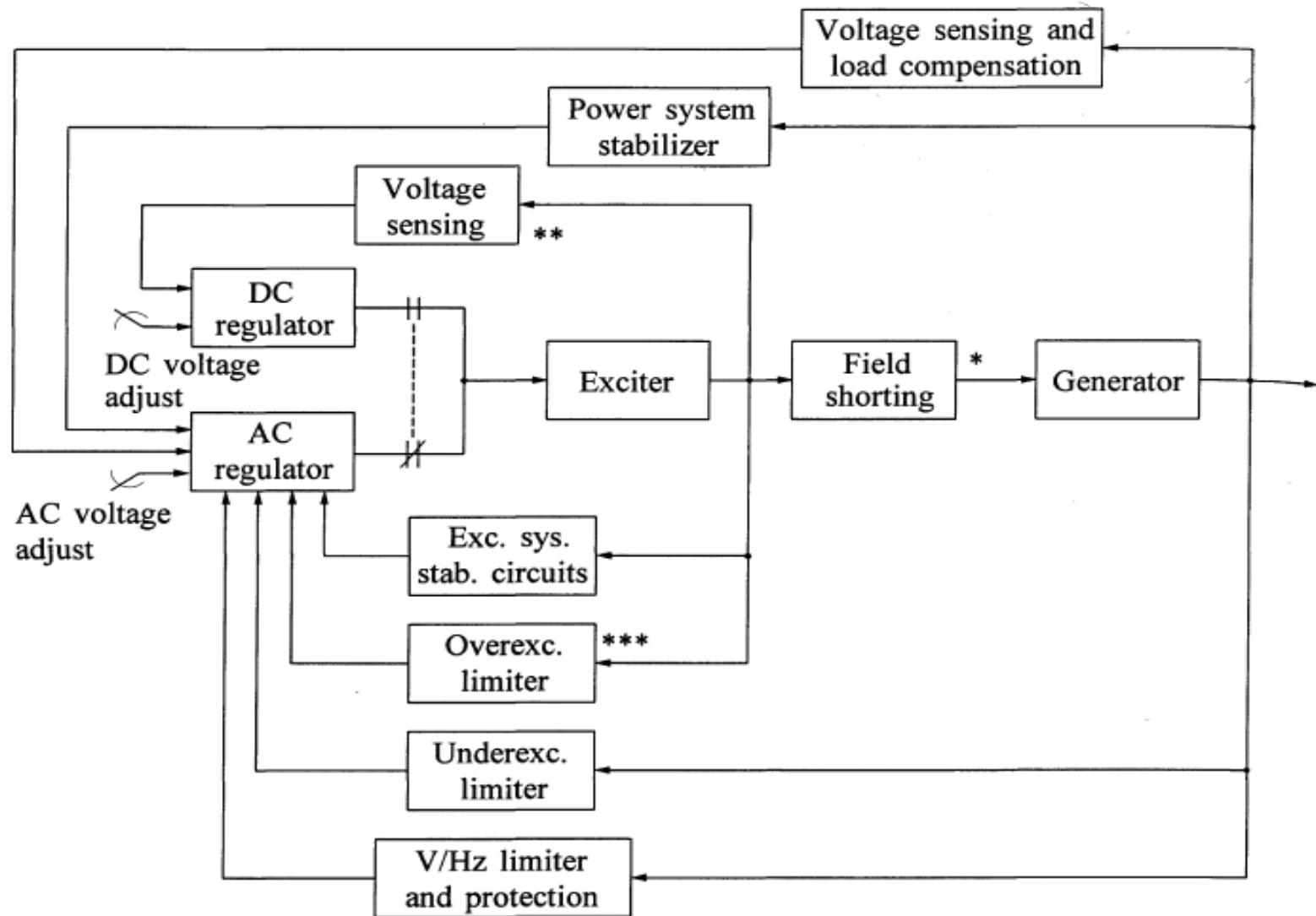


Si las reactancias de los transformadores son relativamente grandes, tendríamos una regulación pobre, vista de la red.

