

THIẾT KẾ VÀ KHẢO SÁT MẠCH ĐO TỔNG TRỞ SINH HỌC HƯỚNG TỚI ỨNG DỤNG TRONG THỰC PHẨM

Phan Văn Huấn⁽¹⁾, Nguyễn Xuân Hào⁽¹⁾, Đinh Thị Hải Thuận⁽²⁾, Nguyễn Thị Thu Hiền⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Thủ Dầu Một, ⁽²⁾Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

Ngày nhận bài 15/4/2017; Ngày gửi phản biện 26/4/2017; Chấp nhận đăng 30/7/2017

Email: huanpv@tdmu.edu.vn

Tóm tắt

Ngày nay vấn đề an toàn thực phẩm nói chung và chất lượng của sản phẩm tươi sống hay bảo quản đông lạnh nói riêng là một trong những vấn đề nổi cộm của xã hội. Nhu cầu xác định nguồn gốc và độ tươi của thịt là nhu cầu chính đáng của người tiêu dùng. Phương pháp đo độ tươi của thịt bằng tổng trở sinh học đã có những thành quả bước đầu trong nghiên cứu. Chúng tôi đang cố gắng giải quyết bài toán thiết kế mạch đo tổng trở sinh học để khảo sát độ tươi của thịt từ đó có thể đánh giá bước đầu chất lượng thịt khi đến tay người tiêu dùng bằng phổ trở kháng sinh học.

Từ khóa: tổng trở sinh học, độ tươi thực phẩm, độ tươi của thịt

Abstract

DESIGN AND INVESTIGATION OF BIOIMPEDANCE MEASURING CIRCUIT

Today, food safety issue has arisen from quality of fresh food, and cryopreservation. Consumers legally need to determine the origin and freshness of the meat. The method of measuring freshness of meat using bioimpedance has had success on the first step of research. On the first attempt, the circuit is being designed in order to investigate freshness of meat. Based on the use of bioimpedance, that investigation makes a first move to evaluate quality of the meat distributed to supermarkets and markets.

1. Mở đầu

Trở kháng sinh học, điện sinh học, các tính chất về điện của mô đều nói về cùng một vấn đề, trở kháng liên quan đến tính chất thụ động về điện của mô đó là khả năng cản trở dòng điện. Điện sinh học liên quan đến khả năng tạo ra điện của mô, điện này là nội sinh – được tạo ra bởi chính mô đó như điện tâm đồ hay ngoại sinh – liên quan đến điện tác động từ bên ngoài. Trong các công bố khoa học, những phương pháp như đo phổ của độ dẫn điện hay điện môi thường tách biệt nhau trong việc đo trở kháng sinh học. Tuy nhiên những phương pháp đo đó lại có mối liên hệ mật thiết với nhau như hai mặt của một vấn đề. Có chăng sự khác nhau cơ bản là việc sử dụng những dải tần số riêng biệt, thiết bị và trình bày hay thể hiện kết quả. Những thực phẩm thường được kiểm tra chất lượng và xác định hàm lượng mỡ trong sản phẩm [5]. Đặc biệt phương pháp đo đối với điện môi trong dải tần số antennas cho phép không tiếp xúc vào vật cần đo, điều đó thích hợp cho các thiết bị xử lý. Những thực phẩm bị nhiễm vi sinh dễ nhận biết vì sẽ thay đổi độ dẫn điện ở tần số thấp, từ đó sinh ra những sản phẩm chuyển hóa khác nhau

trong thực phẩm. Vấn đề đáng lưu tâm khi đo trở kháng sinh học là độ nhạy thấp của thiết bị và sự phụ thuộc mạnh mẽ vào các yếu tố môi trường như nhiệt độ, áp suất từ đó ảnh hưởng đến các thông số trong quá trình xử lý.

Đo lường những đặc tính điện là một công cụ đơn giản không xâm hại đối với những đặc trưng của vật liệu. Việc đo lường trở kháng chỉ mang tính chất tương đối đối với mô hình toán học mang tính học thuật nên gần như chỉ tốt trong việc đánh giá chất lượng đối với các sản phẩm nông nghiệp. Bởi vì trở kháng rất nhạy với tính thấm của màng tế bào, nó luôn là lựa chọn tối ưu cho việc đánh giá sự thay đổi với những ứng dụng của điện thế cao. Ngày nay, những cố gắng để sử dụng việc đo lường trở kháng trong công nghệ thực phẩm đã đưa đến những thành công rực rỡ trong nghiên cứu nhưng vẫn còn nhiều bờ ngõ và cả những thất bại trong thực hành thực nghiệm[1,6]. Nguyên nhân được đưa ra thường là đánh giá quá cao độ chọn lọc mà không chú trọng đến việc khảo sát trong môi trường phức tạp và những đối tượng sinh học cần xử lý. Tuy nhiên, việc sử dụng những hệ thống đo lường xử lý thiết thực và giới hạn đo lường trở kháng cho những ứng dụng với hiệu quả cao và có ý nghĩa cũng như bổ sung trong việc đo lường cho nhiều thông số khác. Trong bài báo này chúng tôi giới thiệu qui trình thiết kế và khảo sát mạch đo tổng trở sinh học để đánh giá độ tươi của thịt hướng tới ứng dụng trong thực phẩm.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Xác định tổng trở sinh học

