

Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



9 789874 050083



“Respuesta funcional del servosistema empleado en prótesis biomecánicas”

Alvarez Picaza, Carlos ^a; Veglia, Julián Ignacio ^a; Ferrari, Claudio Raúl ^b; Valdez, Alberto Daniel ^a

a Facultad de Ciencias Exactas - UNNE

b Facultad de Medicina - UNNE

cpicaza@gmail.com

Resumen

Cualquier sistema mecánico, eléctrico o físico puede describirse a través de ecuaciones de estado, las cuales contienen toda la información de la dinámica interna del mismo. En este trabajo presentamos un modelo básico de comprensión de la Función de Estado asociada a un motor de corriente continua destinado a impulsar una prótesis mioeléctrica, que podría ser analizada para alguna disminución física determinada de miembro superior. Se tiene como objetivo encontrar el comportamiento natural y forzado del servosistema, tratándolo desde el punto de vista del control automático, obteniendo estado a estado, la respuesta del sistema basándonos en el concepto de Controlabilidad. Mediante la utilización de la Teoría de Control Moderno y sus herramientas como la función transferencia, el espacio de estados y las dinámicas bio-mecánicas entre otras, se buscará determinar la situación de contexto de las variables que conducirán a lograr un mejor desempeño de la prótesis. Utilizando modelos análogos al sistema servo-motor, nos interesa conocer la evolución de la función que gobierna la respuesta del sistema para una determinada entrada y un conjunto de condiciones iniciales dadas. Además, gráficas en el espacio de estados, serán nuevos indicadores paramétricos a tener en cuenta. Los resultados obtenidos indican que la utilización de este análisis desarrollado en el presente paper colabora con el entendimiento de la funcionalidad del impulsor de la prótesis.

Abstract

Any mechanical, electrical or physical system, can be described by state equations, which contain all the information of its internal dynamics. In this paper, we present a basic model for understanding the State Function associated with a DC motor intended to drive a myoelectric prosthesis, which could be analyzed in the event of a specific physical impediment of the upper limb. The aim is to find the natural and forced manner of the servo system, treating it from automatic control point of view, obtaining state by state, the response of the system based on the Controllability concept. Modern Control Theory and its tools such as the transfer function, the state space and the bio-mechanical dynamics among others, it will be sought to determine the situation of the variables that will lead to a better performance of the prosthesis. The use of analogous models of the servo system, allow us to know the evolution of the function that guide the response of the system for a given input and a set of given initial conditions. In addition, the graphs in the state space will be new parametric indicators to keep in mind. The results achieved indicate that the use of this analysis developed in this paper collaborates with the understanding of the functionality of the prosthesis driver.

Palabras clave: Modelización, Función de Estado, Controlabilidad.

INTRODUCCIÓN

El diseño de miembros artificiales requiere un conocimiento completo no solo de la mecánica de los mecanismos, sino también una comprensión clara de los dispositivos electromecánicos, entre los cuales los motores de accionamiento juegan un papel clave en el área de las prótesis. La máxima velocidad, fuerza y estabilidad de la extremidad anatómica aún no tienen paralelo con la prótesis artificial. Estas limitaciones se deben a restricciones físicas de la tecnología actual

para lograr las propiedades que exhibe la extremidad natural. Hacer coincidir la velocidad y la fuerza del músculo con el actuador tecnológico no es una tarea fácil, principalmente cuando se elige un motor de accionamiento con la relación velocidad-par adecuada [1]. La función de estado que rige el accionamiento de los motores impulsores se suma a la complejidad del diseño adecuado de la prótesis.

Se sabe que muchas teorías en ciencias físicas se basan o expresan en términos de optimización. En el

campo del control del motor, la optimización también juega un papel clave. Los procesos de optimización dan lugar a un sistema motor específico, del cual se investiga adaptación, desarrollo, evolución, recuperación, etc. Estos procesos hacen que el sistema funcione cada vez mejor. En el área de investigaciones teóricas, es natural buscar límites de desempeño óptimo del control del motor [2].

Se utilizan varios métodos para controlar la velocidad de los motores de corriente continua [3]. Neenu [4] informa que los controladores Proporcional – Integral - Derivativo (PID) se han utilizado ampliamente para el control de posición de velocidad. La selección de parámetros PID utilizando algoritmos genéticos ha llevado a un controlador más eficiente [5]. Otros autores como Boumediene [6], utilizaron una optimización de enjambre de partículas (OEP) en lugar de AG. Presentaron un controlador PID basado en OEP. Descubrieron que el controlador PID-OEP ofrece un buen rendimiento y un tiempo de subida mínimo.