## Funciones de protección

- Subexcitación: *UEL, UREL, URAL, MEL*  
estabilidad, calentamiento local del núcleo
- Sobreexcitación: *OXL, OEL, MXL*,  
calentamiento del devanado de campo
- Volt/Hz  
Máximo flujo de gen y trafo
- Circuitos de de-excitación o cortocircuitado de campo  
Los rectificadores no permite corrientes de campo negativas...





- \* Field-shorting circuits are applicable to ac and static exciters only.
- \*\* Some systems have open-loop dc regulator.
- \*\*\* Overexcitation limiter may also be used with dc regulator

**Figure 8.14** Excitation system control and protective circuits

## Modelos de Sistemas de Excitación

- Simplicidad vs Exactitud vs Facilidad de Comunicación
- Dificultades en la integración numérica del sistema algebraico-diferencial
- Normas IEEE
  - *IEEE Recommended Practices for Excitation System models for Power System Stability studies. IEEE Standard 421.5 - 1992*
  - Antecedentes en 1968, 1981

# Modelos standard IEEE

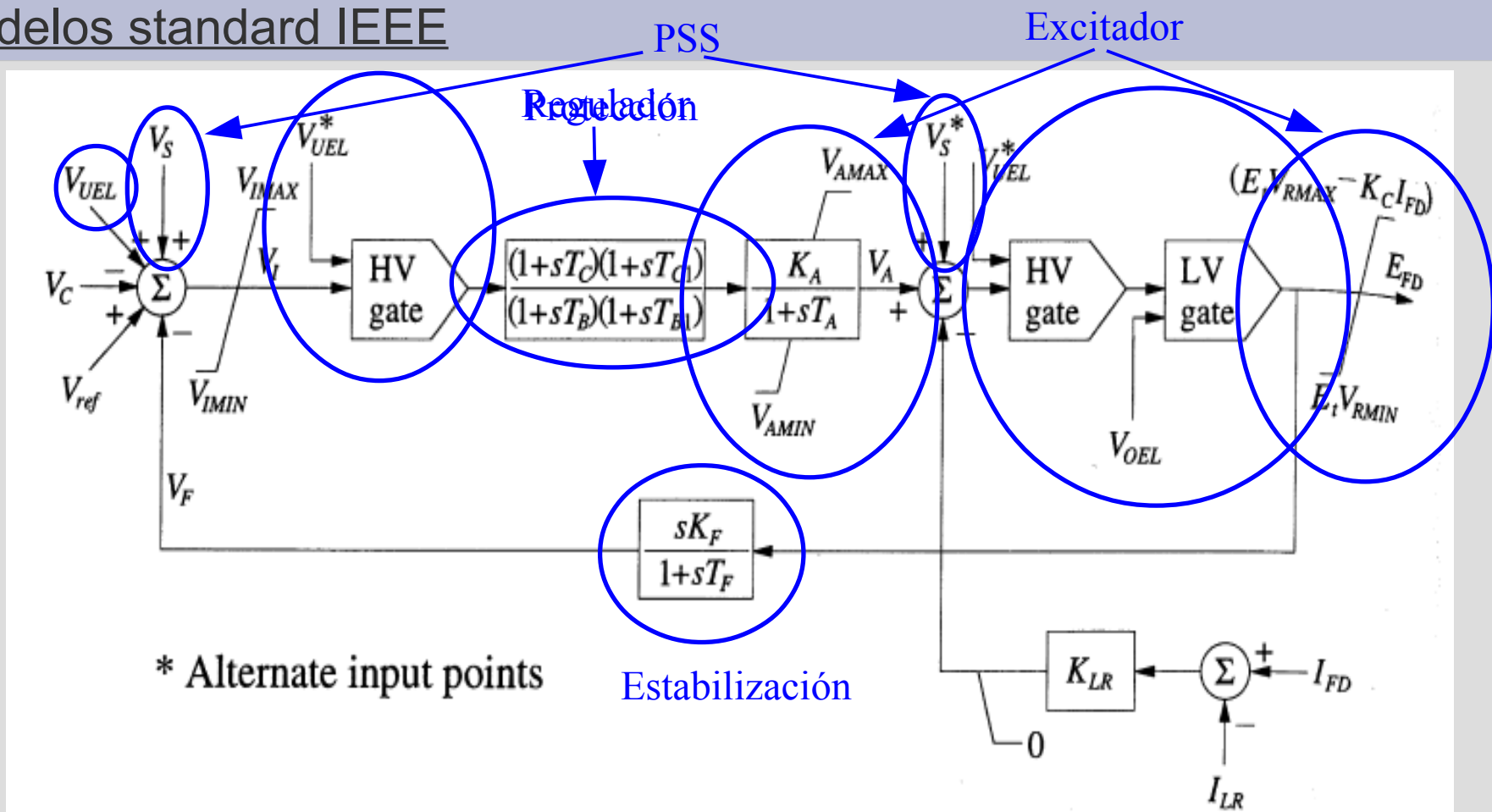


Figure 8.43 IEEE type ST1A excitation system model. © IEEE 1992 [8]