Nếu vật liệu tích trữ điện, nó đương nhiên sẽ có giá trị điện dung. Thành phần trở kháng X_C phụ thuộc vào tần số:

$$X_C = \frac{k}{\omega \epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{\omega C}$$

Trong đó ω là tần số góc $\omega = 2\pi f$ và $\epsilon \cdot \epsilon_0$ là hằng số điện môi tuyệt đối của vật liệu. C thường sử dụng khi miêu tả vật liệu giữa những điện cực vì nó là điện dung trong mạch với $C = \frac{k}{\epsilon \epsilon_0}$. Vì sự tích trữ năng lượng trong bản thân cấu trúc điện dung nên không sinh ra sự truyền dẫn điện tích mang, những điện tích mang này được ghi nhận là ngược lại (trương phản) với năng lượng bị tiêu tán bởi việc truyền điện tích trong điện trở, trở kháng nào có chứa thành phần điện dung được gọi là phần ảo. Vậy trở kháng tổng bao gồm các thành phần R và C :

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} = R - \frac{j}{\omega C} = R - jX_C$$

Thường thì, X là phần phức và được viết: $Z = R + jX$. Cũng giống với: $Z = \text{Re}(Z) + j\text{Im}(Z) = Z' + jZ''$. $\text{Re}(Z)$ và $\text{Im}(Z)$ biểu thị cho phần thực và phần ảo của trở kháng. Phần ảo âm của trở kháng là dung kháng của đối tượng có nghĩa là có sự thay đổi pha âm, tức là, điện áp bị trễ có liên quan đến dòng điện, điều này có nguyên nhân từ sự tích trữ năng lượng trong điện dung. Trường hợp ngược lại, phần ảo dương là cảm kháng, tuy nhiên đối với hệ sinh học cần khảo sát thì cảm kháng không quan trọng lắm và vì vậy nó không được trình bày trong bài báo này.

Dẫn nạp Y là nghịch đảo của trở kháng: $Y = \frac{1}{Z} = G + jB$

R không đơn giản chỉ là giá trị nghịch đảo của G . Trong khi $Z = R + jX$ miêu tả cho một chuỗi kết hợp của R và C , mô hình đơn giản tương đương là $Y = G + jB$.

Mối quan hệ giữa chúng là:

$$Y = \frac{R}{R^2 + X^2} + \frac{jX}{R^2 + X^2}$$

$$Z = \frac{G}{G^2 + B^2} + \frac{jB}{G^2 + B^2}$$

Với môi trường không có cấu trúc tế bào hoặc tại tần số rất cao, điện môi, khi đó hằng số điện môi (độ thẩm điện của môi trường) ϵ^* cũng bao gồm phần thực và phần ảo (ϵ', ϵ''), sẽ tiện lợi hơn bởi vì nó là thông số dễ giải thích hơn so với trở kháng; ϵ_0 là điện môi của chân không.

$$\epsilon^* = \frac{Yk}{j\omega\epsilon_0} = \epsilon' + j\epsilon'', \quad \epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} (\text{F/m}) = 8,85 \cdot 10^{-12} (\text{As/Vm})$$

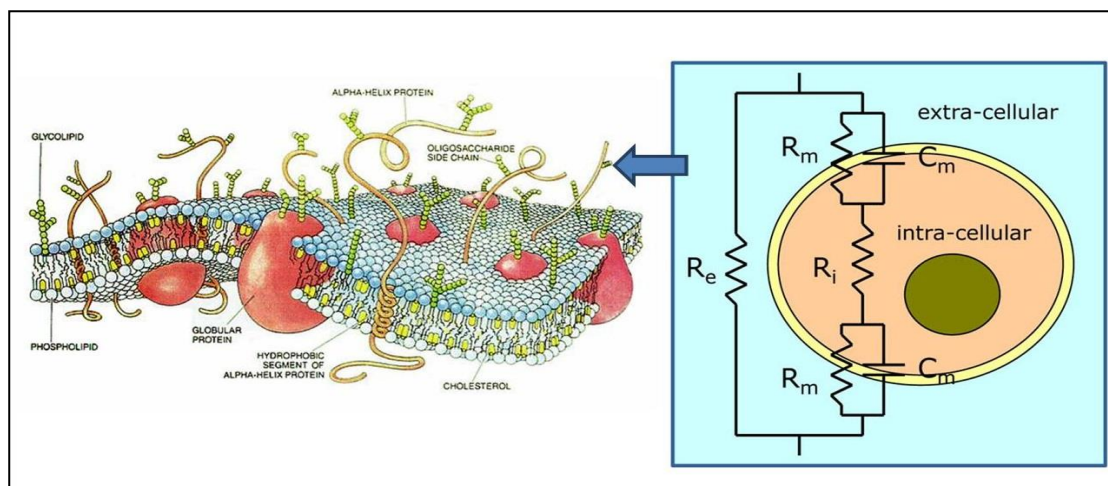
Mỗi số phức có biên độ và góc pha. Biên độ của trở kháng: $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$

và góc pha là: $\varphi = \arctan(X/R)$.