Sharaf [7] presentó un novedoso controlador PID de doble bucle para un accionamiento de motor de CC de imán permanente industrial alimentado por energía solar fotovoltaica (PV). Sin embargo, a pesar de la robustez y la estructura aparentemente simple de la estrategia de control PID, optimizar las ganancias del controlador PID sigue siendo una tarea difícil [8].

La base para poder llevar a cabo todos estos procesos de optimización es conocer la Función de Estado que conduce la funcionalidad del motor de CC. Esta función obedece a dos criterios de actividad, una respuesta natural, la cual depende de los estados y una respuesta forzada, dependiente de la excitación [9]. Éstas deben conocerse de antemano para observar la influencia de cada una de ellas en la respuesta total del sistema.

La respuesta natural nos dice qué hace el sistema conforme permitimos que la energía interna que tiene almacenada se disipe (estado transitorio). La respuesta forzada es cómo se ve la salida a lo largo del tiempo, cuando eventualmente, toda la energía almacenada se ha disipado (estado permanente).

Al diseñar un sistema de control, debemos ser capaces de predecir su comportamiento dinámico a partir del conocimiento de los componentes. La característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la controlabilidad absoluta, es decir, si el sistema es controlable o no lo es.

Esta definición requiere solamente que la entrada sea capaz de transferir cualquier estado a otro estado en un tiempo finito dentro del espacio de estados. La

controlabilidad de cualquier sistema es fundamental para conseguir el mejor rendimiento del mismo.

En trabajos previos [10] [11] encontramos la optimización energética deseada para un motor utilizado para impulsar el movimiento de un brazo robótico con la mayor eficiencia posible.

El objetivo de este trabajo es analizar, a partir la descomposición de la Función de Estado, la funcionalidad de motores utilizados en prótesis biomecánicas de miembro superior (codo).

MATERIALES Y MÉTODOS

El codo es una articulación de la extremidad superior, que realiza la unión mecánica entre el primer segmento, el brazo y el segundo segmento, el antebrazo y permite que la extremidad superior se oriente en los tres planos del espacio gracias al hombro.

Anatómicamente, el codo representa una sola articulación; en realidad, no hay más que una sola cavidad articular. En cambio, la fisiología nos permite distinguir dos funciones distintas:

- La pronosupinación, que pone en movimiento la articulación radiocubital superior, trocoide.
- La flexo-extensión, que precisa el concurso de dos articulaciones: La articulación humerocubital y la articulación humerorradial.

Al ser una troclear posee un solo grado de libertad de movimiento que se realiza en un eje transversal, donde realiza los movimientos de flexión-extensión en un plano sagital.

Modelo del Servomotor

Tal como fuera descrito por Alvarez Picaza et al. [12], se presenta el siguiente motor de corrientes continuas.

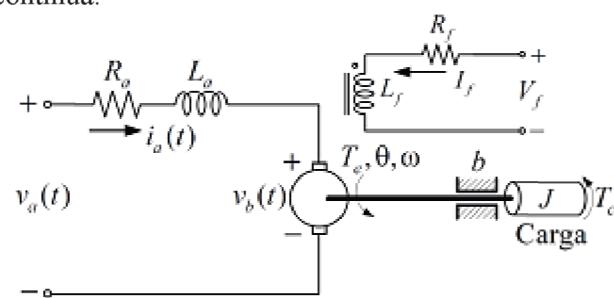


Figura 1: Diagrama eléctrico del servomotor.

Se considera el motor de corriente continua de la Figura 1 que impulsa una carga a través de un eje rígido. Si la corriente de campo es mantenida constante en un valor I_f o el flujo de campo proviene de un imán permanente, esta máquina puede ser

controlada únicamente por la tensión $v_a(t)$ aplicada a la armadura.

