



Cybernetics in Human Care: Design of an Electromyographic Sensor for Bionic Prostheses

Francisco Javier López Bautista, Gaspar Sánchez García and
Rodrigo Compañ Sarmiento

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

August 11, 2021

Cibernética en la asistencia humana: diseño de un sensor electromiográfico para prótesis biónicas

F.J. López Bautista², G. Sánchez García^{1*}, R. Compañ Sarmiento¹

¹Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico De Tuxtepec, Avenida Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N, 5 de mayo, 68350 San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca.

²Ingeniero Electrónico, Instituto Tecnológico De Tuxtepec, Avenida Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N, 5 de Mayo, 68350 San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca.

*gaspar.sg@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

La recopilación y tratamiento de la información, es el punto de partida para la toma de decisiones de cualquier sistema. Por esta razón, el diseño de un sistema de gestión de dicha información que sea eficaz, se hace cada vez más indispensable para el proceso de toma de decisiones. En este trabajo se presenta la cibernética aplicada en una prótesis biónica impresa en 3D con poliláctico de 2 grados de libertad, que utiliza la electromiografía como un sistema de recopilación de información para decidir los movimientos de 2 servomotores; el primero instalado en el codo con un torque de 50 Kgf/cm y el segundo instalado en la muñeca con un torque de 25 kgf/cm. Como resultado, se obtuvo un sensor de bajo costo y alta efectividad en la captación de las señales musculares; posteriormente, se realizó un mapeo entre los diferentes rangos para manipular ambos motores.

Palabras clave: Cibernética, Sistema, Electromiografía, Biónica.

Abstract

The collection and processing of information is the starting point for the decision making of any system. For this reason, the design of an effective information management system is indispensable for the decision-making process. This paper presents the cybernetics applied in a bionic prosthesis printed in 3D with lactic polyacid, of 2 degrees of freedom, which uses electromyography as a system of information gathering to decide the movements of 2 servomotors, the first one installed in the elbow with a torque of 50 Kgf / cm and the second installed on the wrist with a torque of 25 kgf / cm. As a result, a sensor with low cost and high effectiveness in the capture of muscle signals was obtained, then a mapping was made between the different ranges to manipulate both engines.

Key words: Cybernetics, System, Electromyography, Bionic.

Introducción

La tecnología actualmente se encuentra inmersa en una gran gama de disciplinas; como por ejemplo, la electromedicina que es la especialidad de las ciencias de la salud que estudia y analiza el cuidado de la salud desde el punto de vista de la tecnología sanitaria. Tal es el caso del sensor electromiográfico; el cual, es un conjunto de estudios de otras disciplinas como Neurofisiología en Electromiografía, para así desarrollar un sistema capaz de procesar las señales mioeléctricas del brazo humano con un circuito de acondicionamiento análogo y filtrado digital, para detectar los movimientos de contracción de los músculos del cuerpo humano dando información que servirá para la toma de decisiones del sistema biónico instalado en una prótesis.

Actualmente la cibernética puede entenderse como la ciencia que analiza racionalmente lo que significa gobernar, ya que su nombre proviene de la voz griega kybernetes que traducida al español significa timonel o gobierno. Aunque hay diferentes definiciones de la cibernética, como la de Breton (2000), que la define como un estudio

teórico del proceso de la comunicación de control de los sistemas biológicos, mecánicos y artificiales (Citado por Siles, 2007, p. 88).

De acuerdo a la definición anterior, la función de gobernar puede ser desempeñada por maquinas, siempre y cuando éstas sean capaces de captar información del estado de un sistema y proporcionar órdenes en función de la información recibida, que determine la evolución futura del sistema.

Para los autores Pérez, Sánchez y Puche (2008) conceptualizan a los sistemas de información como: "El conjunto de elementos (sensores, emisores, convertidores-transductores, canales de comunicación, etc.) que tienen por finalidad, hacer llegar la información a todos los puntos de decisión de la organización" (p.417).

Para captar la información, se utilizó la electromiografía la cuál detecta, analiza y procesa las señales eléctricas emitidas por la contracción de los músculos, cuya tensión es alrededor de los 100mV, dicha señal se filtra para eliminar el ruido y de esta manera utilizarla como señal de entrada para producir una salida que ejecutarán los servomotores.

