

Sistemi Elettrici

Debora Botturi

ALTAIR

<http://metropolis.sci.univr.it>



Introduzione

- Argomenti
- Osservazioni generali

Modellare

Sistemi elettromeccanici

Introduzione



Debora Botturi

Laboratorio di Sistemi e Segnali



Argomenti

Introduzione

● Argomenti

● Osservazioni generali

Modellare

Sistemi elettromeccanici

- ✦ Componenti di base: resistori, sorgenti elettriche, condensatori, induttori
- ✦ Impedenza
- ✦ Esempi

Obiettivo: Applicare tecniche di analisi ai circuiti elettrici.



Osservazioni generali

Introduzione

● Argomenti

● Osservazioni generali

Modellare

Sistemi elettromeccanici

- Il voltaggio agisce sugli elettroni facendoli muovere in determinate direzioni
- Il voltaggio produce corrente quando gli elettroni creano un flusso attraverso un conduttore
- Più liberamente gli elettroni possono scorrere, minore é la resistenza del materiale
- Le componenti elettriche sono usate per controllare questo flusso



Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

Modellare



Debora Botturi

Laboratorio di Sistemi e Segnali



Leggi di Kirchoff

Introduzione

Modellare

● Leggi di Kirchoff

- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

$$\sum I_{node} = 0 \quad \text{node current}$$

$$\sum V_{loop} = 0 \quad \text{loop voltage}$$



Tipi di Analisi

Introduzione

Modellare

● Leggi di Kirchoff

● Tipi di Analisi

● Componenti

● Resistenze

● Esempio

● Resistenze equivalenti

● Sorgenti di corrente/voltaggio

● Esempio

● Condensatori

● Induttori

● Esempio - parte I

● Esempio - parte II

● Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

- DC (Direct Current) - trovare la risposta ad un input costante
- AC (Alternating Current) - trovare la risposta a regime ad un input sinusoidale
- Transient - trovare la risposta iniziale ai cambiamenti



Componenti

Introduzione

Modellare

● Leggi di Kirchoff

● Tipi di Analisi

● Componenti

● Resistenze

● Esempio

● Resistenze equivalenti

● Sorgenti di corrente/voltaggio

● Esempio

● Condensatori

● Induttori

● Esempio - parte I

● Esempio - parte II

● Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

- Resistenze - riducono il flusso di corrente come descritto dalla legge di Ohm
- Sorgenti di voltaggio/corrente - alimentano i circuiti
- Condensatori - immagazzinano corrente (bloccano la corrente continua)
- Induttori - resistono ai cambiamenti nel flusso di corrente (bloccano le alte frequenze)
- Amplificatori



Resistenze

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

- ✦ La resistenza é un fenomeno naturale che succede in ogni materiale eccetto i superconduttori
- ✦ Una resistenza oppone flusso di corrente come descritto dalla *Legge di Ohm*

$$I = \frac{V}{R} \quad V = IR$$

- ✦ Il valore della resistenza é supposto lineare, ma nella realtà varia secondo la temperatura del conduttore.