# Modelos standard IEEE

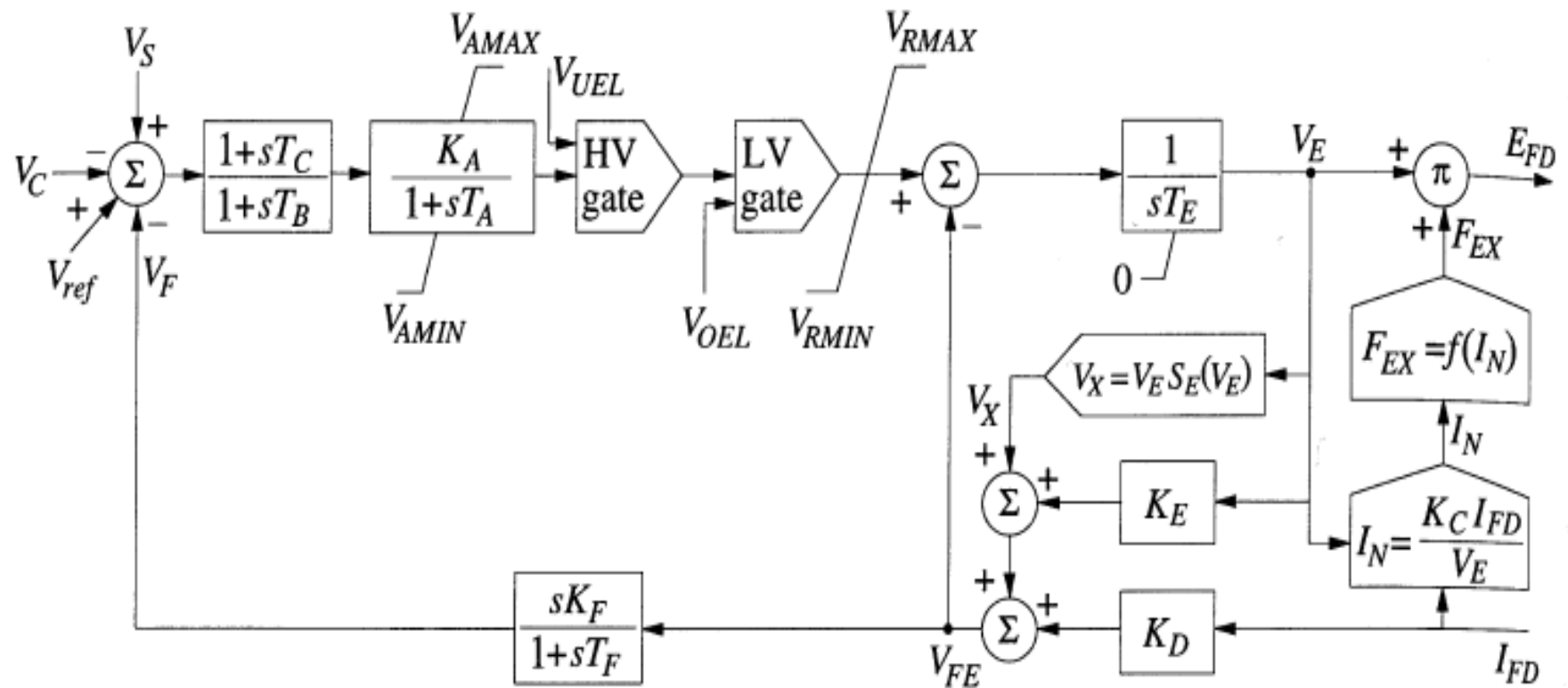