Se consideró para el sistema, el uso de electrodos considerados como elementos no invasivos, a diferencia de los invasivos, éstos no presentan riesgos de infección a la persona, dado que son sensores con un conductor metálico adherido a un gel conductor, que facilita la captación de la señal eléctrica que se emana en la superficie de la piel, producto de la actividad muscular al realizar un esfuerzo. De esta manera, se pudo desarrollar un sistema capaz de procesar las señales mioeléctricas del brazo humano, con un circuito de acondicionamiento análogo y filtrado digital.

La Electromiografía es la detección, análisis y utilización de señales eléctricas que emanan de los músculos del cuerpo. Este campo es estudiado por la Ingeniería Biomédica y Biomecatrónica, entre otras disciplinas. La señal eléctrica producida durante la activación muscular se conoce como señal mioeléctrica (EMG), la cual se produce de pequeñas corrientes eléctricas generadas por el intercambio de iones a través de las membranas musculares, estas señales eléctricas se detectan mediante la utilización de electrodos. La electromiografía es utilizada para evaluar y registrar la actividad eléctrica producida por los músculos del cuerpo humano.

Metodología

La exploración de las señales EMG comprende el registro de la señal bioeléctrica en tres estados funcionales: reposo, contracción débil y contracción fuerte.

La captación y procesamiento de estas señales EMG producidas por determinados movimientos, es el objeto de estudio para distintas aplicaciones médicas, desde el diagnóstico de problemas en el sistema nervioso, hasta la realización de prótesis biónicas, que es el objeto de estudio de este artículo.

Para el diseño del circuito de adquisición y procesamiento, se consideran los rangos de frecuencia y dinámicos de la señal obtenida por los electrodos. Es necesario el uso de un amplificador operacional de precisión, con una alta impedancia de entrada, diseñado para voltajes bajos, con la mayor ganancia y el menor ruido.

Materiales

Equipo:

- Osciloscopio
- Multímetro
- Fuente de voltaje Vdc dual

Materiales:

- 6 Amplificadores operacionales TL 072
- 1 Amplificador diferencial INA 106KP
- 12 Resistencias de diferentes valores.
- 1 Potenciómetros de 1kohms
- 3 Capacitores de 0.01uF
- 3 Capacitores de 1uF
- 2 Diodos 1N4149
- 1 Placa fenólica
- 3 Electrodo

Adquisición de las señales

La entrada se realiza a través de los electrodos conectados a la piel del muñón, para posteriormente, pasar por un proceso de amplificación de la señal debido a que ésta es muy débil para tratarse. Dicha señal captada viene contaminada y por esto, pasa por un filtrado para obtener una salida pura, la cual, será procesada por el Convertidor Analógico Digital (DAC) del microcontrolador, donde se tomará la decisión del movimiento que ejecutarán los servomotores.

En la figura 1, puede observarse el proceso de toma de decisiones del sistema cibernético.



Figura 1: Proceso de toma de decisión de la prótesis biónica.

La característica más resaltante de una señal EMG, es similar a una señal de amplitud modulada, por lo cual es sencillo realizar una relación fuerza/señal para determinar la actividad de un músculo. En la tabla 1, se observan las frecuencias promedio del tipo de señal.

Tabla 1. Tipos de frecuencias

Tipo de señal	Rango de frecuencia
Complejo P, QRS, T	0.05-100Hz
Monitor ECG	0.67-40Hz
Electrograma intracardiaco	10Hz-1kHz
EMG Superficial	2-500Hz
Potenciales de acción de potencial motora	5Hz-10kHz

El circuito EMG adquiere mediante electrodos superficiales, los impulsos eléctricos generados por el sistema nervioso del cuerpo humano, dichas señales se encuentran en el orden de los milivolts, por lo que deberán ser preamplificadas para así ser utilizadas por un microcontrolador.

El INA106U, es un amplificador diferencial que mide y ligeramente amplifica las diferencias de voltaje muy pequeñas entre los tres electrodos que se colocan en el músculo. En la figura 2 se muestra el datasheet del integrado.

