

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP.HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

BỘ MÔN ĐIỆN TỬ

-----o0o-----



BÁO CÁO THỰC TẬP TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU:

**TÌM HIỂU CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG,
CÁCH XỬ LÝ TÍN HIỆU CỦA CẢM BIẾN ĐO ĐỘ
pH E-201C VỚI STM32F103C8T6**

ĐƠN VỊ THỰC TẬP:

Công ty TNHH CloudFERMI

Giảng viên hướng dẫn: TS. TRẦN HOÀNG LINH

Sinh viên thực hiện: TRẦN NGUYỄN KHIÊM

Lớp: DD15DV2

Mã số sinh viên: 1511554

TP. HỒ CHÍ MINH

Tháng 08/2018

Đơn vị thực tập:

Công ty TNHH CloudFERMI



CloudFERMI Ltd. Co.

**Địa chỉ: 425/38 Nguyễn Đình Chiểu, Phường 5, Quận 3, TPHCM,
Việt Nam**

Điện thoại: (+84) 90 555 8423

Email: info@cloudfermi.com

Đề tài nghiên cứu:

**TÌM HIỂU CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT
ĐỘNG, CÁCH XỬ LÝ TÍN HIỆU CỦA CẢM BIẾN
ĐO ĐỘ PH E-201C VỚI STM32F103C8T6**

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất đến giảng viên, TS. Trần Hoàng Linh, thầy đã tạo điều kiện để em được thực tập tại công ty em mong muốn. Cảm ơn công ty CloudFERMI đã tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất để em có môi trường thực tập tốt, tiếp cận được với thực tế. Đặc biệt em xin gửi lời cảm ơn đến anh Bùi Hoàng Cương, đã trực tiếp hướng dẫn, truyền đạt kinh nghiệm, những kiến thức mới cũng như những chỉ bảo của các anh chị trong công ty trong thời gian thực tập tốt nghiệp vừa qua.

Là sinh viên năm cuối, khoảng thời gian thực tập tốt nghiệp phải được tận dụng hiệu quả vì đây được coi như là một phép thử ban đầu để sinh viên tiếp cận thực tế, dần mang những kiến thức, kỹ năng tích lũy được từ môi trường học tập áp dụng vào thực tế cuộc sống. Bài toán thực tế bao giờ cũng đòi hỏi cao cả về chuyên môn lẫn kỹ năng thực nghiệm, nó là khác biệt khá bở ngõ với sinh viên khi ra trường. Do vậy kỹ thực tập tốt nghiệp này đối với em, nó đóng vai trò quan trọng.

Khoảng thời gian thực tập không lâu nhưng nó đã để lại trong em khá nhiều kỷ niệm. Và những gì em nhận được sau sự cố gắng của bản thân hơn cả mình mong đợi.

Cuối lời em xin gửi lời chúc sức khỏe đến thầy Trần Hoàng Linh, gửi lời chúc sức khỏe đến toàn thể anh chị nhân viên của công ty CloudFERMI. Chúc công ty ngày càng phát triển mạnh mẽ và gặt hái được nhiều thành công hơn nữa.

Xin chân thành cảm ơn!

NHẬN XÉT, ĐÁNH GIÁ THỰC TẬP TỐT NGHIỆP



Đơn vị thực tập: Công ty TNHH CloudFERMI

Đề tài nghiên cứu: TÌM HIỂU CẤU TẠO, NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG, CÁCH XỬ LÝ TÍN HIỆU CỦA CẢM BIẾN ĐO ĐỘ PH VỚI STM32F1.

Sinh viên thực hiện: Trần Nguyễn Khiêm

MSSV: 1511554

Giảng viên hướng dẫn: TS Trần Hoàng Linh

Nhận xét của giảng viên hướng dẫn:.....

.....
.....
.....
.....

Cán bộ hướng dẫn thực tập: Bùi Hoàng Cương

Nhận xét của cán bộ hướng dẫn:.....

.....
.....
.....
.....

Xác nhận của đơn vị thực tập

Tp Hồ Chí Minh, tháng 8 năm 2018

Cán bộ hướng dẫn

.....

LỜI MỞ ĐẦU

Ngày nay, Việt Nam đang là quốc gia trong quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa và hội nhập quốc tế sâu rộng. Một trong số đó là hội nhập công nghệ hay còn gọi là cách mạng công nghệ đã và đang tạo bước nhảy vọt trong mọi lĩnh vực của đời sống xã hội. Bên cạnh tăng năng xuất lao động trong nông nghiệp, mô hình tự động hóa trong các nhà máy, nhà nước ta cũng đã áp dụng những tiến bộ khoa học kỹ thuật trong lĩnh vực nuôi trồng thủy hải sản. Bởi lẽ hàng năm, thời tiết thay đổi đã ảnh hưởng không nhỏ đến môi trường sống của tôm cá làm cho những số liệu thống kê về thiệt hại trong ngành nuôi trồng thủy hải sản luôn ở mức cao.

Để góp phần cắt giảm đi rủi ro trong ngành nuôi trồng thủy sản, nhóm nghiên cứu của chúng em đã nghiên cứu mô hình theo dõi các yếu tố của môi trường ảnh hưởng trực tiếp đến điều kiện sống của hải sản như : Nhiệt độ, độ dẫn điện của nước, Oxy hòa tan, độ pH. Mô hình theo dõi nhằm cung cấp những số liệu cụ thể cũng như những điều chỉnh để đảm bảo giảm thiểu thiệt hại của thủy sản chết do biến động của thời tiết.

Trong các yếu tố của môi trường, độ pH luôn được đánh giá là một trong những số liệu quan trọng và cần được nắm bắt, theo dõi. Nhận thấy thấy tầm quan trọng của độ pH ảnh hưởng đến sự sống của thủy sản nên em đã chọn nghiên cứu về cảm biến đo độ pH E-201C, cách xử lý tín hiệu từ cảm biến pH với vi điều khiển STM32F103C8T6 trong thời gian thực tập tốt nghiệp vừa qua. Với mong muốn vận dụng những kiến thức đã học áp dụng vào việc tìm hiểu, nghiên cứu, góp phần nào đó giúp người dân kiểm soát được độ pH thông qua vi điều khiển, góp phần nhỏ vào quá trình hội nhập, áp dụng kỹ thuật trong nuôi trồng của nhà nước.

TÓM TẮT BÁO CÁO THỰC TẬP

Báo cáo thực tập này trình bày toàn bộ quá trình nghiên cứu, tìm hiểu của sinh viên Trần Nguyễn Khiêm trong khoảng thời gian thực tập tại công ty TNHH CloudFERMI từ ngày 27/7/2018 đến ngày 17/8/2018.

Trong báo cáo trình bày : Sơ lược về công ty CloudFERMI, đề tài cũng như nhiệm vụ được giao trong quá trình thực tập. Khái quát về trang web GitHub và cách sử dụng GitHub thông qua ứng dụng GitKraken. Định nghĩa pH, cách xác định độ pH trong phòng thí nghiệm cũng như trong thực tế, cấu tạo của cảm biến pH, nguyên lý hoạt động của cảm biến pH, các vấn đề thường gặp khi sử dụng cảm biến pH, cách sử dụng, bảo quản cảm biến pH, mô hình mạch xử lý tín hiệu từ đầu dò pH, cách xử lý tín hiệu đo pH trong vi điều khiển STM32F103C8T6. Tìm hiểu cơ bản về vi điều khiển STM32. Cuối cùng là phần tổng kết thực tập, hướng phát triển của đề tài, tự đánh giá nhận xét của bản thân trong quá trình thực tập và những tài liệu đã tham khảo trong quá trình tìm hiểu, nghiên cứu.

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH ẢNH	ix
DANH MỤC BẢNG	xii
CHƯƠNG 1 GIỚI THIỆU.....	1
1.1. Giới thiệu về đơn vị thực tập.....	1
1.2. Nhiệm vụ được giao thực tập	2
1.3. Mục tiêu thực tập.....	2
1.4. Thời gian, lịch trình và nội dung thực tập chi tiết.....	3
CHƯƠNG 2 NỘI DUNG THỰC TẬP.....	5
2.1. Tìm hiểu GitHub	5
2.1.1. GitHub là gì?.....	5
2.1.2. Tại sao nên sử dụng GitHub?	5
2.1.3. Sử dụng GitHub bằng Gitkraken	6
2.1.3.1. Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	6
2.1.3.2. Hướng dẫn sử dụng GitHub thông qua Gitkraken.....	10
2.2. Khái quát về độ pH.....	14
2.2.1. Chỉ số pH là gì ?	14
2.2.2. Mục đích của việc xác định độ pH	14
2.2.3. Ứng dụng của pH trong đời sống.....	15
2.2.4. Một số giá trị pH phổ biến	16
2.2.5. Các phương pháp xác định pH.....	18
2.2.5.1. Sử dụng dung dịch đổi màu để đo pH	18
2.2.5.2. Sử dụng giấy chỉ thị màu	19
2.2.5.3. pH kế	19

2.2.5.4. Dùng điện cực đo pH	19
2.3. Cảm biến pH (pH sensor).....	20
2.3.1. Khái quát về cảm biến pH	20
2.3.2. Nguyên tắc gián tiếp xác định độ pH.....	20
2.3.3. Cấu tạo các loại điện cực thủy tinh.....	21
2.3.3.1. Điện cực pH (Glass electrodes)	21
2.3.3.2. Điện cực tham chiếu (Reference electrodes)	22
2.3.3.3. Điện cực kết hợp (Combination electrodes)	23
2.3.4. Cấu tạo cảm biến pH.....	24
2.3.5. Nguyên lý hoạt động của cảm biến pH.....	27
2.3.6. Bù nhiệt độ cho cảm biến pH	32
2.3.7. Một số vấn đề gặp phải.....	32
2.3.7.1. Sai số phép đo ở cảm biến	32
2.3.7.2. Sai số phép đo ở dung dịch đo	32
2.3.8. Cách sử dụng cảm biến pH.....	33
2.3.9. Bảo quản cảm biến pH.....	34
2.3.10. Làm sạch điện cực	35
2.3.11. Mạch xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến.....	36
2.4. Tìm hiểu về STM32C8T6	38
2.4.1. Giới thiệu chung	38
2.4.2. Giới thiệu về ARM Cortex M3 STM32F103	38
2.4.2.1. Cortex là gì ?	38
2.4.2.2. Đặc điểm nổi bật của STM32	39
2.4.3. Tổng quát về ARM Cortex M3 STM32F103	41
2.4.3.1. Các phiên bản cấu trúc ARM.....	42

2.4.3.2.	Bộ xử lý và đơn vị xử lý trung tâm Cortex	43
2.4.3.3.	Đơn vị xử lý trung tâm Cortex (Cortex CPU)	43
2.4.3.4.	Bộ xử lý Cortex.....	46
2.4.3.5.	Các chế độ năng lượng.....	50
2.4.3.6.	Kiểu đóng gói chip và kiểu chân linh kiện	52
2.4.3.7.	Nguồn cung cấp điện	52
2.4.3.8.	Mạch Reset.....	54
CHƯƠNG 3 TỔNG KẾT THỰC TẬP.....		55
3.1.	Kết quả công việc thực tập	55
3.2.	Hướng phát triển của đè tài.	56
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		57

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	6
Hình 2: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	6
Hình 3: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	7
Hình 4: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	7
Hình 5: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	8
Hình 6: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	8
Hình 7: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken	9
Hình 8: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	10
Hình 9: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	10
Hình 10: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	11
Hình 11: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	11
Hình 12: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	12
Hình 13: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	12
Hình 14: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken	13
Hình 15: Một số giá trị pH phổ biến trong thực phẩm	16
Hình 16: Giá trị pH tại các cơ quan trên cơ thể người	17
Hình 17: Một số giá trị pH phổ biến trong thực phẩm	18
Hình 18: Mạch đo pH	20
Hình 19: Cấu tạo điện cực pH	21
Hình 20 : Sơ đồ biểu diễn chức năng của cầu thủy tinh	22
Hình 21: Cấu trúc điện cực tham chiếu	22
Hình 22: Điện cực kết hợp	23
Hình 22: Đầu dò pH	24
Hình 23: Module xử lý tín hiệu của cảm biến pH	25

Hình 24: Sơ đồ chân của module xử lý tín hiệu của cảm biến pH	25
Hình 25: Quan hệ giữa pH, thế điện cực đầu ra và nhiệt độ	28
Hình 26: Phạm vi đầu ra toàn dãy ở 25 ⁰ C với hệ số nhiệt độ là 59,16 mV/pH	29
Hình 27: Sơ đồ nguyên lý module xử lý tín hiệu thu về từ đầu dò pH	36
Hình 28: Kiến trúc vi xử lí ARM Cortex-M3.....	39
Hình 29: Kiến trúc của STM32 nhánh Performance và Access.....	40
Hình 30: Các phiên bản kiến trúc của lõi ARM	42
Hình 31: Kiến trúc đường ống của ARM Cortex-M3	43
Hình 32: Kiến trúc load và store của ARM Cortex-M3	44
Hình 33: Bản đồ bộ nhớ tuyến tính 4Gbyte của bộ xử lí Cortex-M3.....	45
Hình 34: Cấu trúc của NVIC trong bộ xử lí Cortex	47
Hình 35: Đáp ứng thời gian khi một ngắt bất kì xảy ra của Cortex-M3	48
Hình 35: Đáp ứng thời gian khi hai ngắt xảy ra đồng thời của Cortex-M3	49
Hình 36: Hệ thống gỡ lỗi CoreSight bên trong Cortex	51
Hình 37: Các miền năng lượng bên trong STM32	52
Hình 38: Cách bố trí tụ chống nhiễu cho STM32	53
Hình 39: Đặc tính của mạch reset bên trong STM32	54

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1: Phân loại môi trường dựa vào pH	14
Bảng 2: Một số giá trị pH phổ biến	16
Bảng 3: Một số giá trị pH phổ biến	17
Bảng 4: Phạm vi đầu ra toàn dãy ở 25^0C với hệ số nhiệt độ là $59,16 \text{ mV/pH}$	29
Bảng 5: Phạm vi áp đầu ra ở nhiệt độ T	31
Bảng 6: Sai số có thể có được gây ra bởi nhiệt độ	31

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU

1.1. Giới thiệu về đơn vị thực tập

CloudFERMI là công ty sản xuất thiết bị điện tử hướng IoT (kết nối, xử lý thông minh), tập trung vào cảm biến, điều khiển, đặc biệt phục vụ cho nông nghiệp công nghệ cao. CloudFERMI tạo ra thiết bị điện tử bằng cách thiết kế mạch, vẽ bo mạch, hàn linh kiện, lập trình nhúng, lập trình ứng dụng, sản xuất quy mô, kiểm soát chất lượng. Lợi thế cạnh tranh cốt lõi dựa trên: năng lực R&D, năng lực sản xuất, và dịch vụ khách hàng. CloudFERMI là tập hợp của những con người ĐAM MÊ CÔNG NGHỆ, nhiệt huyết cháy bỏng mong muốn cải thiện hiệu quả trong nông nghiệp và chất lượng cuộc sống nói chung chính bằng những quả của đam mê.

Tầm nhìn: Là nhà sản xuất thiết bị điện tử hướng IoT, cảm biến, và điều khiển trong ngành nông nghiệp cao và các ngành công nghiệp liên quan tới nông nghiệp ở Việt Nam.

Sứ mệnh: Cung cấp thiết bị IoT tin cậy và thông minh với chi phí phải chăng. Tư vấn, hỗ trợ sử dụng thiết bị nhiệt tình, nhanh chóng. Bảo hành, bảo trì thiết bị kịp thời.

Cốt lõi cạnh tranh: R&D, Sản xuất, Chăm sóc khách hàng

CloudFERMI với nền tảng đam mê sáng tạo cùng kiến thức chuyên môn cao đã tạo ra sản phẩm điện tử tin cậy, ổn định, dễ dùng, và chi phí phải chăng. Dịch vụ bảo hành, bảo trì thiết bị, hướng dẫn sử dụng phải là the-best-in-class, sẵn sàng thay thế, đáp ứng tức thời.

1.2. Nhiệm vụ được giao thực tập

Hoạt động Teamwork, cùng nghiên cứu mô hình thiết bị theo dõi các yếu tố của môi trường sống ảnh hưởng trực tiếp đến tôm, cá, các loài thủy sinh nói chung bằng cảm biến. Bao gồm: nhiệt độ, DO (cảm biến Oxy hòa tan trong nước), EC (cảm biến đo độ dẫn điện của nước), cảm biến đo độ pH của nước. Đọc tín hiệu thu về từ cảm biến thông qua vi điều khiển STM32F103C8T6, sau đó gửi đến gateway sử dụng mạng lora, sử dụng giao thức MQTT để gửi data tín hiệu lên webserver thông qua wifi hoặc LAN. Cuối cùng, giám sát data tín hiệu và điều khiển bằng app điện thoại.

Trong mô hình nghiên cứu lớn đó, sinh viên Trần Nguyễn Khiêm được giao tìm hiểu, nghiên cứu về cảm biến pH-E201C và cách xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến với STM32F103C8T6

1.3. Mục tiêu thực tập

Với nhiệm vụ được giao tìm hiểu về cảm biến pH, yêu cầu cũng như mục tiêu cần đạt được sau thời gian thực tập là hiểu rõ về cấu tạo, nguyên lý hoạt động của cảm biến. Kiểm soát được những lỗi cở bản dẫn đến sai số của cảm biến. Có mạch xử lý tín hiệu thu về và code mẫu xử lý tín hiệu.

1.4. Thời gian, lịch trình và nội dung thực tập chi tiết

Thời gian thực tập bắt đầu từ ngày 27/7/2018 đến ngày 17/8/2018. Công việc thực tập được nhóm trưởng phân công cụ thể theo tuần. Cụ thể như sau:

Tuần	Thời gian thực tập	Nội dung thực tập
0	Từ ngày 27/6 đến 1/7/2018	Nhận đề tài từ công ty, thảo luận định hướng tìm hiểu.
1	Từ ngày 2/7 đến 8/7/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Tìm hiểu sơ lược về cảm biến pH. - Tìm hiểu Github, cách sử dụng Github thông qua GitKraken.
2	Từ ngày 9/7 đến 15/7/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Tìm hiểu chi tiết cảm biến pH về cấu tạo, nguyên lý hoạt động. - Đến làm việc tại công ty vào ngày 12/7. - Thuyết trình về kết quả làm việc. Giải đáp thắc mắc từ những câu hỏi của các thành viên trong nhóm cũng như người hướng dẫn vào ngày 14/7/2018
3	Từ ngày 16/7 đến 22/7/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Tiếp tục tìm hiểu sâu về cảm biến pH, nghiên cứu giải quyết những câu hỏi thắc mắc được đặt ra trong buổi báo cáo tổng kết tuần. - Đến làm việc tại công ty vào ngày 17/7. - Thuyết trình, thảo luận, giải đáp những câu hỏi thắc mắc từ nhóm vào ngày 21/7/2018.
4	Từ ngày 23/7 đến 29/7/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Hoàn thiện nghiên cứu về cảm biến pH. - Nghiên cứu mô hình xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến. - Thuyết trình kết quả làm được, thảo luận, giải đáp những thắc mắc được đặt ra vào ngày 27/7/2018.
5	Từ ngày 30/7 đến 5/8/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Hoàn thiện mô hình xử lý tín hiệu từ cảm biến (sơ đồ nguyên lý+ tính toán số liệu chi tiết). - Code mẫu xử lý tín hiệu với STM32F1 - Đến công ty thực tập ngày 31/7/2018.

