

**BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆN ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ**

**BÁO CÁO TỔNG HỢP NHIỆM VỤ
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP CƠ SỞ**

**NGHIÊN CỨU NÂNG CẤP CHỨC NĂNG THU NHẬN VÀ
TRUYỀN TÍN HIỆU CHO THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN HÓA CẦM TAY**

ThS. LÊ BÌNH DƯƠNG

Hà Nội – 2020

DANH SÁCH CÁ NHÂN THAM GIA THỰC HIỆN CHÍNH

STT	Họ và tên	Chức vụ	Học hàm/ học vị	Đơn vị công tác
1	Lê Bình Dương	Nghiên cứu viên	Thạc sĩ	Trung tâm Ươm tạo Công nghệ & DNKHCN
2	Trịnh Thị Hậu	Nghiên cứu viên	Kỹ sư	Trung tâm Ươm tạo Công nghệ & DNKHCN
3	Trịnh Thị Thương	Nghiên cứu viên	Thạc sĩ	Trung tâm Công nghệ Vi điện tử và Tin học

MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU	6
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ ĐO LƯỜNG ĐIỆN HÓA VÀ CÁC KHỐI CHỨC NĂNG CỦA HỆ ĐO.....	8
1.1. Tổng quan về hệ đo lường điện hóa ba điện cực.....	8
1.2. Các khối chức năng của hệ đo	10
1.3. Kết luận chương	11
CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG MẠCH ĐO THỬ NGHIỆM VÀ PHẦN MỀM ANDROID THU NHẬN SỐ LIỆU	12
2.1 Thiết kế, xây dựng mạch đo Potentiostat	12
2.1.1. Phần cứng	12
2.1.2. Phần mềm thiết kế	14
2.2. Lập trình mạch đo Potentiostat.....	14
2.2.1. Lập trình mạch đo lường điện hóa.....	14
2.2.2. Lập trình module truyền phát dữ liệu BLE – CY8CKIT-143A	18
2.3. Xây dựng phần mềm thu nhận số liệu trên Android	30
2.3.1. Phân tích xác định yêu cầu kỹ thuật của phần mềm.....	30
2.3.2. Thiết kế ứng dụng.....	31
2.4. Kết luận chương	32
CHƯƠNG 3: THỬ NGHIỆM, ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN HÓA	35
3.1. Hệ đo điện hóa Potentiostat:.....	36
3.2. Chuẩn bị dung dịch điện hóa chuẩn và kiểm tra với thiết bị thương mại	36
3.2.1. Chuẩn bị dụng cụ.....	37
3.2.2. Tiến hành pha chế.....	37
3.3. Kiểm tra với thiết bị thương mại	37
3.3.1. Chức năng của máy	37
3.3.2. Đo dung dịch điện hóa chuẩn với thiết bị thương mại	38
3.4. Kiểm tra chức năng hệ đo với dung dịch đo điện hóa chuẩn	40
3.5. Phân tích đánh giá kết quả đo thực nghiệm và đối chứng.....	43
3.6. Tổng kết chương.....	43
KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT	46
LỜI CẢM ƠN.....	47

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Mô hình hệ điện hóa ba điện cực	8
Hình 1.2. Sơ đồ tương đương tại lớp tiếp xúc điện cực và dung dịch.	8
Hình 1.3. Sơ đồ thiết bị điện hóa sử dụng hệ ba điện cực	9
Hình 1.4. Sơ đồ khối chức năng của hệ đo.	10
Hình 2.1. Sơ đồ khối của hệ đo Potentiostat	12
Hình 2.2. Ảnh kit CY8CKIT-059	13
Hình 2.3. Module CY8CKIT-143A BLE.....	13
Hình 2.4. Khối cấp điện áp cho cảm biến điện hóa	14
Hình 2.5. Cấu hình cho khối cấp điện áp DVDAC.....	15
Hình 2.6. Cấu hình bộ tạo xung PWM.....	16
Hình 2.7. Mạch chuyển dòng – áp và chuyển đổi tín hiệu tương tự - số.....	16
Hình 2.8. Cấu hình cho bộ chuyển đổi dòng – áp TIA	17
Hình 2.9. Cấu hình module ADC Delta Sigma.....	17
Hình 2.10. Module UART truyền dữ liệu tới module BLE	18
Hình 2.11. Cấu hình module UART	18
Hình 2.12. Sơ đồ giao tiếp các thiết bị BLE	19
Hình 2.13. Mô hình Broadcast	20
Hình 2.14. Mô hình connection.....	21
Hình 2.15. BLE Protocol stack	22
Hình 2.16. Cấu trúc của một profile.....	27
Hình 2.17. Lập trình Kit CY8CKIT-143A.....	27
Hình 2.18. Cấu hình thành phần UART.....	28
Hình 2.19. Cấu hình module BLE.....	28
Hình 2.20. Thiết lập tên của thiết bị trong giao tiếp BLE.....	29
Hình 2.21 Cấu hình Service cho giao tiếp BLE.....	29
Hình 2.22. Cấu hình Characteristics cho giao tiếp BLE	30
Hình 2.23. Giao diện quét thiết bị BLE	32
Hình 2.24. Giao diện kết nối tới GATT Server.....	33
Hình 2.25. Giao diện theo dõi phép đo	33
Hình 2.26. Sơ đồ khối điều khiển.....	34
Hình 2.27. Sơ đồ khối hiển thị	34
Hình 3.1. Mạch đo điện hóa hoàn thiện	36
Hình 3.2. Mạch đo điện hóa giao tiếp với điện thoại Android	36

Hình 3.3. Ảnh của thiết bị thương mại Autolab.....	38
Hình 3.4. Điện cực so sánh Ag/AgCl của Metrohm	39
Hình 3.5. Cấu hình điện cực.....	40
Hình 3.6. Ảnh chụp quá trình đo trên Autolab.....	40
Hình 3.7. Kết quả đo dạng CV của máy Autolab	40
Hình 3.8. Ảnh chụp hệ đo phát triển kết nối với điện thoại.....	41
Hình 3.9. Màn hình điện thoại hiển thị dạng đồ thị thu được từ hệ đo điện hóa	41
Hình 3.10. Thử nghiệm quét thế tuyến tính	42
Hình 3.11 Đồ thị phép đo quét thế tuyến tính vẽ lại sử dụng phần mềm Origin	42
Hình 3.12. Kết quả đo với $K_4Fe(CN)_6$ nồng độ 0.01M ngày thứ nhất.	43
Hình 3.13. Kết quả đo với dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ nồng độ 0.01M ngày thứ hai.	43
Hình 3.14. Ảnh chụp kết quả đo với dung dịch nồng độ 0.001M	44

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

STT	Từ viết tắt	Từ viết đầy đủ
1.	PsoC	Programmable system-on-chip
2.	BLE	Bluetooth Low Energy
3.	PWM	Pulse-width modulation
4.	GATT	Generic Attribute Profile
5.	GAP	Generic Access Profile
6.	SM	Security Manager
7.	L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
8.	UART	Universal asynchronous receiver transmitter

LỜI MỞ ĐẦU

Kể từ khi mô hình đầu tiên về phân tích điện hóa do nhà khoa học Jaroslav Heyrovský đề xuất năm 1922 dựa trên phương pháp cực phổ định lượng nồng độ chất điện ly trong dung dịch [1] tới nay, phân tích điện hóa luôn là chủ đề hấp dẫn các nhà khoa học trong nhiều thập kỷ liên tiếp với những thành công được thể hiện trong các phòng thí nghiệm hóa học, sinh học, thực phẩm, dược phẩm, khoa học vật liệu... Từ mô hình cực phổ ban đầu dựa trên điện cực nhỏ giọt thủy ngân, điện cực hay cảm biến điện hóa (là phần tử mà quá trình điện-hóa diễn ra trên đó) đã không ngừng được phát triển và cải tiến theo hướng thu nhỏ, tích hợp hệ thống đo lường mang lại lợi ích như: phân tích nhanh, tăng độ nhạy, tiêu hao lượng mẫu thấp và phù hợp để chế tạo các thiết bị phân tích ở hiện trường.

Đa phần phân tích điện hóa hiện nay thường được thực hiện trong phòng thí nghiệm trên các thiết bị thương mại có chi phí đầu tư cao, từ hệ đo cơ bản của Digi-Ivy giá 1000 USD chỉ có chức năng chuẩn độ ampe (amperometric) đến hệ Autolab giá xấp xỉ 50,000 USD có đầy đủ các chế độ quét và khả năng tích hợp các module để đáp ứng các yêu cầu cao hơn. Thiết bị thương mại có ưu điểm như đa chức năng, độ phân giải và độ chính xác cao, tuy nhiên yêu cầu kỹ thuật viên có trình độ và hạn chế trong việc sử dụng phân tích hiện trường. Phân tích điện hóa ngày nay hướng đến sử dụng cảm biến được tối ưu cho ứng dụng cụ thể, hiệu quả về mặt chi phí, thu nhỏ kích thước và dễ dàng thực hiện phép đo lường tại hiện trường. Sự thu nhỏ kích thước cảm biến tất yếu dẫn đến sự giảm cường độ tín hiệu đầu ra, vì vậy yêu cầu hoạt động của các thiết bị đo lường cần đáp ứng tốt với miền tín hiệu nhỏ.

Phân tích điện hóa là một chủ đề thu hút sự quan tâm của cộng đồng nghiên cứu khoa học trong nước và đạt được một số kết quả đáng kể. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu, bao gồm nghiên cứu cơ bản và sản phẩm công nghệ, chủ yếu tập trung vào quy trình phát triển hệ điện cực (bộ chuyển đổi tín hiệu điện hóa-điện) thành cảm biến điện hóa cho ứng dụng cụ thể. Có thể thấy rằng nghiên cứu phát triển thiết bị đo song song với việc phát triển cảm biến là cần thiết để cụ thể hóa ứng dụng của phân tích điện hóa.

Phòng thí nghiệm MEMS/NEMS, Viện Ứng dụng Công nghệ là đơn vị có sự quan tâm sâu sắc đến lĩnh vực phân tích điện hóa. Trên cơ sở của một số nghiên cứu đã thực hiện, một hệ đo điện hóa đã được phát triển với các chức năng đo lường cơ bản bao gồm: quét thế vòng tuần hoàn, quét thế tuyến tính,...có độ tin cậy cao và kích thước nhỏ gọn. Thiết bị được phát triển bước đầu đã đáp ứng yêu cầu của các ứng dụng cơ bản. Tuy nhiên để đáp ứng được yêu cầu đo lường trong

miền tín hiệu nhỏ và nắm bắt xu hướng công nghiệp 4.0 hiện nay, cải thiện và nâng cấp chất lượng thiết bị đo cho cảm biến điện hóa là cần thiết. Trong phạm vi đề tài, nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành nghiên cứu nâng cấp chất lượng mạch đo tín hiệu điện hóa theo hướng tăng độ phân giải tín hiệu để đo lường trong miền tín hiệu nhỏ và tích hợp giao tiếp không dây cho hệ đo.

Các nội dung chính trình bày trong báo cáo bao gồm các chương sau:

Chương 1: Tổng quan về hệ đo lường điện hóa và các khối chức năng của hệ đo

Chương 2: Xây dựng mạch đo thử nghiệm và phần mềm Android thu nhận số liệu

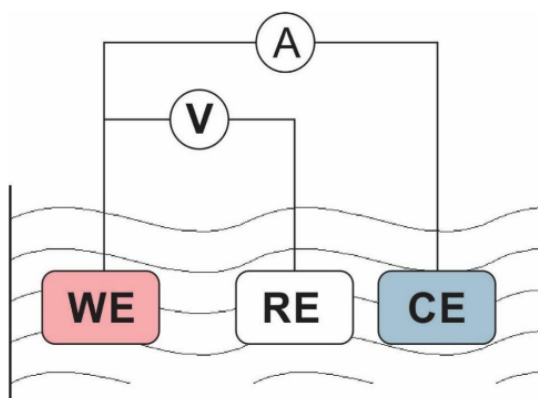
Chương 3: Thử nghiệm, đánh giá hệ thống đo lường với dung dịch điện hóa.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ HỆ ĐO LƯỜNG ĐIỆN HÓA VÀ CÁC KHỐI CHỨC NĂNG CỦA HỆ ĐO

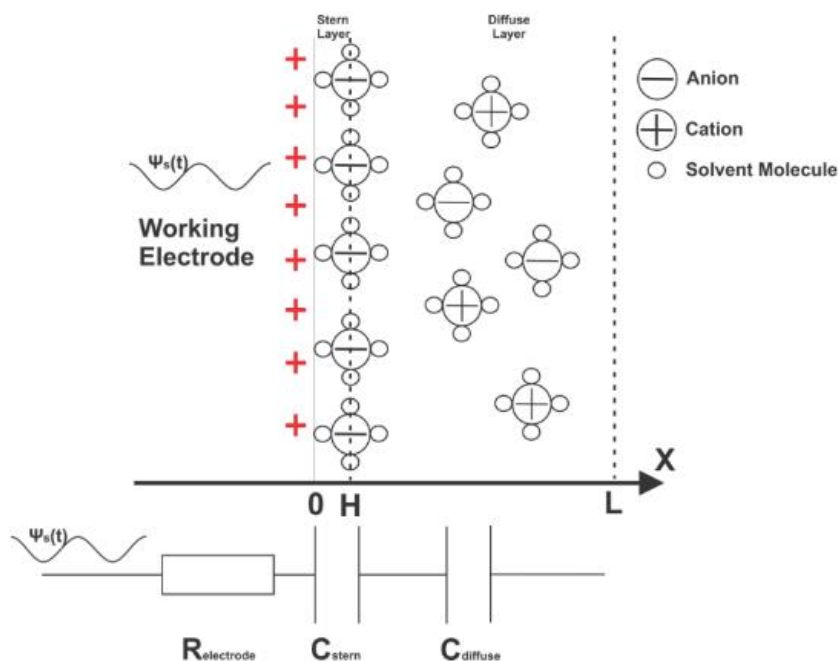
1.1. Tổng quan về hệ đo lường điện hóa ba điện cực

Đo lường điện hóa được dựa trên cơ sở các quy luật lý thuyết về sự chuyển hóa năng lượng hóa học và điện với thông số đặc trưng là mật độ dòng và điện thế. Hệ điện hóa (potentiostat) sử dụng trong hệ điện hóa ba điện cực bao gồm: điện cực làm việc WE, điện cực so sánh RE với điện thế xác định và điện cực đối CE. Hệ điện hóa ba điện cực có thể được mô hình hóa trên hình 1.1



Hình 1.1. Mô hình hệ điện hóa ba điện cực

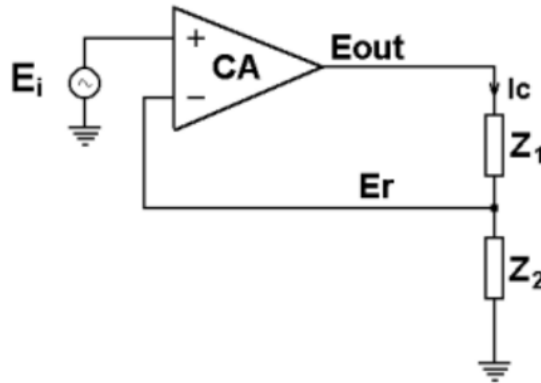
Trong cấu hình ba điện cực, các phản ứng hóa học sẽ xảy ra trên bề mặt điện cực làm việc WE với một điện áp tham chiếu kiểm soát sẽ được đặt vào giữa WE và RE; trong khi đó dòng điện sinh ra do phản ứng trên bề mặt WE sẽ được đo giữa WE và CE.



Hình 1.2. Sơ đồ tương đương tại lớp tiếp xúc điện cực và dung dịch.

Về cơ chế hóa học, khi đặt điện thế dương vào điện cực, các hạt ion âm trong dung dịch sẽ xuất hiện trên bề mặt điện cực, hai lớp ion trái dấu bị ngăn cách bởi các phân tử dung dịch tạo thành một tụ điện. Các ion tự do khác trong dung dịch sẽ tạo thành tụ điện thứ hai. Hai tụ điện và điện trở của điện cực tạo ra trở kháng cho điện cực. Tiếp xúc điện cực – dung dịch có thể được mô hình hóa như trên hình 1.2.

Xét trên khía cạnh điện tử, trở kháng của hệ ba điện cực trong dung dịch khi có sử dụng mạch đo điện hóa sẽ có mô hình như sau:



Hình 1.3. Sơ đồ thiết bị điện hóa sử dụng hệ ba điện cực

Thiết bị sử dụng một nguồn thế và một IC khuếch đại thuật toán CA (bộ khuếch đại điều khiển – Control Amplifier).

Trong mô hình:

- Z_1 tương ứng điện trở của điện cực so sánh (RE) nối tiếp với trở kháng của điện cực đối (CE) và dung dịch giữa điện cực đối với điện cực so sánh.
- Z_2 tương ứng trở kháng của điện cực làm việc (WE) nối tiếp trở kháng của dung dịch giữa điện cực làm việc và điện cực so sánh (RE).