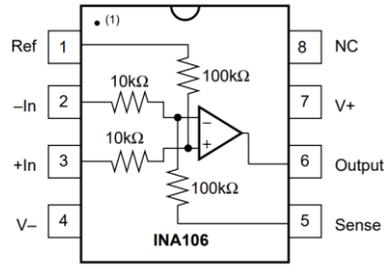


Figura 2. Diagrama de conexión INA106U

Etapa de amplificación

Al amplificar una señal, se corre el riesgo de aumentar los niveles de ruido, de modo que el microcontrolador envíe una activación al servomotor, generando un falso positivo. Partiendo de esa premisa, se utilizan amplificadores operacionales del tipo JFET en la etapa de amplificación y las subsecuentes, dado su bajo nivel de ruido.

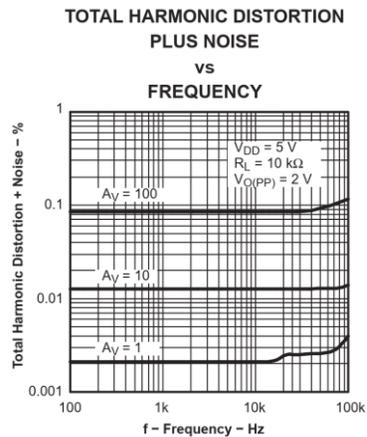
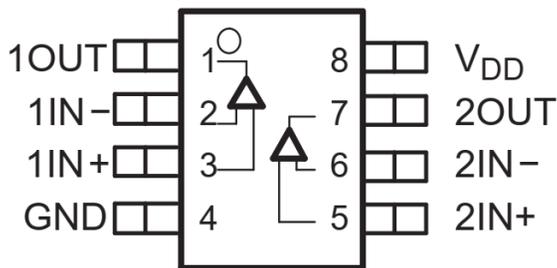


Figura 3. Diagrama de conexión TL072 y THD ruido vs frecuencia

Rectificación de la señal

La señal después de ser amplificada, se rectifica completamente mediante un arreglo con diodos y un amplificador operacional, convirtiendo así la señal alterna en continua, la cual es enviada al microcontrolador. El proceso se ilustra en la figura 4.

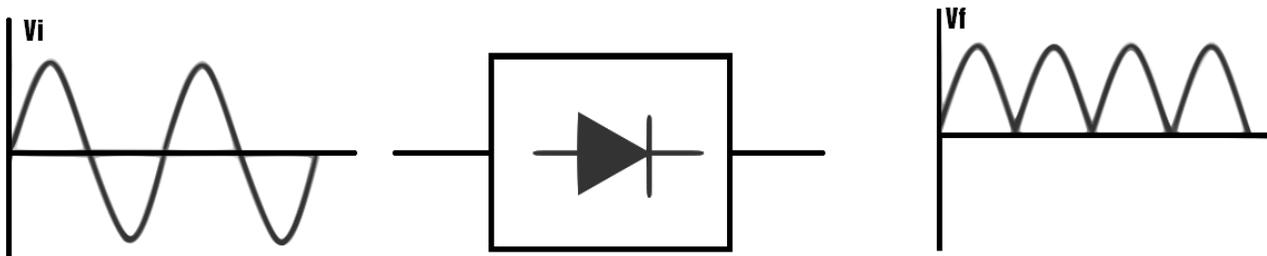


Figura 4. Rectificación de la señal EMG

Circuito final y simulación.

En la figura 5 se muestra el resultado de la unión de los componentes en las diferentes etapas del sensor EMG.