Esempio

Introduzione

Modellare

● Leggi di Kirchoff

● Tipi di Analisi

● Componenti

● Resistenze

● Esempio

● Resistenze equivalenti

● Sorgenti di corrente/voltaggio

● Esempio

● Condensatori

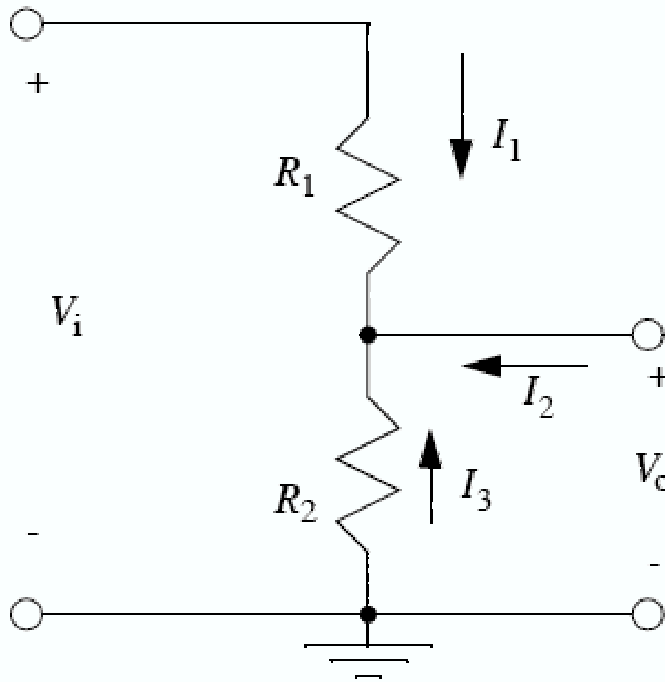
● Induttori

● Esempio - parte I

● Esempio - parte II

● Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici



$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$\therefore \left(\frac{V_i - V_o}{R_1} \right) + I_2 + \left(\frac{0 - V_o}{R_2} \right) = 0$$

Assume the output resistance is large, so I_2 is negligible.

$$\therefore \left(\frac{V_i - V_o}{R_1} \right) + \left(\frac{-V_o}{R_2} \right) = 0$$

$$\therefore V_o \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = V_i \left(\frac{1}{R_1} \right)$$

$$\therefore V_o \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right) = V_i \left(\frac{1}{R_1} \right)$$

$$\boxed{\therefore \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

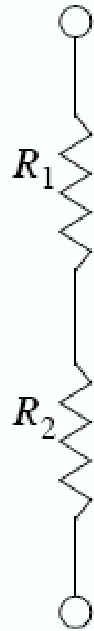
Resistenze equivalenti

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

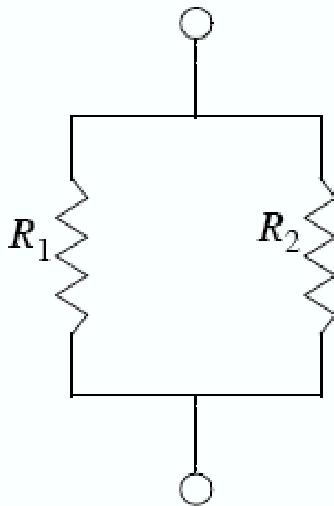
Sistemi elettromeccanici



series resistors



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$



parallel resistors



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Sorgenti di corrente/voltaggio

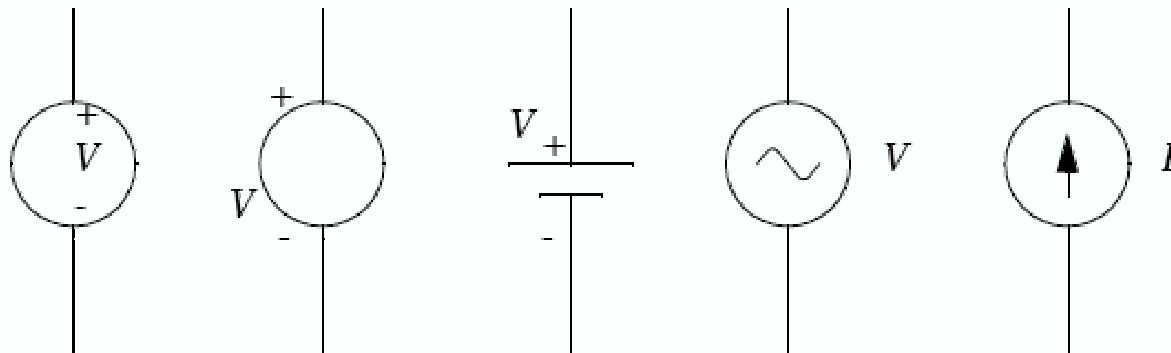
Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