Kỹ thuật đo tổng trở được dùng ở đây dựa trên định luật Ohm cơ bản ($Z = V/I$).

Người ta đo đồng thời cả 2 giá trị điện thế và dòng điện. Sau đó, dựa vào định luật Ohm ta có thể xác định trở kháng Z. Tuy nhiên, các phương pháp trên đều sử dụng nguồn điện 1 chiều DC (Direct Current) và chỉ áp dụng cho các vật liệu không thể áp dụng cho mô sống. Bởi vì trong các mô sống, nó không tuân theo định luật Ohm, và trở kháng lại bị phụ thuộc vào tần số và nếu cho một nguồn áp hoặc dòng lớn hơn 5mA sẽ gây bỏng cho các mô sống hoặc phân cực các ion trong màng tế bào. Chính vì vậy, để đo được người ta sử dụng phương pháp quét tần số và sử dụng một nguồn dòng cố định cấp cho mô. Nguồn dòng này có biên độ đỉnh cố định dao động từ vài trăm uA đến tối đa là 5mA và tần số có thể thay đổi từ vài Hz đến vài trăm kHz.

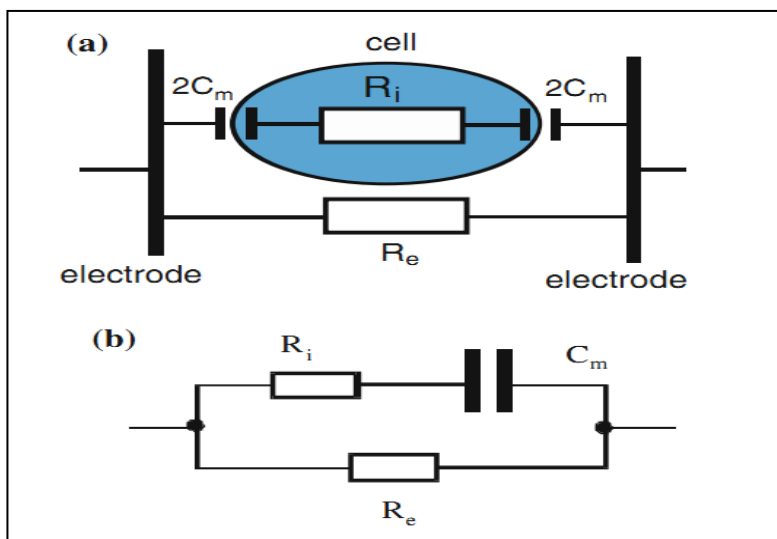
Những nghiên cứu về đo tổng trở để đánh giá hoạt động của tổ chức sinh học đã được tiến hành từ rất lâu, như đo điện trở màng tế bào để đánh giá khả năng trao đổi chất, máy đo tổng trở để xác lượng mỡ của cơ thể, đo cấu trúc trở kháng, trong đó tổng trở là phương pháp được ứng dụng nhiều trong xác định độ tươi, độ an toàn của thực phẩm. Mỗi tế bào liên quan đến hai môi trường dẫn điện tương đối tốt là dịch gian bào và dịch nội bào (bào chất), bị ngăn cách bởi một lớp dẫn điện kém là màng tế bào. Mỗi hệ thống như vậy hoạt động như một tụ điện và được đặc trưng bởi một giá trị điện dung C. Vì vậy có thể xem tế bào như một mạch điện tương đương gồm tụ điện và điện trở, được minh họa như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ trở kháng sinh học của tế bào