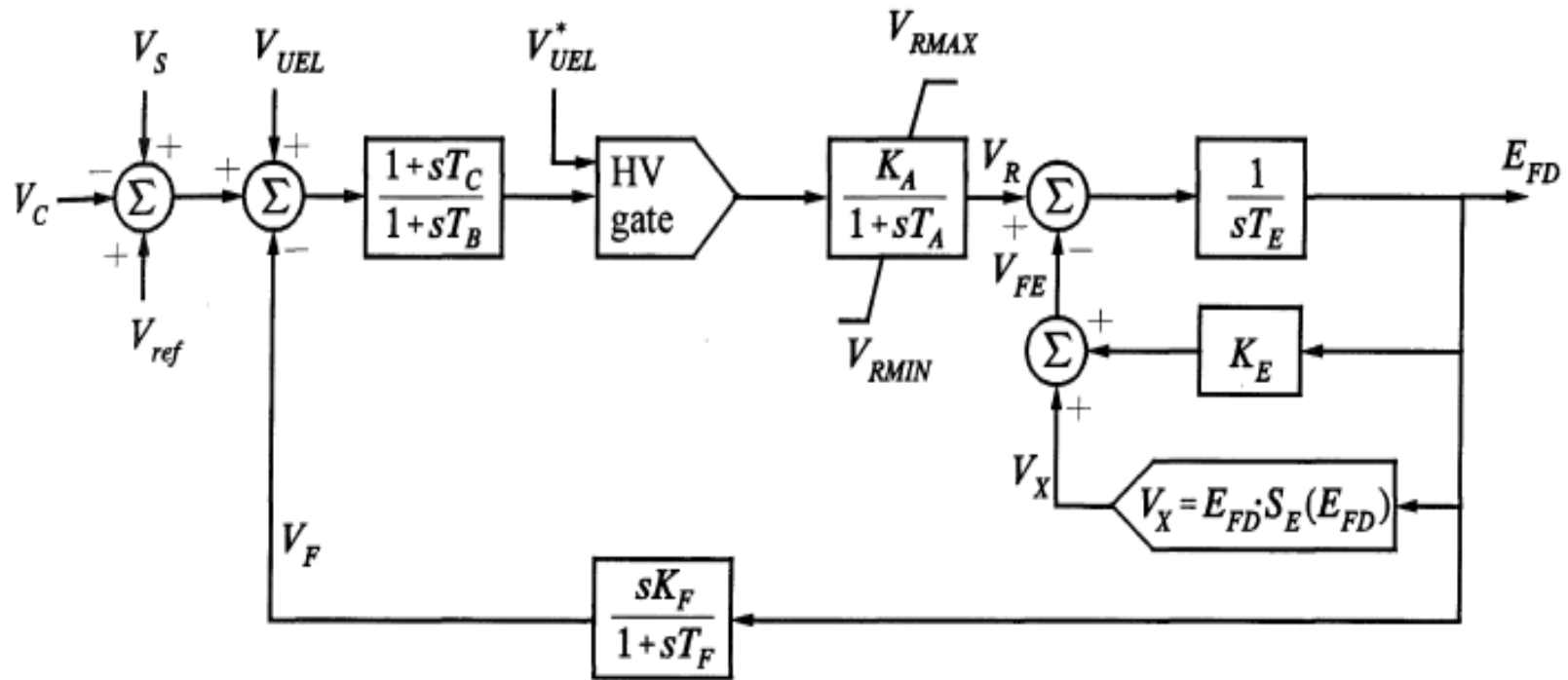


