

Studio e Progettazione del controllo sulla velocità di rotazione di un generatore eolico

Andrea Pagliaro , Alessio Susco Shanj Zaccaretti

September 11, 2016

1 Introduzione

Per lo studio e la progettazione di un controllore lineare che regoli la rotazione di una turbina eolica in modo che sia costante mediante il pitch , sono state prese in considerazione varie equazioni riguardanti il moto di un rotore e le relative potenze ricavate. Come le seguenti :

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p V_w^3 \quad (1)$$

Che rappresenta la quantità di potenza assorbita dal rotore della turbina eolica presa in considerazione. Il C_p è il coefficiente di potenza dipendente da λ e β . Dove a loro volta λ è dato da :

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_w} \quad (2)$$

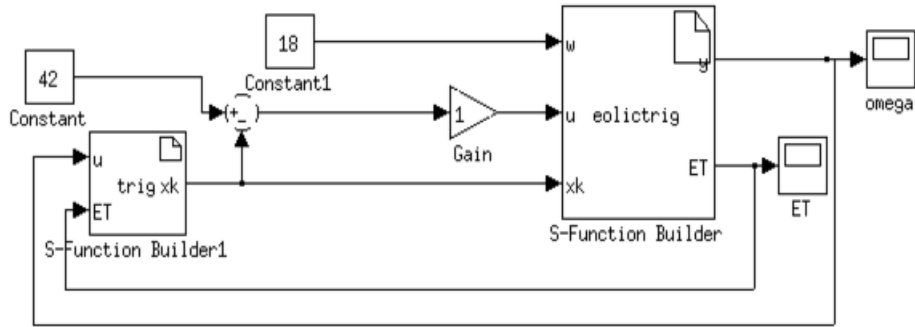
Che viene chiamato tip-speed ratio ed è dato dal rapporto tra la velocità angolare del rotore per il suo raggio e la velocità del vento. Mentre β rappresenta l'angolo di pitch relativo alle pale. Chiaramente la funzione del coefficiente di potenza comporta delle dinamiche non lineari dipendenti dalla geometria del rotore questo a sua volta si ripercuote sull'intero sistema che lo rende non lineare. Ora provando a linearizzare il sistema ci è risultato molto difficile e solo dopo aver letto alcune pubblicazioni sullo studio di turbine eoliche siamo riusciti a trovare alcune linearizzazioni compiute mediante metodi numerici, che ci hanno permesso di riscrivere il sistema nella seguente forma:

$$\dot{x}_1 = \frac{\gamma}{I_{rot}} x_1 + \frac{\sigma}{I_{rot}} \delta_\beta + \frac{\alpha}{I_{rot}} \delta_\omega \quad (3)$$

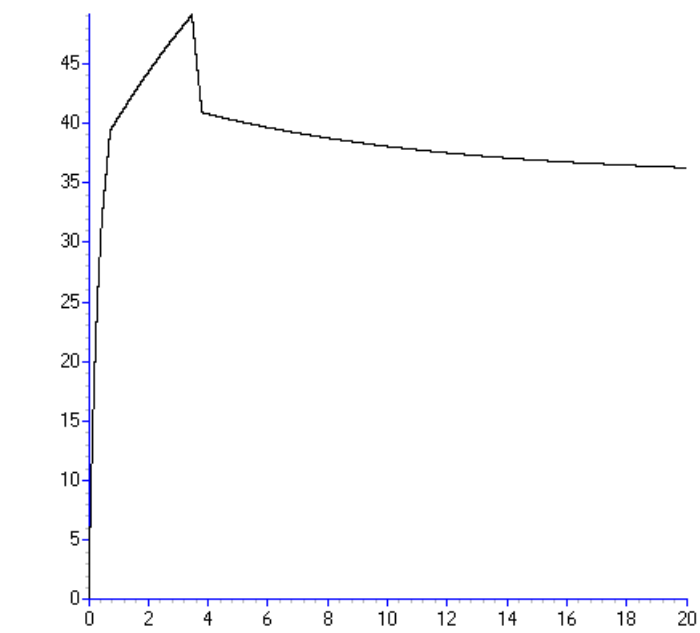
Dove x_1 , lo stato del sistema rappresenta la velocità angolare del rotore , δ_β è l'ingresso relativo alla perturbazione da parte del pitch, δ_ω è la perturbazione relativa alla velocità del vento. Quindi la nostra matrice di stato è data da $A = \frac{\gamma}{I_{rot}}$, e i coefficienti dei rispettivi ingressi: $B = \frac{\sigma}{I_{rot}}$ $\Gamma = \frac{\alpha}{I_{rot}}$ I_{rot} rappresenta inerzia del rotore. I valori γ , σ , α rappresentano le derivate parziali ricavate attraverso l'equazione dell'aerodinamica del rotore descritta in tal modo:

$$T_{aero} = T(\omega_0, \Omega_0, \beta_0) + \frac{\delta T_{aero}}{\delta \Omega} + \frac{\delta T_{aero}}{\delta \beta} + \frac{\delta T_{aero}}{\delta \omega} \quad (4)$$