Thực tập tốt nghiệp

GVHD: TS Trần Hoàng Linh

Tuần	Thời gian thực tập	Nội dung thực tập
6	Từ ngày 6/8 đến 12/8/2018	<ul style="list-style-type: none">- Code mẫu xử lý tín hiệu từ cảm biến.- Hoàn thiện mạch xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến.- Đến công ty thực tập ngày 9/8.- Thuyết trình báo cáo về kết quả làm được, thảo luận, giải đáp thắc mắc từ nhóm về mô hình nghiên cứu ngày 10/8/2018.
7	Từ ngày 6/8 đến 12/8/2018	<ul style="list-style-type: none">- Hoàn thiện đề tài nghiên cứu trên cơ sở lý thuyết.- Nghiên cứu code xử lý tín hiệu với cảm biến pH.- Tiến hành viết báo cáo thực tập.

CHƯƠNG 2

NỘI DUNG THỰC TẬP

2.1. Tìm hiểu GitHub

2.1.1. GitHub là gì?

GitHub là một dịch vụ cung cấp kho lưu trữ mã nguồn Git dựa trên nền web cho các dự án phát triển phần mềm. Hay nói khác hơn, GitHub là một dịch vụ lưu trữ trên web dành cho các dự án có sử dụng hệ thống kiểm soát Git revision. GitHub cung cấp chức năng social networking như feeds, followers và network graph để các Developer học hỏi kinh nghiệm làm việc thông qua lịch sử commit. GitHub cung cấp cả phiên bản trả tiền lẫn miễn phí cho các tài khoản. Các dự án mã nguồn mở sẽ được cung cấp kho lưu trữ miễn phí. Tính đến tháng 4 năm 2016, GitHub có hơn 14 triệu người sử dụng với hơn 35 triệu kho mã nguồn, làm cho nó trở thành máy chủ chứa mã nguồn lớn trên thế giới.

2.1.2. Tại sao nên sử dụng GitHub?

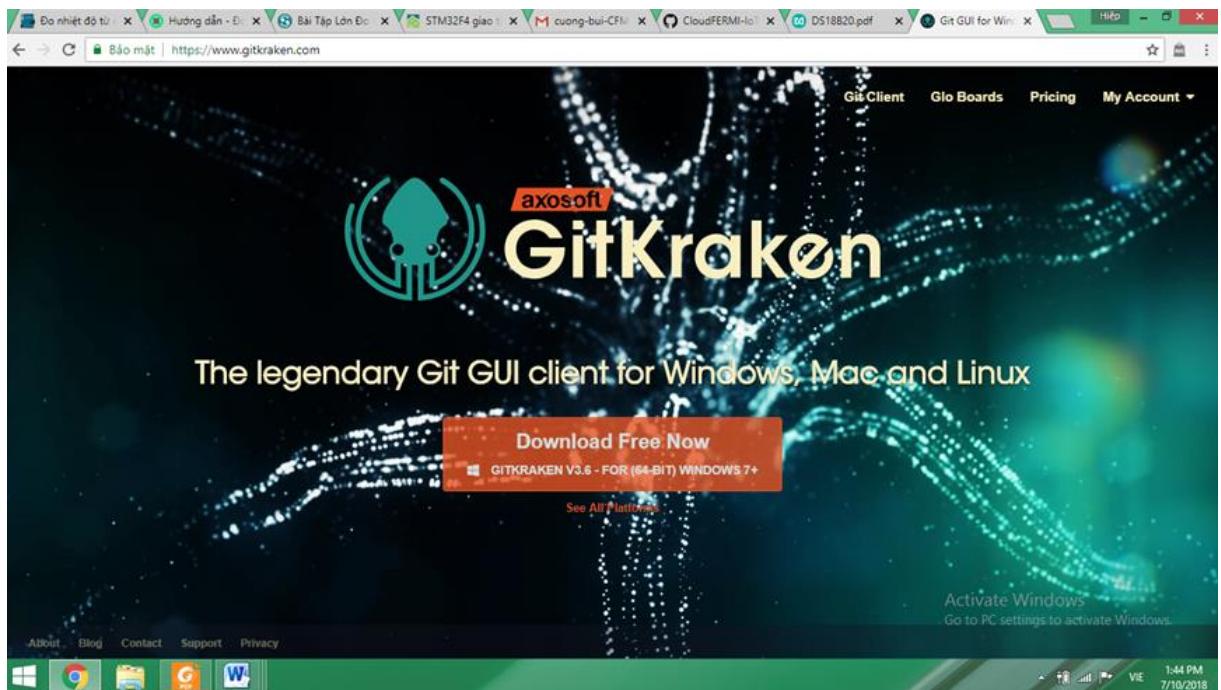
Có rất nhiều lợi thế để bạn nên sử dụng Git trong việc lập trình:

- Git dễ sử dụng, an toàn và nhanh chóng.
- Có thể giúp quy trình làm việc code theo nhóm đơn giản hơn rất nhiều bằng việc kết hợp các phân nhánh (branch).
- Bạn có thể làm việc ở bất cứ đâu vì chỉ cần clone mã nguồn từ kho chứa hoặc clone một phiên bản thay đổi nào đó từ kho chứa, hoặc một nhánh nào đó từ kho chứa.
- Dễ dàng trong việc deployment sản phẩm.
- Và nhiều hơn thế nữa.

2.1.3. Sử dụng GitHub bằng Gitkraken

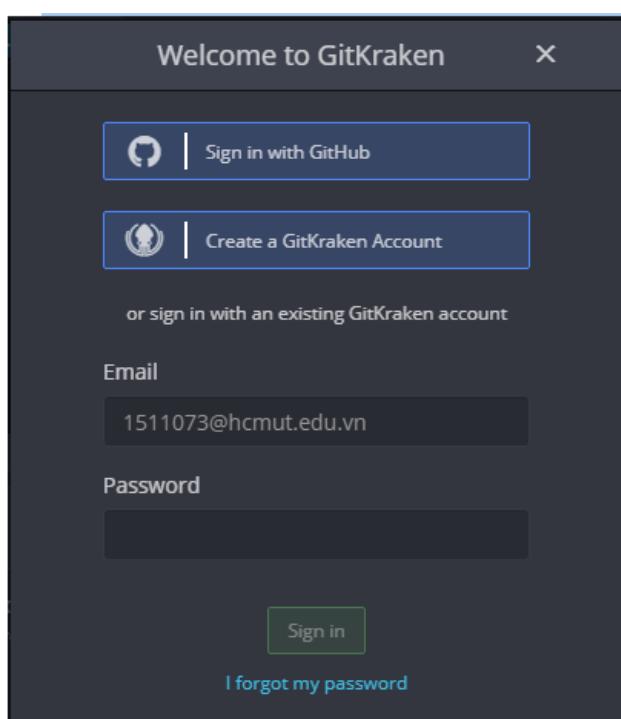
2.1.3.1. Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 1: Tạo tài khoản GitHub tại <https://github.com>
- Bước 2: Tải file cài đặt Gitkraken <https://www.gitkraken.com>



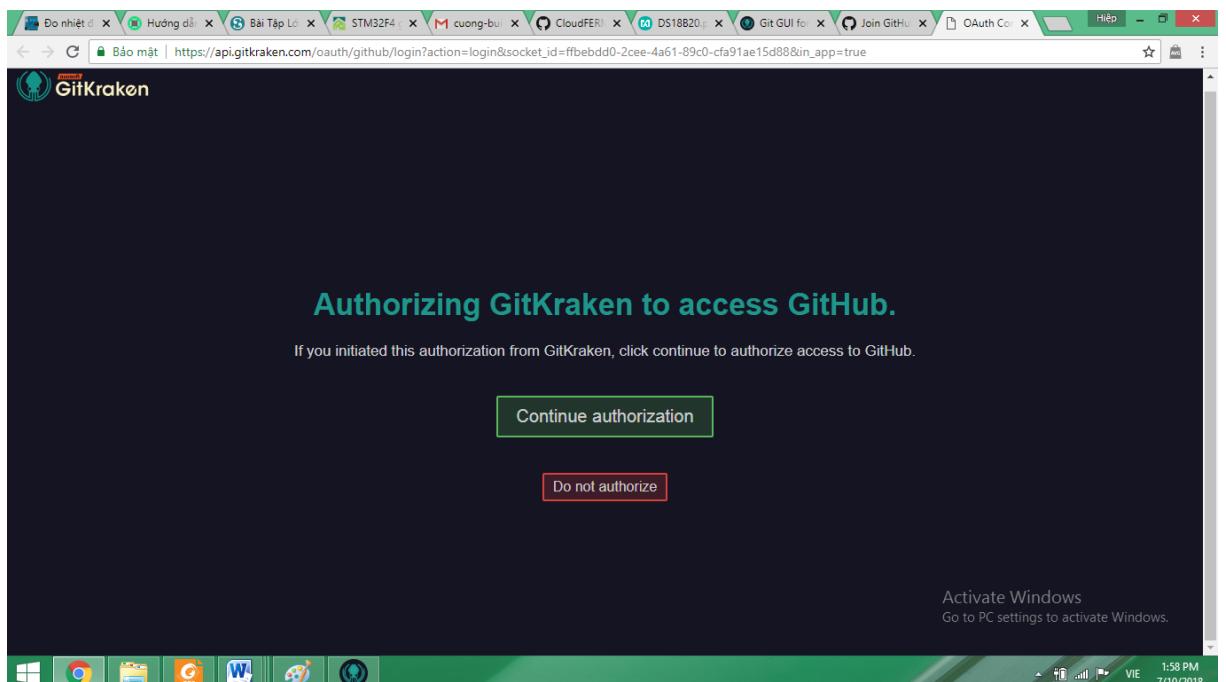
Hình 1: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 3: mở file Gitkraken setup để cài đặt
- Bước 4: Cài đặt xong, hiển thị bảng đăng nhập. Chọn *Sign in with GitHub*



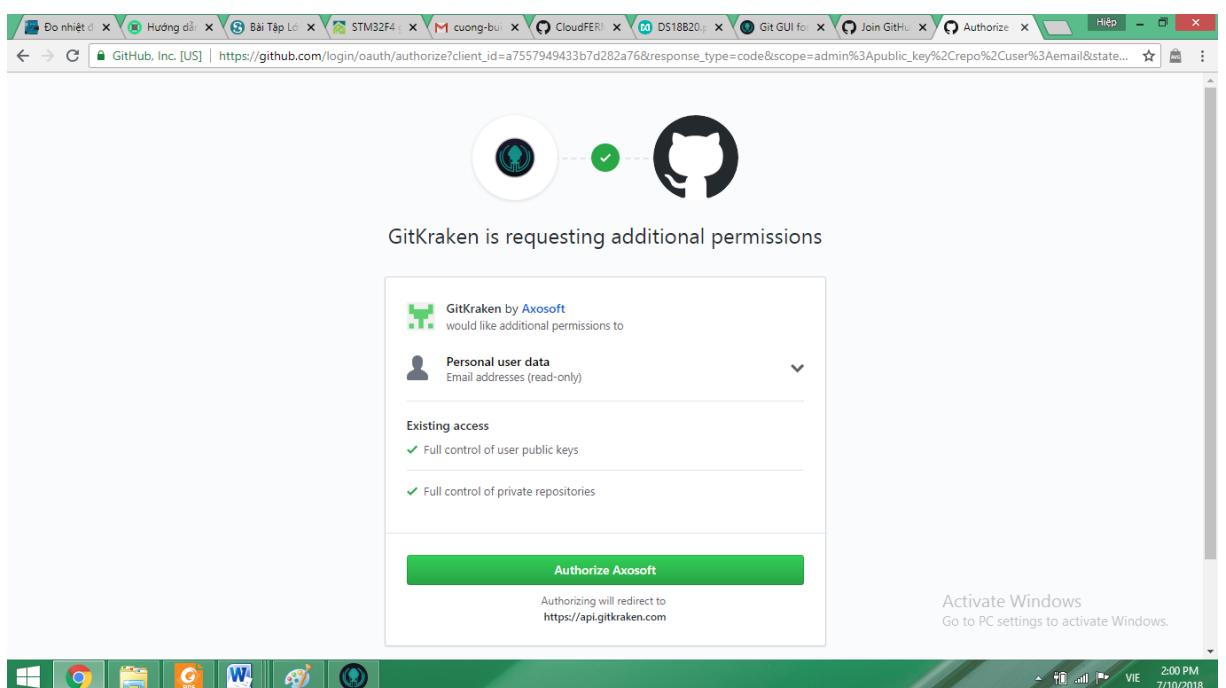
Hình 2: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 5: Chọn *Continue authorization*

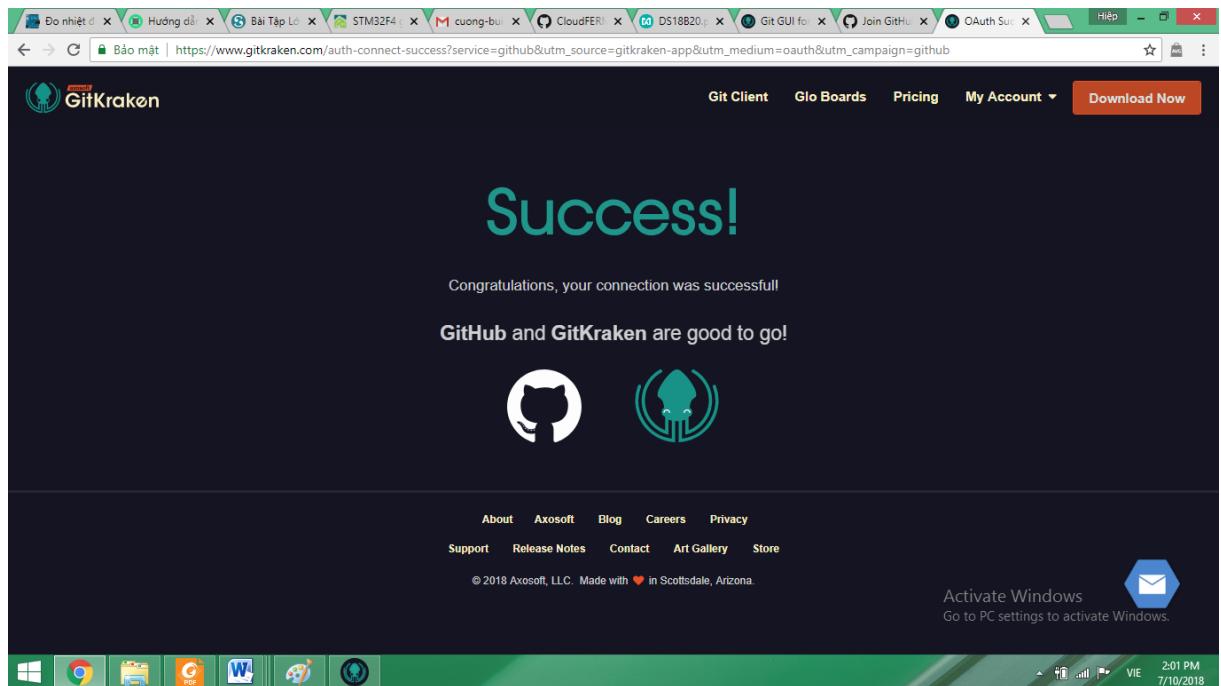


Hình 3: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 6: Chọn *Authorize Axosoft*