Figure 8.41 IEEE type AC1A excitation system model. © IEEE 1992 [8]

# Modelos standard IEEE

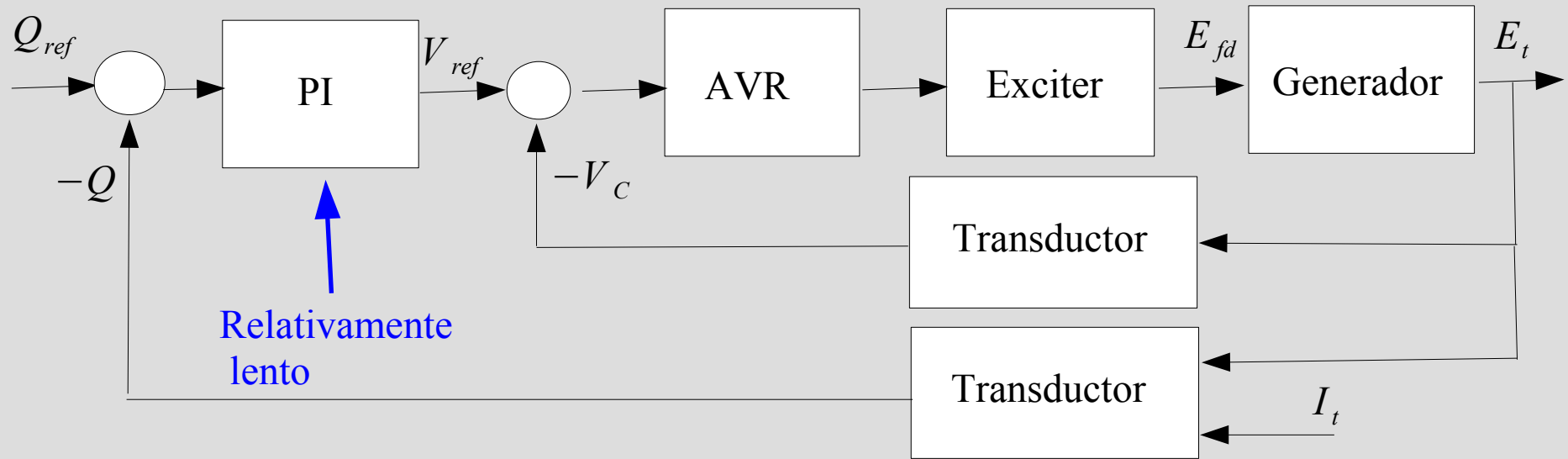


\* Alternate input point

**Figure 8.40** IEEE type DC1A excitation system model. © IEEE 1992 [8]

## Sistemas de excitación

Vimos cómo usar el sistema de excitación para controlar tensión ...