Phân tích mạch tại op amp CA, ta có:

$$E_{out} = A.(E_+ - E_-) = A.(E_i - E_r), \text{ với } A \text{ là hệ số khuếch đại.}$$

Do điện trở của IC khuếch đại là lớn vô cùng nên gần như không có dòng điện đi qua điện cực so sánh. Vì vậy tín hiệu dòng điện có thể được tính như sau:

$$I_C = \frac{E_{out}}{Z_1 + Z_2} \text{ hoặc } I_C = \frac{E_r}{Z_2}$$

$$\rightarrow E_r = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} . E_{out}$$

$$\text{Đặt } \beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\rightarrow \frac{E_r}{E_i} = \frac{\beta . A}{\beta . A + 1}$$

Với $\beta.A \gg 1$ ta có $\frac{E_r}{E_i} \approx 1$ hay $E_r \approx E_i$

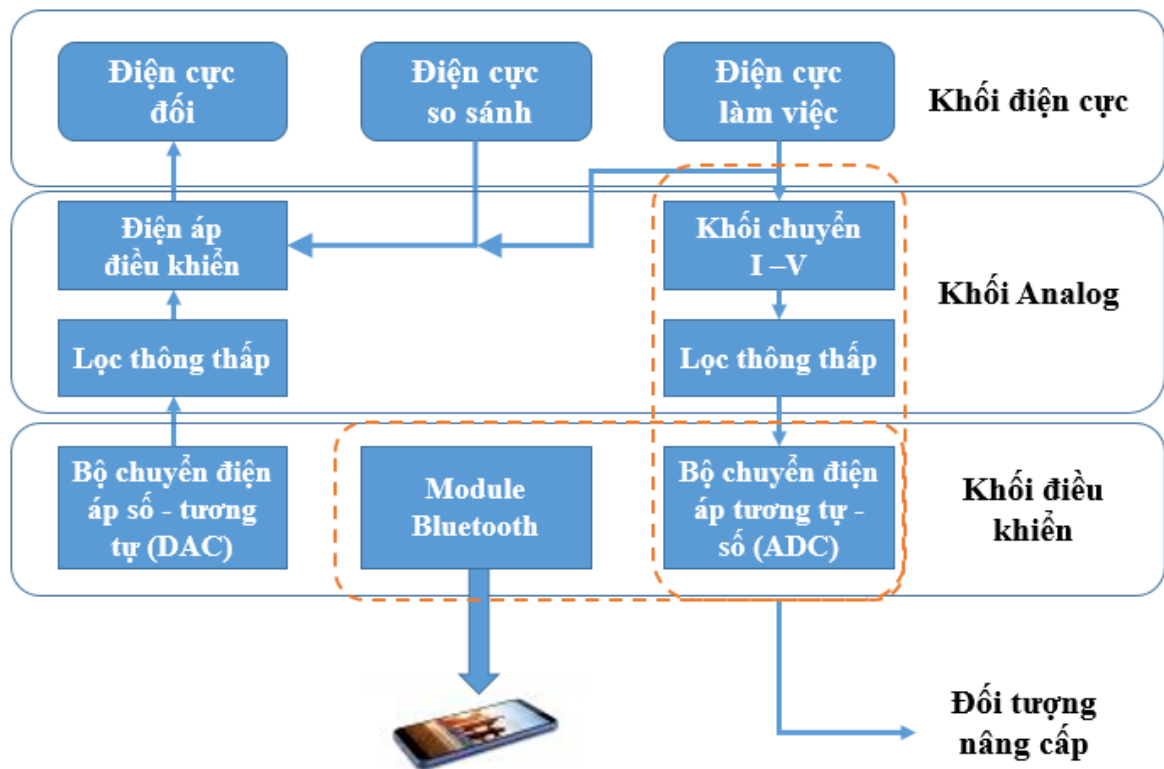
Tính toán cho thấy điện áp giữa điện cực làm việc và điện cực so sánh luôn được giữ ổn định bằng giá trị điện áp đặt vào hệ. Với sơ đồ trên ta thiết kế được thiết bị điện hóa sử dụng hệ ba điện cực đảm bảo giữ ổn định giá trị điện áp giữa điện cực làm việc và điện cực so sánh trong suốt quá trình xảy ra phản ứng và thu tín hiệu dòng điện từ điện cực đối.

Theo sơ đồ ở hình 1.3, mạch Potentiostat có chức năng:

- Tạo điện áp đặt vào điện cực.
- Thu nhận tín hiệu dòng điện từ điện cực làm việc
- Chuyển đổi dữ liệu sang tín hiệu số

1.2. Các khối chức năng của hệ đo

Trong đề tài này, hệ đo bao gồm các khối chức năng được xây dựng như trên hình 1.4, bao gồm các: Khối điện cực, khối Analog và khối điều khiển.



Hình 1.4. Sơ đồ khối chức năng của hệ đo.

Mạch đo điện hóa đã từng được nhóm nghiên cứu phát triển với các khối chức năng ở trên và hoạt động tốt. Tuy nhiên, mạch đo mới được thiết kế để hoạt động ở mức độ tín hiệu lớn, cụ thể độ phân giải dòng của thiết bị đã từng chế tạo $> 1\mu A$. Thiết bị đã từng chế tạo chủ yếu được sử dụng với các điện cực thí nghiệm, kích thước lớn, dẫn đến tín hiệu dòng điện thu được khá lớn nên hệ đo có thể đáp ứng. Cụ thể, hệ đo đã từng được sử dụng kết hợp với cảm biến sinh học do nhóm nghiên cứu chế tạo để phát hiện nồng độ glucose và nồng độ DNA với nồng độ

nhỏ nhất là 10^{-12} mol/l. Tuy nhiên, khi nghiên cứu đã chứng minh được nguyên lý hoạt động, sản phẩm cần phải đặt ra mục tiêu thu nhỏ kích thước, giảm nồng độ lượng mẫu tối thiểu mà cảm biến có thể phát hiện được. Việc thu nhỏ kích thước cũng như giảm nồng độ mẫu đồng nghĩa với việc tín hiệu sinh ra từ cảm biến sẽ giảm đi nhiều lần, do đó mạch đo phải có khả năng xử lý tín hiệu nhỏ tốt hơn để có thể đáp ứng được yêu cầu. Trong đề tài này, nhóm đề tài sẽ tập trung để nâng cao chất lượng mạch đo đã có, cụ thể là nâng cao độ phân giải tín hiệu thu được để thực hiện các phép đo trong miền tín hiệu nhỏ (100nA – 1uA). Bên cạnh đó, tín hiệu thu được ở vi điều khiển sẽ được truyền đến điện thoại thông minh thông qua giao tiếp không dây. Trong sơ đồ khối này, khối chức năng được tập trung nâng cấp cải thiện sẽ là khối chuyển đổi I-V và khối ADC, do chúng ảnh hưởng trực tiếp đến độ phân giải dòng của tín hiệu. Đồng thời để phát triển phần mềm, một module Bluetooth sẽ được sử dụng để kết nối, truyền dữ liệu giữa vi điều khiển và điện thoại Android.

1.3. Kết luận chương

Ở chương 1 đã trình bày được tổng quan về phương pháp đo lường điện hóa, sơ đồ khối chức năng của hệ đo điện hóa và đối tượng cần nâng cấp. Chương 2 sẽ trình bày thiết kế của hệ đo với đầy đủ chức năng.

CHƯƠNG 2

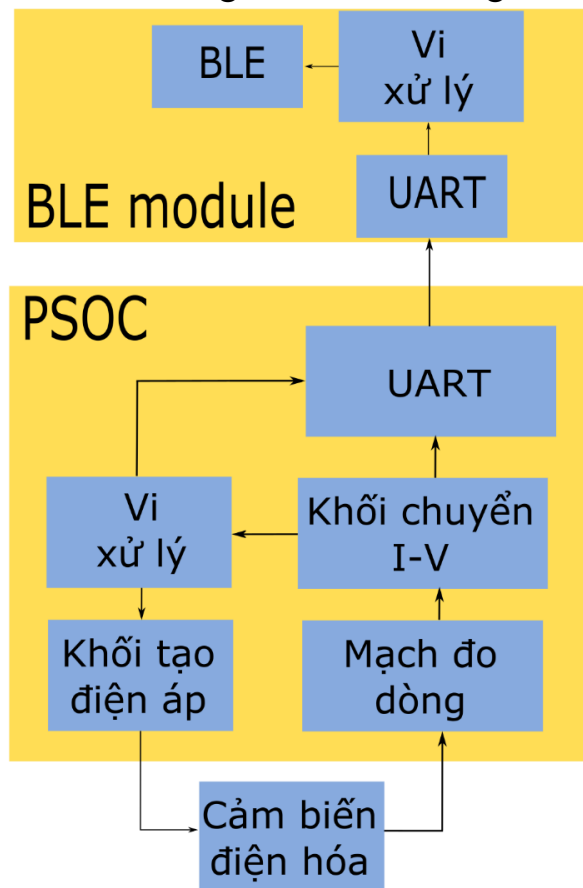
XÂY DỰNG MẠCH ĐO THỬ NGHIỆM VÀ PHẦN MỀM ANDROID THU NHẬN SỐ LIỆU

2.1. Thiết kế, xây dựng mạch đo Potentiostat

Chương 2 sẽ trình bày về các phần cứng, phần mềm và cấu hình cho các thiết bị thực hiện chức năng được mô tả trong chương 1. Nội dung chương 2 được chia làm 2 phần chính: phần 1 bao gồm thiết kế, lập trình cho vi điều khiển và module BLE, phần 2 sẽ mô tả cấu hình và lập trình cho điện thoại Android để thu nhận dữ liệu truyền từ vi điều khiển.

2.1.1. Phần cứng

Dòng chip PsoC của Cypress là một trong những dòng thiết bị có kiểu kiến trúc xử lý kết hợp giữa cả tín hiệu tương tự và số. Với độ linh động cao, nó hoàn toàn cho phép thực hiện tất cả các công việc trên sử dụng một con chip duy nhất.



Hình 2.1. Sơ đồ khối của hệ đo Potentiostat

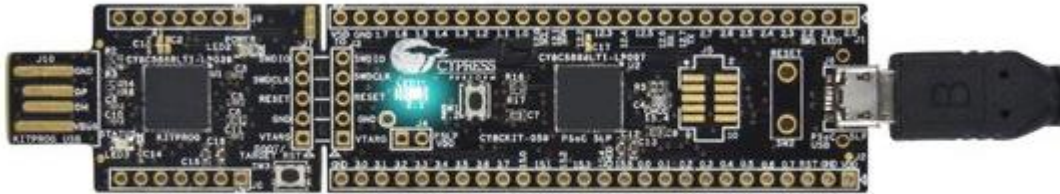
Theo sơ đồ hình 2.1, ta có 2 khối phần cứng chính: khối vi điều khiển và khối BLE.

a. Khối vi điều khiển (PSoC – Programmable System on Chip)

Đề tài sử dụng chip CY8C5888LTI-LP097 thuộc dòng chip PsoC 5LP. PsoC 5LP là dòng vi điều khiển khả trình có độ tích hợp cao, kết hợp giữa các ngoại vi số và tương tự có độ chính xác cao trên nền tảng lõi chip ARM Cortex M3. Một số đặc điểm của dòng vi điều khiển PsoC5LP có thể kể đến bao gồm:

- Bộ vi xử lý lõi ARM 32 bits
- Bộ điều khiển 24 kênh truy cập bộ nhớ trực tiếp
- Module xử lý lọc tín hiệu số 24 bit
- Ngoại vi cho tín hiệu tương tự với độ chính xác cao

Đề tài sử dụng trực tiếp bộ kit CY8CKIT-059 cho phép dễ dàng nạp chương trình cũng như gỡ lỗi.



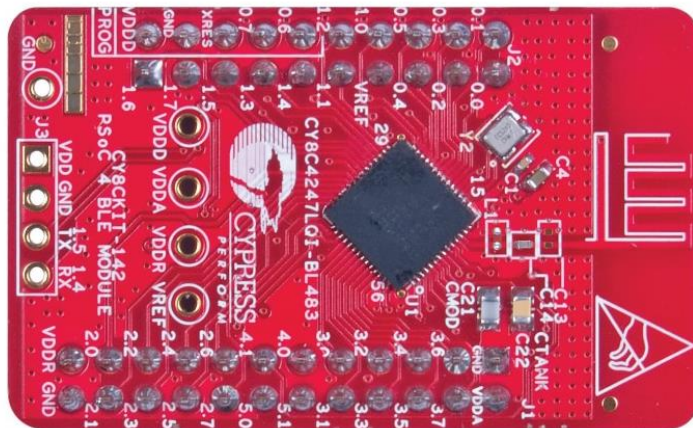
Hình 2.2. Ảnh kit CY8CKIT-059

Bộ kit cho phép truy cập tới tất cả các chân vào/ra của chip PsoC5 LP. Trên kit cũng có sẵn một cổng micro-USB hỗ trợ giao tiếp USB 2.0. Bộ kit cũng đồng thời được tích hợp sẵn mạch nạp cho phép nạp chương trình và gỡ lỗi thông qua chuẩn SWD. Chip nạp cũng hỗ trợ giao tiếp USB-UART và USB-I2C để thử nghiệm với kit. Khi đứng riêng, phần mạch nạp có thể được sử dụng đối với bất kỳ thiết bị PsoC 3, PsoC 4 hay PsoC5. Sau khi nạp chương trình mong muốn cho bộ kit, mạch nạp hoàn toàn có thể được tách ra để sử dụng cho các dự án khác.

b. Module CY8CKIT-143A PsoC4 BLE

Module CY8CKIT-143A thuộc BLE Pioneer Kit là một trong những bộ kit đầu tiên của PsoC cho phép người dùng có thể dễ dàng trải nghiệm Bluetooth năng lượng thấp trong lĩnh vực nhúng. Bên cạnh các ưu điểm của một chip PsoC đã kể trên, việc sử dụng các giao tiếp truyền thông ở khối ngoại vi cho phép module BLE có thể dễ dàng giao tiếp với bất kỳ chip nào khác.

Kit sử dụng chip CY8C4248LQI-BL583 có hỗ trợ giao tiếp BLE. Bản thân trên kit cũng đã có tích hợp sẵn antenna cho phép giao tiếp với thiết bị BLE khác.



Hình 2.3. Module CY8CKIT-143A BLE

2.1.2. Phần mềm thiết kế

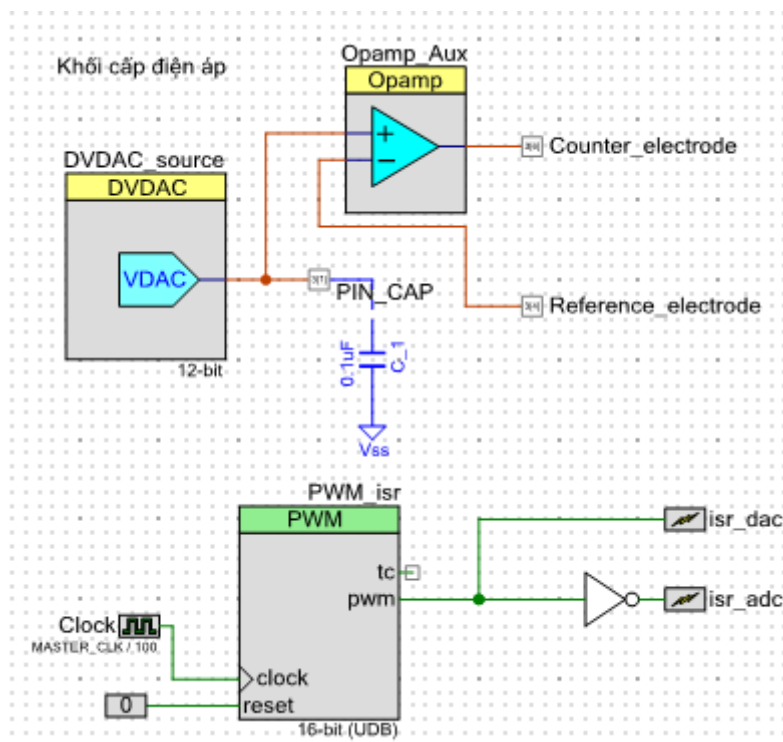
Để lập trình cho chip PsoC cần sử dụng phần mềm PsoC Creator. Phần mềm cho phép thiết kế, chỉnh sửa và biên dịch đồng thời cả phần cứng lẫn phần mềm đối với dòng chip PsoC. Các ứng dụng được xây dựng dựa trên hơn 150 thành phần (components) có sẵn. Các thành phần thực tế là các ngoại vi số và tương tự đã được đóng gói, cho phép lập trình dưới dạng kéo thả, giúp quá trình thiết kế thêm phần dễ dàng. Mỗi thành phần được cấu hình thông qua giao diện cũng như thư viện API cung cấp bởi nhà sản xuất. Sau khi thiết lập các thành phần ngoại vi, firmware có thể được viết, biên dịch và gỡ lỗi ngay bên trong PsoC Creator hoặc chuyển sang định dạng phù hợp với các môi trường lập trình tích hợp khác như IAR hay Eclipse.

2.2. Lập trình mạch đo Potentiostat

Việc lập trình được thực hiện trên cả hai bộ kit, kit CY8CKIT-059 sẽ đóng vai trò đo lường, thu thập dữ liệu từ phép đo điện hóa. Dữ liệu sẽ được truyền giữa kit CY8CKIT-059 sang module CY8CKIT-143A BLE thông qua giao thức UART để truyền dữ liệu tới điện thoại Android.

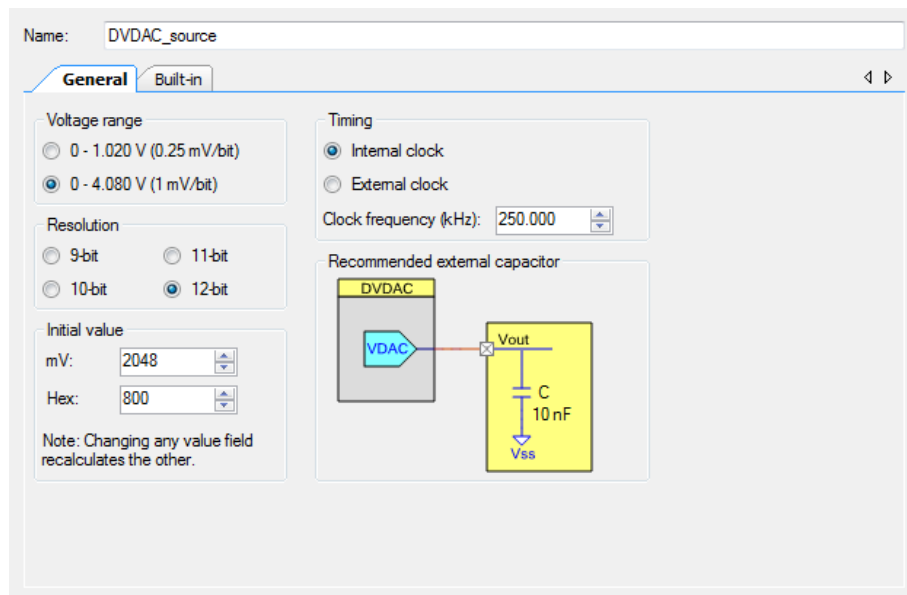
2.2.1. Lập trình mạch đo lường điện hóa

Theo sơ đồ nguyên lý hình 1.1, kit PsoC sẽ thực hiện chức năng của một mạch Potentiostat để đo lường tín hiệu từ cảm biến điện hóa. Các khối chính bao gồm: khối cấp điện áp, khối thu thập tín hiệu và khối truyền dữ liệu.