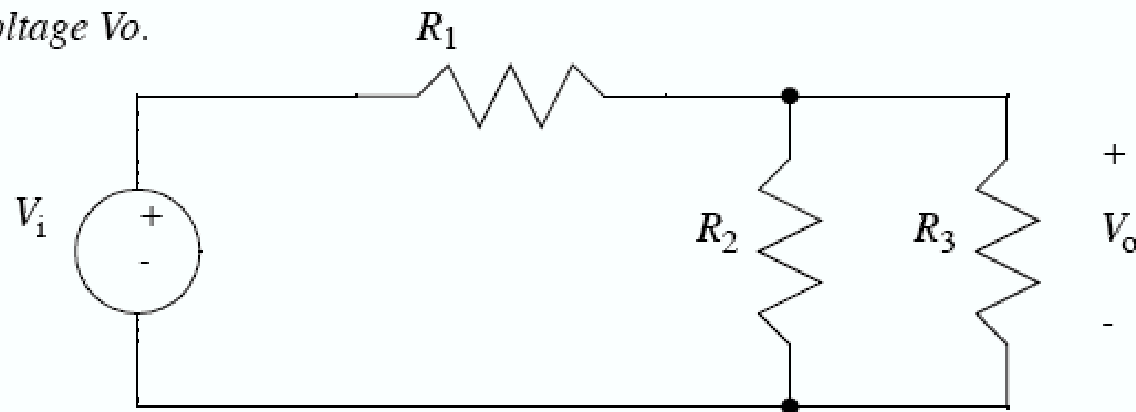
Sistemi elettromeccanici

- Una sorgente di voltaggio mantiene un certo voltaggio in un circuito variando la corrente.
- Una sorgente di corrente alimenta un circuito variando il voltaggio.



Esempio

Find the output voltage V_o .



Examining the circuit there are two loops, but only one node, so the node current methods is the most suitable for calculations. The currents into the upper right node, V_o , will be solved.

$$\sum I = \frac{V_o - V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} + \frac{V_o}{R_3} = 0$$

$$V_o \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = V_i \left(\frac{1}{R_1} \right)$$

$$V_o \left(\frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3} \right) = V_i \left(\frac{1}{R_1} \right)$$

$$V_o = V_i \left(\frac{R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2} \right)$$

Aside: when doing node-current methods, select currents out of a node as positive, and in as negative. This will reduce the chances of careless mistakes.

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio

● Esempio

- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

Condensatori

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici

- Sono composti da due lamine di metallo isolate ma molto vicine.
- Quando viene applicato un voltaggio attraverso il condensatore, gli elettroni di una delle due lamine sono costretti a spostarsi sull'altra lamina
- Questo movimento crea temporaneamente un flusso di corrente fino a che le due lamine raggiungono l'equilibrio
- Quindi ogni variazione di voltaggio provoca un flusso di corrente tra le due lamine.

$$I = C \frac{d}{dt} V$$



Induttori

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- Esempio - parte III

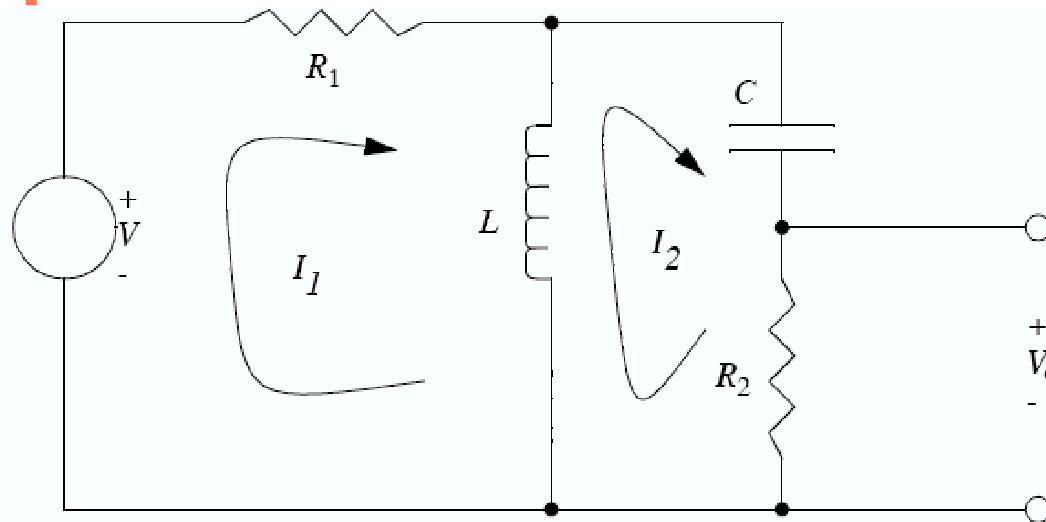
Sistemi elettromeccanici

- ✦ Sono delle bobine di filo
- ✦ Quando la corrente scorre sulla bobina viene generato un campo magnetico
- ✦ Resistono a cambiamenti della corrente (variazioni all'interno della bobina)

$$V = L \frac{d}{dt} I$$



Esempio - parte I



Note: when summing voltages in a loop remember to deal with sources that increase the voltage by flipping the sign.