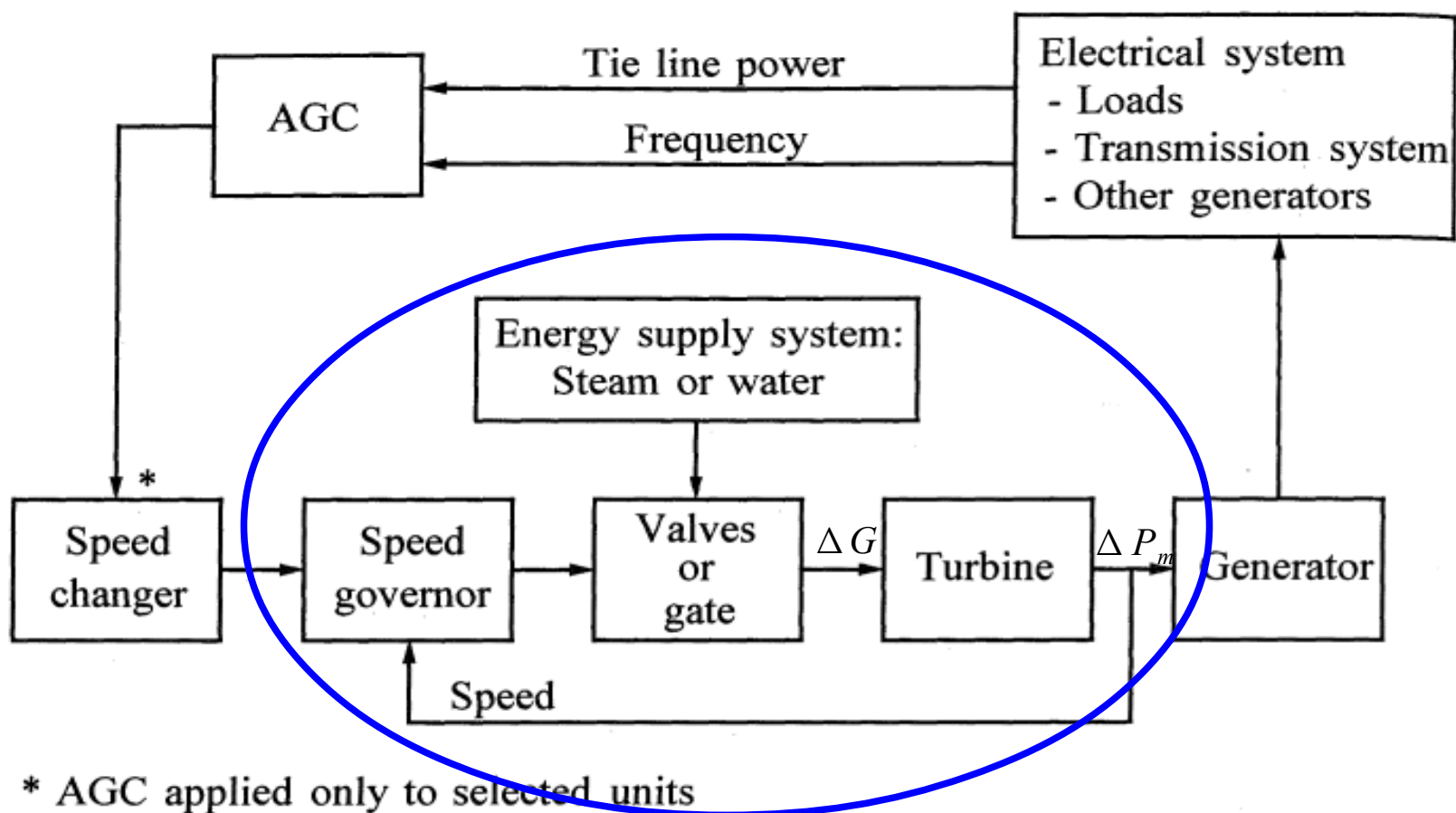
Ahora:

la norma IEEE 1547 impone control de potencia reactiva (o factor de potencia)...

Desde el punto de vista de la estabilidad transitoria, no hay diferencia sustancial.