Hình 2.4. Khối cấp điện áp cho cảm biến điện hóa

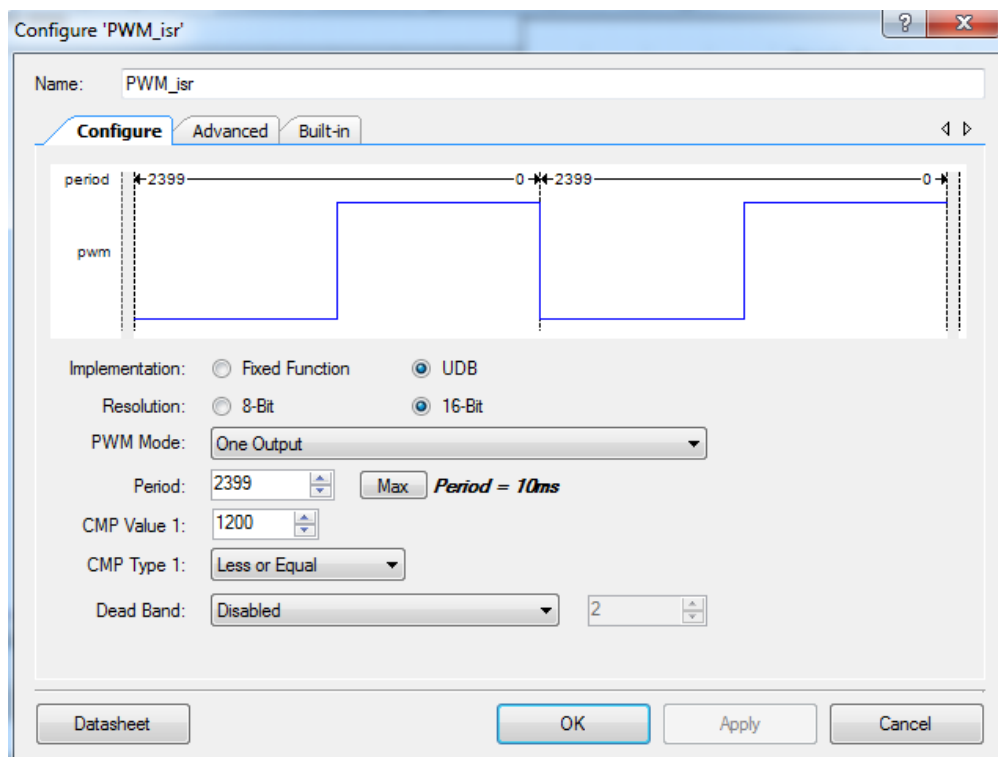
Chip sử dụng module DVDAC với dải điện áp cho phép 0 – 4V trên 12 bit, độ phân giải điện áp cấp đạt được là 1mV/bit.



Hình 2.5. Cấu hình cho khối cấp điện áp DVDAC

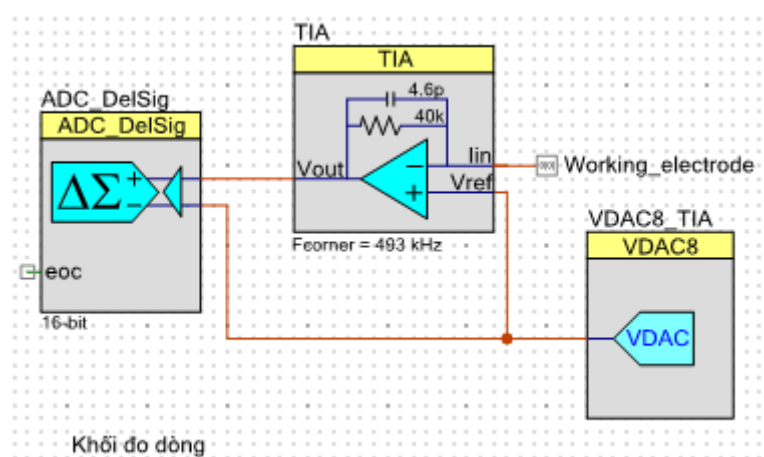
Đối với mạch Potentiostat có một thông số quan trọng là tốc độ quét thế (scan rate). Tốc độ này có thể được thay đổi sử dụng một bộ tạo xung (PWM) và ngắt. Trong một chu kì xung với 50% thời gian tín hiệu ở mức cao và 50% tín hiệu ở mức thấp thấp, tương ứng với đó là module DAC và ADC hoạt động để xuất điện áp và đo tín hiệu từ điện cực làm việc. Để thay đổi tốc độ quét, ta có thể thay đổi tần số xung nhịp của bộ tạo xung PWM.

Phụ thuộc vào chu kì xung clock cấp cho module PWM, bộ PWM cho phép giá trị tối đa của chu kì lên tới 216 chu kì clock, tương đương với 273ms. Trong trường hợp này, thời gian một chu kì xung được thiết lập ở mức 10ms.



Hình 2.6. Cấu hình bộ tạo xung PWM

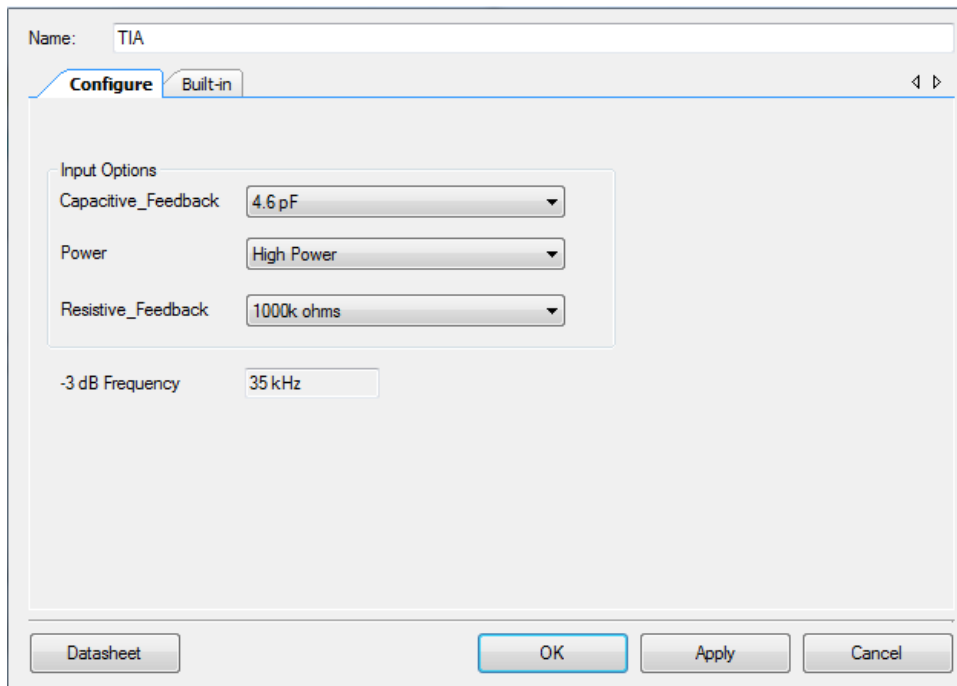
Một điện áp được đặt vào điện cực đối CE kết hợp với điện áp sinh ra từ phản ứng điện hóa trên bề mặt điện cực làm việc sẽ dẫn tới thay đổi tín hiệu dòng điện thu được. Tín hiệu dòng điện sẽ được truyền qua module Transimpedance amplifier – TIA (mạch khuếch đại chuyển dòng – áp) được tích hợp sẵn trong chip PsoC.



Hình 2.7. Mạch chuyển dòng – áp và chuyển đổi tín hiệu tương tự - số

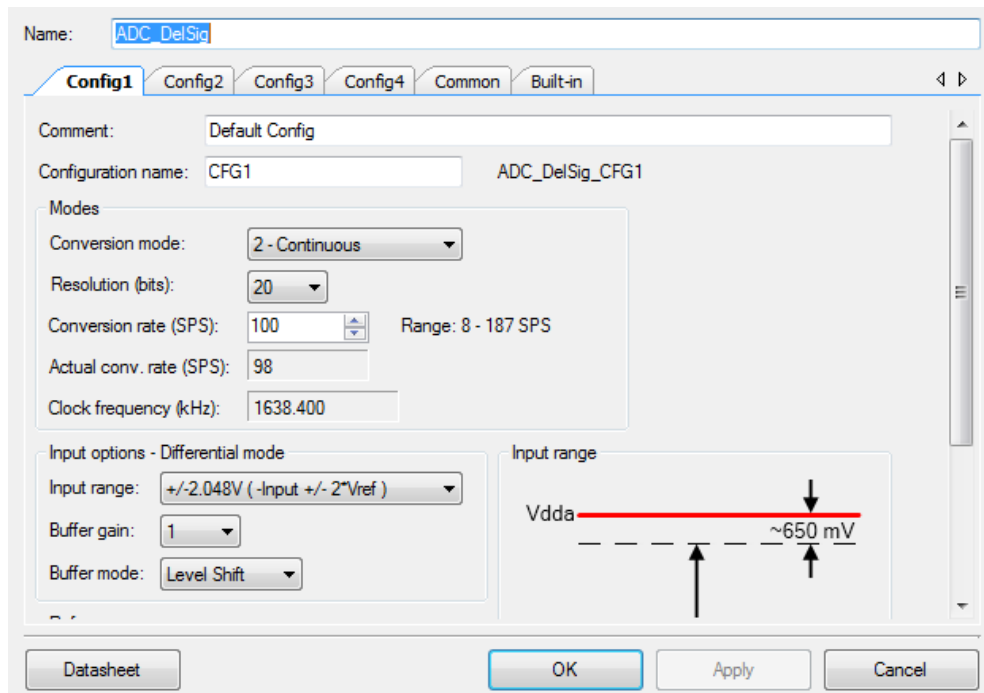
Trên hình 2.7, tín hiệu dòng điện sinh ra từ điện cực làm việc được đưa qua bộ TIA để chuyển sang tín hiệu điện áp, sau đó tín hiệu tương tự được qua tín hiệu số thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự - số ADC (Analog – Digital Converter).

Module TIA chuyển đổi dòng – áp cho phép lựa chọn giá trị điện trở hồi tiếp trong khoảng 20k cho tới 1000k ohm, kết hợp với tụ điện hồi tiếp tạo mạch lọc nhiễu. Giá trị điện trở được thiết lập phụ thuộc vào dòng điện đầu vào, giá trị điện trở lên tới 1000k ohm cho phép tín hiệu dòng điện thu được nhỏ nhất ở mức nA. Trong đề tài này, để đo được dòng điện ở mức nA, giá trị điện trở hồi tiếp được thiết lập ở mức 1000k ohm và tụ điện hồi tiếp có giá trị 4.6 pF cho tần số lọc thông thấp ở -3 dB là 35 kHz.



Hình 2.8. Cấu hình cho bộ chuyển đổi dòng – áp TIA

Để chuyển đổi tín hiệu điện áp tương tự - số, module chuyển đổi ADC được sử dụng. Trên chip PsoC cung cấp một số module ADC với mục tiêu hoạt động trong các trường hợp khác nhau. Module ADC Delta Sigma thường được lựa chọn trong các ứng dụng yêu cầu đo lường chính xác, với mức năng lượng tiêu thụ thấp và nhiễu thấp. Delta Sigma ADC cho phép chuyển đổi tín hiệu với độ chính xác cao lên tới 20-bit tại tốc độ thấp, phù hợp với các ứng dụng đo lường cảm biến.

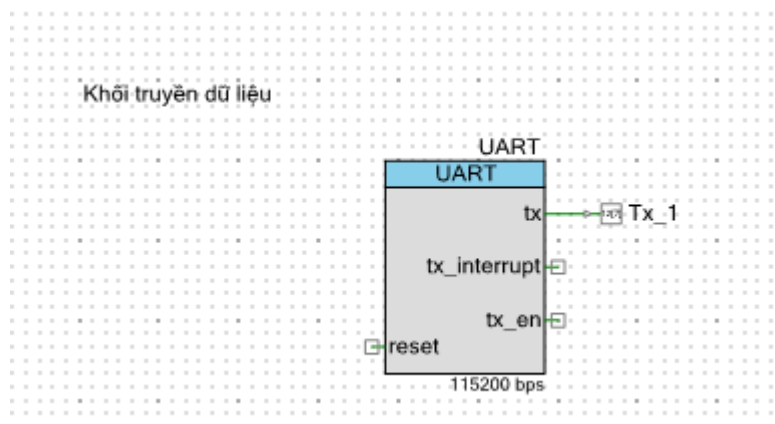


Hình 2.9. Cấu hình module ADC Delta Sigma

Module Delta Sigma ADC được thiết lập ở chế độ hoạt động liên tục, với độ phân giải 20 bits ở tốc độ 100 mẫu/giây. Dải điện áp đầu vào được thiết lập từ

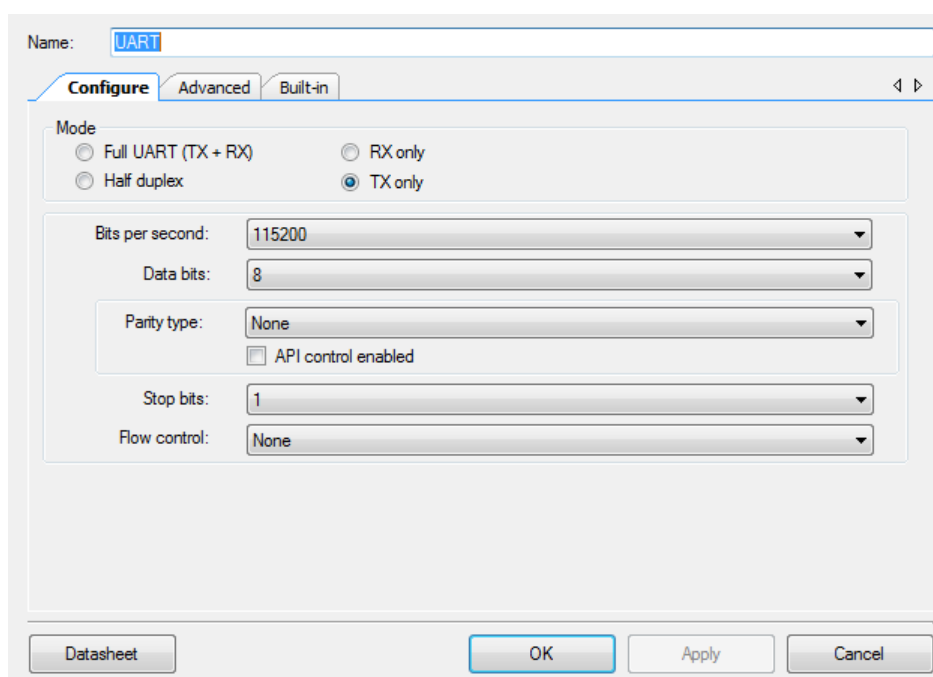
GND cho tới điện áp đầu vào 5V của vi điều khiển. Ở đây, cả bộ TIA cũng như module ADC đều được cấp một điện áp so sánh 2V thông qua bộ VDAC 8bit, mục tiêu để tín hiệu thu được luôn nằm trong khoảng tuyến tính của module TIA cũng như module ADC.

Tín hiệu điện áp sau khi được chuyển đổi bởi bộ ADC sẽ được truyền qua module BLE thông qua giao thức UART



Hình 2.10. Module UART truyền dữ liệu tới module BLE

Trong đề tài này, module được thiết lập để truyền dữ liệu qua module BLE, qua đó hiển thị dữ liệu trên điện thoại Android. Module UART được cấu hình như sau:



Hình 2.11. Cấu hình module UART

- Baud rate: 115200
- Số bit truyền trong một lần: 8 bit
- Parity: None
- Stop bits: 1

2.2.2. Lập trình module truyền phát dữ liệu BLE – CY8CKIT-143A

a. Giới thiệu về công nghệ BLE

Công nghệ Bluetooth năng lượng thấp (Bluetooth Low Energy) được thiết kế với mục đích chuyên biệt trong miền ứng dụng cụ thể, với các đặc tính như sau:

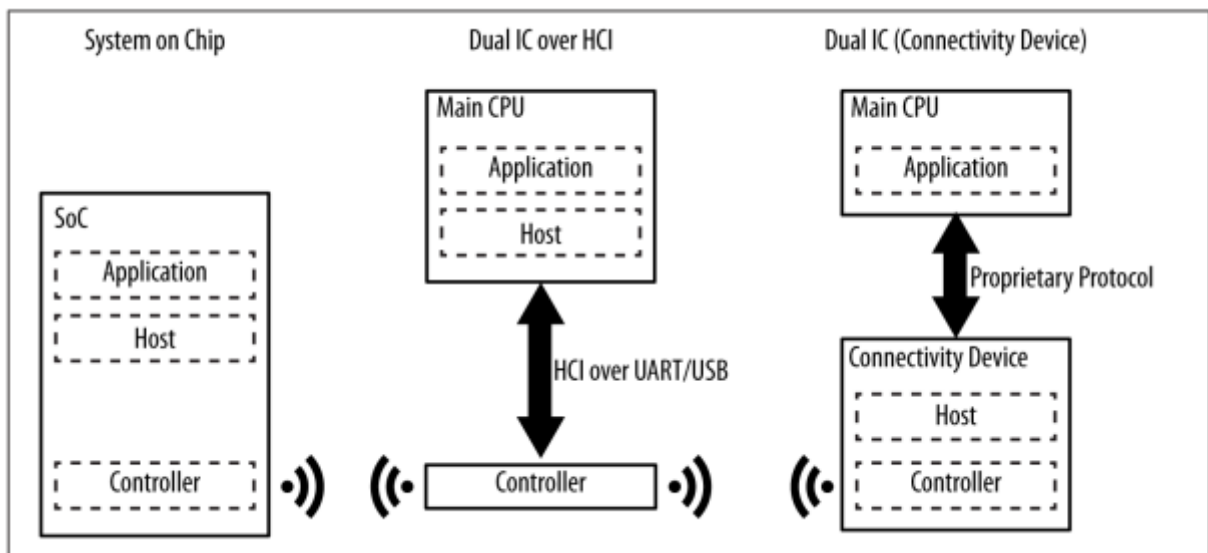
- Siêu tiết kiệm năng lượng, cho phép thiết bị hoạt động trong vài tháng hoặc vài năm chỉ với một viên pin đồng xu (coin-cell battery);
- Khoảng cách ngắn, hoạt động ổn định trong phạm vi 10m;
- Dữ liệu truyền tải không lớn, thích hợp cho các ứng dụng điều khiển không liên tục hoặc cảm biến.