First, sum the voltages around the loops and then eliminate I_1 .

$$\sum V_{L1} = -V + R_1 I_1 + L(DI_1 - DI_2) = 0$$

$$(R_1 + LD)I_1 = V + (LD)I_2 \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + LD} + \left(\frac{LD}{R_1 + LD}\right)I_2 \quad (2)$$

$$\sum V_{L2} = L(DI_2 - DI_1) + \frac{I_2}{CD} + R_2 I_2 = 0$$

$$L(DI_2 - DI_1) + \frac{I_2}{CD} + R_2 I_2 = 0 \quad (3)$$

$$(DL)I_1 = \left(LD + \frac{1}{CD} + R_2\right)I_2$$

$$I_1 = \left(1 + \frac{1}{CLD^2} + \frac{R_2}{LD}\right)I_2 \quad (4)$$

Esempio - parte II

First, sum the voltages around the loops and then eliminate I_1 .

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + LD} + \left(\frac{LD}{R_1 + LD} \right) I_2 = \left(1 + \frac{1}{CLD^2} + \frac{R_2}{LD} \right) I_2$$

$$\frac{V}{R_1 + LD} = \left(1 + \frac{1}{CLD^2} + \frac{R_2}{LD} - \frac{LD}{R_1 + LD} \right) I_2$$

$$\frac{V}{R_1 + LD} = \left(\frac{(CLD^2 + 1 + CDR_2)(R_1 + LD) - CL^2D^3}{CLD^2} \right) I_2$$

$$I_2 = \left(\frac{CLD^2}{(R_1 + LD)((CLD^2 + 1 + CDR_2)(R_1 + LD) - CL^2D^3)} \right) V$$

$$I_2 = \left(\frac{CLD^2}{CL(R_1 + R_2)D^3 + L(CR_1^2 + 2CR_1R_2 + L)D^2 + R_1(CR_1R_2 + 2L)D + (R_1^2)} \right) V$$

Convert it to a differential equation.

$$CL(R_1 + R_2)I_2''' + L(CR_1^2 + 2CR_1R_2 + L)I_2'' + R_1(CR_1R_2 + 2L)I_2' + (R_1^2)I_2 = CLV'''$$

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- **Esempio - parte II**
- Esempio - parte III

Sistemi elettromeccanici



Esempio - parte III

State equations can also be developed using equations (1) and (3).

$$\begin{aligned}(1) \text{ becomes} \quad R_1 I_1 + L \dot{I}_1 &= V + L \dot{I}_2 \\ L \dot{I}_1 - L \dot{I}_2 &= V - R_1 I_1 \\ \dot{I}_1 - \dot{I}_2 &= \frac{V}{L} - \frac{R_1}{L} I_1 \\ q_1 &= I_1 - I_2\end{aligned}\tag{10}$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_1 &= \frac{V}{L} - \frac{R_1}{L} I_1 \\ I_1 &= q_1 + I_2\end{aligned}\tag{11}$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_1 &= \frac{V}{L} - \frac{R_1}{L} (q_1 + I_2) \\ \dot{q}_1 &= q_1 \left(-\frac{R_1}{L} \right) + I_2 \left(-\frac{R_1}{L} \right) + \frac{V}{L}\end{aligned}\tag{12}$$

$$\begin{aligned}(3) \text{ becomes} \quad L \ddot{I}_2 - L \ddot{I}_1 + \frac{I_2}{C} + R_2 \dot{I}_2 &= 0 \\ V - R_1 I_1 + \frac{I_2}{C} + R_2 \dot{I}_2 &= 0 \\ V - R_1 (q_1 + I_2) + \frac{I_2}{C} &= -R_2 \dot{I}_2 \\ \dot{I}_2 &= I_2 \left(-R_1 + \frac{1}{C} \right) + q_1 (-R_1) + V\end{aligned}\tag{13}$$