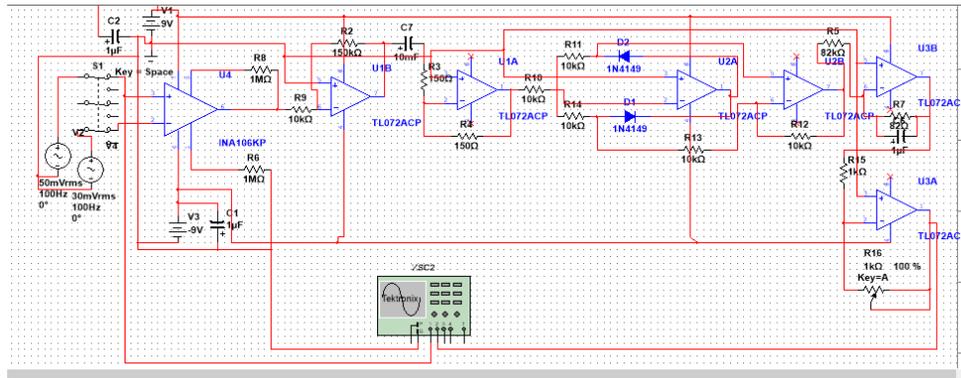


Figura 5. Circuito EMG completo

Las señales de respuesta que generan las etapas del circuito, son analizadas con el uso del simulador. Para una señal de entrada muy pequeña, el circuito amplifica y filtra la señal, resultando en una señal estable que es enviada al controlador digital. Como puede observarse en la figura 6, se tiene la señal amplificada en el osciloscopio virtual, cuando el sistema se está simulando, dando una buena lectura y eliminando el ruido ambiental y otras señalas biológicas.

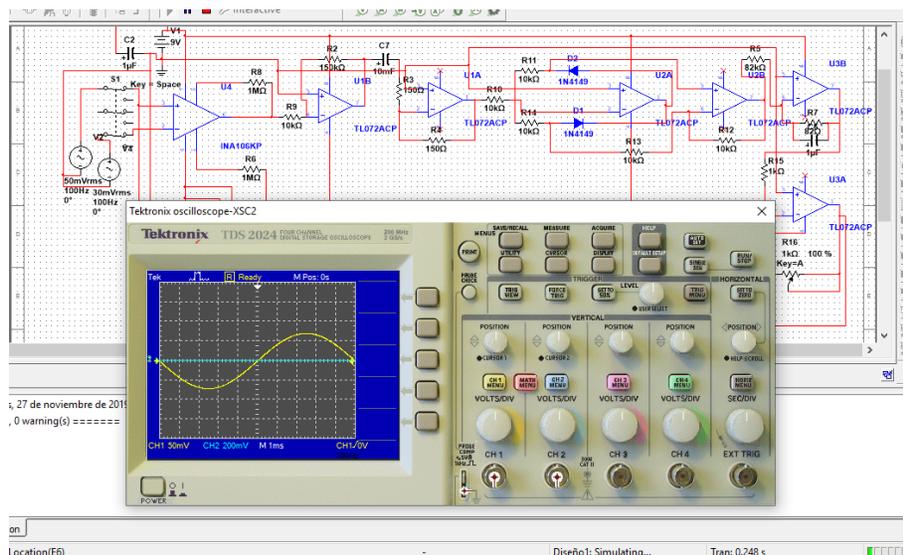


Figura 6. Simulación del circuito.

Resultados y discusión

Se conectaron los electrodos sobre músculo del antebrazo izquierdo, con el objetivo de ver las diferencias de la actividad muscular y comprobar que los canales del sistema de adquisición de señales EMG funcionaban correctamente. Como se puede ver en la Figura 7.



Figura 7. Prueba de la prótesis.

En la figura 8, se observa la flexión de la mano robótica y la señal obtenida en el osciloscopio, la cual esta filtrada y rectificadora. Los resultados son favorables, se logró eliminar el 95% de ruido, a diferencia del sensor biomédico comercial, cuya interferencia respecto al ruido es significativa.



Figura 8. Prueba de rectificación de la señal.

Todas las pruebas realizadas al sensor EMG fueron concluyentes, se logró eliminar la interferencia de las señales biológicas y ambientales, se amplificó la señal de entrada obteniendo una señal de salida fuerte y rectificadora que fue procesada sin problemas por el microcontrolador, el circuito en tiempo real funcionó tal y cual fue ejecutado en un software de simulación de circuitos.

Conclusiones

Con base a la experimentación realizada, se observó que las señales mioeléctricas varían de acuerdo con la intensidad de la flexión del músculo. Al realizar este diseño electrónico de bajo costo para la adquisición de las señales mioeléctricas, se brinda la posibilidad de avances en diferentes áreas de la cibernética, utilizando la fuerza de los músculos como variable de entrada para brindar información a un sistema de control de distintas aplicaciones, así como entornos visuales y rehabilitación, esto potencia el dispositivo creado.