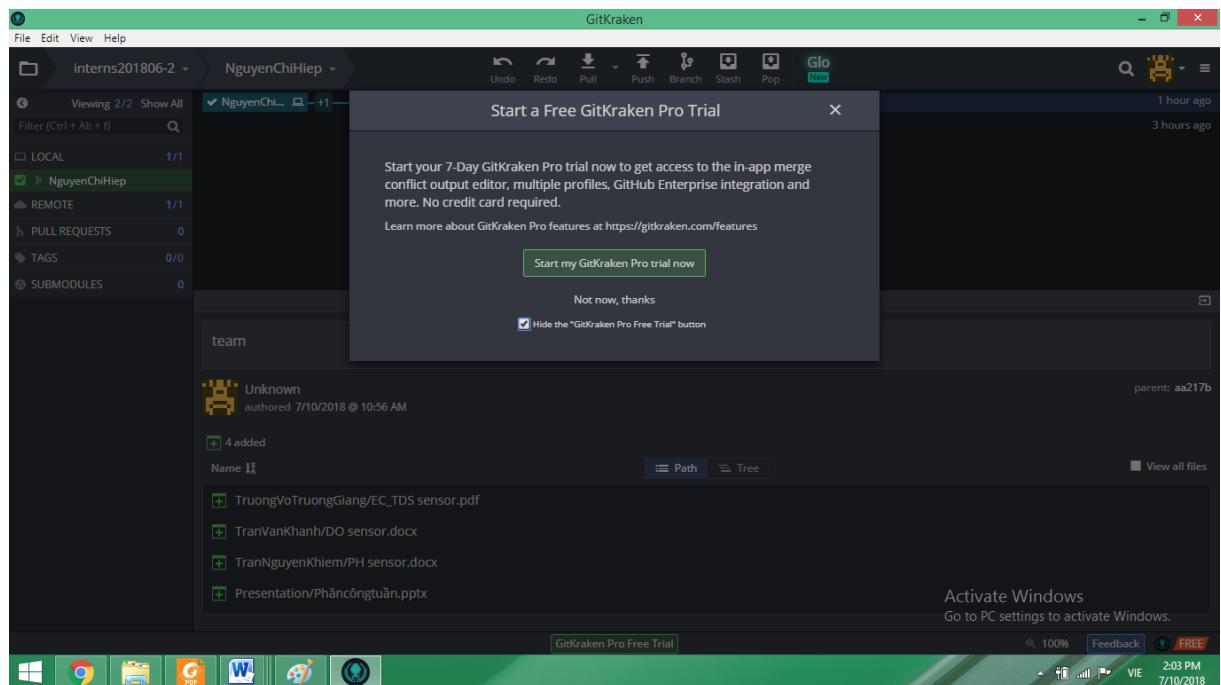


Hình 4: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken



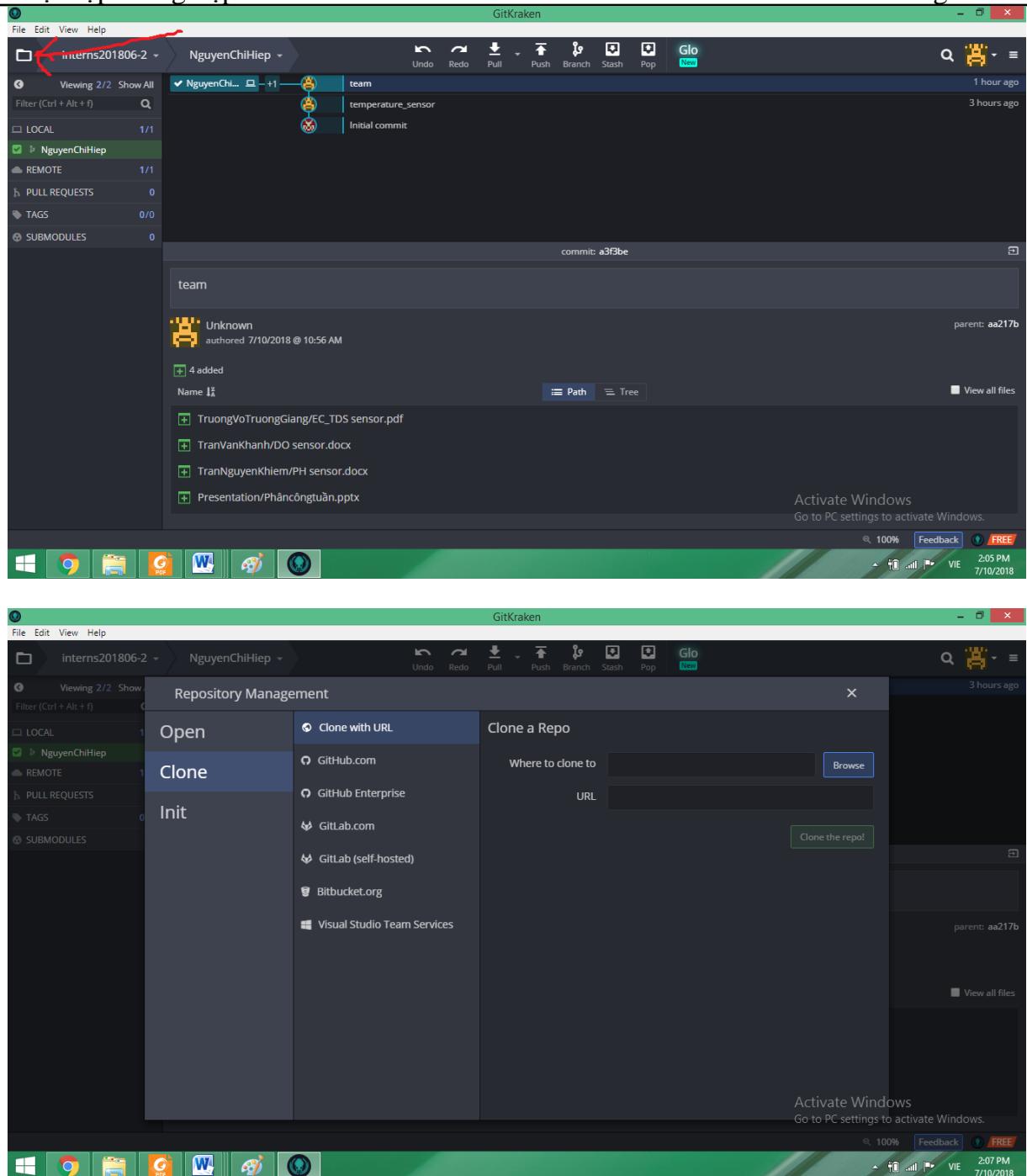
Hình 5: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 7: Mở GitKraken, chọn *Not now, thanks*



Hình 6: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

- Bước 8



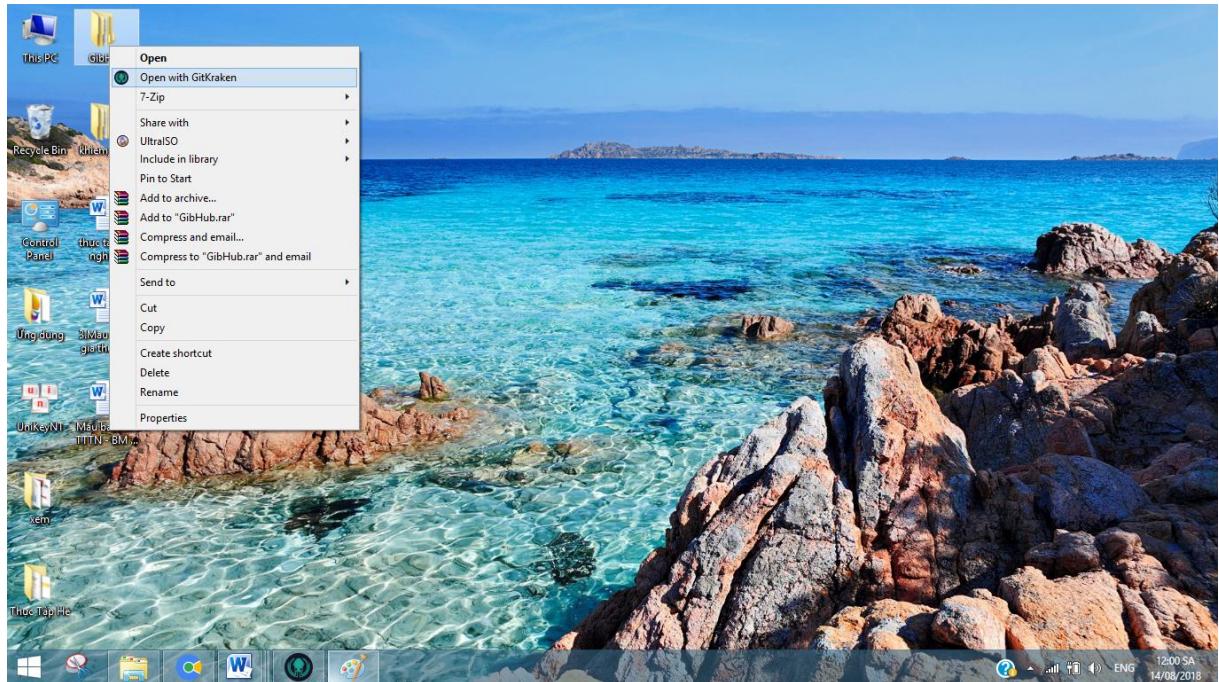
Hình 7: Hướng dẫn cài đặt Gitkraken

Thư mục hiện ra:

- Where to clone to : Chọn thư mục mình muốn làm việc (nơi đây toàn bộ dữ liệu của bạn hoặc nhóm làm việc sẽ được sao lưu (nhân bản) về).
- URL: <https://github.com/CloudFERMI-IoTs/interns201806-2.git>
Ở đây ta chọn đường link làm việc của nhóm. Bạn có thể thay thế đường link này bằng link làm việc của bạn chứa mã nguồn (repository).
- Sau đó Clone the repo!

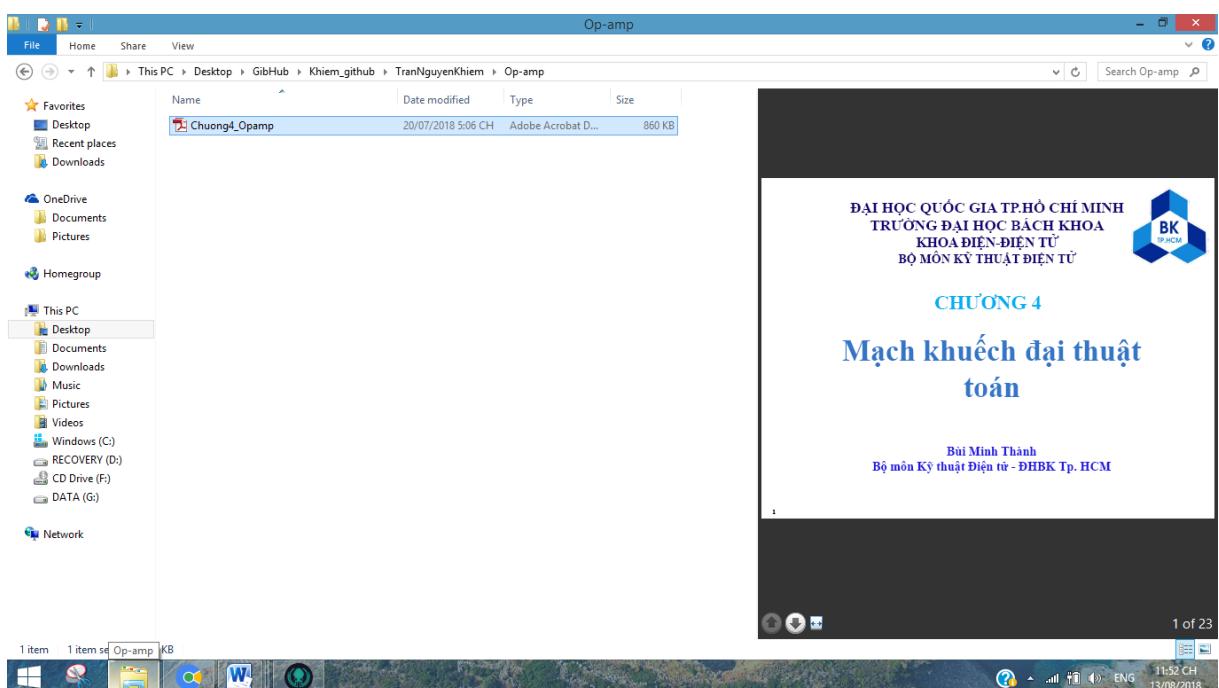
2.1.3.2. Hướng dẫn sử dụng GitHub thông qua Gitkraken.

- Bước 1: Dữ liệu từ GitHub được clone về thư mục bạn đã chọn trước. Mở thư mục đó bằng Gitkraken



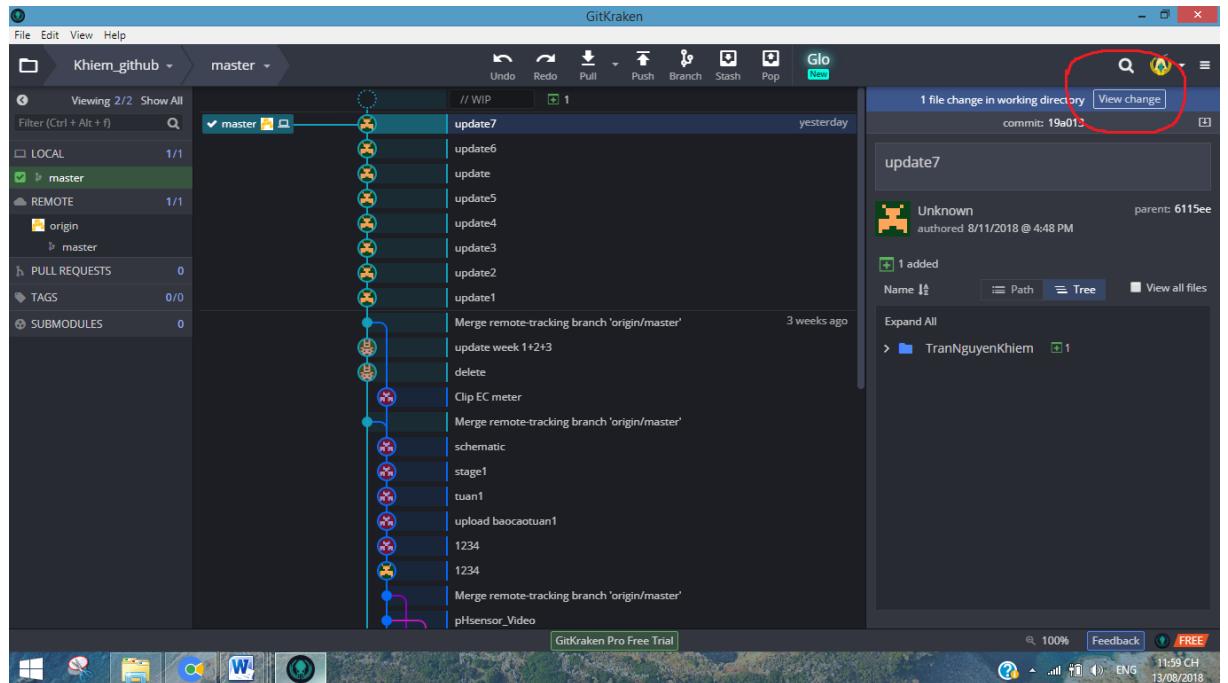
Hình 8: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 2: Copy file muốn up github vào thư mục làm việc, tại vị trí mà bạn muốn



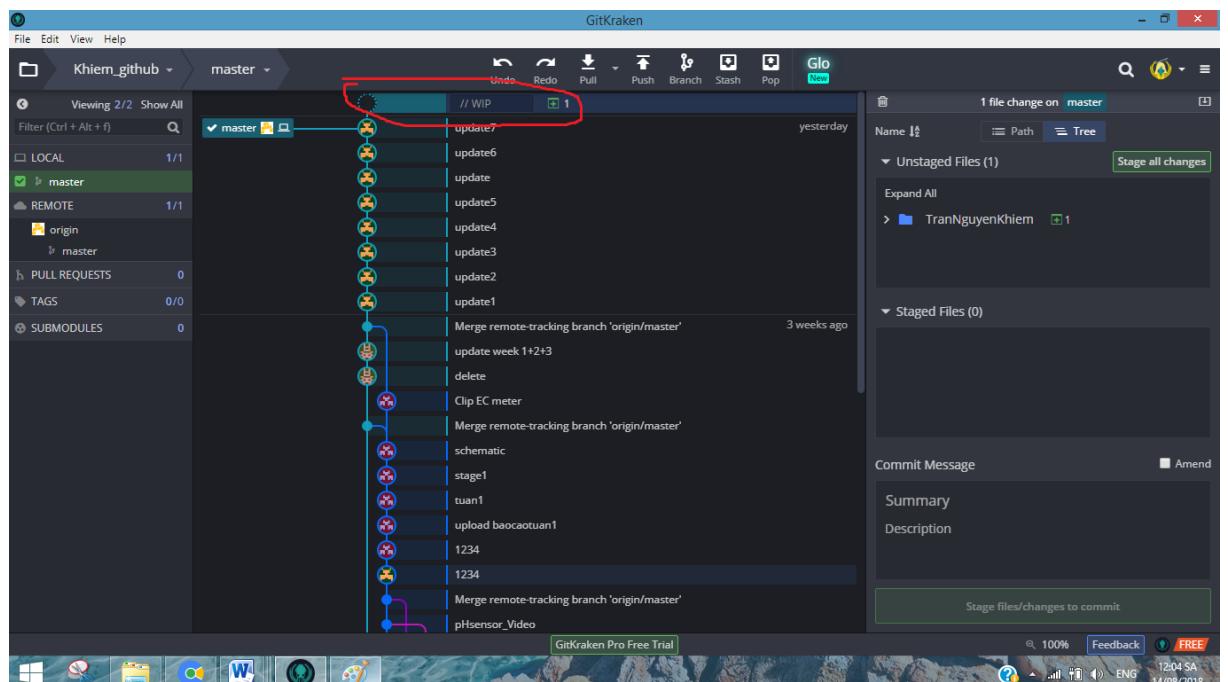
Hình 9: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 3: Đến ứng dụng Gitkraken, chọn View change



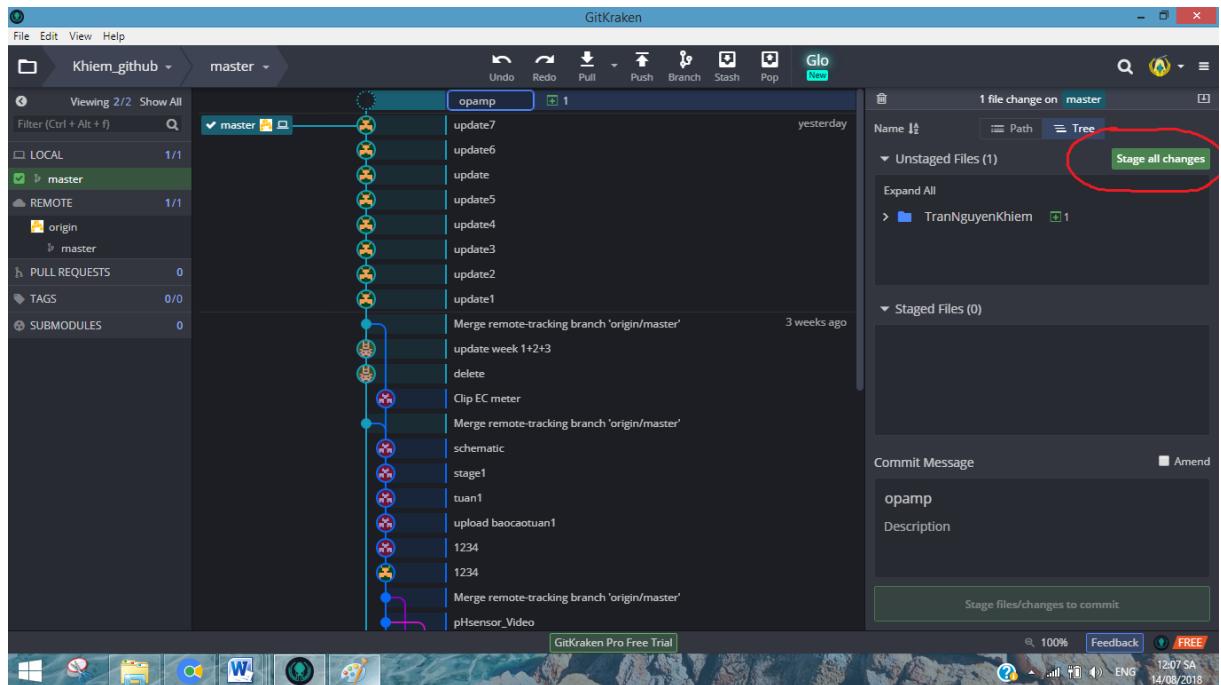
Hình 10: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 4: điền vào phần mô tả thay đổi, đây cũng là mục là các thành viên trong team của bạn theo dõi.