Esta máquina puede ser controlada solamente por la tensión $v_a(t)$ de alimentación, cuando la corriente de campo I_f se mantiene constante o el flujo proviene de un imán permanente. La relación entre el par eléctrico de torsión $T_e(t)$ y la corriente en la armadura $i_a(t)$ es la constante de torque K_t , como se indica en la ecuación (1).

$$T_e(t) = K_t i_a(t) \quad (1)$$

Cuando el motor impulsa la carga, se desarrolla una fuerza contra-electromotriz en el circuito de la armadura, que se opone a la tensión aplicada $v_a(t)$. La velocidad angular del eje es directamente proporcional a la tensión en bornes del motor $v_b(t)$,

$$v_b(t) = K_b \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2)$$

donde K_b es la constante de velocidad del motor. El momento de inercia total de la carga es J y θ el desplazamiento angular, b es el coeficiente de rozamiento viscoso y T_c es el par producido por la carga.

En el circuito de la armadura, se verifica que,

$$v_a(t) = u(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_b \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (3)$$

aquí R_a y L_a representan la impedancia del bobinado de la armadura.

Optamos por trabajar en el espacio de estados, cuyas ecuaciones contienen toda la información de la dinámica interna del sistema, permiten incluir fácilmente las condiciones iniciales y en general son de resolución simple. La Figura 2 muestra el modelo del servomotor de en el espacio de estados [13].

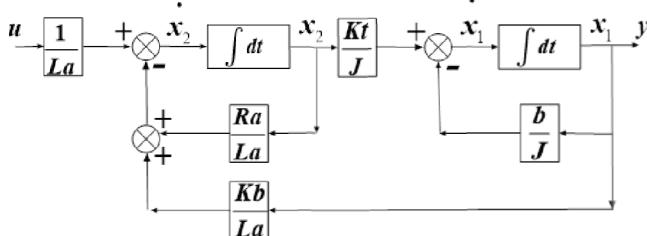


Figura 2: Modelo del servosistema en el espacio de estados.

Elegimos como variables de estado de este sistema,

$$\begin{aligned} x_1 &= \dot{\theta}(t) = \omega(t) \\ x_2 &= i_a(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Siendo x_1 la velocidad angular y x_2 la corriente de armadura. También podría utilizarse otra variable, la posición θ , pero para nuestro modelo utilizamos solamente las definidas en (4).

La representación en variables de estado queda:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{-b}{J} x_1 + \frac{K_t}{J} x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{-K_b}{L_a} x_1 + \frac{-R_a}{L_a} x_2 + \frac{1}{L_a} u(t) \\ y &= x_1 \end{aligned} \quad (5)$$

Es sistema de control correspondiente queda planteado de la siguiente forma,

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u} \rightarrow \text{Ecuación de Estado} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{D} \cdot \mathbf{u} \rightarrow \text{Ecuación de Salida} \end{aligned} \quad (6)$$

donde,

$\mathbf{x} \rightarrow$ Vector de Estado

$\mathbf{u} \rightarrow$ Vector de Entradas

$\mathbf{A} \rightarrow$ Matriz de Estado

$\mathbf{B} \rightarrow$ Matriz de Entrada

$\mathbf{C} \rightarrow$ Matriz de Salida

$\mathbf{D} \rightarrow$ Matriz de Transmisión Directa

Función de Estado

Las matrices de la Ecuación de Estado y Salida de los sistemas son:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-b}{J} & \frac{K_t}{J} \\ \frac{-K_b}{L_a} & \frac{-R_a}{L_a} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 0]; \quad \mathbf{D} = 0$$

Para encontrar la Función de Estado de la dinámica del servomotor partimos de la Ecuación de Estado del sistema (6), y la analizamos en el espacio de Laplace.

$$s\mathbf{X}(s) - \mathbf{X}(0) = \mathbf{A}\mathbf{X}(s) + \mathbf{B}\mathbf{U}(s) \quad (8)$$

para finalmente,

$$\mathbf{X}(s) = (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{X}(0) + (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B}\mathbf{U}(s) \quad (9)$$

Antitrasnformando el sistema obtenemos,

$$\mathbf{x}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{x}(0) + \int_0^t e^{\mathbf{A}(t-\tau)} \mathbf{B}\mathbf{u}(\tau) d\tau \quad (10)$$

la solución de la ecuación de estado planteada en (6).

El primer sumando es la Respuesta a los Estados y aquí $\mathbf{u}(t) = 0$, (transición del estado inicial).

La matriz $e^{\mathbf{A}t}$ se denomina Matriz Transición de Estados; la misma gobierna las trayectorias de los estados en un intervalo de tiempo finito t . La misma

contiene toda la información del movimiento libre del sistema definido por $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}$.

El segundo miembro de la función se denomina Respuesta a la Entrada y ocurre cuando $\mathbf{x}(t) = 0$, (término que surge del vector de entradas).