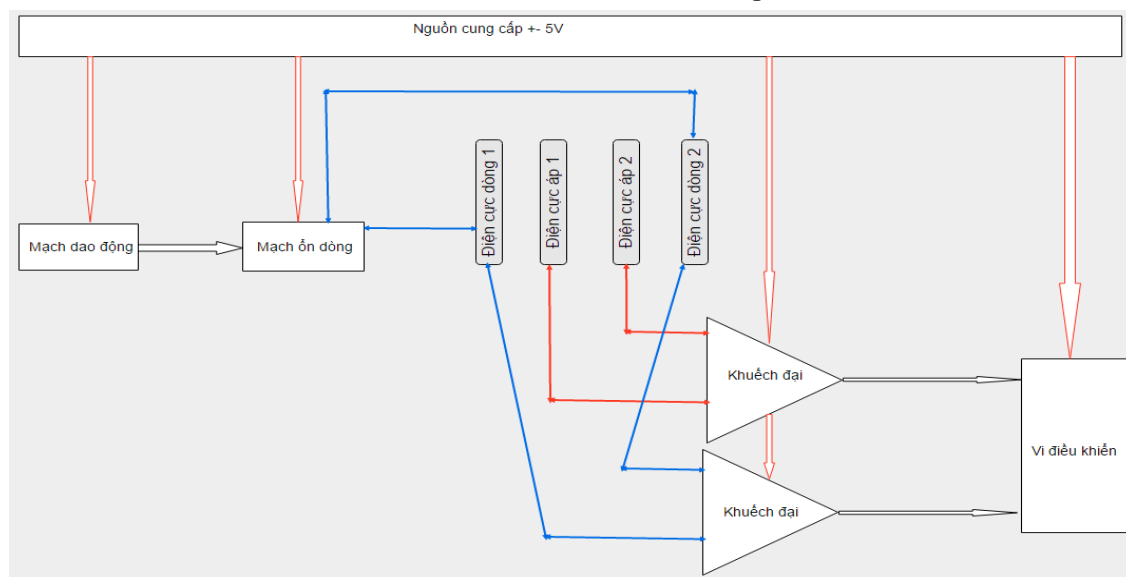
Tế bào được mô hình hóa một cách đơn giản như sau, điện dung màng tế bào C_m nối tiếp với chất nội bào có điện trở R_i (Hình 1). Chúng được mắc song song với một điện trở khác R_e đóng vai trò là chất ngoại bào [2,3]. Biểu đồ quỹ tích của mạch điện được thể hiện ở nửa vòng tròn nằm ở góc phần tư thứ tư của mặt phẳng Z.

Hình 2.(a) Chất dịch tế bào được đơn giản hóa với những phần tử điện dung và điện trở, **(b)** Mạch điện tương đương đối với phân tán β (β – dispersion), có nguồn gốc từ cấu trúc màng tế bào. C_m là điện dung màng và R_i là điện trở nội bào, và R_e là điện trở ngoại bào của dung dịch điện phân.



2.2. Thiết kế mạch đo

Các thông số yêu cầu: Dựa vào những kết quả đã trình bày chúng tôi thiết kế mạch với những thông số yêu cầu như sau: tần số quét từ 10 Hz đến 20.000 Hz, tần số cố định là 100 kHz dùng để đo trong thời gian dài, dòng ra cố định có biên độ đỉnh là 1mA, trở kháng đo từ 0 Ω đến 5k Ω , nguồn điện hoạt động (-5V) - (+5V). Cách bố trí điện cực cho mạch sử dụng 4 điện cực, hai điện cực kích thích là CC1 và CC2, và 2 điện cực đo áp trả về là PU1 và PU2.



Hình 3. Sơ đồ khối của mạch đo

Giải thích chức năng từng khối:

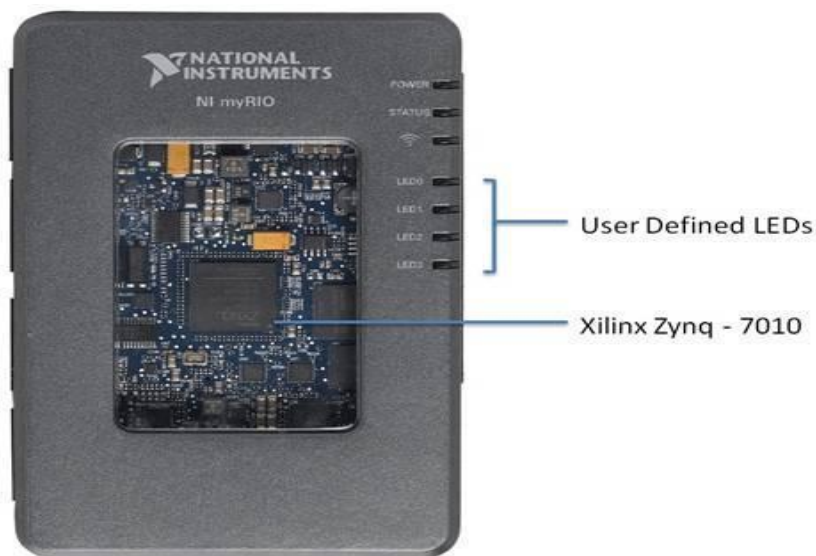
Mạch dao động: Mạch có chức năng phát xung, đóng vai trò là tạo sóng sin có tần số được xác định trước. Nếu như chúng ta cần sử dụng chức năng quét xung, có nghĩa là thay đổi tần số thì ta cần phải tác động trên mạch này. Lưu ý là trong khi quét xung thì các giá trị khác của tín hiệu phải được giữ nguyên, chỉ mỗi tần số của tín hiệu là thay đổi.