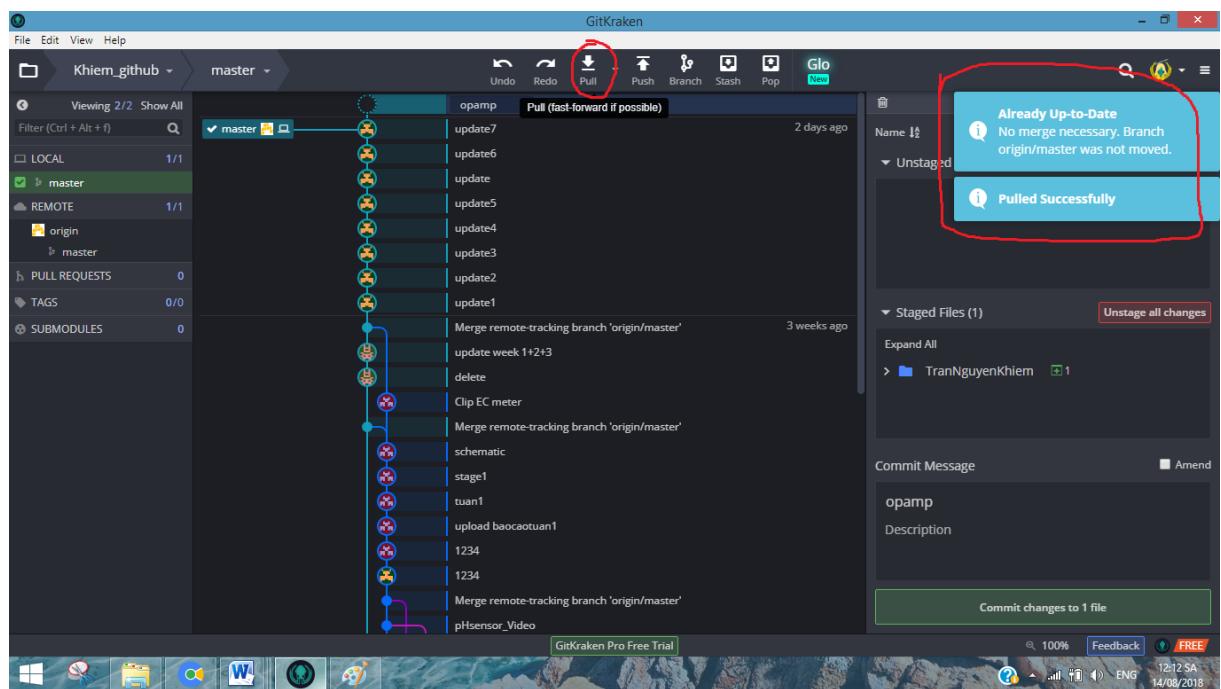
Hình 11: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 5: Chọn Stage all change



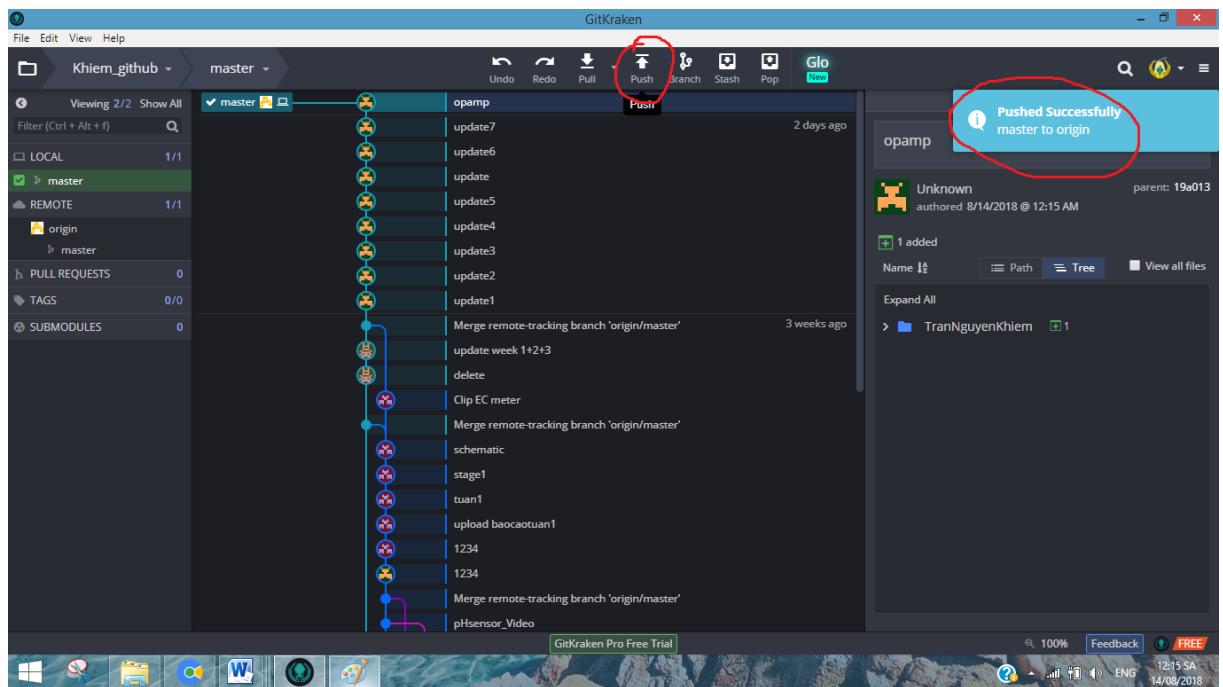
hình 12: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 6: tiếp tục chọn Pull và chờ pulled successfully



Hình 13: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

- Bước 7: Tương tự chọn *Commit changes to 1 file*, sau đó *Push* và chờ
Pushed successfully



Hình 14: Hướng dẫn sử dụng Gitkraken

2.2. Khái quát về độ pH

2.2.1. Chỉ số pH là gì ?

pH là chỉ số đo độ hoạt động của các ion hidrô (H^+) trong dung dịch từ đó suy ra tính axít hay bazơ của nó. Trong các hệ dung dịch nước, độ hoạt động của ion hidrô được quyết định bởi hằng số điện ly của nước (K_w) = $1,011 \times 10^{-14}$ ở $25^\circ C$ và tương tác với các ion khác có trong dung dịch. Do hằng số điện ly này nên một dung dịch trung hòa (độ hoạt động của các ion hidrô cân bằng với độ hoạt động của các ion hidrôxít) có pH xấp xỉ 7. Các dung dịch nước có giá trị pH nhỏ hơn 7 được coi là có tính axít, trong khi các giá trị pH lớn hơn 7 được coi là có tính kiềm.

Chỉ số pH được xác định bằng công thức:

$$pH = -\log [H^+]$$

Môi trường pH

Môi trường	$[H^+]$	pH	Là dung dịch của
Axit	$> 10^{-7}$	< 7	Axit hoặc chất lưỡng tính mà tính axit mạnh hơn tính bazơ
Bazơ	$< 10^{-7}$	> 7	Bazơ hoặc chất lưỡng tính mà tính bazơ mạnh hơn tính axit
Trung tính	$= 10^{-7}$	$= 7$	Chất trung tính hoặc chất lưỡng tính mà tính axit và bazơ tương đương

Bảng 1: Phân loại môi trường dựa vào pH

2.2.2. Mục đích của việc xác định độ pH

- Đo pH giúp ta xác định được nồng độ các tạp chất kim loại gây ảnh hưởng đến sự ăn mòn kim loại đối với đường ống, các vật liệu chứa nước.
- Trong nước chỉ số pH ảnh hưởng khá nhiều đến chất lượng của nguồn nước. Nếu như hàm lượng pH trong nước thấp hay cao đều có những ảnh hưởng nhất định đến sức khỏe của chúng ta và gây ra nhiều căn bệnh nguy hiểm.
- pH giúp ta đánh giá nguy cơ các kim loại hòa tan vào nguồn nước như chì, đồng, sắt, cadmium, kẽm... nó nằm trong các vật chứa nước, trong đường ống.
- Việc đo nồng độ pH sẽ giúp chúng ta cân đối được nên dùng các phương pháp nào xử lý nguồn nước, dùng loại vật liệu nào phù hợp nhất...

2.2.3. Ứng dụng của pH trong đời sống

Chỉ số pH có vai trò quan trọng và có mặt ở mọi lĩnh vực của đời sống.

Trong nông nghiệp: Chỉ số độ pH có vai trò rất quan trọng trong nuôi trồng và phát triển nông nghiệp. Bởi môi trường đất luôn chứa các yếu tố quyết định không hề nhỏ đến sự sinh trưởng và phát triển của cây nông nghiệp. Mỗi loại cây lại có sự thích ứng với từng loại đất khác nhau nên việc kiểm tra tình trạng, chất lượng của đất, đặc biệt là kiểm tra, đánh giá độ pH của đất. Đó là công tác cần được quan tâm và tiến hành thường xuyên.

Trong nuôi trồng thủy sản: pH là một trong những nhân tố môi trường có ảnh hưởng rất lớn trực tiếp và gián tiếp đối với đời sống thủy sinh vật như: sinh trưởng, tỉ lệ sống, sinh sản và dinh dưỡng. pH thích hợp nhất cho tôm, cá là 7.5 – 8.5. Khi pH trong ao nuôi tôm cá quá cao hay quá thấp đều không thuận lợi cho quá trình phát triển của thủy sinh vật.

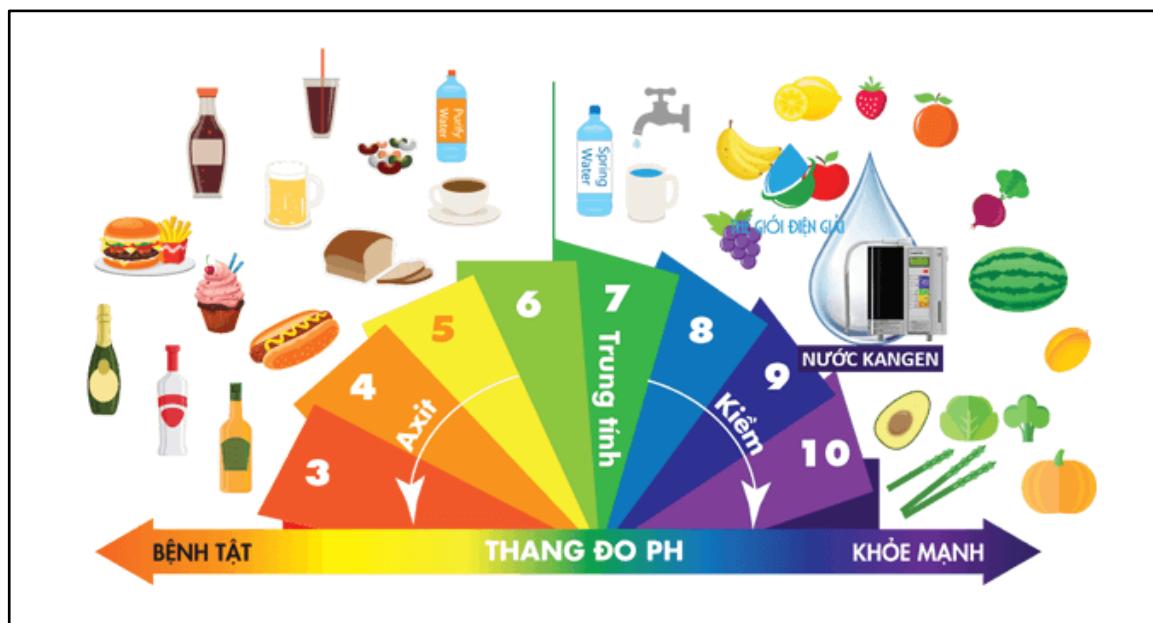
Sức khỏe con người: Nồng độ pH là một trong những yếu tố vô cùng quan trọng ảnh hưởng đến sức khỏe cũng như sinh mệnh của con người. Bởi lẽ, trong cuộc sống hằng ngày từ thức ăn, nước uống, mỹ phẩm, Đều có sự hiện diện của chỉ số pH phù hợp, ăn toàn với người dùng.

Ngoài ra có thể nói pH ảnh hưởng rất nhiều tới những quá trình như: Sản xuất bia, quy trình sản xuất sữa, lêmen, sản xuất phân bón, thuốc trừ sâu, quá trình ăn mòn các chất, quá trình lọc nước uống, xử lý nước trong bể bơi... và nhiều hơn thế nữa. Có thể thấy tầm ảnh hưởng của pH lớn như thế nào, do đó việc xác định đúng để có hướng điều chỉnh pH thích hợp là một vấn đề cần được quan tâm.

2.2.4. Một số giá trị pH phổ biến

Substance	pH approximate
Lemon juice	2,4 – 2,6
Cola drink	2,5
Vinegar	2,5 – 2,9
Orange or apple juice	3,5
Beer	4,5
Coffee	5,0
Tea	5,5
Milk	6,5
Water	7,0
Saliva	6,5 – 7,4
Blood	7,38 – 7,42
Seawater	8,0
Soap	9,0 a 10,0
Bleach	13

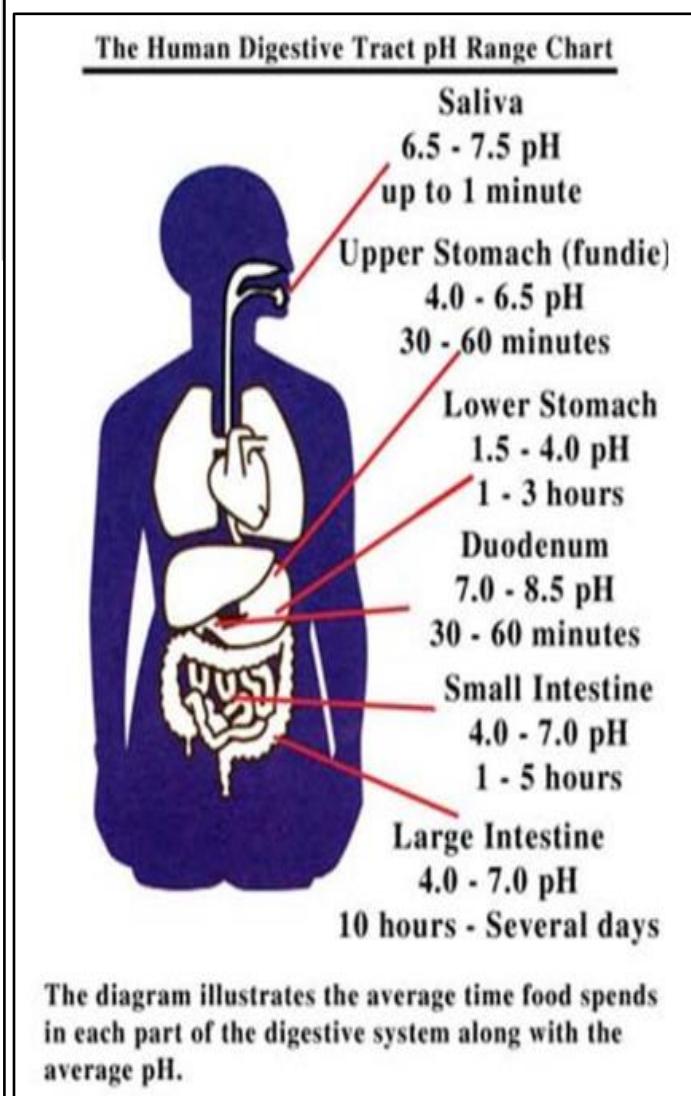
Bảng 2: Một số giá trị pH phổ biến



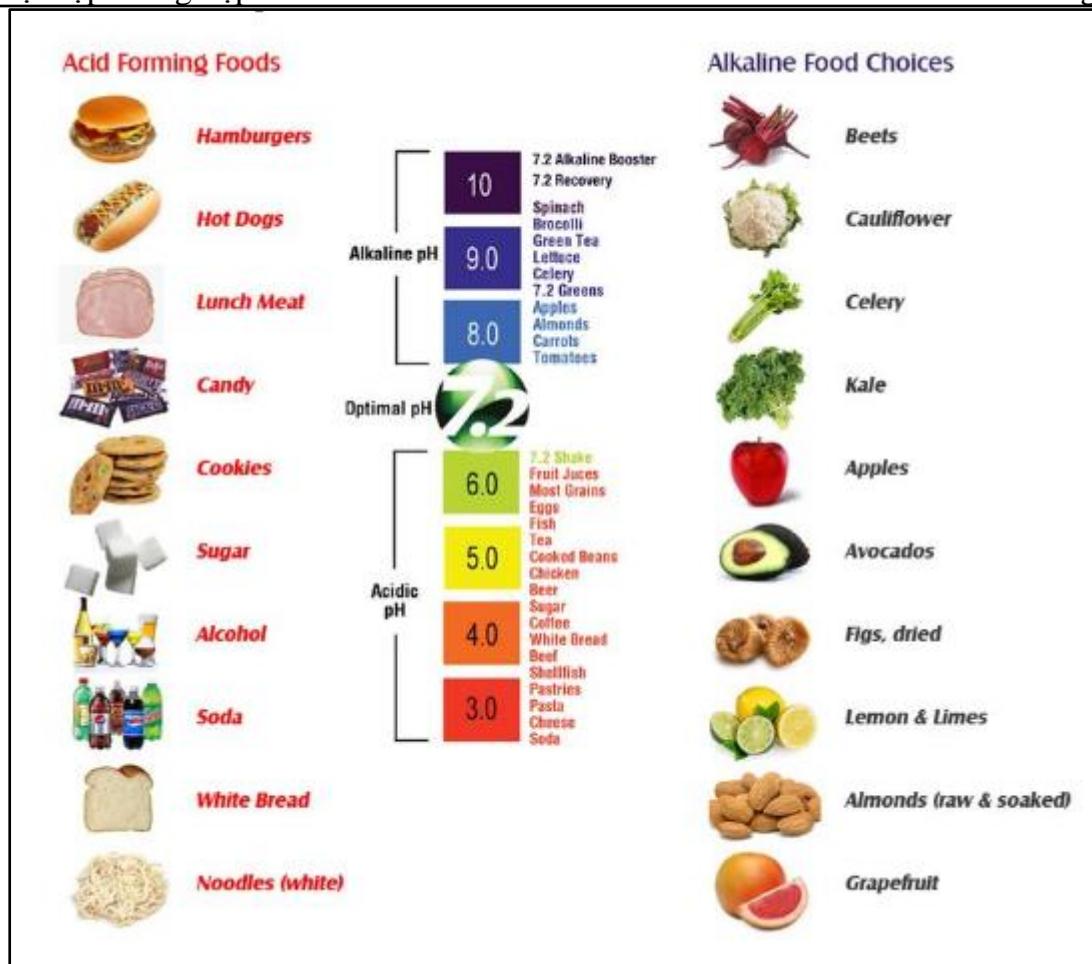
Hình 15: Một số giá trị pH phổ biến trong thực phẩm

Một số giá trị pH phổ biến	
Chất	pH
Nước thoát từ các mỏ	-3,6 – 1,0
Axit ác quy	< 1,0
Dịch vị dạ dày	2,0
Nước chanh	2,4
Cola	2,5
Dấm	2,9
Nước cam hay táo	3,5
Bia	4,5
Cà phê	5,0
Nước chè	5,5
Mưa axít	< 5,6
Sữa	6,5
Nước tinh khiết	7,0
Nước bọt của người khỏe mạnh	6,5 – 7,4
Máu	7,34 – 7,45
Nước biển	8,0
Xà phòng	9,0 – 10,0
Amôniắc dùng trong gia đình	11,5
Chất tẩy	12,5
Thuốc giặt quần áo	13,5

Bảng 3: Một số giá trị pH phổ biến



Hình 16: Giá trị pH tại các cơ quan trên cơ thể người



Hình 17: Một số giá trị pH phổ biến trong thực phẩm

2.2.5. Các phương pháp xác định pH

2.2.5.1. Sử dụng dung dịch đổi màu để đo pH

Methyl red

- $\text{pH} \leq 4$: đỏ
- $\text{pH} \geq 7$: vàng
- $4 < \text{pH} < 7$: cam (đỏ cam → cam → vàng)

Bromthymol Blue

- $\text{pH} \leq 6$: vàng
- $\text{pH} \geq 8$: xanh dương
- $6 < \text{pH} < 8$: xanh lá cây (vàng → xanh lá cây → xanh dương)

Phenolphthalein

$\text{pH} < 8$: không màu, $\text{pH} \geq 8$: màu đỏ

2.2.5.2. Sử dụng giấy chỉ thị màu

Giấy quỳ tím được tẩm với nhiều chất chỉ thị màu khác nhau và mỗi hộp giấy có đính kèm bảng màu để so sánh khi đọc kết quả.