## Suministradores primarios de energía

### Elementos principales:



**Figure 9.1** Functional block diagram of power generation and control system

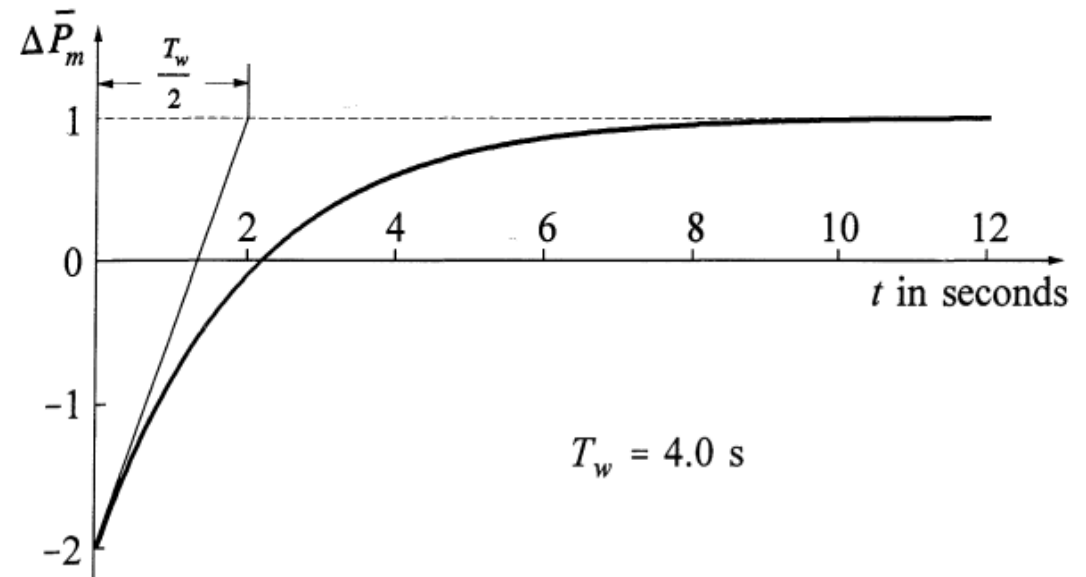
## Suministradores Primarios de Energía

En el caso de una turbina hidráulica tenemos

$$\frac{\Delta P_m'(s)}{\Delta G'(s)} = \frac{1 - T_w s}{1 + \frac{T_w}{2} s}$$

que constituye un sistema de fase no mínima...

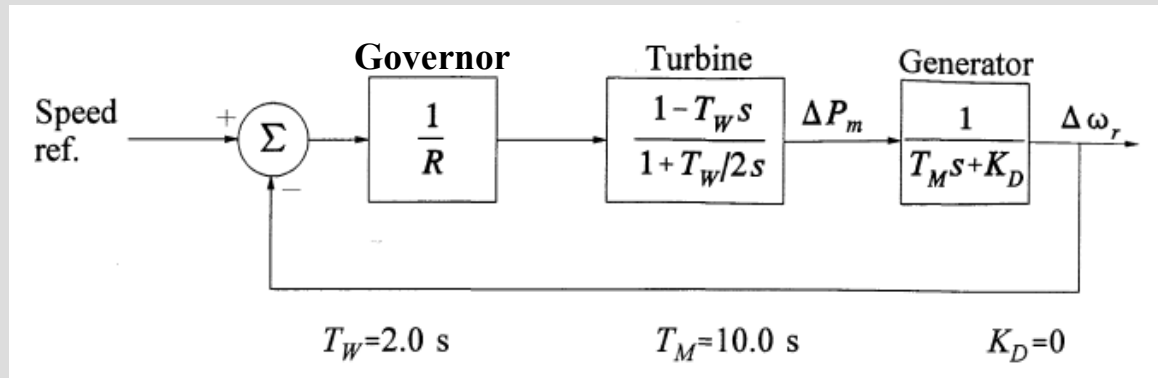
... y que impone modestia a la hora de exigirle performance dinámica.





# Suministradores Primarios de Energía

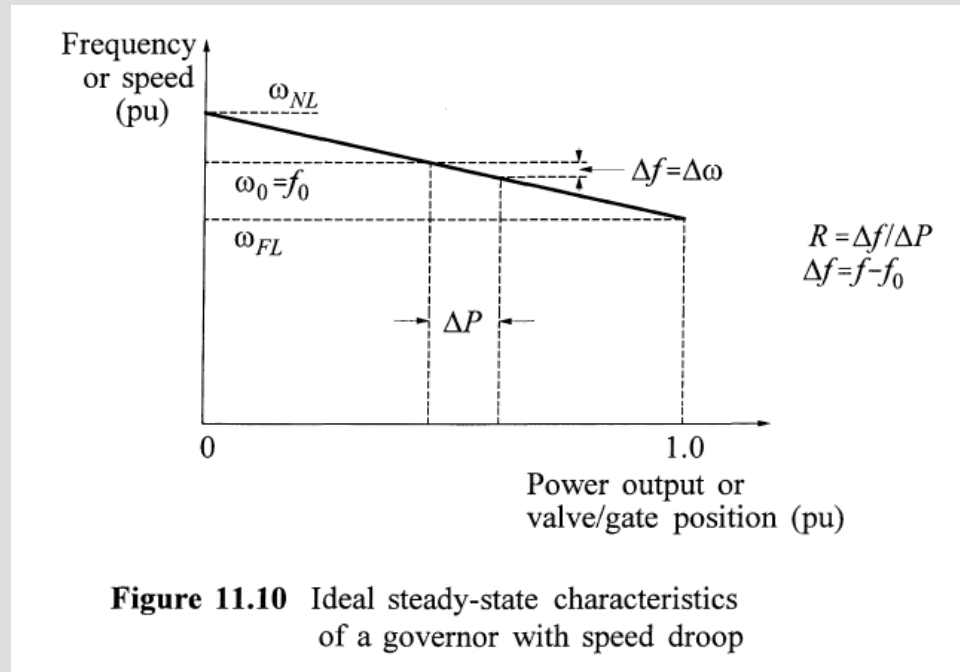
## Diagrama esquemático del control de velocidad.