These can be put in matrix form,

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} q_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L} & -\frac{R_1}{L} \\ -R_1 & -R_1 + \frac{1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ I_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V}{L} \\ V \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introduzione

Modellare

- Leggi di Kirchoff
- Tipi di Analisi
- Componenti
- Resistenze
- Esempio
- Resistenze equivalenti
- Sorgenti di corrente/voltaggio
- Esempio
- Condensatori
- Induttori
- Esempio - parte I
- Esempio - parte II
- **Esempio - parte III**

Sistemi elettromeccanici



Introduzione

Modellare

Sistemi elettromeccanici

- Motore elettrico a corrente continua
- Motore elettrico a corrente continua
- Motore a induzione
- Motore Brushless

Sistemi elettromeccanici



Debora Botturi

Laboratorio di Sistemi e Segnali



Motore elettrico a corrente continua

Introduzione

Modellare

Sistemi elettromeccanici

- Motore elettrico a corrente continua
- Motore elettrico a corrente continua
- Motore a induzione
- Motore Brushless

- Un motore a corrente continua crea una coppia tra il rotore e lo statore che é relativa al voltaggio applicato od alla corrente.
- In un motore con magnete permanente ci sono magneti montati sullo statore, mentre il rotore consiste di avvolgimenti
- Quando é applicato un voltaggio agli avvolgimenti il motore inizia ad accelerare
- Sotto é riportata l'equazione differenziale per un motore DC a magnete permanente.

$$\therefore \left(\frac{d}{dt} \right) \omega + \omega \left(\frac{K^2}{JR} \right) = V_s \left(\frac{K}{JR} \right) - \frac{T_{load}}{J_M}$$