2.2.5.3. pH kế

Là phương pháp tối ưu và độ chính xác nhất có thể đến 2 số thập phân tùy theo model của máy.

2.2.5.4. Dùng điện cực đo pH

Điện cực hydro

Là điện cực chuẩn tuyệt đối để đo pH.

Điện cực hydro là một bát platin được phủ platin xốp (bằng phương pháp điện phân) nhúng trong dung dịch có hydro đi qua với áp suất 1 atm. Thể của điện cực này bằng:

$$E = \frac{2,303RT}{F} \log[H^+]$$

Trong đó:

R = 8,314 J/(mol.K) là hằng số khí

T là nhiệt độ tuyệt đối

F = 9,649.10⁴ là hằng số Faraday

[H⁺] là nồng độ ion hydro trong dung dịch

➡ Theo phương trình này ta thấy thế điện cực tỷ lệ thuận với pH

Điện cực thủy tinh

Phần nhạy của điện cực là một bát bằng thủy tinh có tính chất đặc biệt về thành phần cũng như độ dày. Chất điện ly bên trong điện cực thường là dung dịch HCl có nồng độ cố định. Khi nhúng điện cực vào dung dịch, mặt ngoài của bát thủy tinh bị hydrat hóa, và sự trao đổi giữa ion Na⁺ và ion H⁺ tạo nên một lớp ion hydro trên bề mặt. Lớp ion này tương tác với các silicat tích điện âm tạo nên một thế điện cực tỷ lệ với nồng độ H⁺ trong dung dịch.

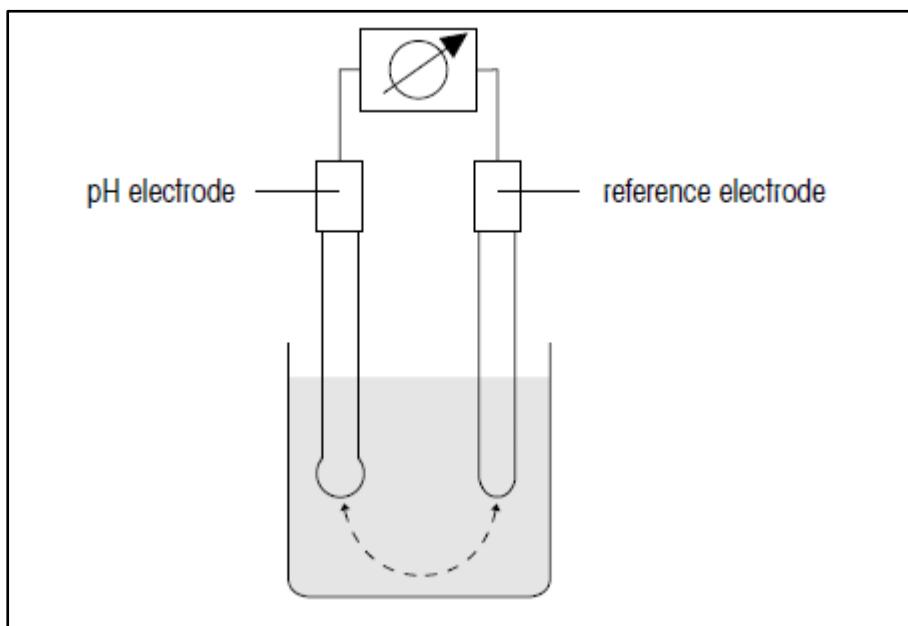
2.3. Cảm biến pH (pH sensor)

2.3.1. Khái quát về cảm biến pH

Cảm biến pH là cảm biến với tín hiệu thu về là tín hiệu analog bao gồm đầu dò pH và Board xử lý tín hiệu thu về từ đầu dò pH, có thể giao tiếp trực tiếp với bất kỳ Bộ vi điều khiển nào. Các thành phần cảm biến pH thường được kết hợp thành một thiết bị gọi là điện cực pH kết hợp. Điện cực đo thường bằng thủy tinh và khá mỏng manh.

2.3.2. Nguyên tắc gián tiếp xác định độ pH

Sử dụng hai điện cực, một điện cực pH và một điện cực tham chiếu, để xác định độ pH của dung dịch bằng cách đo điện thế chênh lệch giữa chúng. Đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất để đo pH, bởi thế điện cực rất nhanh đạt đến trạng thái cân bằng và thể hiện khả năng lặp lại cao. Ngoài ra sự có mặt của các chất ôxy hóa và chất khử cũng rất ít ảnh hưởng đến kết quả đo. Vì thế phương pháp điện cực thủy tinh được sử dụng rộng rãi, không chỉ trong công nghiệp mà còn trong nhiều lĩnh vực khác.



Hình 18: Mạch đo pH

Từ đây ta phát triển mô hình hệ thống đo pH bao gồm:

- Điện cực pH: điện cực có điện áp đầu ra thay đổi khi pH (nồng độ ion hydro) thay đổi.
- Một điện cực tham chiếu: một điện cực có đầu ra điện áp không thay đổi.

- Đồng hồ đo pH: máy đo milivolt với mạch đầu vào trở kháng cao đặc biệt và các mạch để thay đổi các millivolts của điện cực thành các đơn vị đọc pH.
- Ngoài ra, bộ bù nhiệt độ tự động: một thiết bị cảm nhận nhiệt độ để đồng hồ có thể hiệu chỉnh các tác động của thay đổi nhiệt độ.

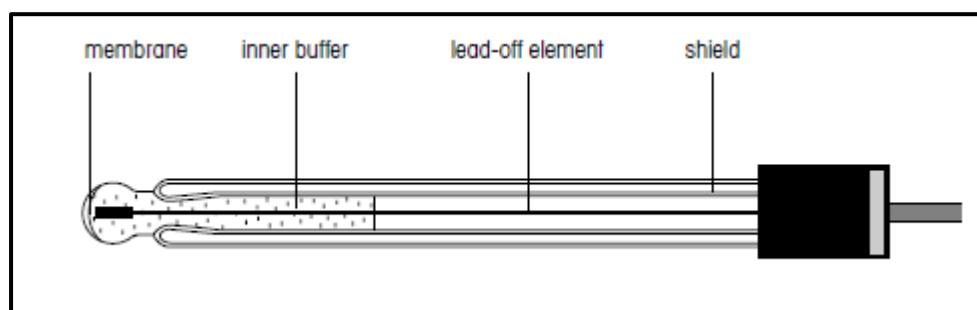
2.3.3. Cấu tạo các loại điện cực thủy tinh

2.3.3.1. Điện cực pH (Glass electrodes)

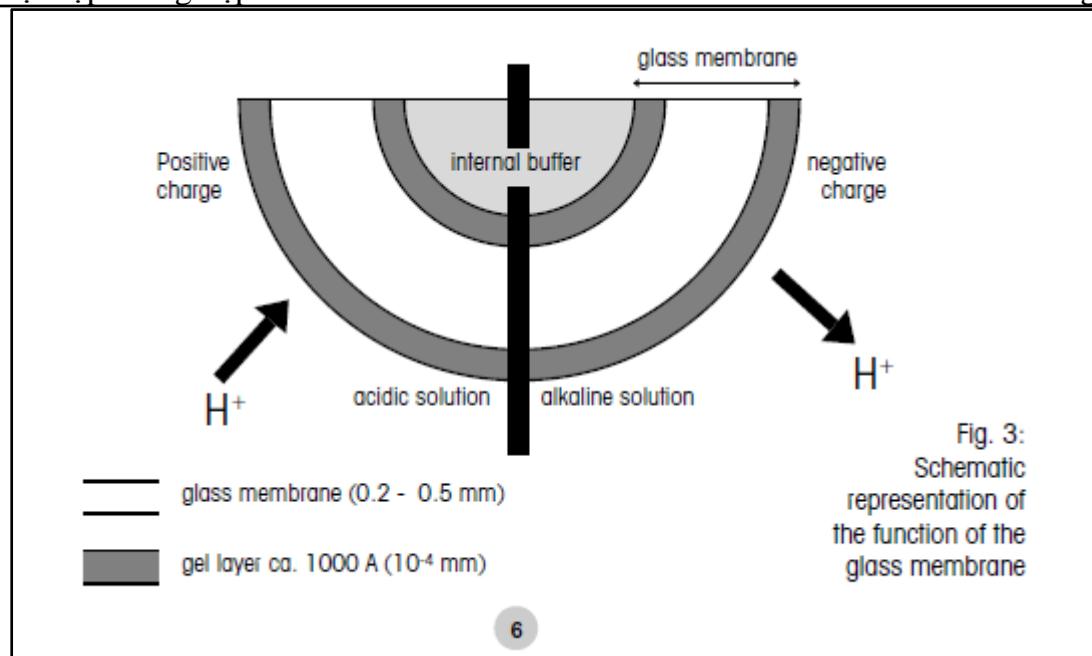
Điện cực pH còn được gọi là điện cực thủy tinh. Về phần cấu tạo, điện cực pH gồm thân điện cực được làm bằng thủy tinh không dẫn điện và bầu thủy tinh được thiết kế bằng thủy tinh đặc biệt. Bên trong thân điện cực chứa dung dịch có nồng độ xác định. Bầu thủy tinh có cấu trúc đặc biệt, bên trong và bên ngoài đều có lớp “Gel”.

Lớp thủy tinh này không cho ion H^+ từ môi trường bên ngoài chui vào cũng như H^+ của dung dịch bên trong chui ra khỏi màng, do vậy nồng độ ion H^+ của dung dịch bên trong thân điện cực luôn được giữ cố định (hay nồng độ dung dịch không thay đổi). Do sự chênh lệch nồng độ ion H^+ giữa lớp màng bên trong và lớp màng bên ngoài sẽ làm xuất hiện một thế điện cực. Vì hoạt độ của ion H^+ bên trong không đổi nên thế điện cực này sẽ thay đổi phụ thuộc vào nồng độ ion H^+ của môi trường bên ngoài.

Thế điện cực này không thể đo trực tiếp mà phải đo gián tiếp thông qua một điện cực khác được giữ cố định được gọi là điện cực tham chiếu.

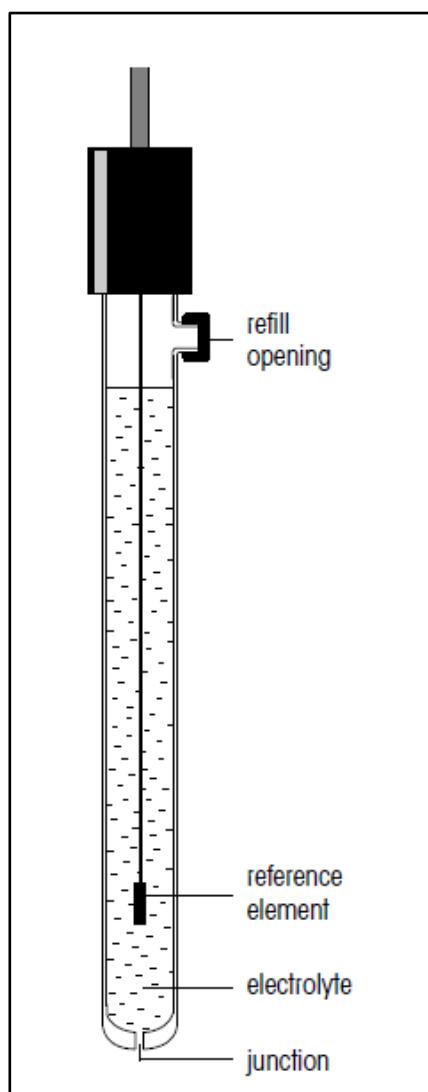


Hình 19: Cấu tạo điện cực pH



Hình 20 : Sơ đồ biểu diễn chức năng của cầu thủy tinh

2.3.3.2. Điện cực tham chiếu (Reference electrodes)



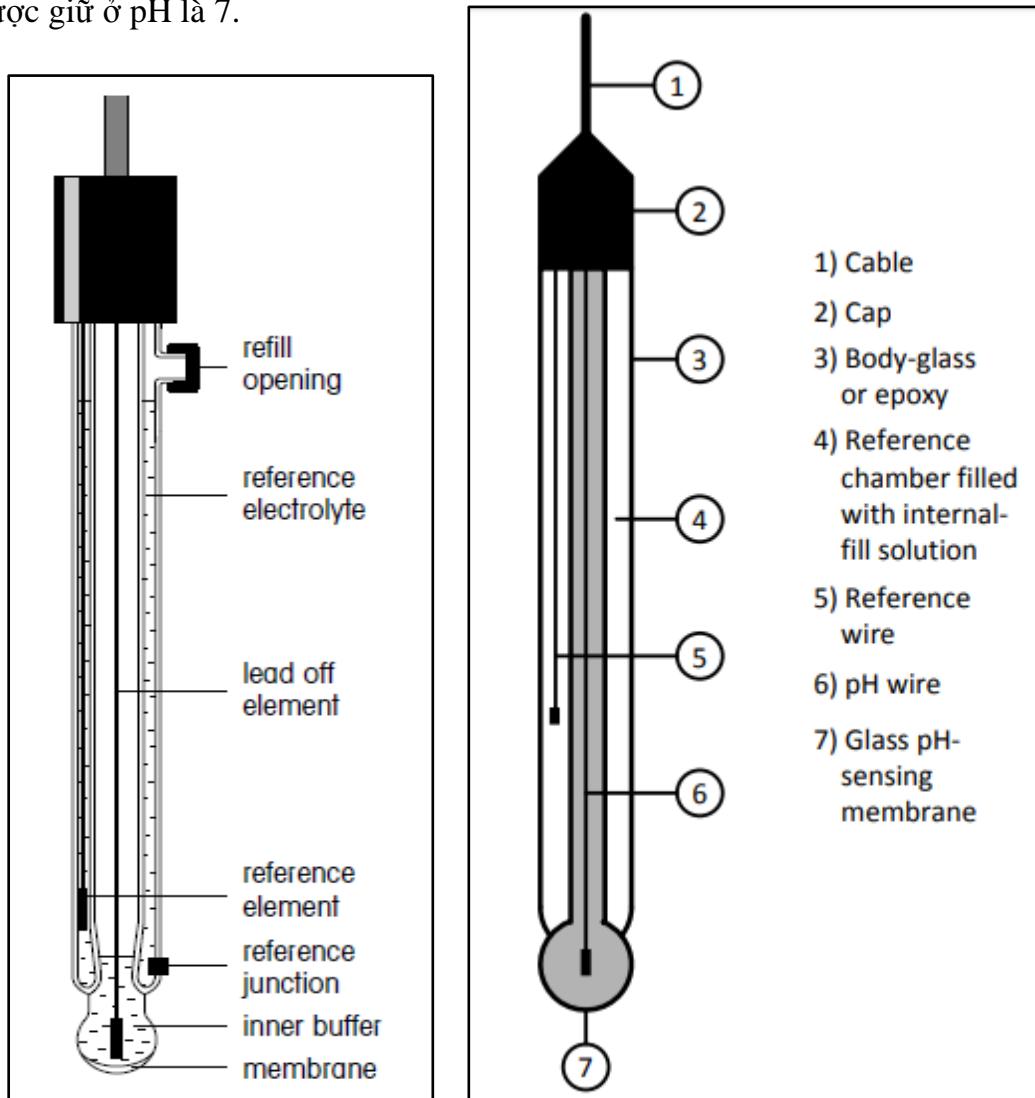
Hình 21: Cấu trúc điện cực tham chiếu

Điện cực so sánh là điện cực có thể điện cực không đổi, không phụ thuộc vào thành phần dung dịch đo và đã được xác định theo thê của điện cực tiêu chuẩn.

Mỗi điện cực tham chiếu bao gồm một phần tử tham chiếu được nhúng trong một chất điện phân được xác định, chất điện phân này phải ở dạng dung dịch. Phần tử tham chiếu hay còn được gọi là điện cực tham chiếu có thể là Ag/AgCl.

2.3.3.3. Điện cực kết hợp (Combination electrodes)

Điện cực pH hiện đại là một điện cực kết hợp gồm hai phần chính: một điện cực thủy tinh và một điện cực tham chiếu như trong Hình 1. Độ pH được xác định chủ yếu bằng cách đo sự khác biệt điện áp giữa hai điện cực này. Ở đầu điện cực là màng mỏng là loại kính cụ thể có khả năng trao đổi ion. Đây là nguyên tố cảm nhận nồng độ ion hydro của dung dịch thử. Điện thế điện cực tham chiếu là hằng số và được tạo ra bởi phần tử bên trong điện cực tham chiếu khi tiếp xúc với dung dịch làm đầy tham chiếu được giữ ở pH là 7.



Hình 22: Điện cực kết hợp

Khi thiết kế với điện cực pH cũng như với bất kỳ cảm biến nào, điều quan trọng là phải hiểu các đặc tính của cảm biến đó và cách chúng ảnh hưởng đến một ứng dụng cụ thể. Những đặc điểm này bao gồm cảm biến là hoạt động hoặc thụ động, đơn cực hay lưỡng cực, nó có một điện áp hoặc đầu ra hiện tại. Độ nhạy cảm biến, độ tuyến tính, phạm vi toàn dải và trở kháng nguồn cũng cần được xem xét.