Các ứng dụng điển hình sử dụng BLE như thiết bị theo dõi sức khỏe, beacons, nhà thông minh, an ninh, giải trí, cảm biến tiệm cận, ô tô. Trung tâm của một hệ thống ứng dụng BLE thường là Smart phones, tablets và PCs.

Mỗi thiết bị Bluetooth gồm 3 khối chính sau:

- Application: Ứng dụng người dùng giao tiếp với Bluetooth protocol stack.
- Host: Các lớp trên của Bluetooth protocol stack.
- Controller: Các lớp dưới của Bluetooth protocol stack (bộ giao thức cho phép các thiết bị Bluetooth giao tiếp với nhau), bao gồm chức năng truyền nhận radio.

Thiết bị Bluetooth LE có thể được sử dụng theo nhiều cách khác nhau, dưới đây là 3 kiểu cấu hình phần cứng chính:



Hình 2.12. Sơ đồ giao tiếp các thiết bị BLE

Giới hạn của BLE:

- Thông lượng dữ liệu nhỏ:

+ Tần số điều chế của sóng BLE trong không gian là 1Mbps. Đây là giới hạn trên của thông lượng theo lý thuyết. Tuy nhiên trong thực tế tham số này nhỏ hơn do ảnh hưởng của nhiều yếu tố.

+ Khoảng cách gần: Các yếu tố ảnh hưởng đến khoảng cách truyền thông như môi trường hoạt động, thiết kế anten, vật cản, hướng thiết bị,... BLE tập trung vào các ứng dụng truyền thông trong phạm vi gần.

Với BLE ta có:

- Khoảng cách lý thuyết: 100m (điều kiện tốt).
- Khoảng cách khả thi: 30m.
- Khoảng cách thường được sử dụng: 2-5m.

b. Mô hình mạng truyền thông cho BLE

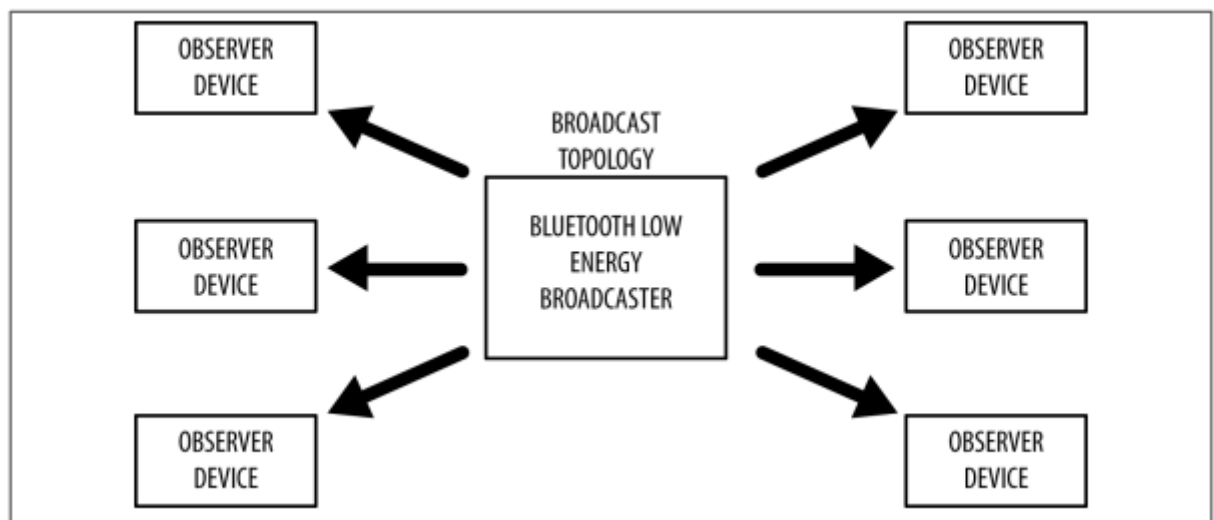
Một thiết bị BLE có thể giao tiếp với bên ngoài thông qua 2 cơ chế: Broadcasting hoặc Connection. Mỗi cơ chế có thể mạnh riêng, cả hai được thiết lập bởi GAP (Generic Access Profile)

- Broadcasting và Observing

Mô hình Broadcasting và Observing được thể hiện như hình 2.14. Trong đó:

+ Thiết bị Broadcast: Gửi các gói tin quảng bá phi kết nối đến bất kỳ thiết bị nào có thể nhận

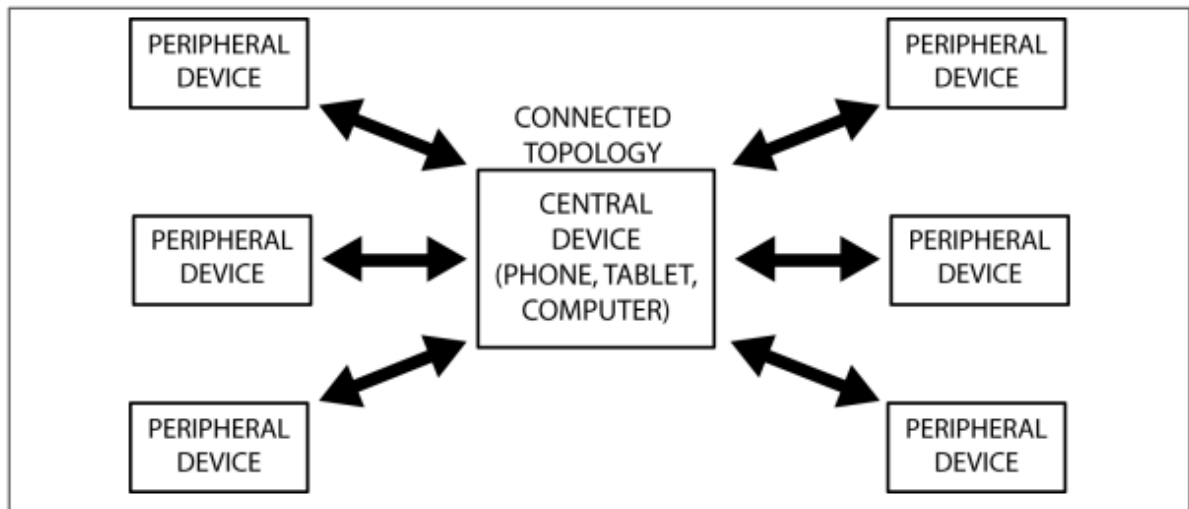
+ Thiết bị Observer: Quét liên tục theo tần số đặt trước để nhận các gói tin quảng bá phi kết nối



Hình 2.13. Mô hình Broadcast

Đây là kiểu truyền thông cho phép một thiết bị có thể truyền dữ liệu đến nhiều thiết bị khác nhau cùng một lúc. Đây là cơ chế nhanh chóng và dễ sử dụng, là lựa chọn tốt nếu muốn truyền lượng nhỏ dữ liệu đến nhiều thiết bị cùng lúc. Hạn chế là dữ liệu không được bảo đảm an ninh, vì thế không phù hợp để truyền các dữ liệu nhạy cảm.

- Connection: Khi kết nối theo kiểu Connection, hai thiết bị sẽ đóng vai trò Master và Slave trong quá trình truyền nhận dữ liệu.



Hình 2.14. Mô hình connection

- + Thiết bị Central (Master): Quét các gói tin quảng bá hướng kết nối theo tần số đặt trước, khi phù hợp thì khởi tạo một kết nối với một peripheral. Central quản lý thời gian kết nối và bắt đầu những sự trao đổi dữ liệu theo chu kỳ.
- + Thiết bị Peripheral (Slave): Phát các gói tin quảng bá hướng kết nối theo chu kỳ và chấp nhận kết nối do central yêu cầu.

Để khởi tạo kết nối, slave ban đầu sẽ phát các gói tin quảng bá ra không gian. Thiết bị central nhận được các gói tin quảng bá của slave, trong đó chứa các thông tin cần thiết cho phép kết nối với slave đó. Dựa trên đó, central sẽ gửi yêu cầu kết nối đến slave để có một kết nối riêng giữa hai thiết bị. Việc quảng bá sẽ dừng sau khi hai thiết bị được kết nối.

Vai trò Master và slave không ảnh hưởng đến việc truyền dữ liệu, mặc dù Master là bên quản lý thiết lập kết nối. Connection có một số lợi thế so với Broadcasting như:

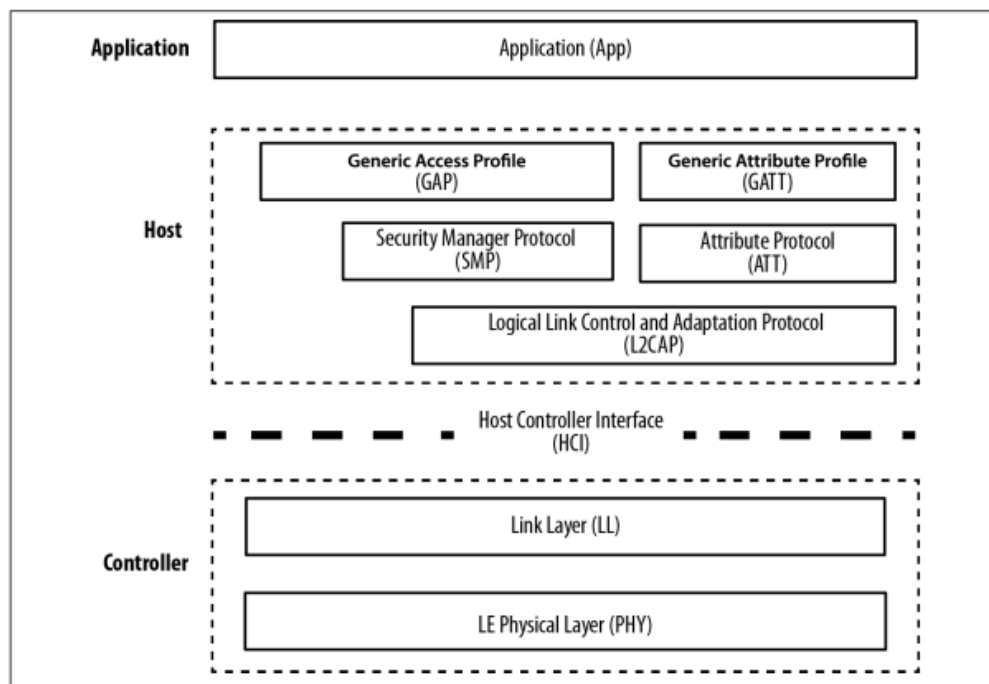
- Thông lượng cao
- Khả năng thiết lập kết nối liên kết mã hóa an ninh
- Khả năng quản lý năng lượng tối ưu hơn
- Khả năng tổ chức dữ liệu với nhiều sự thay đổi phù hợp cho các thuộc tính thông qua việc sử dụng các lớp giao thức bổ sung thêm, đặc biệt là Generic Attribute Profile (GATT). Dữ liệu được tổ chức theo cấu trúc xoay quanh services và characteristics.

c. Protocols và Profiles

Để hai thiết bị có thể giao tiếp với nhau thông qua chuẩn BLE, các thiết bị BLE cần tuân theo một số quy định, chúng được khái quát hóa thành các giao thức và cấu hình.

- Protocol (Giao thức): Tập các luật quy định việc định dạng gói tin, định tuyến, dồn kênh, mã hóa,... để trao đổi dữ liệu giữa các bên.
- Profile (Cấu hình): Định nghĩa cách mà giao thức được dùng để đạt các mục tiêu cụ thể. Có hai loại cấu hình là cấu hình chung (generic profiles) và cấu hình cụ thể theo trường hợp sử dụng (use-case profiles)
 - + Generic profiles: các profile cơ sở được định nghĩa trong tài liệu Bluetooth Specifications, đặc biệt là hai profiles không thể thiếu giúp các thiết bị BLE kết nối và trao đổi dữ liệu với nhau, GAP và GATT.
 - + Use-case profile: Các profile cho các trường hợp sử dụng cụ thể: Các profile do Bluetooth Special Interest Group (SIG) định nghĩa và các profile do vendor tự định nghĩa.

Về mặt cấu hình, bên trong bộ giao thức BLE có một số thành phần như sau:



Hình 2.15. BLE Protocol stack

Bộ giao thức cho thiết bị BLE (BLE stack) được chia thành 3 phần chính: controller, host và application. Mỗi phần bao gồm một hoặc nhiều layer với các chức năng khác nhau:

- **Application:** Là lớp cao nhất của bộ giao thức, cung cấp giao diện người dùng, xử lý logic, và điều khiển dữ liệu của mọi thứ liên quan đến các trường hợp hoạt động của ứng dụng. Kiến trúc của application phụ thuộc nhiều vào từng bài toán cụ thể.
- **Host:**
 - + Generic Access Profile (GAP)

- + Generic Attribute Profile (GATT)
- + Attribute Protocol (ATT)
- + Security Manager (SM)
- + Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)
- + Host Controller Interface (HCI), Host side
- Controller
 - + Host Controller Interface (HCI), Controller side
 - + Link Layer (LL)
 - + Physical Layer (PHY)

Chức năng của từng lớp được mô tả trong bảng 1:

Controller	
Physical Layer	<p>Là lớp thấp nhất làm nhiệm vụ truyền nhận tín hiệu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chuyển đổi qua lại giữa tín hiệu số và tương tự • Điều chế và giải điều chế tín hiệu • Dải tần sử dụng 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific, Medical), chia làm 40 kênh từ 2.4 GHz đến 2.4835 GHz
Link Layer	<p>Quản lý liên kết</p> <ul style="list-style-type: none"> • Được cài đặt ở cả phần cứng và phần mềm • Các chức năng thường được cài đặt trong phần cứng: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Preamble, Access Address, and air protocol framing ◦ CRC generation and verification ◦ Data whitening ◦ Random number generation ◦ AES encryption • Link Layer định nghĩa các vai trò sau: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Advertiser: Một thiết bị gửi các gói tin quảng bá ◦ Scanner: Một thiết bị quét các gói tin quảng bá ◦ Master: Một thiết bị khởi tạo 1 kết nối và quản lý nó ◦ Slave: Một thiết bị chấp nhận 1 yêu cầu kết nối và tuân theo master's timing. • Bluetooth Device Address: tương tự như địa chỉ MAC trong card mạng của PC.

Host Controller Interface (HCI), Controller side	Giao diện để kết nối giữa host và controller
Host	
L2CAP	<p>2 chức năng chính:</p> <ul style="list-style-type: none"> Như một giao thức dồn kênh, từ nhiều giao thức lớp trên rồi đóng gói thành định dạng gói BLE chuẩn và ngược lại Phân mảnh và tái kết hợp: lấy các gói dữ liệu lớn từ các lớp trên và chia chúng thành các gói BLE 27 byte tại bên truyền. Tại bên nhận nó làm ngược lại
Attribute Protocol	<p>ATT là một giao thức client/server phi trạng thái đơn giản dựa trên các thuộc tính được thể hiện bởi một thiết bị. Trong BLE, mỗi device là một client, một server, hoặc cả hai, không phân biệt nó là master hay slave. Một client yêu cầu dữ liệu từ 1 server, và 1 server gửi dữ liệu đến các client</p> <ul style="list-style-type: none"> Mỗi server chứa dữ liệu được tổ chức theo dạng của các thuộc tính (attributes), mỗi một thuộc tính được gắn với một handle 16bit, 1 UUID (ID duy nhất), tập giới hạn quyền, 1 giá trị. Khi một client muốn đọc hoặc ghi các giá trị thuộc tính từ/đến một server, nó phát ra một read request hoặc write request đến server với handle. Server sẽ đáp ứng với giá trị thuộc tính hoặc một tín hiệu ACK. Trường hợp hoạt động đọc, client phân tích giá trị và hiểu kiểu dữ liệu dựa trên UUID của thuộc tính. Khi ghi, client mong đợi để cung cấp dữ liệu với kiểu thuộc tính và server sẵn sàng để nhận
Security Manager	Chuỗi các thuật toán có thể được dùng để bảo đảm an ninh cho quá trình truyền nhận dữ liệu qua BLE
Generic Attribute Profile	<p>Dựa trên ATT và bổ sung thêm một hệ phân cấp và mô hình dữ liệu</p> <ul style="list-style-type: none"> Định nghĩa cách tổ chức dữ liệu và trao đổi dữ liệu giữa các ứng dụng. Dữ liệu được đóng gói trong các services. Trong services gồm các characteristics
Generic Access Profile	Chỉ ra cách các thiết bị thực hiện các thủ tục như tìm kiếm thiết bị, kết nối, thiết lập an ninh, các thủ tục khác để đảm

bảo các hoạt động nội bộ và cho phép trao đổi dữ liệu diễn ra giữa các thiết bị của các hãng sản xuất khác nhau

Bảng 1: Mô tả chức năng các lớp của giao thức BLE

Tuy nhiên, để dễ dàng cho việc lập trình và ứng dụng BLE, nhà sản xuất thường cung cấp bộ giao thức và các thư viện để trừu tượng hóa các lớp phía dưới. Chủ yếu vai trò GAP và GATT của giao thức cần được cấu hình để giao thức BLE có thể hoạt động.

GAP (Advertising and Connections)

GAP (Generic Access Profile) là nền tảng cho phép các thiết bị BLE giao tiếp với nhau. Nó cung cấp một framework mà bất cứ thiết bị BLE nào cũng phải tuân theo để có thể tìm kiếm các thiết bị BLE (Bluetooth) khác, quảng bá dữ liệu, thiết lập kết nối an ninh, thực hiện nhiều hoạt động nền tảng theo một chuẩn.

Tài liệu BLE Specifications định nghĩa các khái niệm sau khi xét đến sự tương tác giữa các thiết bị:

- Roles: Mỗi thiết bị có thể hoạt động theo một hoặc nhiều vai trò khác nhau tại cùng một thời điểm: broadcaster, observer, central, peripheral.
- Modes: Một mode là một trạng thái mà thiết bị có thể chuyển đến trong một khoảng thời gian để đạt được một mục đích cụ thể hoặc nhiều điều đặc biệt, để cho phép một peer thực hiện một thủ tục cụ thể.
- Procedures: Là các thủ tục (thường thì Link Layer điều khiển sự trao đổi gói tin) để cho phép một thiết bị đạt được một mục đích chắc chắn. Một thủ tục thường được liên kết với một mode, nên mode và procedure thường được xem xét cùng nhau.
- Security: GAP xây dựng dựa trên Security Manager và Security Manager Protocol (định nghĩa các modes và procedures an ninh để xác định cách mà các thiết bị đặt mức an ninh khi trao đổi dữ liệu). Ngoài ra GAP định nghĩa thêm các tính năng an ninh cao hơn mà không gắn với modes và procedures cụ thể nào, tăng cường mức bảo vệ dữ liệu được yêu cầu bởi mỗi ứng dụng.