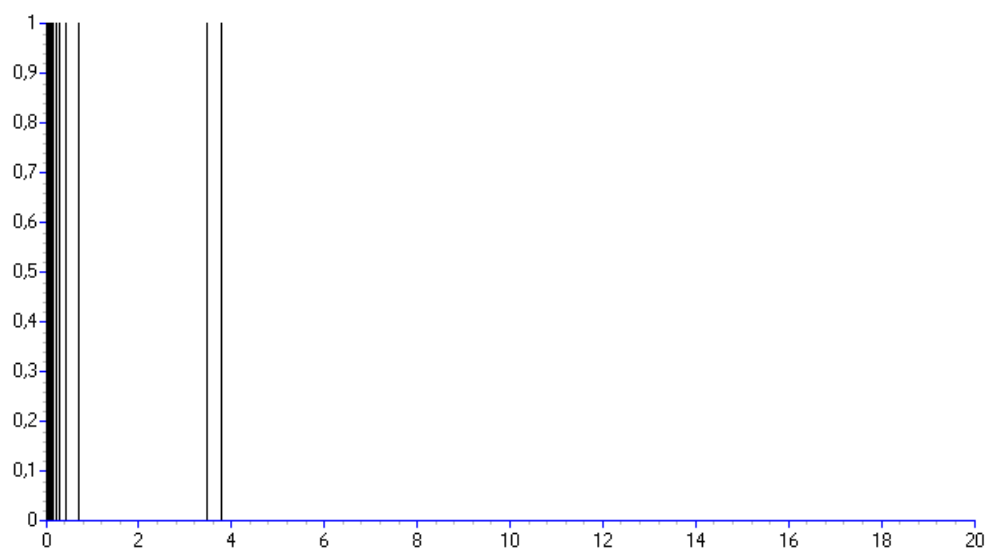
Dove i coefficienti $\gamma = \frac{\delta T_{aero}}{\delta \Omega} = -0.1205$, $\sigma = \frac{\delta T_{aero}}{\delta \beta} = -2.882$, $\alpha = \frac{\delta T_{aero}}{\delta \omega} = 0.0658$ sono già noti essendo stati ricavati dalla linearizzazione eseguita mediante un metodo numerico non descritto nella pubblicazione di cui si sta facendo uso per il progetto in questione. I valori degli stati iniziali sono dati da $\omega_0 = 18 \text{ m/s}$, $\Omega_0 = 42 \text{ RPM}$ e $\beta_0 = 12 \text{ deg}$. Detto questo siamo passati alla progettazione del controllore, ed è stato scelto un controllo con guadagno proporzionale per il momento. Successivamente si procederà ad inserire i guadagni giusti per un controllo proporzionale-integrativo (PI). Lo schema del sistema con relativo controllo e circuito di gestione per l'event triggering (estratto dal SIMULINK di matlab).