Mạch ổn dòng: Mạch có chức năng tạo ra một nguồn dòng cố định, không bị phụ thuộc vào giá trị của tần số và trở kháng của tải. Để đo tổng trở kháng sinh học thì yếu tố để đo được đúng là nguồn dòng phải được cố định, bởi vì trong mô sống có những tính chất thay đổi không như với các vật liệu khác. Ngoài ra, trong mô sống có các dịch và các bào quan rất dễ bị thay đổi khi có kích thích về điện. Nếu dòng quá cao có thể gây ra sự điện phân các ion gây ra hiện tượng bỏng và làm tổn thương mô. Dòng điện được cung cấp đến mô thông qua hai điện cực dòng là “điện cực dòng 1” và “điện cực dòng 2”. Để thu được điện áp thì ta người ta sử dụng thêm 2 điện cực áp đặt giữa 2 điện cực dòng.

Mạch khuếch đại: được sử dụng nhằm khuếch đại hai tín hiệu áp và dòng trả về. Do hai tín hiệu trả về có biên độ tín hiệu quá thấp, chỉ vài millivolts nên khó có thể thu thập và phân tích. Mạch khuếch đại ở đây sử dụng các IC khuếch đại đo lường chuyên dụng trong lĩnh vực đo điện y sinh. Những IC khuếch đại này có hệ số CMRR (Common mode reject ratios) cao nhằm loại bỏ nhiễu nền tốt hơn, độ lợi được thiết lập chỉ bằng 1 điện trở gắn thêm bên ngoài.

Vi điều khiển: Sử dụng để thu thập dữ liệu và tiền xử lý trước. Lọc nhiễu 50 Hz, tính toán giá trị Z , sau đó sẽ gửi lên máy tính để xử lý thông tin cụ thể hơn.

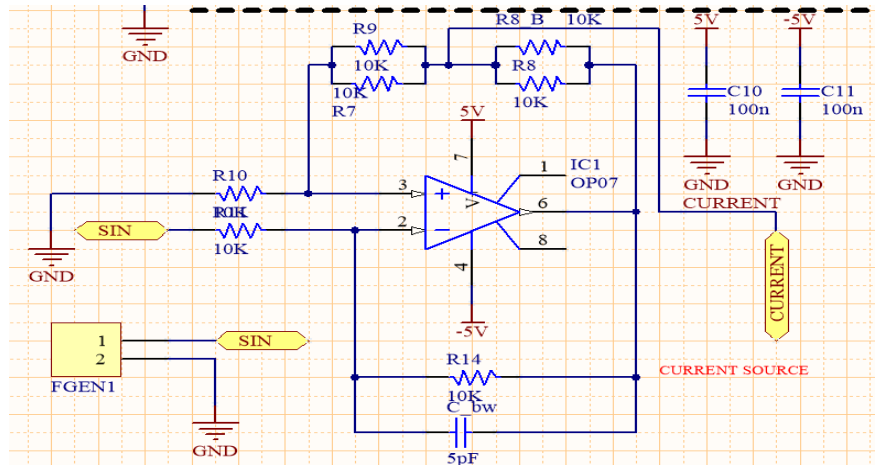
Hình 4. Chip vi xử lý
Xilinx Zynq – 7010



Trong hai khối trên là khối phát xung và khối vi điều khiển được sử dụng trên board NI MyRio của National Instruments có tích hợp chip vi xử lý Xilinx Zynq-7010. Có thể lập trình FPGA, cho tốc độ xử lý nhanh hơn và độ phân giải của bộ chuyển đổi ADC (Analog digital converter) là 12bits cho phép tín hiệu đo được thấp nhất là 1.2mV đến 5.0 V.