Điện cực pH là một cảm biến thụ động, có nghĩa là không cần nguồn kích thích (điện áp hoặc dòng điện). Bởi vì đầu ra của điện cực có thể xoay trên và dưới điểm tham chiếu, nên nó được phân loại như một cảm biến lưỡng cực. Nó tạo ra một đầu ra điện áp phụ thuộc tuyến tính khi pH của dung dịch được đo.

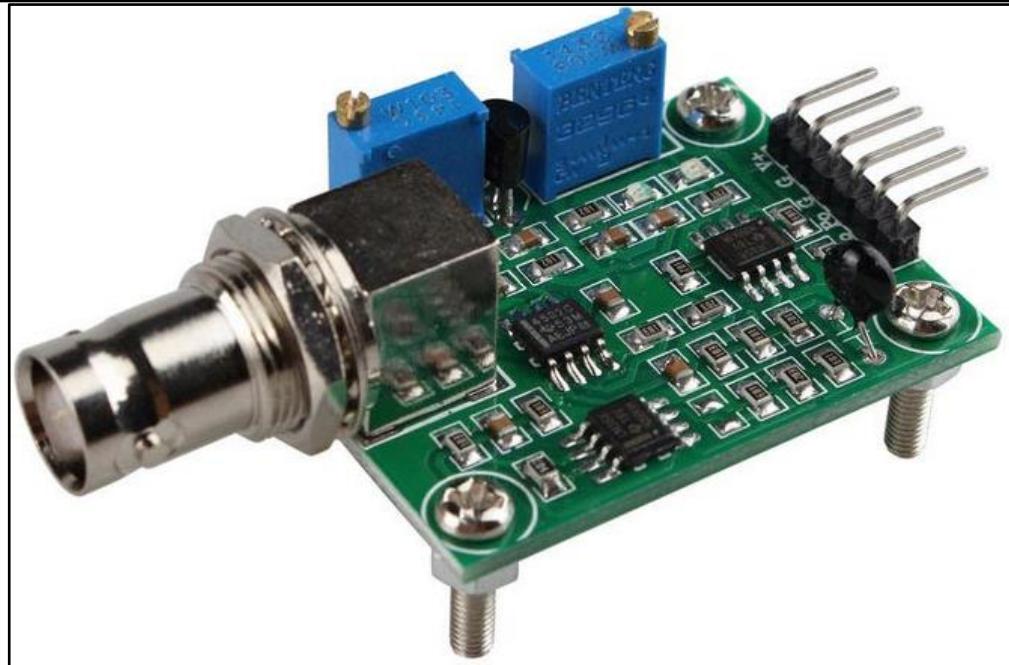
Trở kháng nguồn của điện cực pH rất cao bởi vì bóng thủy tinh mỏng có trở kháng lớn thường nằm trong khoảng **từ $10 M\Omega$ đến $1000 M\Omega$** . Điều này có nghĩa là điện cực chỉ có thể được theo dõi bởi một thiết bị đo trở kháng cao.

2.3.4. Cấu tạo cảm biến pH

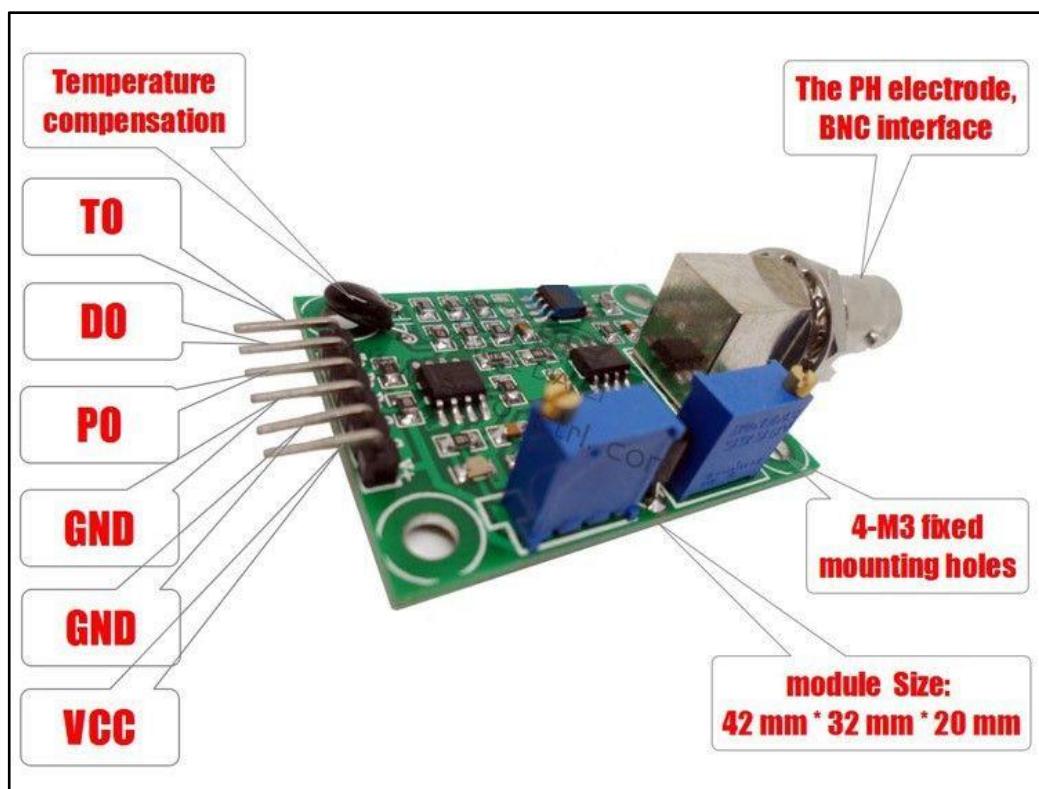
Một cảm biến pH bao gồm một điện cực kết hợp (còn gọi là đầu dò pH) và một board hay module xử lý tín hiệu thu về.



Hình 22: Đầu dò pH



Hình 23: Module xử lý tín hiệu của cảm biến pH



Hình 24: Sơ đồ chân của module xử lý tín hiệu của cảm biến pH

Thông số chung:

- Điện áp cung cấp đầu vào: 5V
- Làm việc tại: 5-10mA
- Dải nồng độ phát hiện: PH= 0 -14
- Phạm vi phát hiện nhiệt độ: 0 - 80⁰C
- Thời gian đáp ứng: ≤ 5S
- Thời gian ổn định: ≤ 60S
- Đầu ra: Analog
- Tiêu thụ điện năng: ≤ 0.5W
- Nhiệt độ làm việc: -10 đến +50 độ C
- Độ Âm làm việc: 95% RH (độ ẩm danh nghĩa 65% RH)
- Trọng lượng: 25g
- Kích thước PCB: 42mm x 32mm x 20mm

2.3.5. Nguyên lý hoạt động của cảm biến pH

Nguyên lý chung dựa trên định luật điện phân Faraday. Khi đặt điện cực tham chiểu trong dung dịch chất điện phân tham chiểu, thì giữ điện cực và dung dịch điện phân sinh ra một thế điện cực, thế điện cực này luôn là hằng số vì dung dịch chất điện phân là một dung dịch xác nồng độ cũng như không có sự trao đổi ion H^+ của môi trường chất điện phân tham chiểu và môi trường bên ngoài. Do đó ta có thể kết luận rằng, thế điện cực từ điện cực tham chiểu là hằng số, ta gọi thế điện cực này là E_0 .

Sự chênh lệch nồng độ ion H^+ của môi trường trong thân điện cực kết hợp và môi trường ngoài đã làm sinh ra một hiệu điện thế giữa lớp tiếp giáp của bìa thủy tinh và môi trường ngoài, từ đó hình thành một thế điện cực ở điện cực pH ta gọi thế điện cực này là E . Do nồng độ ion H^+ của môi trường bên trong thân điện cực kết hợp không thay đổi nên thế điện cực được hình thành ở điện cực pH phụ thuộc vào nồng độ hay độ linh động của ion H^+ môi trường ngoài.

Độ chênh lệch điện thế giữa 2 điện cực trong điện cực kết hợp tuân theo quy luật của phương trình Nernst:

$$E = E_0 + \frac{2,3RT}{nF} \log[H^+]$$

Trong đó:

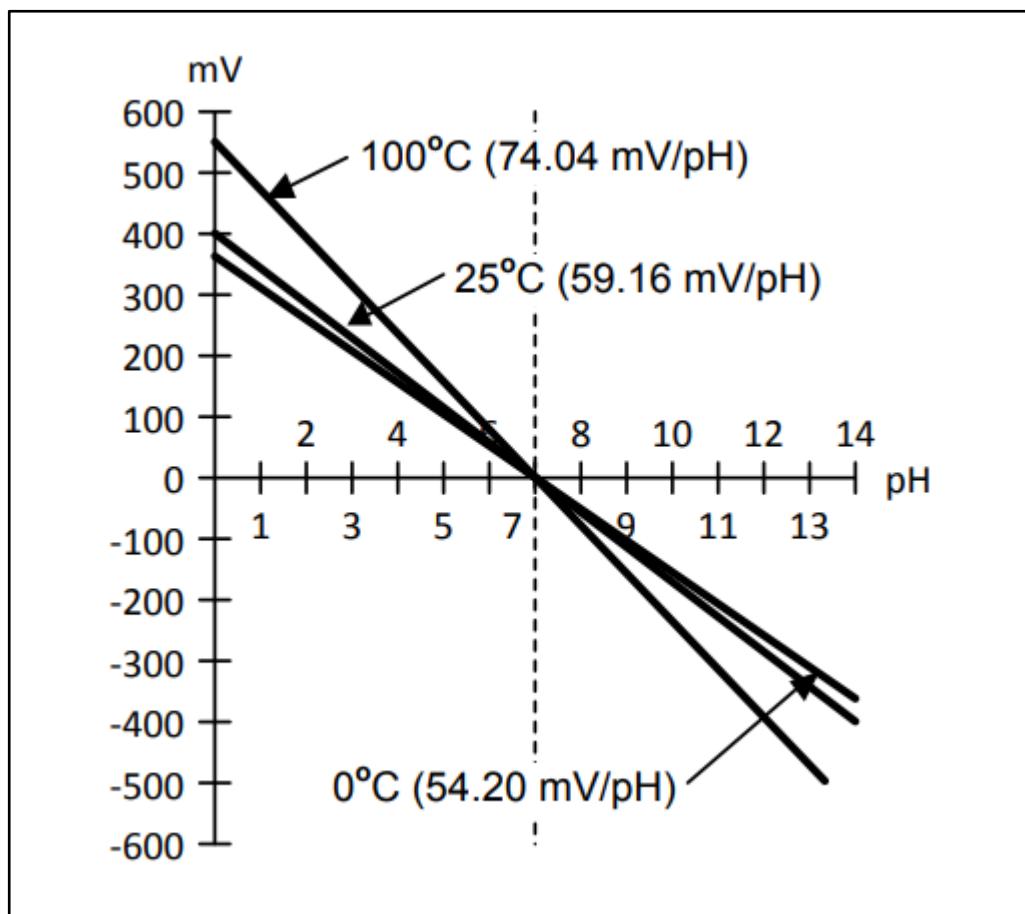
- E_0 : là điện thế chuẩn của điện cực thủy tinh hay thế điện cực chuẩn.
 - $R = 8,314 \text{ J/(mol.K)}$ là hằng số khí.
 - T là nhiệt độ tuyệt đối.
 - $F = 9,649 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ là hằng số Faraday.
 - $[H^+]$ là nồng độ ion hydro trong dung dịch hay còn được gọi là độ linh động của dung dịch.
 - n là số electron phản ứng.
-  Theo phương trình này ta thấy được điện thế cực tỷ lệ với nồng độ H^+ hay pH.

Bên cạnh phương trình Nernst, giá trị pH của dung dịch cần đo còn được biểu diễn thông qua phương trình:

$$\text{pH (X)} = \text{pH (S)} + \frac{(E_S - E_X) F}{RT \ln(10)} \quad (1)$$

Trong đó:

- pH (X) : pH của dung dịch chưa biết (X)
- pH (S) : pH của dung dịch chuẩn = 7
- E_S : Điện thế tại điện cực chuẩn
- E_X : Điện thế tại điện cực đo pH
- F : Hằng số Faraday = $9.6485309 * 10^4$ C mol⁻¹
- R : Hằng số khí = 8.314510 J K⁻¹ mol⁻¹
- T : Nhiệt độ trong Kelvin



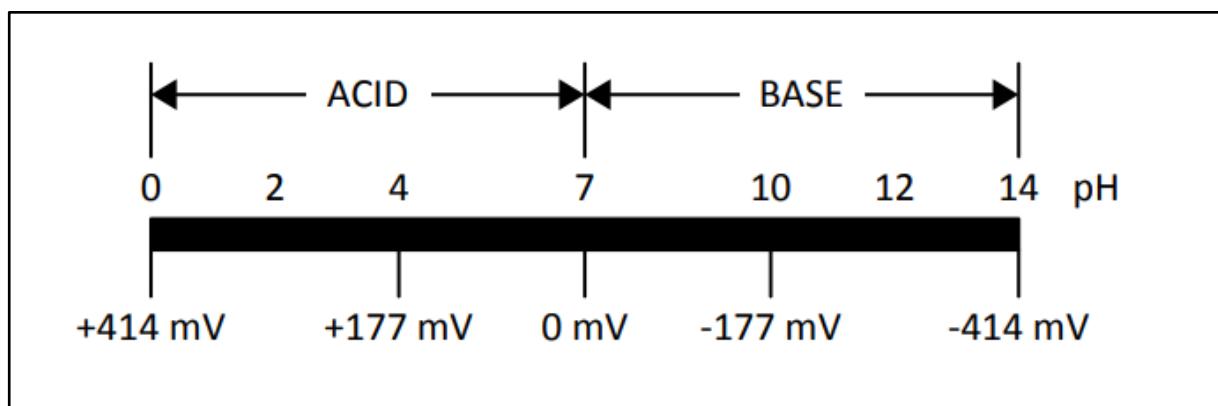
Hình 25: Quan hệ giữa pH, thế điện cực đầu ra và nhiệt độ

Phương trình trên và hình 22 trên cho thấy rằng khi pH của dung dịch tăng lên, điện áp được tạo ra bởi điện cực pH giảm.

Điều quan trọng cần lưu ý là độ nhạy của điện cực pH thay đổi theo nhiệt độ. Nhìn vào phương trình (1) điện cực pH cho thấy độ nhạy tuyến tính tăng theo nhiệt độ theo một hệ số được gọi là **hệ số nhiệt độ** (hay còn gọi là **độ nhạy điện cực** hay **hệ số dốc**) :

$$\frac{RT \ln(10)}{F} \text{ or } 0.000198T \text{ V/pH}$$

Điều này dẫn đến phạm vi toàn dãy đầu ra của cảm biến phụ thuộc vào nhiệt độ.



Hình 26: Phạm vi đầu ra toàn dãy ở 25°C với hệ số nhiệt độ là $59,16 \text{ mV/pH}$

ACIDS							BASES							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
+414	+355	+296	+237	+177	+118	+59	00	-59	-118	-177	-237	-296	-355	-414

Bảng 4: Phạm vi đầu ra toàn dãy ở 25°C với hệ số nhiệt độ là $59,16 \text{ mV/pH}$

Khi nhiệt độ thay đổi phạm vi đầu ra toàn dãy của điện thế cũng thay đổi theo hệ số nhiệt độ. Và ta cần tính toán giá trị hệ số nhiệt độ này. Lưu ý tại pH=0 luôn có mức điện thế điện cực là 0V, mV/pH là + cho pH < 7 và mV/pH - cho pH > 7.

Ví dụ, ở 25°C , độ nhạy điện cực là $59,16 \text{ mV} / \text{pH}$ và đầu ra của điện cực sẽ có giá trị là:

$$7 \text{ pH} \times +59,16 \text{ mV} / \text{pH} = +414,12 \text{ mV} (\text{pH}=0, \text{ axit mạnh})$$

$$7 \text{ pH} \times -59,16 \text{ mV} / \text{pH} = -414,12 \text{ mV} (\text{pH}=14, \text{ bazo mạnh})$$

$$4 \text{ pH} \times +59,16 \text{ mV} / \text{pH} = +236,64 \text{ mV} (\text{pH}=4, \text{ tính axit})$$

$$4 \text{ pH} \times -59,16 \text{ mV} / \text{pH} = -236,64 \text{ mV} (\text{pH}=11, \text{ tính bazo})$$

Tuy nhiên, nếu nhiệt độ dung dịch đo được tăng lên 100°C , độ nhạy điện cực hay hệ số nhiệt độ là:

$$\frac{RT\ln(10)}{F} = \frac{8,314 \cdot (273+100) \cdot \ln(10)}{9,649 \cdot 10^4} = 74,04 \text{ mV/pH}$$

Biên độ đầu ra điện thế sẽ đi từ:

$$7 \text{ pH} + 74,04 \text{ mV} / \text{pH} = +518,29 \text{ mV} (\text{pH}=0) \quad \text{đến}$$

$$7 \text{ pH} - 74,04 \text{ mV} / \text{pH} = -518,29 \text{ mV} (\text{pH}=14)$$

Do đó trong trường hợp này, điều quan trọng là phải biết nhiệt độ của dung dịch được đo và tính hệ số nhiệt, bù cho phép đo tương ứng.