Xét một cách bản chất thì GAP là lớp điều khiển cao nhất của BLE (Topmost control layer) và là cấu hình bắt buộc cho tất cả thiết bị BLE.

GATT (Services and Characteristics)

GATT thiết lập chi tiết cách trao đổi tất cả profile và dữ liệu người dùng qua kết nối BLE. Ngược lại với GAP (định nghĩa sự tương tác mức thấp với các thiết bị), GATT chỉ trình bày các thủ tục truyền và định dạng dữ liệu thực tế

GATT sử dụng ATT và giao thức truyền của nó để trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị. Dữ liệu này được tổ chức phân cấp thành các phần gọi là services, nó nhóm các phần khái niệm liên quan của dữ liệu người dùng gọi là characteristic.

Nói một cách ngắn gọn thì dữ liệu truyền qua BLE là dữ liệu có cấu trúc, mà cụ thể là được tổ chức phân cấp thành services và characteristics.

- Roles

- + **GATT Client:** tương ứng với ATT client, gửi yêu cầu đến server và nhận kết quả phản hồi. Ban đầu, GATT Client không biết server hỗ trợ những thuộc tính nào vì thế nó cần phải thực hiện service discovery.

- + **GATT Server:** tương ứng ATT server, nhận yêu cầu từ client và gửi những nội dung tương ứng.

Chú ý rằng các vai trò của GATT không phụ thuộc vào vai trò của GAP. Có nghĩa là cả GAP Central và GAP Peripheral có thể hoạt động như GATT Client hoặc GATT Server hoặc thậm chí là cả hai tại cùng một thời điểm.

- UUIDs

Là một số định danh thiết bị, dài 128 bit (16 byte) duy nhất trên thế giới. Vì độ dài quá lớn, chiếm phần lớn trong gói dữ liệu, BLE Specification định nghĩa thêm 2 định dạng UUID: 16bit và 32 bit. Các định dạng ngắn này có thể chỉ được sử dụng với UUID được định nghĩa trong BT Specification.

- Attributes

- + Là thực thể dữ liệu nhỏ nhất được định nghĩa bởi GATT (và ATT).

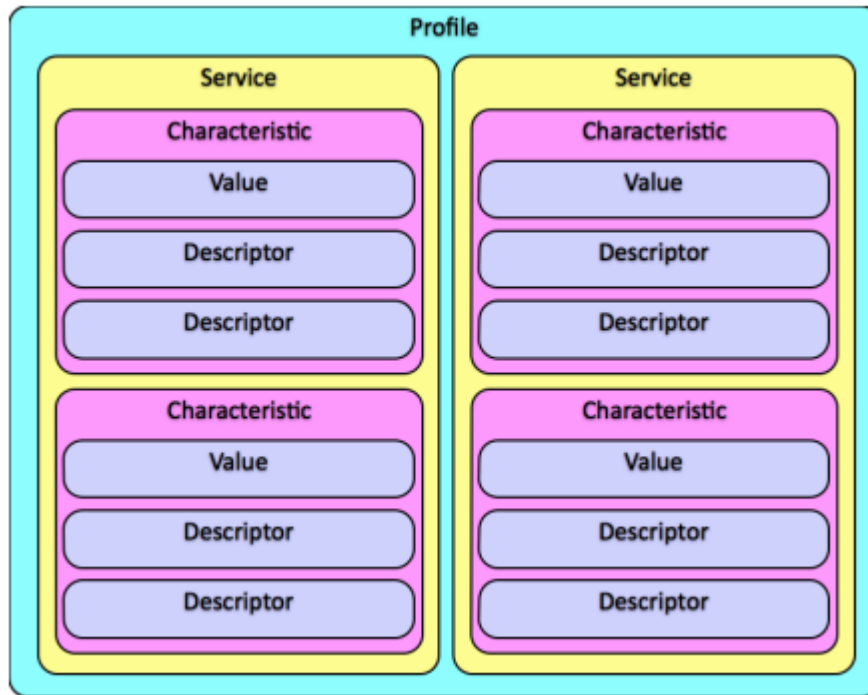
- + Cả GATT và ATT chỉ làm việc với attributes nên để tương tác giữa client và server tất cả dữ liệu phải được tổ chức theo định dạng này.

- + Mỗi attribute chứa thông tin về chính nó là dữ liệu người dùng và được mô tả như sau:

- Handle: số 16 bit duy nhất trên mỗi server để địa chỉ hóa attribute
- Type: là kiểu UUID, 16bit – 32bit – 128 bit
- Permission: xác định các ATT operation có thể thực thi trên attribute cụ thể
- Value: chứa phần dữ liệu thực tế trong attribute, giới hạn 512 byte

- Services và Characteristics

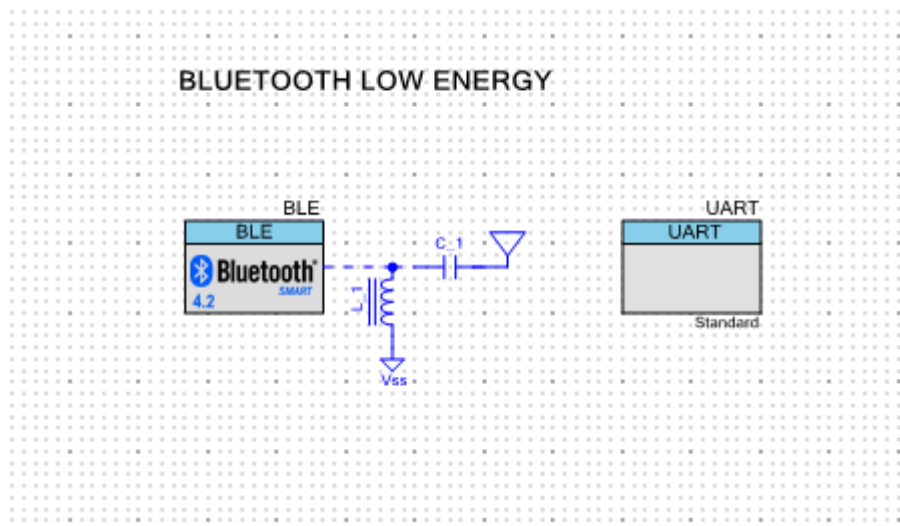
Dữ liệu trao đổi thông qua kết nối BLE là dữ liệu có cấu trúc, được tổ chức phân cấp thành các services, bản thân services lại bao gồm các characteristics.



Hình 2.16. Cấu trúc của một profile

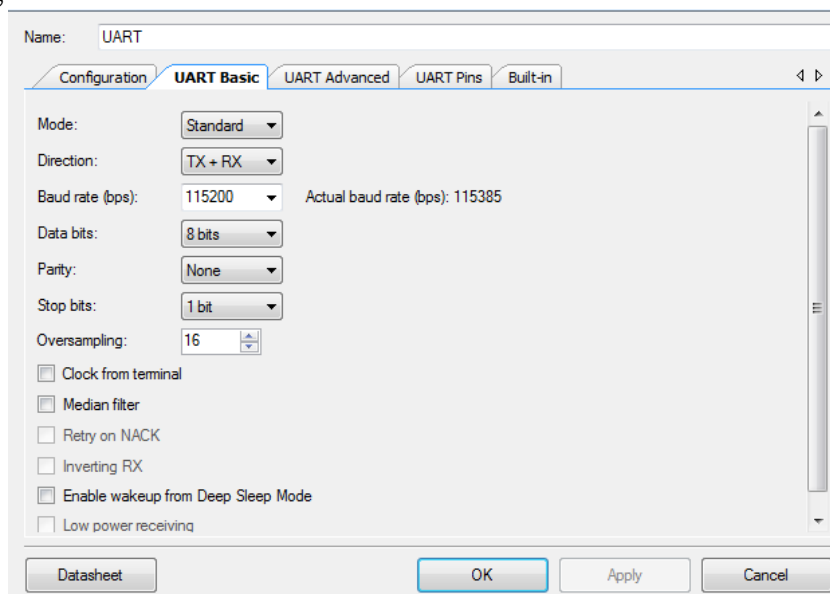
GAP và GATT là hai nền tảng cho mọi ứng dụng BLE. Để thuận tiện cho việc sử dụng, tổ chức Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) định nghĩa một số profile/service chuẩn cho các ứng dụng như Heart Rate Monitor, Battery, Health Thermometer, etc. Có thể nói, GAP xác định vai trò và chức năng của từng thiết bị trong giao tiếp, trong khi đó GATT sẽ định nghĩa dữ liệu truyền nhận trong giao tiếp.

Trong đề tài này, kit CY8CKIT-143A chủ yếu để truyền nhận tín hiệu BLE, không có các thành phần xử lý tín hiệu tương tự. Do đó, ta lập trình chức năng của hệ đo Potentiostat trên kit CY8CKIT-059 và truyền dữ liệu qua UART tới module BLE, tại đây module CY8CKIT-143A sẽ làm nhiệm vụ truyền nhận không dây qua giao thức BLE.



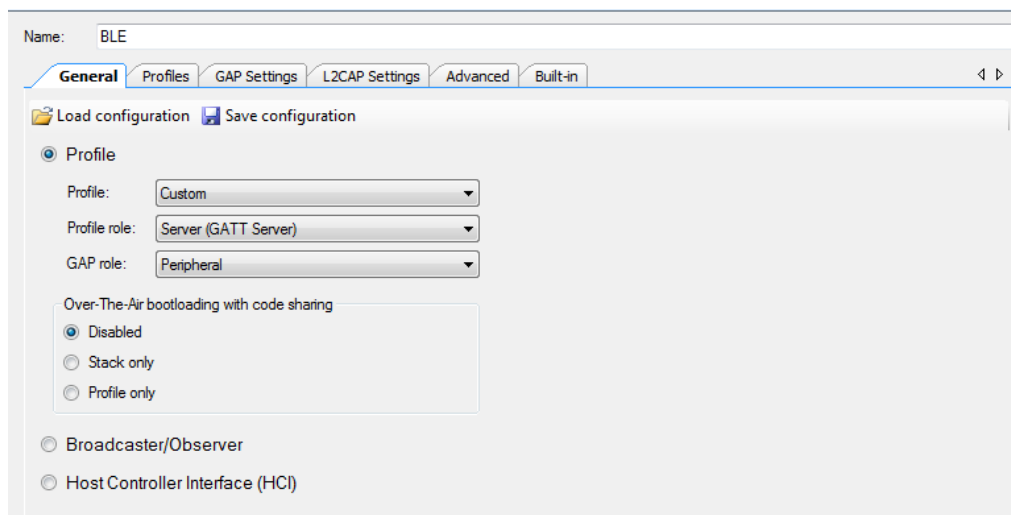
Hình 2.17. Lập trình Kit CY8CKIT-143A

Hình 2.17 mô tả các thành phần sử dụng để lập trình cho kit CY8CKIT-143A, bao gồm module UART và module BLE.



Hình 2.18. Cấu hình thành phần UART

Dữ liệu nhận được thông qua thành phần UART sẽ được truyền tiếp bởi thành phần BLE.

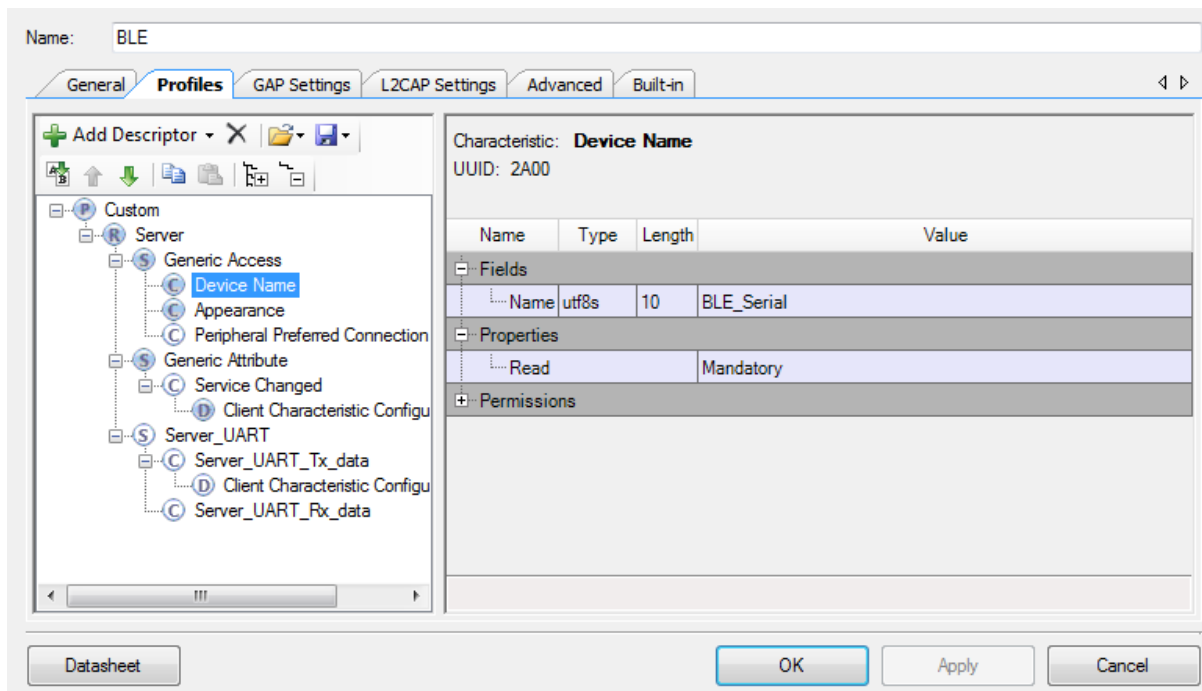


Hình 2.19. Cấu hình module BLE

Trong số các profile được định nghĩa bởi tổ chức BLE SIG, không có profile nào phù hợp với dữ liệu chúng ta cần truyền. Do đó, chúng ta tự định nghĩa một profile (custom profile) để truyền tín hiệu đo lường, cụ thể là điện áp đặt vào và dòng điện đo được (chuyển đổi từ ADC). Trên hình 2.20, các thiết lập như sau:

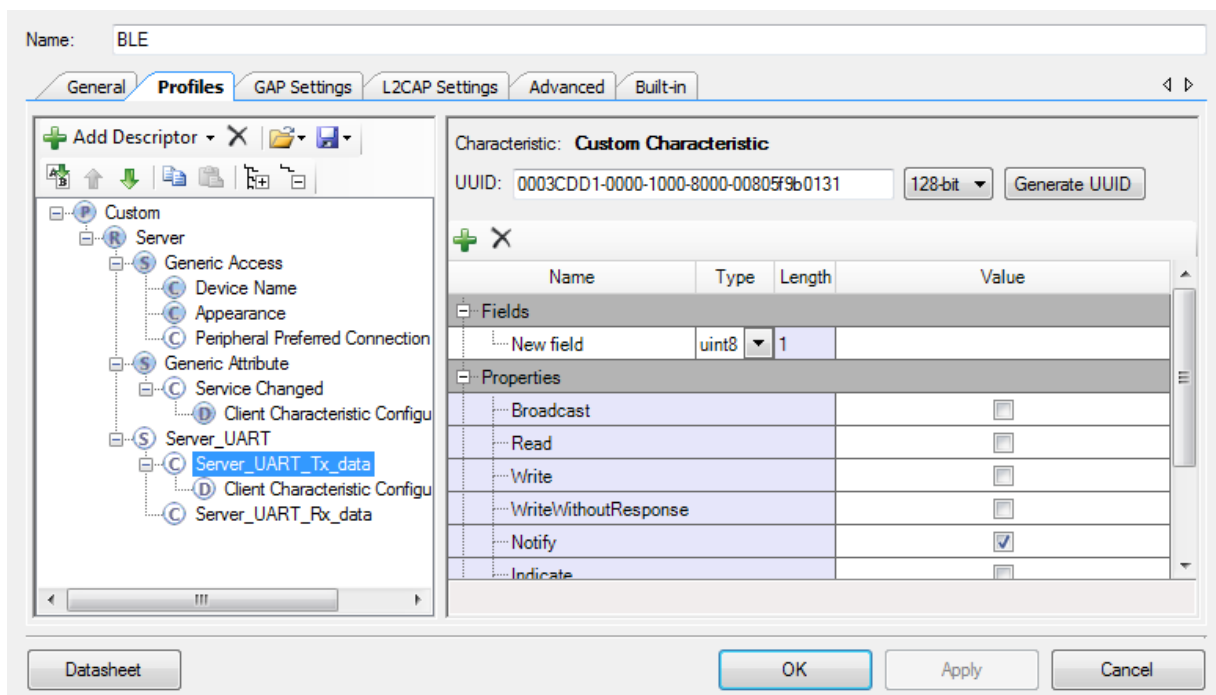
- Profile: Custom
- Profile role: Server (GATT server)
- GAP role: Peripheral

Cụ thể hơn, trong phần Profile, một số thông tin khác có thể được thiết lập bao gồm tên của thiết bị khi được thiết bị khác quét. Ở đây, thiết bị sẽ hiện tên BLE_Serial khi được quét bằng giao thức BLE bởi một thiết bị khác.