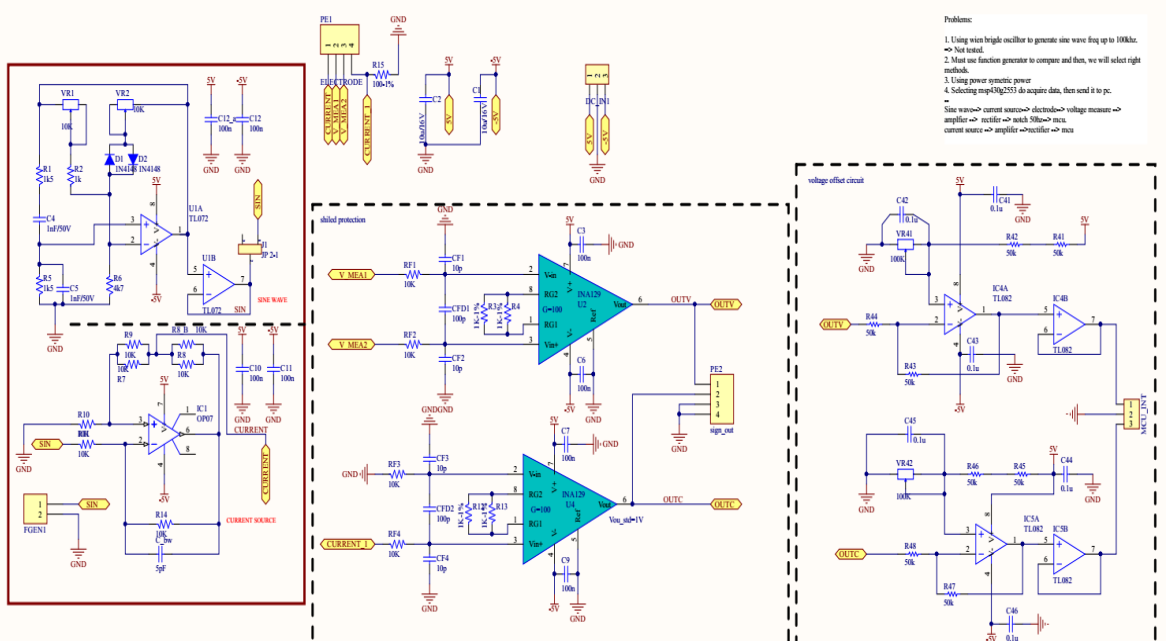
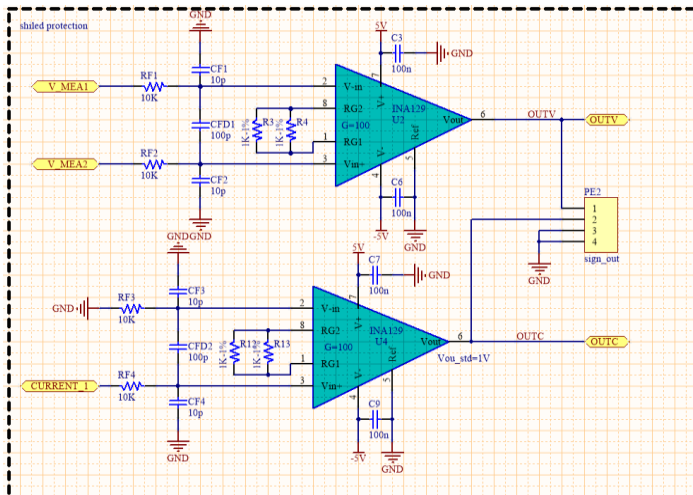
Mạch ổn dòng: Giúp tạo một nguồn dòng cố định không bị ảnh hưởng bởi trở kháng của tải. Mạch nguồn dòng được sử dụng ở đây sử dụng bản thiết kế của mạch current source của howland. Dòng định mức ra là 1mA và trở kháng nằm trong khoảng cho phép từ 0 đến 5000 Ω .

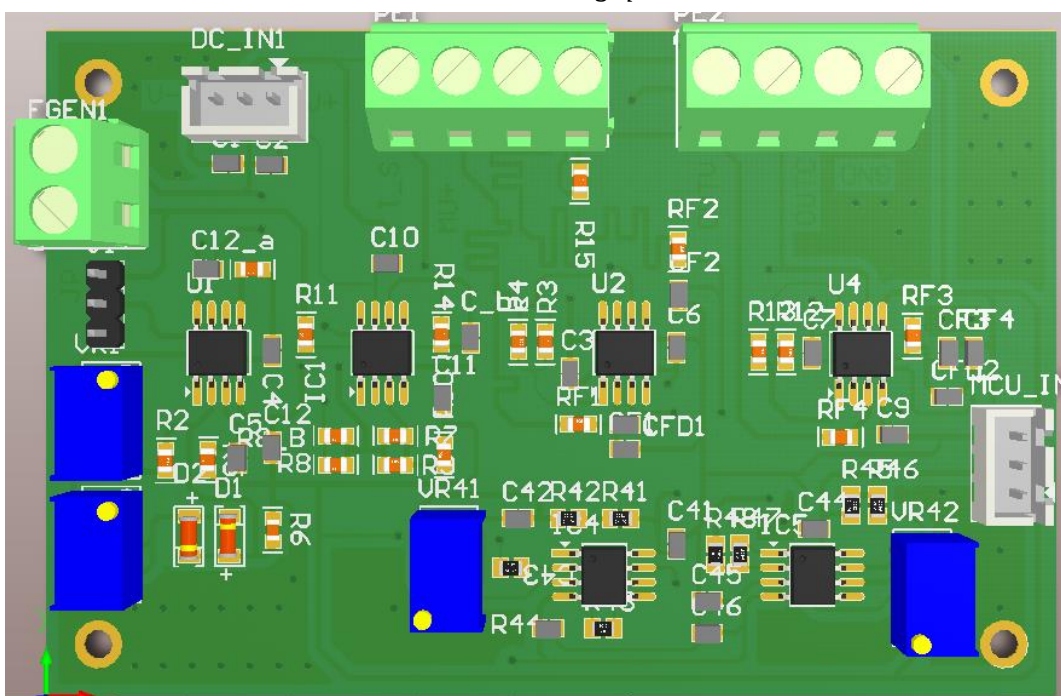
Hình 5. Mạch ổn
dòng



Mạch khuếch đại: Độ lợi
cho toàn mạch là 100 lần. Điện
áp làm việc là + - 5V.