Es importante destacar que en la presente investigación, se desarrolló tecnología EMG para prótesis humanas, a bajo costo y de fácil mantenimiento. Una desventaja para el mercado de desarrollo de prótesis robóticas comerciales, es el alto costo de los materiales de producción. El proyecto fue realizado en base a la adquisición de una señal bioeléctrica generada por los músculos, para producir una señal útil que permita a un microcontrolador activar un servomotor de acuerdo con el rango censado por el circuito EMG.

La fabricación de un sensor EMG, es una solución que permite a las personas que carecen de un muñón, la posibilidad de tener una prótesis de brazo completo que pueda moverse a voluntad de los músculos de cualquier parte de su cuerpo.

Referencias

1. Acosta, L. (s.f.). CIBERNÉTICA Y TEORIA DE SISTEMAS. Obtenido de <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/43-44/Articulo47.pdf>
2. Alarcón Ávila, E., De la Mora Basáñez, C. R., García Vega, V. A., Gutiérrez Juárez, R., Jiménez Velazco, M. G., Fernández de Lara, Y. L., . . . Vargas Martínez, H. S. (2005). Introducción a la cibernética -Primera Parte- Memoria del seminario de Robótica del INAOE. Obtenido de <http://ccc.inaoep.mx/Reportes/CCC-05-003.pdf>
3. Alva Coras, C. A. (2012). PROCESAMIENTO DE SEÑALES DE ELECTROMIOGRAFÍA SUPERFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO DE DOS DEDOS DE LA MANO. Obtenido de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/416/Alva_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Barbosa Martínez, O. E. (2004). EVOLUCIÓN DE UNA IDEA: DE LA CIBERNÉTICA A LA CIBERCULTURA LA FILOSOFÍA GRIEGA Y LA CIBERNÉTICA. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5679924.pdf>.
5. BioDic. (2019). electromedicina. Obtenido de Diccionario de Biología: <https://www.biodic.net/palabra/electromedicina/>
6. Kashiwamoto Yabuta, E. J. (2019). El concepto de CIBERNÉTICA en el Mundo Actual. Obtenido de <http://ingenieria.lasalle.mx/el-concepto-de-cibernetica-en-el-mundo-actual/>
7. Pérez Ríos, J. M., Sánchez Mayoral, P., & Puche Regaliza, J. C. (2008). Sistemas de Información y Cibernética Organizacional. Obtenido de http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/BUSINESS_PROCESS_MODELLING/417-428.pdf
8. RÍOS ESTAVILLO, J. J. (1997). CAPITULO SEGUNDO CIBERNÉTICA E INFORMÁTICA. Obtenido de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/147/5.pdf>
9. Siles González, I. (enero-junio de 2007). Cibernética y sociedad de la información: el retorno de un sueño eterno. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86005007>
10. Reverchon, E.; Cardea, S.; Rapuano, C. (2006). Formation of poly-vinyl-alcohol structures by supercritical CO₂. *J. Appl. Polym. Sci.*, **104**, 3151.
11. Reverchon, E.; Schiavo Rappo, E. and Cardea, S. (2006). Flexible supercritical CO₂-assisted process for poly (methyl methacrylate) structure formation. *Polym. Eng. Sci.* **(46)** 188-196.
12. Temtem, M.; Casimiro, T. and Aguilar-Ricardo, A. (2006). Solvent power and depressurization rate effects in the formation of polysulfone membranes with CO₂-assisted phase inversion method. *J. Membrane Sci.* **(283)** 244-257.
13. Tsivintzelis, I.; Pavlidou, E. and Panayiotou, C. (2007). Porous scaffolds prepared by phase inversion using supercritical CO₂ as antisolvent I. Poly (L-lactic acid). *J. Supercrit. Fluids.* **(40)** 317-326.
14. Xu, Q.; Pang, M.; Peng, Q.; Jiang, Y. and Li, J. (2004). Application of supercritical carbon dioxide in the preparation of effect of biodegradable polylactide membranes. *J. Appl. Polym. Sci.* **(94)** 2158-2165.