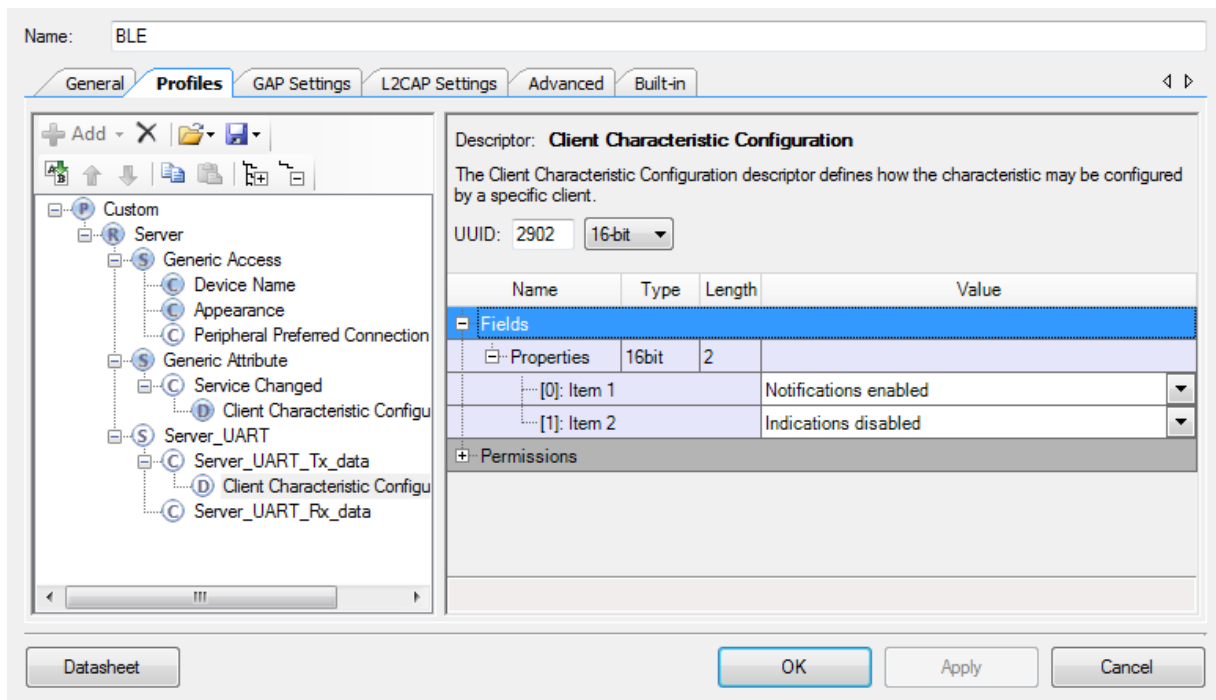
Hình 2.20. Thiết lập tên của thiết bị trong giao tiếp BLE

Như trên đã phân tích, một profile giao tiếp BLE sẽ bao gồm Profile, Role, Service và Characteristics (theo thứ bậc). Những thông số khác có thể để mặc định, ở đây ta chú ý tới thiết lập service và characteristics để truyền nhận dữ liệu.



Hình 2.21 Cấu hình Service cho giao tiếp BLE

Phương thức được lựa chọn để truyền dữ liệu ở đây là Notify, module BLE sẽ liên tục phát đi tín hiệu mà không cần sự xác nhận của điện thoại Android.



Hình 2.22. Cấu hình Characteristics cho giao tiếp BLE

Như có thể thấy trên hình 2.22, dữ liệu được truyền đi dưới dạng characteristics của service, số lượng dữ liệu truyền đi là 4 bytes, tương ứng 2 bytes cho dữ liệu DAC và 2 bytes cho dữ liệu ADC.

2.3. Xây dựng phần mềm thu nhận số liệu trên Android

2.3.1. Phân tích xác định yêu cầu kỹ thuật của phần mềm

a. Giới thiệu chung về nền tảng Android

Chức năng chính của phần mềm là hiển thị và thể hiện dữ liệu đo được dưới dạng đồ theo thời gian thực bằng giao thức Bluetooth.

Android là một hệ điều hành do Google phát triển và duy trì được sử dụng trên nhiều thiết bị bao gồm điện thoại thông minh, máy tính bảng và các thiết bị thông minh khác.

Lý do chọn nền tảng Android:

- Android là hệ điều hành di động có thị phần lớn nhất thế giới
- Các ứng dụng Android dễ dàng được lập trình trên tất cả các nền tảng phổ biến.
- Kho ứng dụng vô cùng phong phú cũng như khả năng cài đặt ứng dụng bằng file .apk giúp tiếp cận với người dùng cuối dễ dàng hơn nền tảng iOS.
- Android là hệ điều hành mã nguồn mở với số lượng đông đảo lập trình viên trên thế giới khiến việc phát triển ứng dụng dễ dàng hơn với sự trợ giúp từ cộng đồng rất lớn của mình.

Từ các lý do đó, chọn Android là nền tảng đầu tiên khi phát hành các phiên bản đầu của ứng dụng được đa phần các lập trình viên lựa chọn. Sau đó mới phát triển rộng trên các hệ điều hành khác.

b. Cấu trúc của một ứng dụng trên Android

Một ứng dụng trên hệ điều hành Android bao gồm các thành phần:

- Source code: Các ứng dụng trên hệ điều hành Android có thể được dễ dàng lập trình trên phần mềm Android Studio – một phần mềm có mặt và được hỗ trợ trên tất cả các hệ điều hành chính dành cho PC.
- Resource: Bao gồm ảnh, file âm thanh, các hằng số được khai báo trong toàn bộ ứng dụng và cơ sở dữ liệu của ứng dụng dưới dạng SQLite.
- Giao diện: Giao diện của ứng dụng Android được thiết kế sử dụng file XML kết hợp với sử dụng các thành phần tài nguyên ứng dụng. Cùng với logic được khai báo trong source code của ứng dụng sẽ tạo ra giao diện người dùng cuối cùng của ứng dụng.

2.3.2. Thiết kế ứng dụng

Ứng dụng bao gồm các thành phần chính:

- Khối giao tiếp Bluetooth
- Khối xử lý dữ liệu
- Khối xử lý giao diện người dùng

a. Khối giao tiếp bluetooth

Nhiệm vụ: Giao tiếp với thiết bị phân cứng thông qua giao thức Bluetooth để giám sát thiết bị đo.

Bản thân bộ kit phát triển mặc định của Android đã có thư viện điều khiển và giao tiếp Bluetooth Low Energy.

Thiết bị đo và ứng dụng Android sẽ giao tiếp với nhau qua giao thức Bluetooth BLE.

- Đầu tiên, thiết bị đo sẽ phát ra các gói tin quảng cáo, ứng dụng sẽ sử dụng API BluetoothLeScanner để quét các thiết bị BLE.
- Sau khi phát hiện ra thiết bị đo, ứng dụng sẽ kết nối tới GATT server trên thiết bị đo thông qua phương thức connectGatt().
- Sau khi kết nối, ứng dụng android với vai trò là GATT Client có thể đọc các thông tin chứa trong Services, Characteristics trên GATT server (thiết bị đo), nơi mà ở đó có chứa các thông tin về dữ liệu đo từ cảm biến.
- Cuối cùng, phương thức close() của GATT Client sẽ ngắt kết nối với thiết bị đo và giải phóng tài nguyên.

b. Khối xử lý dữ liệu

Nhiệm vụ: Phân tích và chuyển dữ liệu được gửi từ thiết bị đo thành dạng mảng, trong đó, mỗi phần tử trong mảng là một điểm tọa độ trên đồ thị I – V.

Theo quy ước, bản tin gửi từ thiết bị đo là một chuỗi ký tự, có chứa giá trị tọa độ x, y (x là giá trị DAC, y là giá trị ADC) theo định dạng “\nXXX\tYYY”. Do vậy, để lấy được giá trị x, y từ bản tin ta sẽ sử dụng biểu thức chính quy (Regex expression) trong JAVA (ngôn ngữ để viết ứng dụng Android) có cấu trúc “(\\n*[0-9]+\\t-[0-9]+)” để lấy tọa độ một điểm, và cấu trúc “\\n(?<xAxis>-[0-9]+)\\t(?<yAxis>-[0-9]+)” để lấy giá trị x và y.

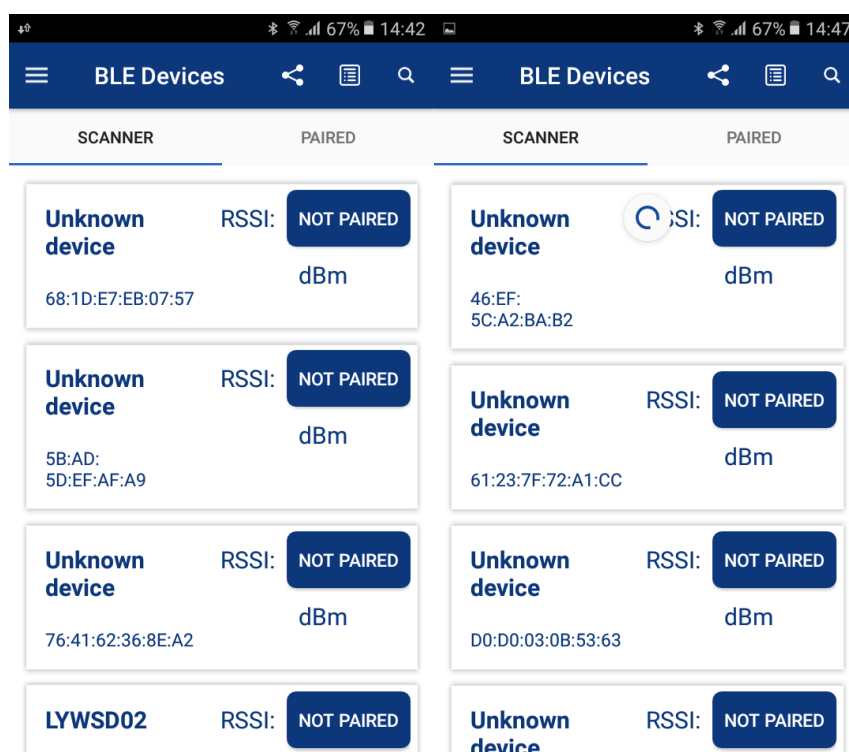
Giá trị x, y sau khi lấy từ bản tin sẽ được lưu vào mảng để phục vụ việc vẽ đồ thị.

c. Khởi xử lý giao diện người dùng

Giao diện người dùng được thể hiện qua các Activity. Mỗi một activity nhận nhiệm vụ xử lý logic để thay đổi các thành phần giao diện của layout tương ứng với các thành phần mà người dùng nhìn thấy và tương tác trên màn hình. Các file layout cũng được thiết kế để tương thích với nhiều loại thiết bị Android có kích thước, độ phân giải màn hình cũng như tỉ lệ màn hình khác nhau.

Giao diện của ứng dụng được chia ra 4 thành phần chính:

- Giao diện quét thiết bị BLE

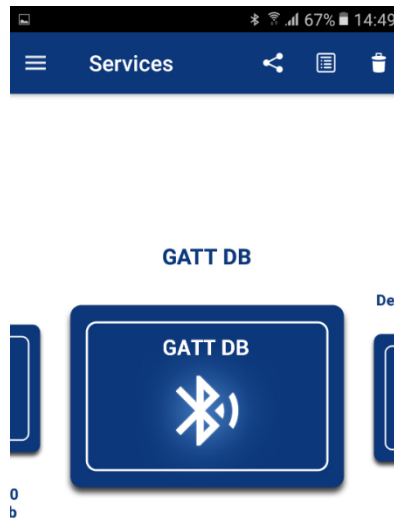


Hình 2.23. Giao diện quét thiết bị BLE

Ở màn hình này, ứng dụng sẽ tìm kiếm các thiết bị BLE hiện có xung quanh điện thoại Android và hiện thị dưới dạng danh sách. Để tìm kiếm lại, người dùng chỉ cần vuốt màn hình từ trên xuống dưới để khởi động lại quá trình tìm kiếm thiết bị.

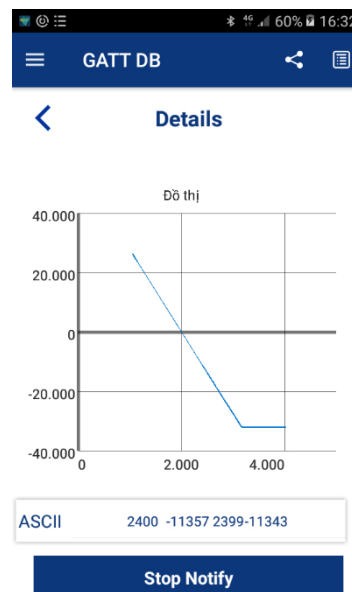
- Giao diện kết nối tới GATT Server

Ứng dụng và mạch đo sẽ giao tiếp với nhau thông qua giao thức Bluetooth. Hình dưới đây là giao diện sau khi ứng dụng kết nối tới GATT Server trên thiết bị đo và sẵn sàng đọc các dữ liệu trên thiết bị.



Hình 2.24. Giao diện kết nối tới GATT Server

- Giao diện theo dõi phép đo



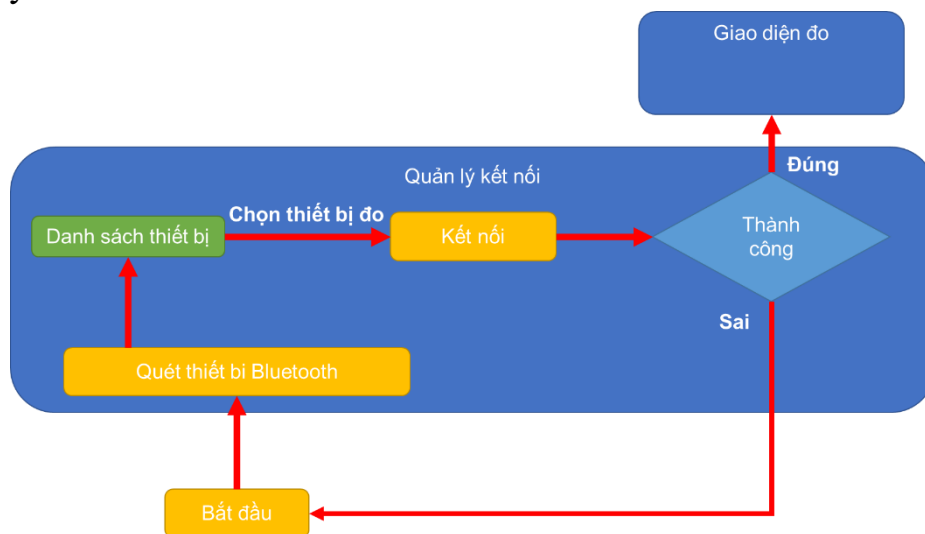
Hình 2.25. Giao diện theo dõi phép đo

Ứng dụng có thể gửi yêu cầu đo và nhận dữ liệu từ hệ thống phân cứng phía dưới gửi lên thông qua giao thức Bluetooth, dữ liệu nhận được được thể hiện dưới dạng đồ thị một cách trực quan.

Trên hình 2.25, có thể thấy giá trị nguyên bản của DAC và ADC được gửi lên điện thoại Android dưới dạng dữ liệu ASCII thành từng cặp điểm. Ba điện cực WE, RE và CE đang được kết nối với điện trở để kiểm tra chức năng mạch, do đó ta thấy dạng dữ liệu điện áp thu được (ADC) có dạng tuyến tính so với tín hiệu điện áp cấp cho điện cực CE (DAC).

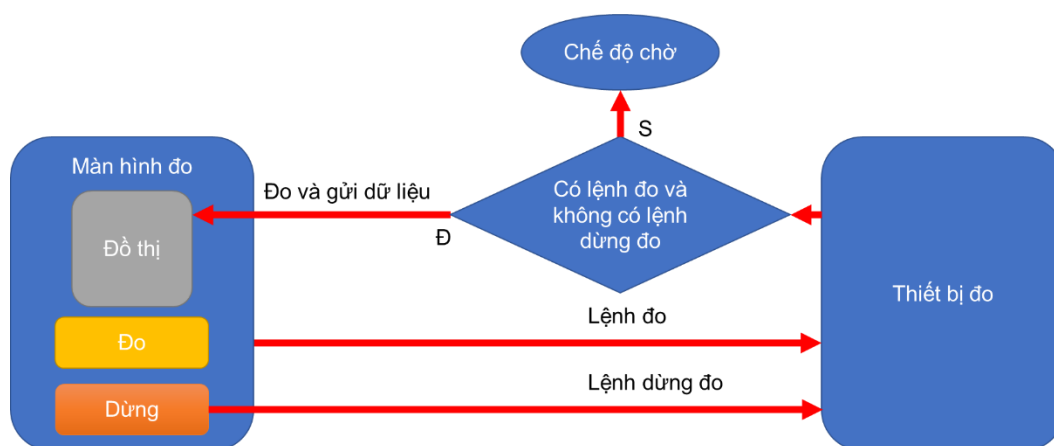
d. Lưu đồ thuật toán chương trình

Các tính năng chính của ứng dụng được thể hiện lại qua 2 lưu đồ thuật toán sau đây:



Hình 2.26. Sơ đồ khối điều khiển

Khởi quản lí kết nối với chức kết nối ứng dụng tới thiết bị đo thông qua giao thức Bluetooth.



Hình 2.27. Sơ đồ khối hiển thị

2.4. Kết luận chương

Chương 2 đã trình bày được yêu cầu thiết kế mạch đo, phần mềm trên điện thoại, trình bày các phương thức truyền dữ liệu, hệ cơ sở dữ liệu được sử dụng. Từ đó, đi vào xây dựng mạch đo thử nghiệm và các giao diện phần mềm phù hợp với các tính năng, yêu cầu của hệ thống.

CHƯƠNG 3

THỬ NGHIỆM, ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG VỚI DUNG DỊCH ĐIỆN HÓA

3.1. Hệ đo điện hóa Potentiostat

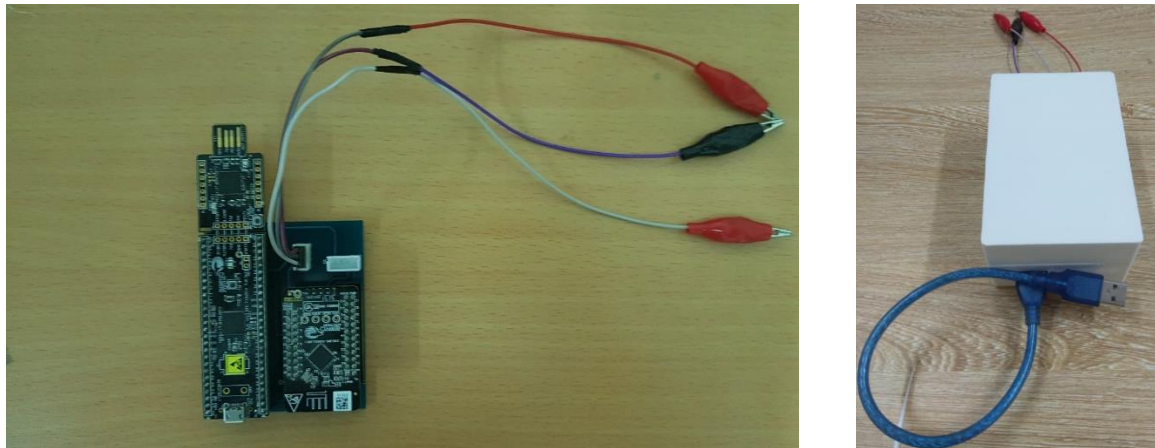
Theo các thông số được thiết lập trong quá trình cấu hình và lập trình, thông số kỹ thuật của thiết bị đạt được như sau:

- Hệ đo sử dụng trực tiếp nguồn USB từ máy tính có điện áp 5V
- Điện áp có khả năng được đặt vào điện cực đối do bộ DVDAC cấp từ 0 – 4V, trong khi đó điện cực so sánh Ag/AgCl có điện thế so sánh 0.197V cộng với điện áp so sánh ở đất ảo 2V sẽ cho giá trị xấp xỉ 2.2V, do đó khoảng điện áp cấp vào điện cực đối so với **điện cực so sánh sẽ có giá trị trong khoảng -2.2V đến 1.8V**, dải giá trị cấp đủ lớn cho hầu hết các phép đo với cảm biến điện hóa.
- Điện áp thu được tại bộ ADC DelSig với độ phân giải 20 bits cho phép phân biệt được mức điện áp nhỏ nhất theo lý thuyết là $\frac{4.096}{2^{20}} \approx 4\mu V$.
- Lập trình mạch đo cho phép thực hiện hai phép đo: quét thế vòng và quét thế tuyến tính.