En régimen, tenemos

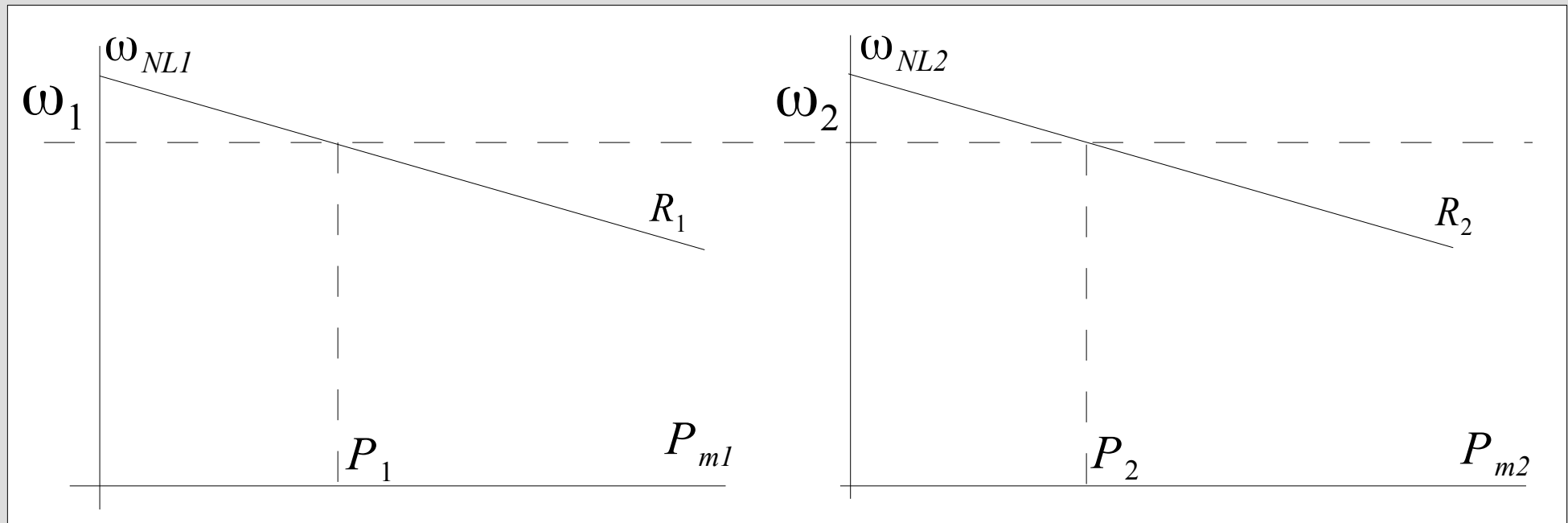
$$\left[ \omega_r - \omega_{REF} \right] \frac{1}{R} = \Delta P_m$$

R: estatismo. ~ 5%



**Figure 11.10** Ideal steady-state characteristics of a governor with speed droop

## Papel del estatismo



Los estatismos  $R_1, R_2$  (y también la referencias  $\omega_{NL1}, \omega_{NL2}$ ) determinan la proporción en la que comparten la potencia activa para controlar la frecuencia común.