Hình 6. Mạch khuếch đại

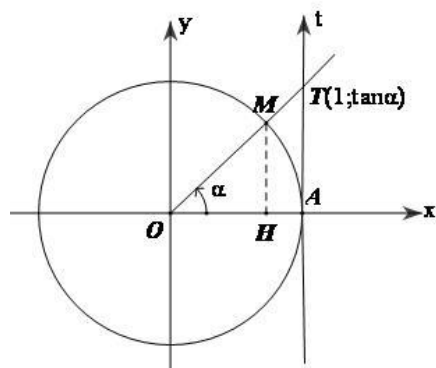


Hình 7. Sơ đồ tổng quát**Hình 8.** Sơ đồ thực tế của mạch

2.3. Phương pháp đo

Sau khi đã có phân cứng xong thì ta sẽ đo theo phổ quét tần số, mạch dao động do board MyRio 1900 sẽ quét tần số từ 10 Hz đến 5000 Hz. Sau đó, ta sẽ đo cả hai tín hiệu điện áp và dòng điện bằng hai kênh ADC được tích hợp sẵn trên board controller. Giá trị đo về sẽ được phân tích ra biên độ và góc pha bằng thuật toán biến đổi fourier FFT (Fast fourier transfer) cho mỗi kênh.

Ta có $|Z| = V_{\text{peak}} / I_{\text{peak}}$. Với I_{peak} là 1mA; V_{peak} là điện áp đo về từ điện cực. Độ lệch pha α = phase (áp) – phase (dòng). Sau khi có được module Z và góc lệch pha. Ta có thể dễ dàng tính được phần thực và phần ảo bằng đường tròn lượng giác.



3. Khảo sát

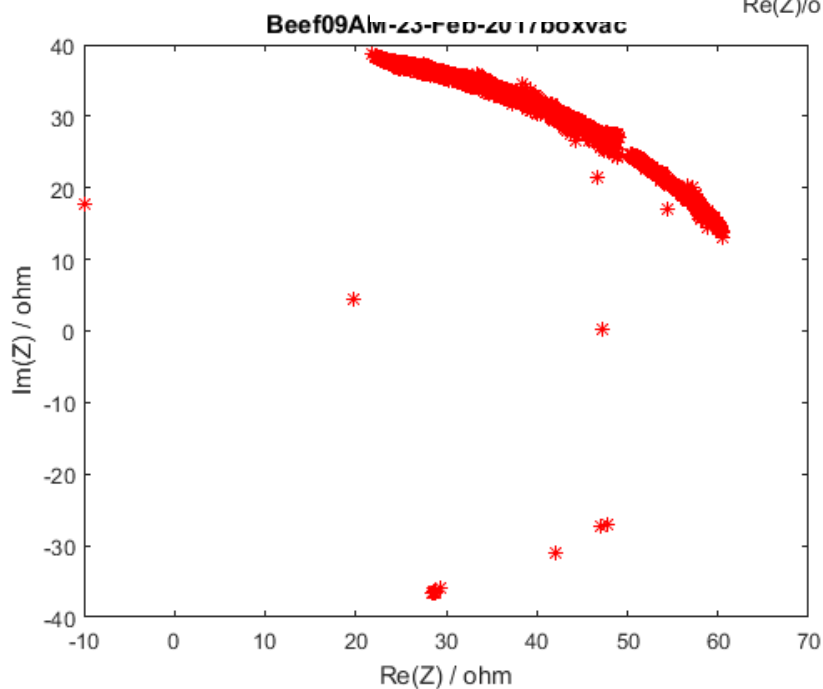
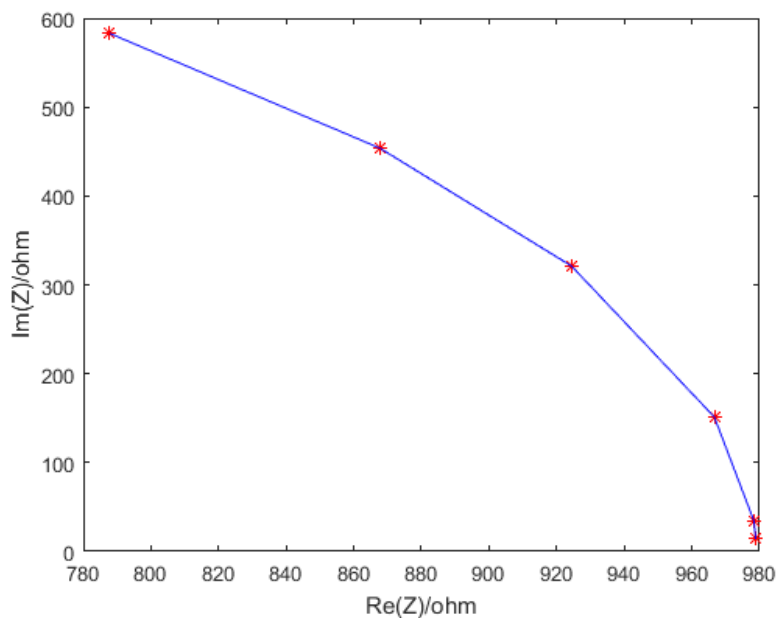
Với mạch điện đã ráp chúng tôi tiến hành khảo sát thí nghiệm trên khối thịt bò thăn (phần lườn bò để có ít gân với các điện cực được cắm dọc theo sớ để đo tổng trở sinh học) và đã thu được những kết quả ban đầu, số liệu đo được giá trị trở kháng và pha dao động để từ đó tính toán được phần thực và phần ảo của phương trình Ny, sau đó miêu tả bằng biểu đồ quỹ tích (biểu đồ Wessel), nó sẽ thể hiện phần thực và phần ảo trên cùng một đồ thị hình 9. Bảng 2 là số liệu điều chỉnh các giá trị tần số cố định.