Một điện cực lý tưởng ở 25°C sẽ tạo ra 0 mV khi được đặt trong dung dịch có độ pH là 7. Tuy nhiên, các điện cực trong thực tế không lý tưởng và sẽ có một số đặc điểm thay đổi từ 0 mV. Biến thể này được gọi là lỗi thiết lập của điện cực. Như đã nói ở trên, độ nhạy của một điện cực lý tưởng ở 25°C là $59,16 \text{ mV}$ trên một đơn vị pH. Bất kỳ biến thiên nào từ giá trị lý tưởng này được xác định là sai số nhiệt độ của điện cực. Những lỗi sẽ cần được tính toán thông qua hiệu chuẩn nếu yêu cầu độ chính xác của hệ thống cao.

		pH/mV Ratio (measured with regard to the saturated calomel electrode)									
pH	Temp. °C	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.0		379.4	393.3	407.1	421.0	434.9	448.8	462.7	476.6	490.5	504.4
0.5		352.3	365.2	378.1	391.0	403.9	416.8	429.7	442.5	455.5	468.3
1.0		325.2	337.1	349.0	360.9	372.8	384.7	396.6	408.5	420.4	432.3
1.5		298.1	309.0	319.9	330.8	341.7	352.6	363.6	374.5	385.4	396.3
2.0		271.0	280.9	290.8	300.7	310.7	320.6	330.5	340.4	350.3	360.3
2.5		243.9	252.8	261.7	270.7	279.6	288.5	297.5	306.4	315.3	324.2
3.0		216.8	224.7	232.7	240.6	248.5	256.5	264.4	272.3	280.3	288.2
3.5		189.7	196.6	203.6	210.5	217.5	224.4	231.4	238.3	245.2	252.2
4.0		162.6	168.5	174.5	180.4	186.4	192.3	198.3	204.3	210.2	216.2
4.5		135.5	140.5	145.4	150.4	155.3	160.3	165.3	170.2	175.2	180.1
5.0		108.4	112.4	116.3	120.3	124.3	128.2	132.2	136.2	140.1	144.1
5.5		81.3	84.3	87.2	90.2	93.2	96.2	99.2	102.1	105.1	108.1
6.0	+ mV	54.2	56.2	58.2	60.1	62.1	64.1	66.1	68.1	70.1	72.1
6.5	↑	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.0	35.0	36.0
7.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.5	↓	27.1	28.1	29.1	31.1	31.1	32.1	33.1	34.0	35.0	36.0
8.0	- mV	54.2	56.2	58.2	60.1	62.1	64.1	66.1	68.1	70.1	72.1
8.5		81.3	84.3	87.2	90.2	93.2	96.2	99.2	102.1	105.1	108.1
9.0		108.4	112.4	116.3	120.3	124.3	128.2	132.2	136.2	140.1	144.1
9.5		135.5	140.5	145.4	150.4	155.3	160.3	165.3	170.2	175.2	180.1
10.0		162.6	168.5	174.5	180.4	186.4	192.3	198.3	204.3	210.2	216.2
10.5		189.7	196.6	203.6	210.5	217.5	224.4	231.4	238.3	245.2	252.2
11.0		216.8	224.7	232.7	240.6	248.5	256.5	264.4	272.3	280.3	288.2
11.5		243.9	252.8	261.7	270.7	279.6	288.5	297.5	306.4	315.3	324.2
12.0		271.0	280.8	290.8	300.7	310.7	320.6	330.5	340.4	350.3	360.3
12.5		298.1	309.0	319.9	330.8	341.7	352.6	363.6	374.5	385.4	393.3
13.0		325.2	337.1	349.0	360.9	372.8	384.7	396.6	408.5	420.4	432.3
13.5		352.3	365.2	378.1	391.0	403.9	416.8	429.7	442.5	455.4	468.3
14.0		379.4	393.3	407.1	421.0	434.9	448.8	462.7	476.6	490.5	504.4

Bảng 5: Phạm vi áp đầu ra ở nhiệt độ T

pH vs. Temperature Error Chart											
pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5°	.30	.24	.18	.12	.06	0	.06	.12	.18	.24	.30
15°	.15	.12	.09	.06	.03	0	.03	.06	.09	.12	.15
25°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35°	.15	.12	.09	.06	.03	0	.03	.06	.09	.12	.15
45°	.30	.24	.18	.12	.06	0	.06	.12	.18	.24	.30
55°	.45	.36	.27	.18	.09	0	.09	.18	.27	.36	.45
65°	.60	.48	.36	.24	.12	0	.12	.24	.36	.48	.60
75°	.75	.60	.45	.30	.15	0	.15	.30	.45	.60	.75
85°	.90	.72	.54	.36	.18	0	.18	.36	.54	.72	.90

Bảng 6: Sai số có thể có được ra bởi nhiệt độ

2.3.6. Bù nhiệt độ cho cảm biến pH

Từ phương trình (1) cho ta thấy rằng, giá trị pH là một hàm tuyến tính theo T. Khi nhiệt độ thay đổi không những phạm vi đầu ra toàn dãy của điện thế thay đổi mà giá trị pH cũng thay đổi theo. Do vậy việc tính lại *hệ số nhiệt độ* (hay độ nhạy điện cực) ở mỗi lần đo ứng với nhiệt độ môi trường tương ứng là điều cần thiết để bù nhiệt độ cho một phép đo.

2.3.7. Một số vấn đề gặp phải

Bên cạnh sai số phép đo do mạch xử lý tín hiệu thu tín hiệu không chính xác gửi về vi điều khiển thì còn có một số sai số khác như:

2.3.7.1. Sai số phép đo ở cảm biến

Các sai lệnh có thể là :

- Dung dịch chất điện phân bên trong chưa được làm đầy, chưa phủ được điện cực tham chiếu.
- Khe hở bên thân chưa được đóng nắp.
- Bầu thủy tinh của điện cực bị trầy hoặc bị bẩn

Cách khắc phục:

- Làm đầy dung dịch chất điện phân sao cho dung dịch phủ được điện cực tham chiếu.
- Kiểm tra nắp đậy của khe hở bên thân điện cực.
- Vệ sinh bầu thủy tinh của điện cực sau mỗi lần sử dụng và trước khi sử dụng bằng nước cất
- Giữ bầu thủy tinh không để bị trầy xước dẫn đến bị nhiễu, tín hiệu không ổn định.

2.3.7.2. Sai số phép đo ở dung dịch đo

Môi trường có nồng độ ion từ vài mmol trở xuống được coi là ion thiếu. Nồng độ ion thấp như vậy dẫn đến độ dẫn kém. Trong môi trường ion nghèo, điện trở phát sinh tại lớp tiếp xúc lớn, điện trở này dẫn đến các vấn đề về độ linh động của ion H^+ làm sai lệch độ pH. Dung dịch chứa ít nước hay dung dịch đặc (dưới 5% nước) đây cũng là một dạng môi trường thiếu ion.

2.3.8. Cách sử dụng cảm biến pH

Giữ sạch máy đo, dây đo, jack BNC nối điện cực với máy đo để kết quả đo chính xác. Dùng khăn sạch vệ sinh máy đo, không để dây bẩn bởi các loại chất bẩn.

Vì ngõ vào điện cực có trở kháng lớn, tránh cầm trực tiếp điện cực khi đo. Nếu cần, có thể một tay cầm điện cực, tay kia cầm máy đo để chênh lệch điện thế giữa điện cực và máy đo bé nhất.

Không dùng tay sờ vào đầu điện cực, không dùng cọ hay bất cứ vật gì chùi điện cực, có thể ảnh hưởng đến chất lượng làm việc của đầu đo điện cực.

Khi di chuyển máy đo từ nơi có nhiệt độ lạnh đến nơi có nhiệt độ nóng hơn, cần chờ cho nhiệt độ máy đo cân bằng với nhiệt độ môi trường. Sự chênh lệch lớn và quá đột ngột có thể gây mất cân bằng và đo không chính xác.

Khi đo nên cho đầu điện cực vào sâu trong dung dịch ít nhất 30 mm để màng thấm thấu tiếp xúc với dung dịch.

Sau khi đo, rửa điện cực pH bằng nước cất, không rửa bằng dung dịch, dung môi có carbon như xăng, cồn, ...

Điện cực pH phải được bảo quản bằng cách cho vài giọt KCl 3 mol vào nắp nhựa gắn ở đầu điện cực.

Sau khi dùng xong dung dịch chuẩn trong một cốc con, không nên dùng lại, nên đổ bỏ vì dung dịch đã kém chính xác về trị số pH.

Chỉ dùng bộ biến đổi 220VAC/10VDC đi kèm theo máy, không dùng các bộ đổi điện khác để không làm hỏng máy.

Khi chỉnh máy đo, nếu không chỉnh được trị số pH đọc về trị số pH của dung dịch chuẩn, có thể vì các nguyên nhân: điện cực hỏng hay già, cần thay thế ; dung dịch đậm trong điện cực cạn, cần châm thêm ; dung dịch đậm trong điện cực bị nhiễm bẩn, cần thay thế bằng dung dịch 3-mol KCl mới

Với dung dịch có nồng độ ion thấp (như nước cất, nước mưa, ...), dung dịch có nồng độ ion Ag cao, thịt, sơn, giấy, đất cần dùng loại điện cực pH đặc biệt.

Nếu điện cực phản ứng chậm hay không phản ứng đó là do điện cực bị bám bẩn, màng thấm thấu của điện cực bị nghẽn, cần rửa điện cực bằng methyl alcohol. Nếu

điện cực không phản ứng nhanh hơn, ngâm điện cực trong dung dịch 0,1 mol HCl trong 5 phút rồi rửa bằng nước sạch, tiếp tục ngâm điện cực trong dung dịch 0,1 mol NaOH trong 5 phút và rửa lại bằng nước sạch, sau đo ngâm điện cực trong dung dịch đệm pH 4 trong 10 phút trước khi đo.

Khi mức dung dịch đệm KCl 3 mol bên trong điện cực xuống thấp hơn lỗ trên điện cực, tụt vòng nhựa hay gỡ nắp nhựa ra, châm thêm dung dịch KCl 3 mol cho đầy lại. Trường hợp dung dịch đệm bên trong điện cực dơ, đổi màu cần hút hết dung dịch ra. Bơm dung dịch KCl mới vào súc xong, thay dung dịch KCl 3 mol mới.

Mỗi loại điện cực đều có những quy định riêng biệt về cách sử dụng, chú ý môi trường hoạt động... khác nhau nên cần được tìm hiểu kỹ lưỡng trước khi sử dụng.

2.3.9. Bảo quản cảm biến pH

Để có kết quả tốt nhất, luôn luôn giữ cho đầu dò pH ướt, tốt nhất trong dung dịch đệm pH 4,01 với thêm 1/100 phần kali clorua (KCl) bão hòa. Các dung dịch bảo quản khác như nước máy và dung dịch đệm pH có thể chấp nhận, nhưng tránh bảo quản trong nước cát bởi vì nó sẽ làm mất hết những lớp hydrat hóa của các điện cực re-fill, và giảm tuổi thọ của điện cực non-refill. Mức điện giải trong khoang ngoài nên được giữ ở trên mức độ của dung dịch đo. Một lọ lưu trữ điện cực có thể được sử dụng để lưu trữ dài hạn hoặc ngắn hạn. Để sử dụng lọ lưu trữ điện cực, trượt nắp và sau đó lồng các vòng cao su vào điện cực, chèn giữa chừng điện cực vào các chai chứa dung dịch lưu trữ (hoặc hỗn hợp 50:50 của kali clorua 4M và dung dịch chuẩn pH 4 đệm), và nhẹ nhàng vít trên nắp. Dung dịch KCl và đệm pH 4 tạo điều kiện tốt cho nấm mốc phát triển. Để ngăn ngừa nấm mốc phát triển trong lọ bảo quản, lấy 4% natri benzoat hoặc azide cho vào dung dịch bảo quản. Nếu muốn điện cực không ngâm nước (tức là đặt trong dung dịch bảo quản nhiều hơn một giờ), ta để các điện cực để ngâm trong một bộ đệm (tốt nhất là pH 4) trước khi hiệu chuẩn. Điều này sẽ giúp tối ưu hóa và thiết lập lại lớp ẩm mỏng trên bóng đèn cảm biến.

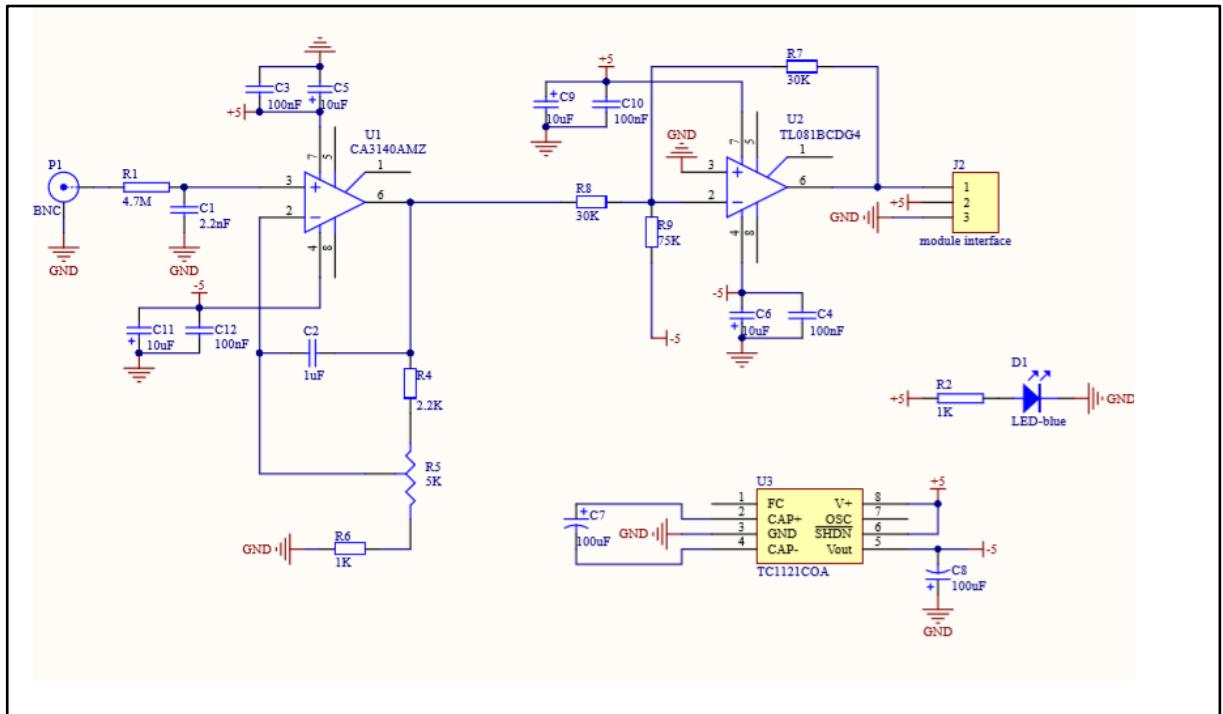
Chú ý: Điện cực không nên lưu trữ lâu hơn sáu tháng, các điện cực nên được luân chuyển cho phù hợp.

2.3.10. Làm sạch điện cực

Điện cực pH còn nguyên vẹn không có bộ phận bị hỏng thường có thể được khôi phục lại bình thường thực hiện theo một trong các thao tác sau đây:

- Làm sạch toàn bộ: ngâm điện cực trong dung dịch 1:10 pha loãng thuốc tẩy giặt trong nhà trong một dung dịch chất tẩy rửa chiếm 0,1-0,5% trong nước nóng với khuấy mạnh mẽ trong 15 phút. Đặt nó dưới dòng nước ấm trong 15 giây.
- Hòa tan các muối: Hòa tan các kết tủa bằng cách nhúng điện cực trong HCl 0,1M trong năm phút, tiếp theo bằng cách ngâm trong NaOH 0,1M trong năm phút, và rửa sạch bằng nước cất.
- Bọt khí: Nếu bọt khí xuất hiện trong các điện cực (đặc biệt là với các vi điện cực và kiểm tra điện cực ống hẹp), mở ra các lỗ điền, lấy cáp của thăm dò khoảng 18 “từ các kết nối tới các điện cực, và quay tròn (giống như cánh quay của máy bay trực thăng) trong khoảng một phút. Lực ly tâm nên ép buộc các bong bóng khí để điền vào lỗ của điện cực.

2.3.11. Mạch xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến



Hình 27: Sơ đồ nguyên lý module xử lý tín hiệu thu về từ đầu dò pH

Giả sử biến trở 50%

Điện áp đầu ra V₀₁ ở opamp thứ nhất với điệp áp đầu vào ở jack BNC là V_{in}:

$$V_{01} = \left(1 + \frac{R_4 + 0,5 R_5}{R_6 + 0,5 R_5} \right) V_{in} = \left(1 + \frac{2,2 + 0,5 \cdot 5}{1 + 0,5 \cdot 5} \right) V_{in} = \frac{82}{35} V_{in}$$

Điện áp đầu ra V₀ của mạch:

$$V_0 = - \left[\frac{R_7}{R_8} V_{01} + \frac{R_7}{R_9} \cdot (-5) \right] = - \left[V_{01} + \frac{30}{75} \cdot (-5) \right] = 2 - \frac{82}{35} V_{in}$$

Vậy :

$$V_0 = 2 - \frac{82}{35} V_{in}$$

Từ giá trị điện áp đầu ra mạch khuếch đại opamp kết hợp với việc tính hệ số nhiệt độ ta có thể dễ dàng suy ra được giá trị độ pH.