Nótese que la respuesta del sistema (10) tiene dos componentes, la respuesta natural que es la respuesta de entrada cero, debido a las condiciones iniciales, y la respuesta forzada, respuesta de estado cero, debido a la entrada. La respuesta total es, entonces, la suma de ambas componentes.

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_N(t) + \mathbf{x}_F(t) \quad (11)$$

Controlabilidad

A grandes rasgos, la controlabilidad estudia la posibilidad de guiar o llevar los estados de un sistema hacia una posición deseada mediante la señal de entrada. La ecuación de estado (7) o el par $[\mathbf{A}, \mathbf{B}]$ se dice que es controlable si para cualquier estado inicial $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ y cualquier estado final \mathbf{x}_1 , existe una entrada u que transfiere \mathbf{x}_0 a \mathbf{x}_1 en un intervalo de tiempo finito. Para que el sistema sea controlable se debe cumplir que el determinante de la matriz de Controlabilidad sea distinto de cero,

$$\det(\mathbf{C}) = \begin{vmatrix} \mathbf{B} & \mathbf{AB} & \mathbf{AB}^2 & \dots & \mathbf{AB}^{n-1} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (12)$$

o bien,

$$\text{rango}(\mathbf{C}) = n \quad (13)$$

siendo \mathbf{C} la Matriz de Controlabilidad.

RESULTADOS

Los datos para el modelo de simulación de servomotor, se obtuvieron de un motor real (modelo RE Maxon® 40-40 mm) [14] utilizado para conducir prótesis biomecánicas [15].

La dinámica de la señal de salida depende de los autovalores de la matriz \mathbf{A} . Si todos los autovalores (polos de lazo cerrado) de esta matriz tienen parte real negativa o se encuentran en el semiplano izquierdo del plano s , entonces para cualquier estado inicial $\mathbf{x}(0)$ diferente de cero, la salida del sistema tenderá al valor deseado cuando $t \rightarrow \infty$ [16]. Los polos naturales del sistema son,

$$P = [-1,7739 + 14,3797i; -1,7739 - 14,3797i].$$

Los siguientes valores fueron tomados del catálogo del fabricante:

R_a = Resistencia de la armadura = $1,16\Omega$.

L_a = Inductancia de la armadura = $0,329$ mH.

K_t = Constante de torque = $60,3$ mNm/A.

K_b = Constante de velocidad = 158 rpm/V.

b = Coeficiente de rozamiento = $3,04$ rpm/mNm.

J = Momento de inercia = 138 gcm 2 .

La matriz de Controlabilidad del sistema nos da,

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 1,3281 \\ 3,0395 & -10,7168 \end{bmatrix}$$

$$\det(\mathbf{C}) = -4,0369 \neq 0$$

La Figura 3 muestra las funciones de las variables de estado de accionamiento del servosistema; las mismas son convergentes lo que significa que para esos parámetros de trabajo, el sistema es controlable y estable.

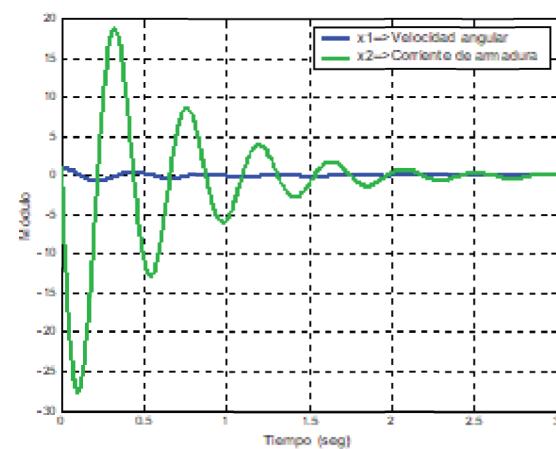


Figura 3: Evolución de las variables de estado del sistema.

De acuerdo con (11) [17],

$$\mathbf{x}_N(t) = \begin{bmatrix} e^{-1,7739t} \\ 0,988e^{-1,7739t} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x}_F(t) = \begin{bmatrix} 0,0063 - 0,0063e^{-1,7739t} \\ -3,1896e^{-1,7739t} \end{bmatrix}$$

La Figura 4 muestra el diagrama de superficie de la Respuesta Natural $\mathbf{x}_N(t)$, donde se observa la respuesta a los estados con excitación nula.