where,

ω = the angular velocity of the motor

K = the motor speed constant

J_M = the moment of inertia of the motor and attached loads

R = the resistance of the motor coils

T_{load} = a torque applied to a motor shaft

Motore elettrico a corrente continua

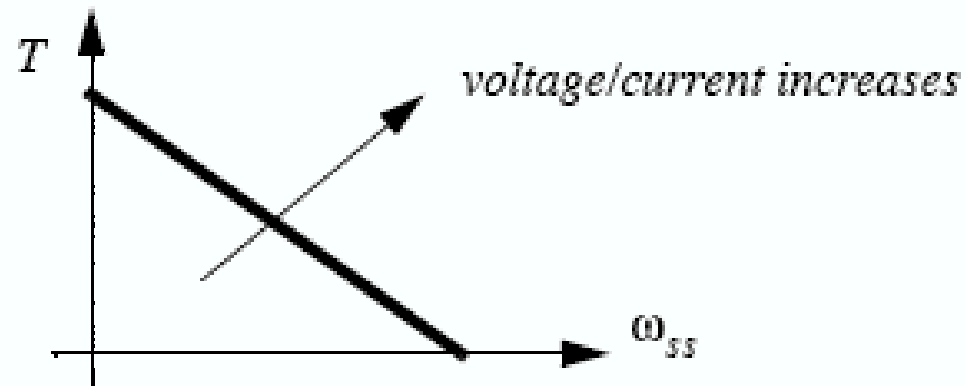
Introduzione

Modellare

Sistemi elettromeccanici

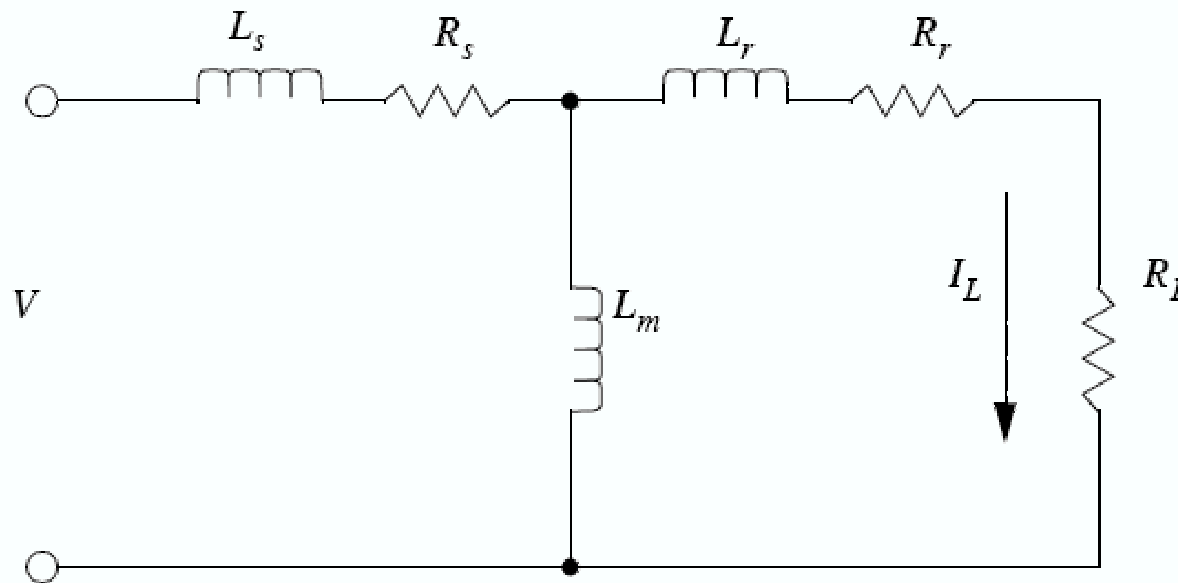
- Motore elettrico a corrente continua
- **Motore elettrico a corrente continua**
- Motore a induzione
- Motore Brushless

- La risposta in velocità di un motore DC a magnete permanente è del primo ordine
- La velocità a regime è una linea retta per la coppia applicata al motore
- La retta si sposta verso l'esterno quando il voltaggio applicato al motore aumenta



Motore a induzione

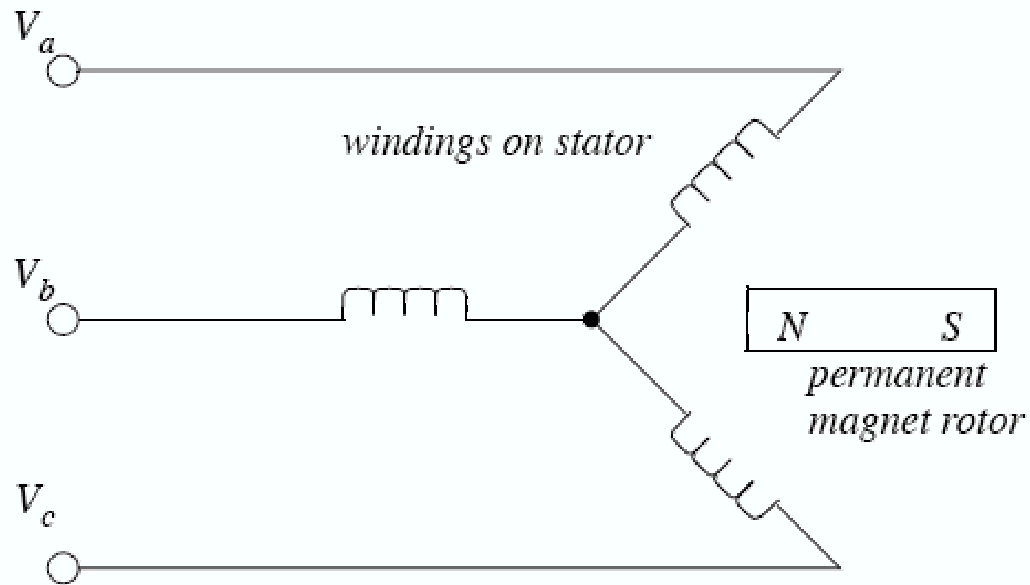
- Questi motori a corrente alternata sono comuni perché hanno un basso costo di costruzione e sono compatibili con il sistema di distribuzione



$$R_L = \frac{1-f}{f} R_r$$

Motore Brushless

- Questi motori hanno un basso costo di mantenimento



Introduzione

Modellare

Sistemi elettromeccanici

- Motore elettrico a corrente continua
- Motore elettrico a corrente continua
- Motore a induzione
- Motore Brushless