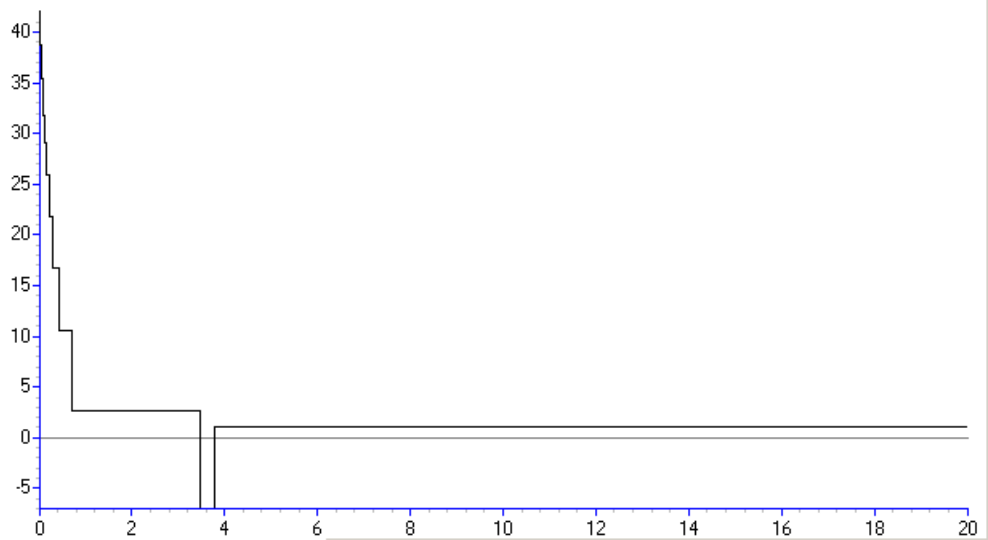
Per quanto riguarda le tecniche di controllo per l'event-triggering, è stato inserito un sistema che riceve l'uscita del nostro processo e il valore del trigger che viene calcolato all'interno dello stesso e che quindi effettua un cambio dello stato solo quando viene commutato il trigger. Avendo fatto le opportune ipotesi, l'intero sistema prima di essere descritto anche in SIMULINK è stato simulato attraverso il SIMNON. I risultati riportati dalla simulazione per velocità del vento = 18 e velocità di rotazione del rotore = 42 (riferimento) sono i seguenti.



Dove in questo grafico é mostrato l'andamento dell'uscita ovvero della velocità di rotazione del rotore che partendo da 0 raggiunge i 42 RPM in 20 secondi di simulazione. Si possono notare i picchi dovuti alla commutazione del trigger.



Nel seguente invece si sta facendo riferimento alle commutazioni avvenute nell'arco di 20 secondi.



L'ultimo grafico mostra un segnale discreto che e' proprio l'ingresso del nostro processo in seguito alla controreazione ottenuta dopo un controllo di tipo proporzionale e dipendente dal trigger di fatto risulta essere un segnale discreto aperiodico. Per quanto riguarda il sistema generale mancano ancora i calcoli da effettuare per i coefficienti da inserire per il controllo dell'event-triggering poiche sono solo di prova ed utilizzati per la simulazione come anche quelli del guadagno proporzionale.

2 Controllo discreto con Event Triggering

In questa parte parleremo del controllo discreto con ET della velocità di rotazione di una pala eolica mediante un controllore PI.

Per iniziare calcoliamo i coefficienti di proporzionalità e di integrazione, partendo dal seguente modello di controllo:

$$u = u_r + K_p x + K_i \int_0^t x d\tau$$

Per farlo utilizzeremo la formula di Ackermann, ma abbiamo prima bisogno di esplicitare il modello dello spazio di stato in esame:

$$Plant: \begin{cases} \dot{I}_e = e \\ \dot{e} = ae + bu \end{cases}$$

Questo perchè sappiamo che l'errore è dato da:

$$e = x - x_r$$

e la dinamica dello stato è:

$$\dot{x} = ax + bu + \gamma w_d$$

Quindi:

$$\dot{e} = \dot{x} = a(e + x_r) + bu + \gamma w_d \Rightarrow u = -\frac{\gamma}{b}w_d - \frac{a}{b}x_r$$

Arrivati a questo punto, dal modello di spazio stato

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_e \\ \dot{e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_e \\ e \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b \end{pmatrix} u$$

Esplicitiamo la matrice dinamica A:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & a \end{pmatrix}$$

e la matrice ingresso-uscita B:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ b \end{pmatrix}$$

A questo punto per Ackermann abbiamo bisogno che la matrice di raggiungibilità abbia rango pieno, essendo quest'ultima il più grande sottospazio A-invariante contenuto nell'immagine di B.
Quindi:

$$\rho(\mathcal{R}) := \rho \left(\begin{bmatrix} B & AB \end{bmatrix} \right) \stackrel{?}{=} \rho_{max} = 2$$

Verifichiamo il tutto:

$$\begin{bmatrix} B & AB \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & b \\ b & ab \end{bmatrix}$$

Essendo $b = -2.8818$ abbiamo che il determinante della matrice 2x2 in esame risulta essere diverso da 0, e quindi il rango è pieno e pari a 2.
Passiamo ad applicare la formula di Ackermann:

$$K = (K_1 \quad K_2) = (K_i \quad K_p) = - (0 \quad 1) (B \quad AB)^{-1} p(A)$$