Nótese que el factor exponencial tiene la forma $1/\tau$ y denota la frecuencia natural, la cual es un indicador de la rapidez de la respuesta al agotarse las energías almacenadas en los elementos inductivos y capacitivos del sistema servomotor.

Morfológicamente la figura indica que los estados tienden a 0.

Un sistema físicamente estable es aquel en el cual los transitorios decaen, es decir, la respuesta transitoria desaparece para valores crecientes en el tiempo.

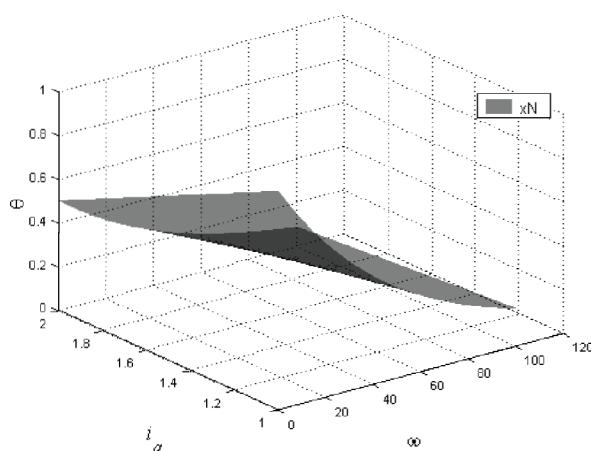


Figura 4: Respuesta natural de los estados del sistema en el espacio de estados.

La Figura 5 es la Respuesta Forzada $x_F(t)$ del sistema y representa la respuesta a la entrada con excitación.

Puede observarse como los estados ganan energía.

La respuesta forzada de un sistema no autónomo es la debida a las entradas.

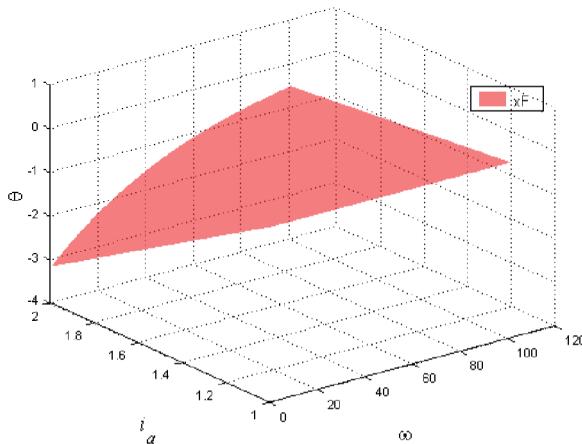


Figura 5: Respuesta forzada de los estados del sistema en el espacio de estados.

Cabe destacar que estas curvas de superficie corresponden al motor RE Maxon® 40-40 mm.

El mismo análisis puede realizarse para cualquier otro servo y ajustar los parámetros de acuerdo a las necesidades requeridas.

Las funciones x_N y x_F nos permiten visualizar las variaciones de los estados de las distintas variables interviniéntes durante el funcionamiento de una prótesis mioeléctrica.

En los sistemas lineales, gracias al principio de superposición, es posible descomponer la respuesta en las dos partes, libre y forzada que sumadas proporcionan la respuesta total.

En el instante del arranque, al estar parado el motor su velocidad es nula, por lo que la fuerza contraelectromotriz que es proporcional a la velocidad también es nula. Esto provoca que toda la tensión de alimentación cae en el devanado del inducido, por lo que en el instante del arranque la intensidad que recorre el motor es muy elevada, pudiendo alcanzar valores de hasta diez veces la intensidad nominal que en régimen de funcionamiento estable. En este proceso, una de las variables consideradas i_a , aumenta considerablemente la energía de sus estados.

Por el contrario, al momento del apagado, los valores de los estados de la otra variable ω , disminuye la energía de sus estados ganada durante el funcionamiento hasta llegar a un valor nulo.