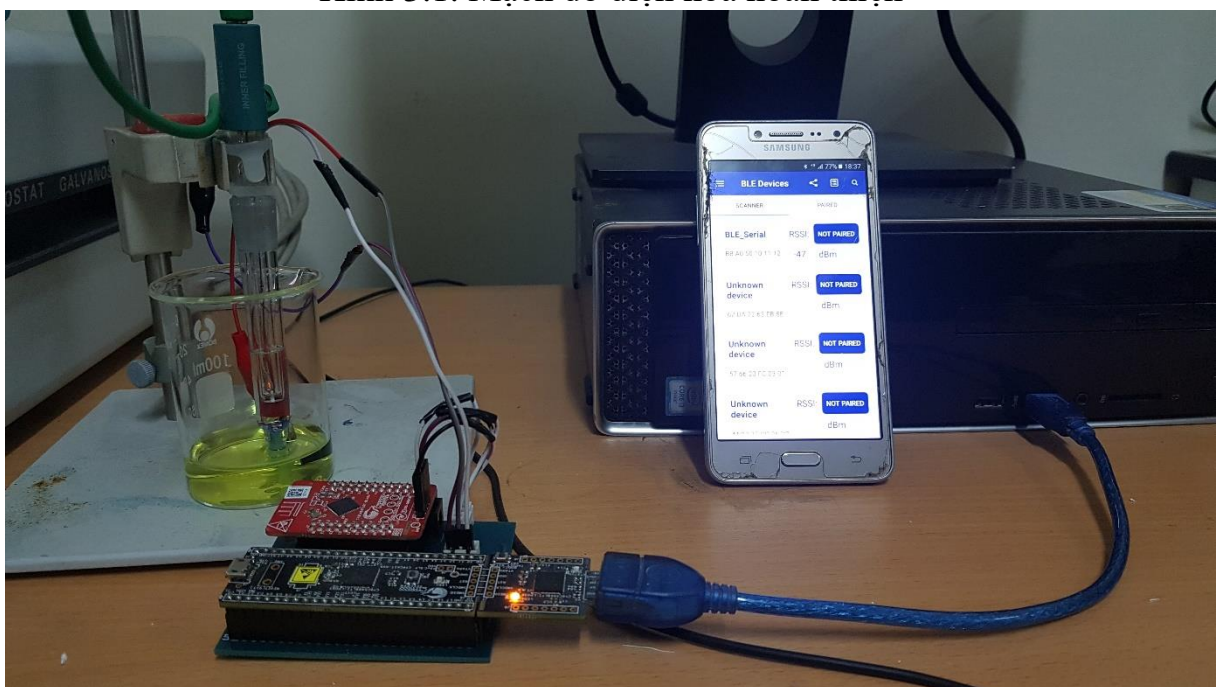
- Với điện trở hồi tiếp nhỏ nhất của bộ TIA là 20k ohms, và điện áp ngưỡng có thể đọc được của bộ ADC là 5V, dòng điện tối đa mà bộ TIA có thể chuyển đổi mà không bão hòa là $I = \frac{V}{R} = \frac{4(V)}{20000(ohm)} = 200\mu A$.

- Băng thông của thiết bị được xác định thông qua băng thông của TIA đầu vào, hay nói cách khác là tần số khiến cho tín hiệu bị giảm -3dB. Trong thành phần TIA, tần số -3 dB được thiết lập ở 35 kHz.

Hình ảnh mạch đo điện hóa được thể hiện trên hình 3.1.



Hình 3.1. Mạch đo điện hóa hoàn thiện



Hình 3.2. Mạch đo điện hóa giao tiếp với điện thoại Android
Có thể thấy, trên màn hình điện thoại khi quét tìm dịch vụ đã hiện ra tên của thiết bị BLE_Serial như được đề cập ở trên. Để kiểm tra chức năng của mạch đo điện hóa, chúng ta tiến hành đo thử nghiệm với dung dịch điện hóa.

3.2. Chuẩn bị dung dịch điện hóa chuẩn và kiểm tra với thiết bị thương mại

3.2.1. Chuẩn bị dụng cụ

* Dụng cụ

Sử dụng các thiết bị sẵn có tại phòng thí nghiệm:

- Cân điện tử 3 số.
- Đũa thủy tinh
- Bình định mức 500 ml
- Cốc thủy tinh 500 ml
- Thìa cân hóa chất
- Nước cất 2 lần.

* Hóa chất

Hóa chất được dùng để đánh giá thiết bị là Kali ferrocyanua hay Kali hexacyanoferra(II) là hợp chất vô cơ với công thức hóa học $K_4Fe(CN)_6$. Muối này tạo ra các đơn tinh thể màu vàng chanh, độ tinh khiết 99,9%, xuất xứ Trung Quốc.

3.2.2. Tiến hành pha chế

* Nồng độ 0.01M

Để pha chế dung dịch có nồng độ 0.01M: Ta tiến hành hòa tan 1645 gam $K_4Fe(CN)_6$ trong 485 ml nước cất hai lần sẽ thu được dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ với nồng độ 0.01M.

* Nồng độ 0.001M

Để tiến hành pha nồng độ 0.001M: Ta tiến hành hòa tan 0.1645 gam $K_4Fe(CN)_6$ trong 500 ml nước cất hai lần sẽ thu được dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ với nồng độ 0.001M.

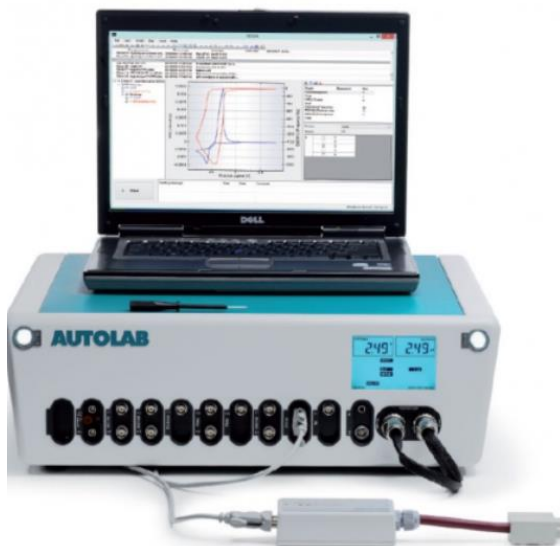
3.3. Kiểm tra với thiết bị thương mại

Thiết bị thương mại dùng để đo kiểm chuẩn là Autolab có mã model PGSTAT 302N của hãng Metrohm. Thiết bị thuộc phòng thí nghiệm MEMS/NEMS, trung Ương tạo Công nghệ và Doanh nghiệp Khoa học Công nghệ, Viện Ứng dụng Công nghệ (P616-C6).

3.3.1. Chức năng của máy

- Máy có thể nâng cấp thành thiết bị đa năng khi ghép nối thêm các Module có chức năng tương ứng như Module phân tích điện hóa VA663, Module BIPOT đo điện cực đĩa nhả quay, Module đo điện cực đĩa quay, SPR Module, Module tăng dòng...

- Cường độ dòng điện ra lớn nhất: $\pm 2\text{A}$ (tăng lên 10/20A khi có thêm module khuếch đại dòng điện "Booster" 10/20A)
- Điện áp ra lớn nhất: $\pm 30\text{V}$
- Mode: Potentionstat/Galvanostat



Hình 3.3. Ảnh của thiết bị thương mại Autolab

** Điện áp:*

- Dải điện thế đo: $\pm 10\text{V}$
- Độ chính xác của điện thế đặt: $\pm 0,2\%$ ($\pm 2\text{mV}$)
- Độ phân giải điện thế đặt: $150\mu\text{V}$
- Độ phân giải của điện thế được đo: $30\mu\text{V}$ hoặc $300\mu\text{V}$
- Tốc độ quét điện thế: max. 250V/giây (250kV/giây khi có thêm module SCAN250/ADC10M)

** Dòng điện:*

- Dải đo dòng điện: $10\text{nA} - 2\text{A}$ (được chia thành 9 dải đo)
- Độ chính xác của phép đo dòng điện: $\pm 0,2\%$ dải đo dòng
- Độ phân giải của dòng đặt: $0,03\%$ của dải dòng sử dụng
- Độ phân giải của dòng đo: $0,0003\%$ của dải dòng đo
- Độ phân giải ở dải đo dòng nhỏ nhất : 30fA
- Độ phân giải ở dải đo dòng nhỏ nhất đạt tới $0,3\text{fA}$ khi có thêm Module ECD
- Độ rộng băng tần số trong Mode Potentiostat: 1MHz
- Thời gian tăng/giảm thế: $< 250\text{ns}$
- Mode Potentiostat: tốc độ cao/độ ổn định cao
- Trở kháng đầu vào của bộ đo điện thế: $> 1\text{T}\Omega$; điện dung: $< 8\text{pF}$
- Dòng hiệu dịch đầu vào ở 25°C : $< 1\text{pA}$

- Tỷ số loại nhiễu CMRR: -82dB ở 10 kHz; -93dB ở 1kHz.
- Độ rộng băng tần số của khối đo điện áp : > 4 MHz
- Chức năng bù sự suy giảm điện trở nội (iR): sử dụng hồi tiếp dương và ngắt dòng.
- Khả năng nối và điều khiển nhiều điện cực: max. 4 điện cực
- Màn hình trước mặt máy: dạng LCD hiển thị đồng thời điện thế, dòng điện đo và tình trạng, dải đo dòng lựa chọn.
- Đầu ra analog (dạng BNC): cho điện thế và dòng điện
- Cổng vào điện áp từ bên ngoài : có
- Bộ tích phân Analog: module FI20 (chọn thêm)
+ Hằng số thời gian: 0.01, 0.1, 1 và 10 giây
- Ghép với bộ khuếch đại dòng 10/20A cho dòng ra đạt tới 10/20 A.
- Giao diện ghép nối PC: cổng USB 2.0
- Cổng đưa tín hiệu bên ngoài vào: 2 cổng

3.3.2. Đo dung dịch điện hóa chuẩn với thiết bị thương mại

Hệ đo được thiết lập như sau:

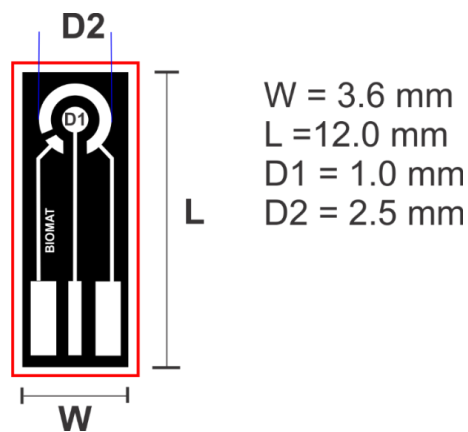
- Chế độ đo: Quét thế vòng
- Điện áp quét: -200 mV đến 800 mV
- Tốc độ quét: 20 mV/s
- Số vòng đo: 2

Ta tiến hành đo lường thử nghiệm với dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ ở nồng độ 0.001M. Hệ đo sử dụng điện cực so sánh Ag/AgCl của Metrohm.



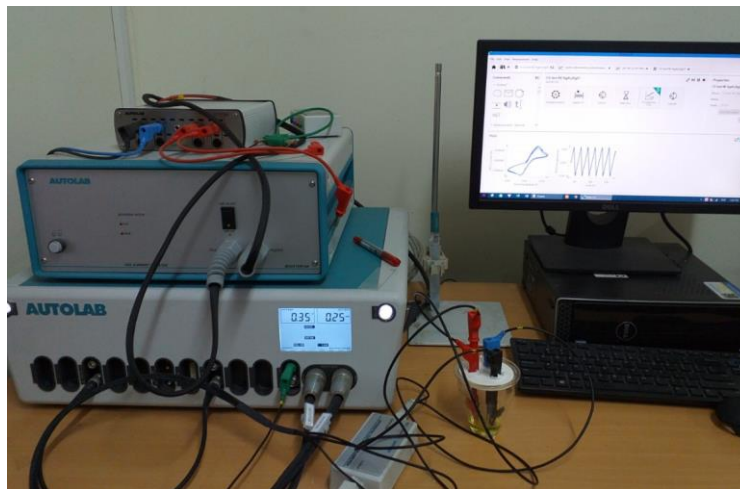
Hình 3.4. Điện cực so sánh Ag/AgCl của Metrohm

Điện cực làm việc và điện cực đối được sử dụng nằm trên điện cực được PTN MEMS chế tạo. Cấu hình và kích thước của điện cực được thể hiện trên hình 5.



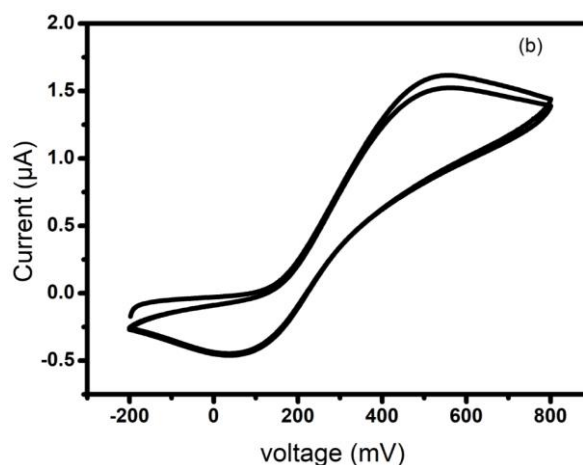
Hình 3.5. Cấu hình điện cực

Quá trình đo dung dịch điện hóa trên máy Autolab được thể hiện như trên hình 3.6



Hình 3.6. Ảnh chụp quá trình đo trên Autolab

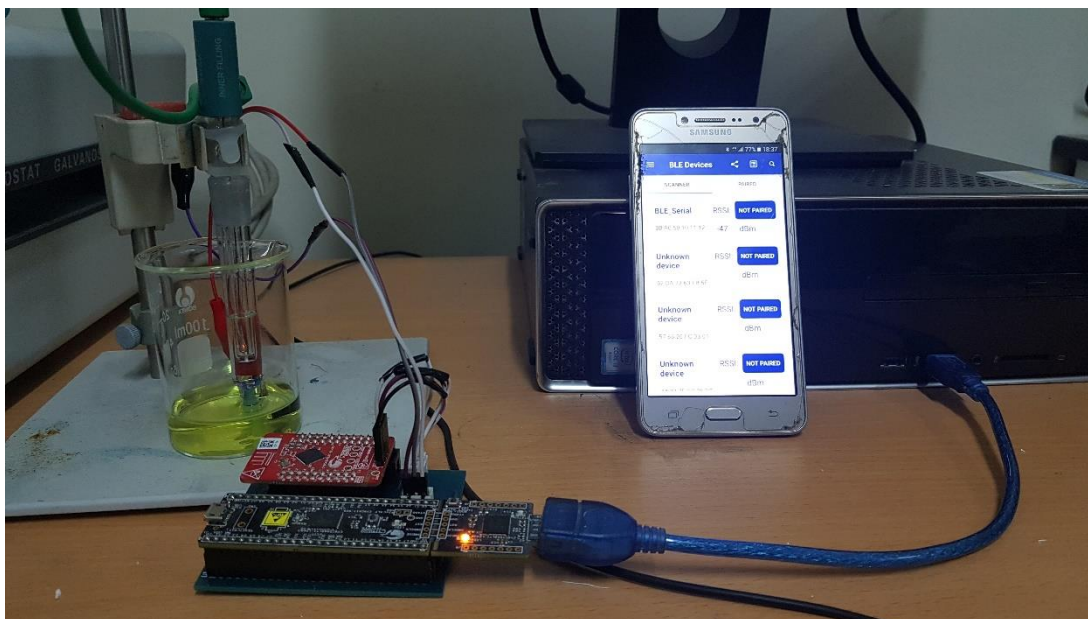
Kiểm tra với hệ Autolab, sau khi chuẩn bị dung dịch điện hóa chuẩn, ta tiến hành đo dung dịch tại nồng độ thấp hơn là 0.001M để đánh giá khả năng đo tại nồng độ thấp. Kết quả thu được được thể hiện như trên hình 3.7:



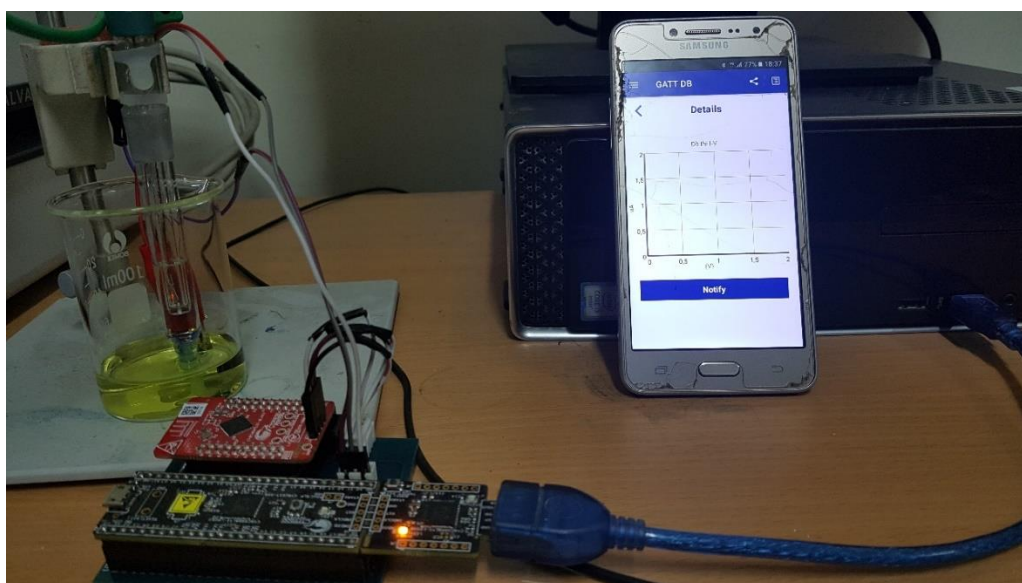
Hình 3.7. Kết quả đo dạng CV của máy Autolab

3.4. Kiểm tra chức năng hệ đo với dung dịch đo điện hóa chuẩn

3.4.1. Quét thế tuyến tính



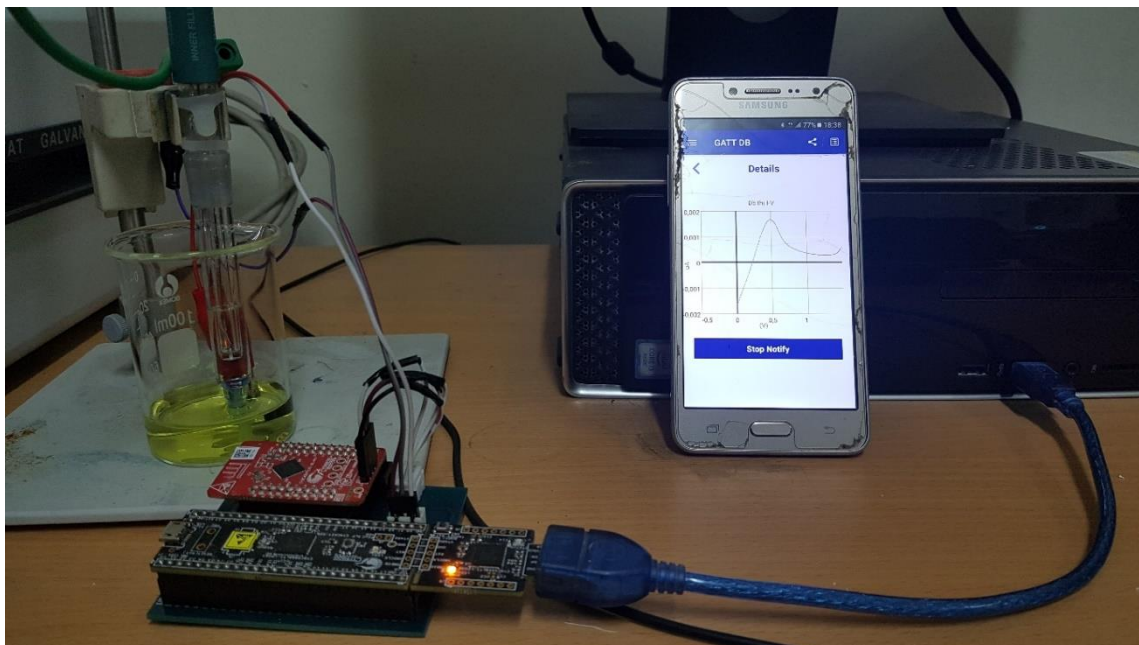
Hình 3.8. Ảnh chụp hệ đo phát triển kết nối với điện thoại
Ta tiến hành kết nối điện thoại với hệ đo để thu thập dữ liệu, thử nghiệm hệ đo với dung dịch điện hóa chuẩn:



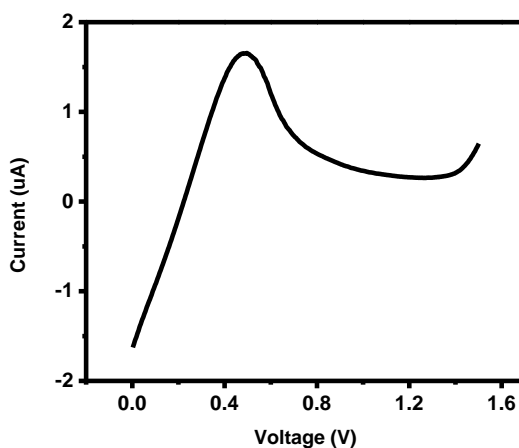
Hình 3.9. Màn hình điện thoại hiển thị dạng đồ thị thu được từ hệ đo điện hóa
Để kiểm tra chức năng của hệ đo điện hóa, trước hết ta thử nghiệm phép đo quét thế tuyến tính với dung dịch $K_4Fe(CN)_6$. Thông số phép đo được thiết lập:

- Phép đo: Quét thế tuyến tính
- Điện áp đo: 0 – 1.6V
- Tốc độ quét: 50mV/s
- Số vòng quét: 1

Kết quả đo thử nghiệm được hiển thị trên đồ thị ở màn hình điện thoại trên hình 3.10



Hình 3.10. Thử nghiệm quét thế tuyến tính
Với điện áp quét tuyến tính từ 0 – 1.6V trong dung dịch $K_4Fe(CN)_6$, đồ thị phép đo xuất hiện đỉnh oxy hóa tại điện áp 0.5V, tương ứng với khoảng 0.3V so với điện cực so sánh.



Hình 3.11 Đồ thị phép đo quét thế tuyến tính vẽ lại sử dụng phần mềm Origin

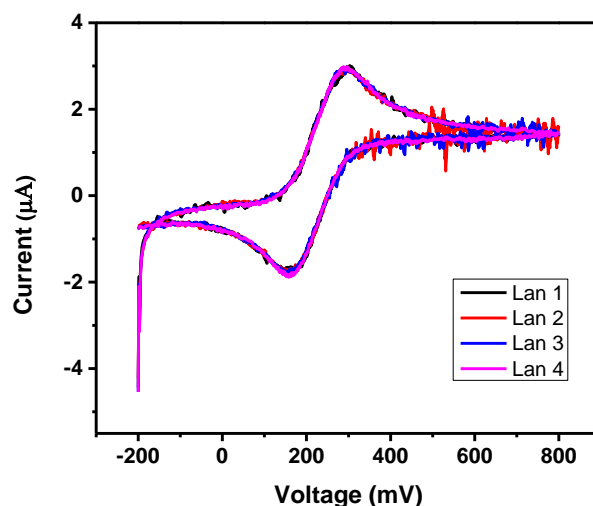
3.4.2. Quét thế vòng

Để tiến hành đo hệ đo thiết kế ta thiết lập hệ thống với các thông số giống như các thông số cài đặt cho máy Autolab PGSTAT302N. Đầu tiên ta tiến hành đo với dung dịch $K_4Fe(CN)_6$. Ở nồng độ 0.01M, phép đo được thực hiện trong hai ngày liên tiếp để kiểm tra độ lặp lại và tính ổn định của hệ.

Hệ đo được thiết lập như sau:

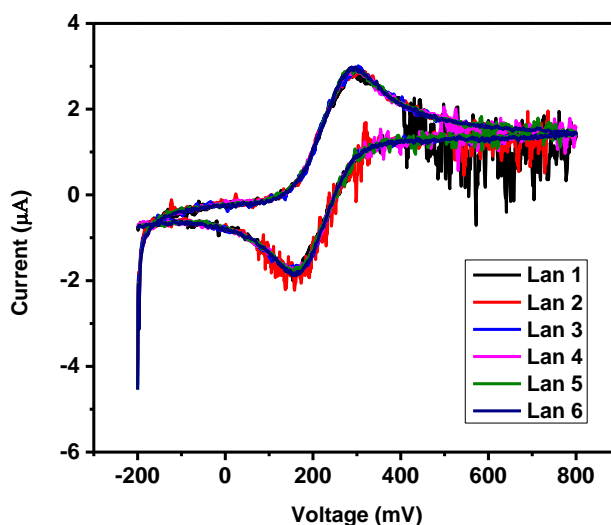
- Chế độ đo: Quét thể vòng
- Điện áp quét: -200 mV đến 800 mV
- Tốc độ quét: 20 mV/s
- Số vòng đo: 1

Kết quả đo với dung dịch ngày đầu tiên được thể hiện ở hình 3.12.



Hình 3.12. Kết quả đo với $K_4Fe(CN)_6$ nồng độ 0.01M ngày thứ nhất.

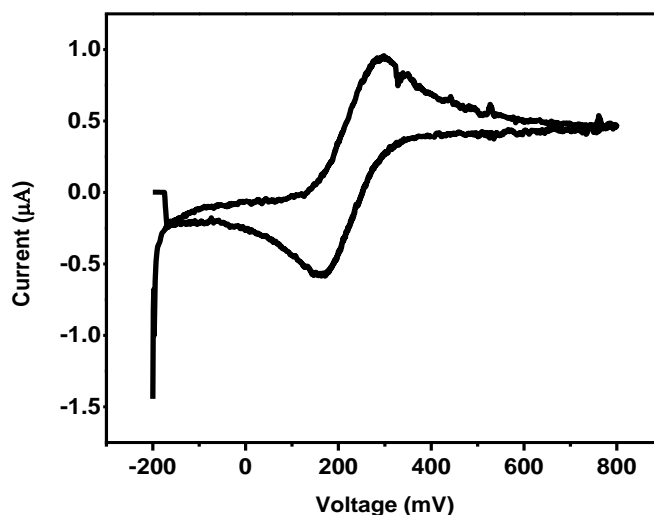
Hệ đo được khởi động lại sau mỗi lần đo, hình 3.12 cho thấy kết quả của 4 phép đo liên tục. Đỉnh khử xuất hiện ở điện áp quét khoảng 150mV, đỉnh oxi hóa xuất hiện ở điện áp quét khoảng 330V. Có thể thấy kết quả phép đo có tính lặp lại tốt, nhiễu thấp. Để kiểm tra tính ổn định của hệ, ta tiến hành sử dụng chính dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ nồng độ 0.01M để đo sang ngày thứ hai. Kết quả đo của hệ ngày thứ hai được thể hiện ở hình 3.13



Hình 3.13. Kết quả đo với dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ nồng độ 0.01M ngày thứ hai

Ở ngày thứ hai, điện cực đã được rửa và sử dụng lại dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ 0.1M. Có thể thấy giá trị cường độ dòng điện đỉnh cũng như vị trí vẫn được giữ, tuy nhiên tín hiệu thu được ở miền từ 400 mV – 800 mV của các lần đo nhiều hơn rất nhiều so với ngày đầu tiên. Điều đó có thể do dung dịch trong ngày thứ hai ít nhiều đã bị ảnh hưởng, dẫn đến việc trao đổi các electron ở bề mặt điện cực không còn tốt, gây nhiễu tín hiệu đo. Đây cũng là lý do mà các dung dịch thí nghiệm thường được pha sử dụng trong ngày, nếu có bảo quản ở nhiệt độ lạnh cũng chỉ nên sử dụng trong thời gian ngắn.

Để kiểm tra khả năng đo tín hiệu nhỏ ở mức nA, nhóm nghiên cứu tiếp tục pha loãng nồng độ dung dịch $K_4Fe(CN)_6$ xuống 0.001M. Kết quả của phép đo được thể hiện trên hình 3.14



Hình 3.14. Ảnh chụp kết quả đo với dung dịch nồng độ 0.001M
Như thấy trên hình 3.14, đường đặc tuyến thu được đạt đỉnh ở mức 1 μA , điều đó chứng minh độ phân giải dòng điện thu được đạt mức nhỏ hơn 1 μA .

Từ các kết quả trên ta nhận hệ đo đã đáp ứng được yêu cầu đề ra về độ chính xác cũng như độ ổn định của thiết bị. Kết quả phép đo cho thấy hệ đo đã có khả năng thu được tín hiệu ở mức nA. Với độ mịn tín hiệu như trên hình, khả năng thu thập và hiển thị tín hiệu dòng dưới 500nA một cách rõ ràng là hoàn toàn có thể.

3.6. Tổng kết chương

Chương 3 đã trình bày được cách chuẩn bị dung dịch điện hóa chuẩn, cách đo dung dịch trên thiết bị thương mại Autolab, và đo dung dịch điện hóa trên thiết

bị điện hóa cầm tay do nhóm nghiên cứu chế tạo. Từ kết quả của các phép đo trên, có thể nhận thấy hệ đo thiết kế đã đáp ứng được yêu cầu thiết kế theo sản phẩm dạng I của đề tài.

KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Ảnh hưởng của việc tồn dư kim loại nặng trong nguồn nước cũng như môi trường có tác động trực tiếp đến đời sống con người. Do đó, việc xác định và đánh giá mức độ ô nhiễm là rất cần thiết. Đây là lý do chính để nhóm đề tài tập trung nghiên cứu nâng cấp chức năng của mạch đo điện hóa cầm tay.

Qua chương 2 và chương 3 nhóm đề tài đã trình bày được nguyên lý hoạt động và thiết kế mạch đo điện hóa với dải dòng đo nhỏ hơn cỡ 1uA. Với nghiên cứu này đã cho thấy khả năng thiết kế được thiết bị cầm tay, ứng dụng trong các không gian và môi trường khác nhau là hoàn toàn có thể.

Tuy nhiên, ta có thể thấy vẫn còn nhiều nhiều xuất hiện trên đường tín hiệu. Điều đó có thể giải thích bởi hệ đo cũng như các kết nối chưa được bọc chống nhiễu, dây tín hiệu vẫn còn có trở kháng cao. Về phía thiết kế mạch, hệ đo chưa có bộ lọc cho tín hiệu để khử nhiễu ở các tần số không mong muốn. Mạch đo này nếu như được tiếp tục phát triển cần phải được cải thiện ở khâu này để hoàn thiện chất lượng sản phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Để thực hiện và hoàn thành đề tài nghiên cứu khoa học này, nhóm thành viên thực hiện đã nhận được sự hỗ trợ, giúp đỡ cũng như là quan tâm, động viên từ cơ quan, tổ chức và cá nhân. Nghiên cứu khoa học cũng được hoàn thành dựa trên sự tham khảo, học tập kinh nghiệm từ các kết quả nghiên cứu liên quan, các sách, báo chuyên ngành của nhiều tác giả ở các trường Đại học, các tổ chức nghiên cứu trong và ngoài nước.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Lãnh đạo Bộ Khoa học và Công nghệ, Viện Ứng dụng Công nghệ, cùng toàn thể các cán bộ nhân viên trong cơ quan đã tận tình giúp đỡ, giúp đỡ chúng tôi trong quá trình nghiên cứu.

Tuy có nhiều cố gắng, nhưng trong đề tài nghiên cứu khoa học này không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi kính mong các chuyên gia, những người quan tâm đến đề tài, đồng nghiệp tiếp tục có những ý kiến đóng góp, giúp đỡ để đề tài được hoàn thiện hơn.

Một lần nữa xin chân thành cảm ơn!

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1959/
- [2] <http://www.digi-ivy.com/pricelist.html>
- [3] <https://www.metrohm.com/en-vn/products-overview/electrochemistry/autolab-modular-line/PGSTAT302N>
- [4] <https://www.palmsens.com/potentiostat/portable-potentiostat/>
- [5] https://nuvant.com/electrochemistry/potentiostat_galvanostat/ezstat-electrochemistry/
- [6] Rowe, A., Bonham, A., White, R., Zimmer, M., Yadgar, R., & Hobza, T. et al. (2011). CheapStat: An Open-Source, “Do-It-Yourself” Potentiostat for Analytical and Educational Applications. *Plos ONE*, 6(9), e23783. doi: 10.1371/journal.pone.0023783
- [7] Huang, C. (2015). Design of a Portable Potentiostat with Dual-microprocessors for Electrochemical Biosensors. *Universal Journal Of Electrical And Electronic Engineering*, 3(6), 159-164. doi: 10.13189/ujeee.2015.030601
- [8] Dobbelaere, T., Vereecken, P., & Detavernier, C. (2017). A USB-controlled potentiostat/galvanostat for thin-film battery characterization. *Hardwarex*, 2, 34-49. doi: 10.1016/j.ohx.2017.08.001
- [9] Ainla, A., Mousavi, M., Tsaloglou, M., Redston, J., Bell, J., Fernández-Abedul, M., & Whitesides, G. (2018). Open-Source Potentiostat for Wireless Electrochemical Detection with Smartphones. *Analytical Chemistry*, 90(10), 6240-6246. doi: 10.1021/acs.analchem.8b00850
- [10] T.D. Long, T.X. Thung, T.X. Hoai (2003). Design the Digital Potentiostat, Proceedings of ICT.rda’03, pp. 341 – 346.
- [11] V.T. Tung, A.D. Tuan, P.T. Thuc, T.X. Hoai (2004). Design a Potentiostat Plus Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) based on the Digital Signal Processing Technology, Proceedings of ICT.rda’04, pp. 40 – 46.
- [12] V.T. Thu, P.Q. Ngan, P.N. Minh, P.H. Nam, D.T.A. Thu, T.D. Lam (2016). Nghiên cứu chế tạo thiết bị cầm tay xác định dư lượng thuốc bảo vệ thực vật tích hợp cảm biến nano sinh học và công nghệ truyền dữ liệu không dây GPRS, Tạp chí tự động hóa số 183 (5/2016)
- [13] T. Chu, Xuan & Trieu, Quan & Thinh, Tran & D. Pham, Thanh & Quoc Trung, Vu & H. Tran, Thuy & Mai, Anh Tuan. (2018). Possible Monitoring and Removal of As(III) by an Integrated System of Electrochemical Sensor and Nanocomposite Materials. *Journal of Nanomaterials*. 2018. 1-9. 10.1155/2018/9250463.
- [14] <http://www.vienhoahoc.ac.vn/Tin-tuc/553/Phong-ung-dung-tin-hoc-trong-nghien-cuu-khoa-hoc/>

PHỤ LỤC

1. Chương trình thiết kế mạch phần cứng trên phần mềm PsoC Creator

https://github.com/quantr31/Potentiostat_psoc

2. Chương trình thiết kế phần mềm hiển thị kết quả trên thiết bị Android

https://github.com/CANHBK/App_do_dien_hoa.git