Bảng 2. Quét tần số từ 500Hz đến 20kHz

Tần số	R	Z	phase	Img
500Hz	978.855	979	0.8748	14.7251

1kHz	978.367	979	1.98	34.1344
5kHz	966.643	978.4	9.046	151.202
10kHz	924.396	978.6	19.1	321.11
15kHz	867.735	979.2	27.63	453.7
20kHz	787.778	980	36.53	582.88

Hình 9: Đồ thị biểu diễn giá trị phần thực và phần ảo với các giá trị tần số chọn lọc



Hình 10: Đồ thị biểu diễn phần thực và phần ảo với giá trị tần số quét từ 500Hz đến 20kHz

4. Kết luận

Từ đồ thị hình 10 chúng ta dễ dàng nhận thấy rằng với giá trị tần số quét từ 500Hz đến 20kHz ta thu được các giá trị phần thực và phần ảo nằm trên cung tròn từ đó cho phép ta xác định độ tươi của thịt. Tuy nhiên, vẫn còn có những giá trị không nằm trên cung tròn mà mình

mong muốn và phần đường cong ta thu được vẫn còn rất nhỏ, vì vậy cần phải cải tiến mạch đo với dải tần số rộng hơn để đạt được giá trị tối ưu nhất từ đó có thể đánh giá chính xác hơn độ tươi của thịt nói riêng và độ tươi của thực phẩm nói chung.

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy triển vọng thiết kế một thiết bị đo tổng trở sinh học dùng để khảo sát độ tươi của thịt cho kết quả tối ưu là rất lớn. Trong bài báo này chúng tôi chỉ mới thiết kế mạch đo có tần số quét từ 50Hz đến 20kHz, kết quả của nó có thể cải tiến mạch đo với dải tần số rộng hơn để đạt được giá trị GHz trong mạch đo và mong muốn thiết kế một thiết bị đo tổng trở sinh học được triển khai và áp dụng trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Martinsen, O.G. and S. Grimnes (2011), *Bioimpedance and bioelectricity basics*, Academic press.
- [2] Tränkler, H.-R., et al. (2007), *Smart sensor systems using impedance spectroscopy*. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng, **13**(4): p. 455-478.
- [3] Schwarz, G. (1962), *A theory of the low-frequency dielectric dispersion of colloidal particles in electrolyte solution*1, 2. The Journal of Physical Chemistry, **66**(12): p. 2636-2642.
- [4] Bârlea, N., S.I. BÂRLEA, and E. Culea (2008), *Maxwell-wagner effect on the human skin*. Rom. J. Biophys, **18**(1): p. 87-98.
- [5] Maxwell, J.C., *A treatise on electricity and magnetism*. Vol. 1. 1881: Clarendon press.
- [6] Cole, K.S. (1972), *Membranes, ions and impulses: a chapter of classical biophysics*. Vol. 5. Univ of California Press.
- [7] McAdams, E. and J. Jossinet (1995), *Tissue impedance: a historical overview*. Physiological measurement, **16**(3A): p. A1.
- [8] Zoltowski, P. (1998), *On the electrical capacitance of interfaces exhibiting constant phase element behaviour*. Journal of Electroanalytical Chemistry, **443**(1): p. 149-154.
- [9] Damez, J.-L., et al. (2007), *Dielectric behavior of beef meat in the 1–1500kHz range: Simulation with the Fricke/Cole–Cole model*. Meat Science, **77**(4): p. 512-519.
- [10] Damez, J.-L., et al. (2008), *Beef meat electrical impedance spectroscopy and anisotropy sensing for non-invasive early assessment of meat ageing*. Journal of Food Engineering, **85**(1): p. 116-122.
- [11] Pliquett, U., et al. (2003), *Py—a parameter for meat quality*. Meat science, **65**(4): p. 1429-1437.
- [12] Marchello, M., W. Slinger, and J. Carlson (1999), *Bioelectrical impedance: fat content of beef and pork from different size grinds*. Journal of animal science, **77**(9): p. 2464-2468.
- [13] Castro-Giráldez, M., et al. (2011), *Development of a dielectric spectroscopy technique for the determination of key biochemical markers of meat quality*. Food Chemistry, **127**(1): p. 228-233.