CONCLUSIONES

Trabajar en este nuevo espacio a partir de las ecuaciones de estado y salida nos permitió encontrar las funciones, natural y forzada que gobiernan la dinámica del servomotor que activa la prótesis mioeléctrica y poder graficar la variación de energía de los estados de las distintas variables. Permite además, el análisis de las variables intrínsecas del sistema a estudiar y realizar un análisis cualitativo del modelo. Como trabajo futuro, en una segunda etapa, con el cálculo de la Respuesta Natural, además podemos inferir a partir de la Matriz de Transición, la transformación lineal que mapea el vector de estado $x(0)$ en t_0 en el vector de estado $x(t)$ en t . La regulación del sistema depende de las energías invertidas, ya sea en los estados, o bien en la acción de control. La respuesta de los estados nos da una idea desde una óptica diferente (espacio de estados) de las características del servomotor utilizado. Toda esta información que se accede a partir de la utilización de las herramientas de control, sirve como referencia a tener en cuenta, una observación complementaria a la hora de realizar algún ajuste o calibración por parte del profesional técnico para cada servomotor designado a una prótesis en particular.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado dentro del marco del Proyecto de Investigación 18F011 financiado por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

REFERENCIAS

- [1] Weir R. F., (2003). Design of Artificial Arms and Hands for Prosthetic Applications in Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design. Myer K. Editor, McGraw-Hill Publisher. NY.

- [2] Todorov E. and Li W., (2003). Optimal Control Methods Suitable for Biomechanical Systems. EMBS-IEEE Proceedings of the 25th Annual International Conference. Vol 2. Pp 1758 – 1761.
- [3] Ruba M.K. and Hummadi A-M., (2012). Simulation of Optimal Speed Control for a DC Motor Using Linear Quadratic Regulator (LQR). Journal of Engineering. Num 3, vol 18, pp 340-346.
- [4] Neenu T. and Poongodi P., (2009). Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller. Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. II, WCE2009.
- [5] Delavari H., Noiey A.R., Minagar S., (2008). Artificial Intelligent Controller for a DC Motor. Advances in Computer Science and Engineering, pp. 842-846.
- [6] Allaoua B., Gasbaoui B. and Mebarki B., (2009). Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Issue 14, pp. 19-32.
- [7] Sharaf, A.M., Elbakush, E., Altas, I.H., (2007). Novel Control Strategies for Photovoltaic Powered PMDC Motor Drives. IEEE Electrical Power Conference. EPC 2007.
- [8] Pal P., Dey R., Biswas K.R., Bhakta S., (2015). Optimal Pid Controller Design For Speed Control Of A Separately Excited Dc Motor: A Firefly Based Optimization Approach. International Journal of Soft Computing, Mathematics and Control IJSCMC. Vol 4, No 4.
- [9] Charles L. Phillips and Royce D. Harbor.,(2000). Feedback Control Systems. Fourth Edition, Prentice Hall.
- [10] Alvarez Picaza C., Pisarello M.I. and Monzón J.E., (2014). Model of optimal energy regulation for the articulation of a robotic manipulator. VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB (Berlin: Springer Berlin Heidelberg) pp 908-911.
- [11] Alvarez Picaza C., Pisarello M.I., Monzón J.E., (2015). Análisis teórico de la regulación de energía de servomotores utilizados en manipuladores biomecánicos. Annals of the XX Congreso Argentino de Bioingeniería. IX Jornada de Ingeniería Clínica.
- [12] Alvarez Picaza C., Pisarello M.I., Veglia J.I., Monzón J.E., (2017). Regulador con Control Automático – Observación de la Estabilidad en Prótesis Mioeléctricas. Revista RADI–Año 5–Vol. 10. ISSN 2314-0925.
- [13] Ogata, K., (2007). Ingeniería de Control Moderna. 5ta ed., Ed. España: Pearson Prentice Hall.
- [14] RE Maxon® 40-40 mm, Graphite Brushes, 150 Watt. Catálogo.
- [15] Alvarez Picaza C., Pisarello M.I., Monzón J.E., (2016). Analysis of the stability control of motors used in biomechanical prostheses. VII Congreso Latinoamericano Ingeniería Biomédica. CLAIB 2016.
- [16] Alvarez Picaza C., Ferrari CR., Veglia J.I., Ulibarrie MA.(2020). Automatic Control Applied to Servosystems. Influence of the State Transition Matrix in Functional Variables of DC Motors Used in Myoelectric Prostheses. VIII Congreso Latinoamericano Ingeniería Biomédica. CLAIB 2019. © Springer Nature Switzerland AG 2020. IFMBE Proceedings 75, pp. 699–708, 2020.
- [17] Alvarez Picaza C. Veglia J.I., Piacenza AE. and Ferrari CR., (2022). Determination of State Function Associated with Cardiovascular Dynamics. Acta Scientific MEDICAL SCIENCES (ISSN: 2582-0931) Volume 6–Issue 4–April 2022–pp. 64-68.