$$\text{pH}(X) = \text{pH}(S) + \frac{(E_S - E_X)F}{RT \ln(10)} \quad (1)$$

$$V_0 = 2 - \frac{82}{35}V_{in} \quad (2)$$

$$E_S - E_X = V_{in} \quad (3)$$

Từ (2) và (3):

$$E_S - E_X = V_{in} = \frac{70 - 35V_{in}}{82}$$

$$\text{pH}(X) = 7 + \frac{\frac{70 - 35V_{in}}{82}}{\frac{RT \ln(10)}{F}} \quad (4)$$

phương trình 4 cho thấy giá trị pH phụ thuộc vào giá trị điện áp đầu ra của mạch khuếch đại áp opamp và hệ số nhiệt độ. Phương trình pH rút gọn:

$$\text{pH}(X) = 7 + \frac{(70 - 35V_{in})F}{82RT \ln(10)}$$

2.4. Tìm hiểu về STM32C8T6

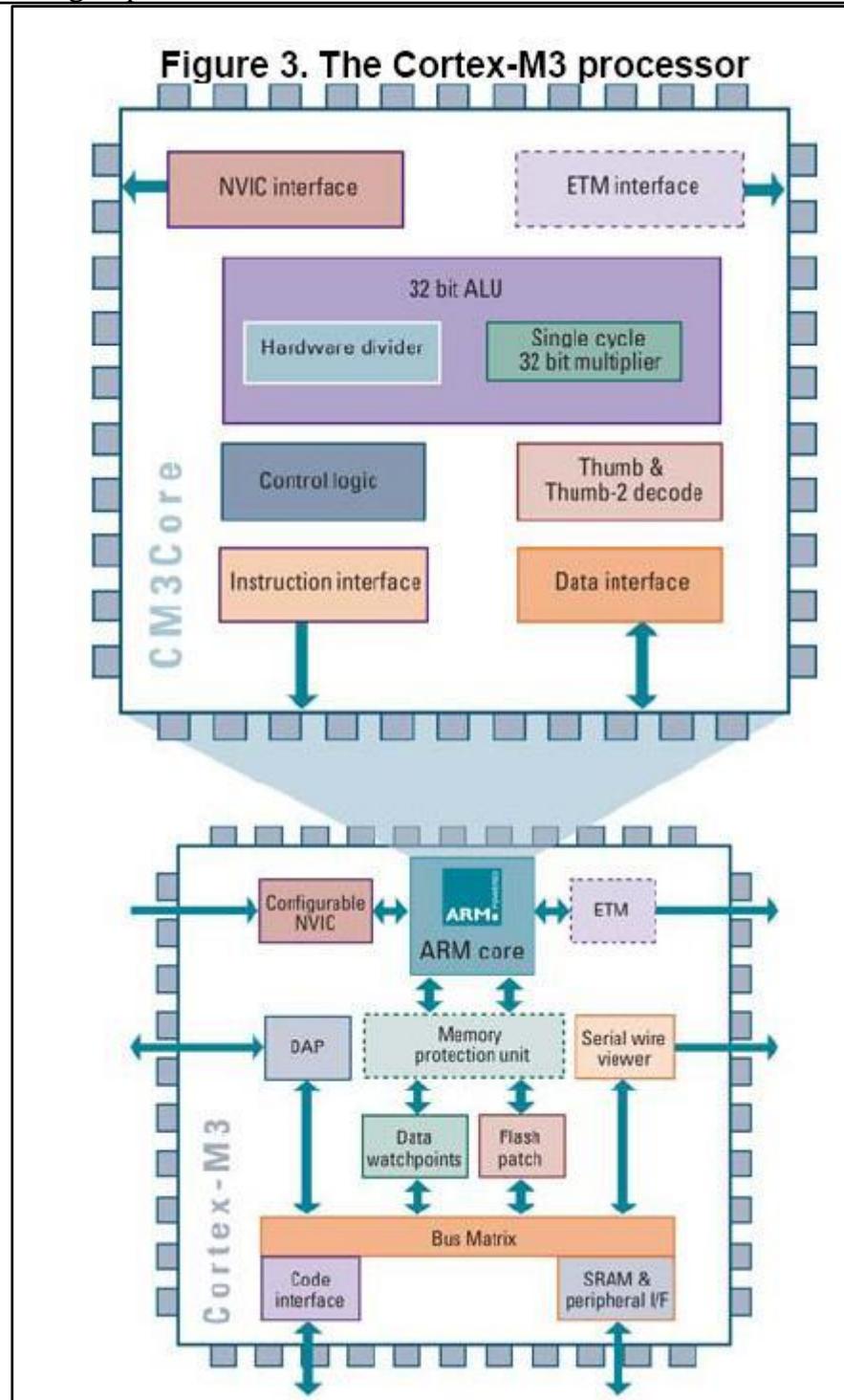
2.4.1. Giới thiệu chung

Trong vài năm trở lại đây, một trong những xu hướng chủ yếu trong các thiết kế với vi điều khiển là sử dụng các chip lõi ARM như một vi điều khiển đa dụng. Ngày nay các nhà sản xuất IC đưa ra thị trường rất nhiều dòng vi điều khiển sử dụng lõi ARM. Tập đoàn ST Microelectronic đã cho ra mắt dòng STM32, vi điều khiển đầu tiên dựa trên nền lõi ARM Cortex-M3 thế hệ mới do hãng ARM thiết kế, lõi ARM Cortex-M3 là sự cải tiến của lõi ARM7 truyền thống, từng mang lại sự thành công vang dội cho công ty ARM. Dòng STM32 thiết lập các tiêu chuẩn mới về hiệu suất, chi phí, cũng như khả năng đáp ứng các ứng dụng tiêu thụ năng lượng thấp và tính điều khiển thời gian thực khắt khe. Với ứng dụng rộng rãi: từ điện tử dân dụng, xe hơi đời mới, game, mobile , laptop, chỗ nào ARM cũng có mặt. Dòng STM32 tiêu thụ năng lượng cực thấp trong khi đó hiệu suất cực cao và việc lập trình cũng rất dễ dàng. Với sự đồ sộ về ngoại vi (GPIO, I2C, SPI, ADC, USB, Ethernet, CAN....), ST cung cấp cho chúng ta các thư viện trực tiếp cho mỗi dòng ARM (gọi là CMSIS - Cortex Microcontroller Software Interface Standard), nhiệm vụ của chúng ta không thể dễ dàng hơn: khai báo và sử dụng mà thôi. Mà giá của con này cũng khá rẻ so với các dòng chip hiện có trên thị trường.

2.4.2. Giới thiệu về ARM Cortex M3 STM32F103

2.4.2.1. Cortex là gì ?

Dòng ARM Cortex là một bộ xử lý thế hệ mới đưa ra một kiến trúc chuẩn cho nhu cầu đa dạng về công nghệ. Không giống như các chip ARM khác, dòng Cortex là một lõi xử lý hoàn thiện, đưa ra một chuẩn CPU và kiến trúc hệ thống chung. Dòng Cortex gồm có 3 phân nhánh chính: dòng A dành cho các ứng dụng cao cấp, dòng R dành cho các ứng dụng thời gian thực như các đầu đọc và dòng M dành cho các ứng dụng vi điều khiển và chi phí thấp. STM32 được thiết kế dựa trên dòng Cortex-M3, dòng Cortex-M3 được thiết kế đặc biệt để nâng cao hiệu suất hệ thống, kết hợp với tiêu thụ năng lượng thấp, CortexM3 được thiết kế trên nền kiến trúc mới, do đó chi phí sản xuất đủ thấp để cạnh tranh với các dòng vi điều khiển 8 và 16-bit truyền thống.

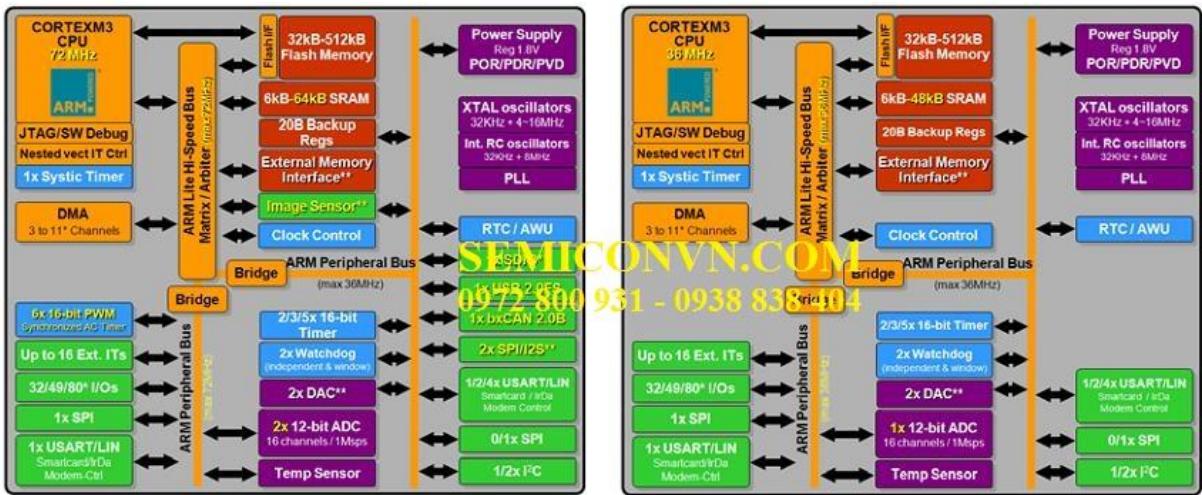


Hình 28: Kiến trúc vi xử lý ARM Cortex-M3

2.4.2.2. Đặc điểm nổi bật của STM32

ST đã đưa ra thị trường 4 dòng vi điều khiển dựa trên ARM7 và ARM9, nhưng STM32 là một bước tiến quan trọng trên đường cong chi phí và hiệu suất (price/performance), giá chỉ gần 1 Euro với số lượng lớn, STM32 là sự thách thức thật sự với các vi điều khiển 8 và 16-bit truyền thống. STM32 đầu tiên gồm 14 biến thể khác nhau, được phân thành hai nhóm: dòng Performance có tần số hoạt động của

CPU lên tới 72Mhz và dòng Access có tần số hoạt động lên tới 36Mhz. Các biến thể STM32 trong hai nhóm này tương thích hoàn toàn về cách bố trí chân (pin) và phần mềm, đồng thời kích thước bộ nhớ FLASH ROM có thể lên tới 128K và 20K SRAM.



Hình 29: Kiến trúc của STM32 nhánh Performance và Access

Dòng STM32 có hai nhánh, nhánh Performance hoạt động với xung nhịp lên đến 72Mhz và có đầy đủ các ngoại vi, nhánh Access hoạt động với xung nhịp tối đa 36Mhz và có ít ngoại vi hơn so với nhánh Performance.

Sự tinh vi

Thoạt nhìn thì các ngoại vi của STM32 cũng giống như những vi điều khiển khác, như hai bộ chuyển đổi ADC, timer, I2C, SPI, CAN, USB và RTC. Tuy nhiên mỗi ngoại vi trên đều có rất nhiều đặc điểm thú vị. Ví dụ như bộ ADC 12-bit có tích hợp một cảm biến nhiệt độ để tự động hiệu chỉnh khi nhiệt độ thay đổi và hỗ trợ nhiều mode chuyển đổi. Mỗi bộ timer có 4 khối capture compare, mỗi khối timer có thể liên kết với các khối timer khác để tạo ra một mảng các timer tinh vi.

Sự an toàn

Ngày nay các ứng dụng hiện đại thường phải hoạt động trong môi trường khắc khe, đòi hỏi tính an toàn cao, cũng như đòi hỏi sức mạnh xử lý và càng nhiều thiết bị ngoại vi tinh vi. Để đáp ứng các yêu cầu khắc khe đó, STM32 cung cấp một số tính năng phần cứng hỗ trợ các ứng dụng một cách tốt nhất. Chúng bao gồm một bộ phát hiện điện áp thấp, một hệ thống bảo vệ xung clock và hai bộ watchdogs.

Tính bảo mật

Một trong những yêu cầu khắc khe khác của thiết kế hiện đại là nhu cầu bảo mật mã chương trình để ngăn chặn sao chép trái phép phần mềm. Bộ nhớ Flash của STM32 có thể được khóa để chống truy cập đọc Flash thông qua cổng debug. Khi tính năng bảo vệ đọc được kích hoạt, bộ nhớ Flash cũng được bảo vệ chống ghi để ngăn chặn mã không tin cậy được chèn vào bảng vector ngắn.

Phát triển phần mềm

Nếu như đã sử dụng một vi điều khiển dựa trên lõi ARM, các công cụ phát triển đã được hỗ trợ tập lệnh Thumb-2 và dòng Cortex. Ngoài ra ST cũng cung cấp một thư viện điều khiển thiết bị ngoại vi, một bộ thư viện phát triển USB như là một thư viện ANSI C và mã nguồn đó là tương thích với các thư viện trước đó được công bố cho vi điều khiển STR7 và STR9. Có rất nhiều RTOS mã nguồn mở và thương mại và middleware (TCP/IP, hệ thống tập tin, v.v.) hỗ trợ cho họ Cortex. Dòng Cortex-M3 cũng đi kèm với một hệ thống gỡ lỗi hoàn toàn mới gọi là CoreSight. Truy cập vào hệ thống CoreSight thông qua cổng truy cập Debug (Debug Access Port), cổng này hỗ trợ kết nối chuẩn JTAG hoặc giao diện 2 dây (serial wire-2 Pin), cũng như cung cấp trình điều khiển chạy gỡ lỗi.

Dòng Performance và Access của STM32

Hệ STM32 có hai nhánh đầu tiên riêng biệt: dòng Performance và dòng Access. Dòng Performance tập hợp đầy đủ các thiết bị ngoại vi và chạy với xung nhịp tối đa 72MHz. Dòng Access có các thiết bị ngoại vi ít hơn và chạy tối đa 32MHz. Quan trọng hơn là cách bố trí chân (pins layout) và các kiểu đóng gói chip (package type) là như nhau giữa dòng Access và dòng Performance. Điều này cho phép các phiên bản khác nhau của STM32 được hoán vị mà không cần phải sửa đổi sắp xếp lại footprint (mô hình chân của chip trong công cụ layout bo mạch) trên PCB (Printed Circuit Board).

2.4.3. Tổng quát về ARM Cortex M3 STM32F103

Như đã thấy trong phần giới thiệu, bộ xử lý Cortex là thế hệ lõi nhúng kế tiếp từ ARM. Cortex thừa kế các ưu điểm từ các bộ xử lý ARM trước đó, nó là một lõi xử lý hoàn chỉnh, bao gồm bộ xử lý trung tâm Cortex và một hệ thống các thiết bị ngoại vi

xung quanh, Cortex cung cấp phần xử lý trung tâm của một hệ thống nhúng. Để đáp ứng yêu cầu khắc khe và đa dạng của các hệ thống nhúng, bộ xử lý Cortex gồm có 3 nhánh, được biểu hiện bằng các ký tự sau tên Cortex như sau:

Cortex-A : bộ vi xử lý dành cho hệ điều hành và các ứng dụng của người dùng phức tạp. Hỗ trợ các tập lệnh ARM, Thumb và Thumb-2.

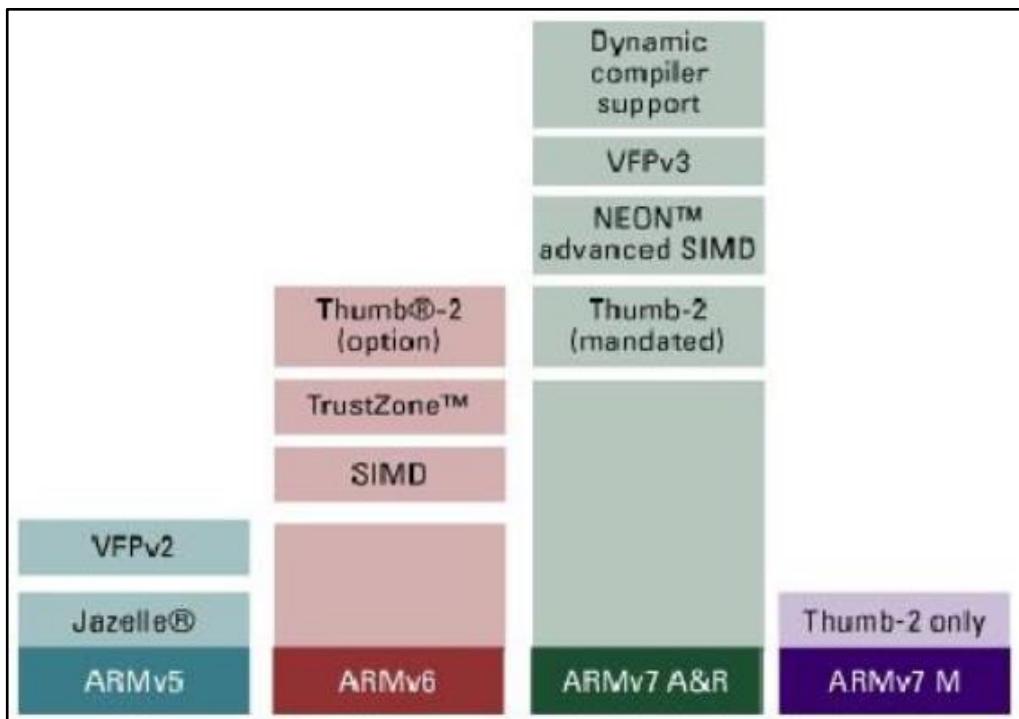
Cortex-R : bộ xử lí dành cho các hệ thống đòi hỏi khắc khe về tính thời gian thực. Hỗ trợ các tập lệnh ARM, Thumb, và Thumb-2.

Cortex-M : bộ xử lí dành cho dòng vi điều khiển, được tối ưu hóa cho các ứng dụng nhạy cảm về chi phí. Chỉ hỗ trợ tập lệnh Thumb-2.

Con số nằm cuối tên Cortex cho biết mức độ hiệu suất tương đối, với 1 là thấp nhất và 8 là cao nhất. Hiện nay dòng Cortex-M có mức hiệu suất cao nhất là mức 3. STM32 dựa trên bộ xử lý Cortex-M3.

2.4.3.1. Các phiên bản cấu trúc ARM

Tính đến thời điểm hiện tại thì phiên bản kiến trúc mới nhất của lõi ARM là ARMv7 (Trước đó có ARMv4, ARMv5, ARMv6). Bộ xử lý Cortex-M3 dựa trên kiến trúc ARMv7 M và có khả năng thực hiện tập lệnh Thumb-2.



Hình 30: Các phiên bản kiến trúc của lõi ARM

2.4.3.2. Bộ xử lý và đơn vị xử lý trung tâm Cortex

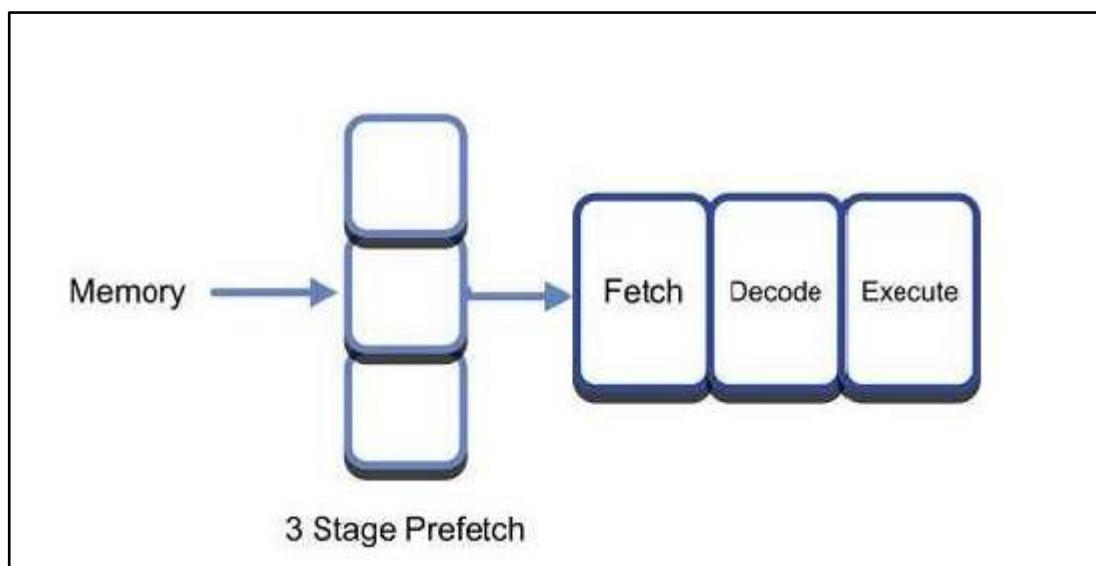
Trong suốt phần còn lại của tài liệu này, các thuật ngữ bộ xử lý Cortex (Cortex processor) và đơn vị xử lý trung tâm Cortex (Cortex CPU) sẽ được sử dụng để phân biệt giữa nhung lõi Cortex hoàn chỉnh và bộ xử lý trung tâm RISC nội (internal RISC CPU). Trong phần tiếp theo ta sẽ xem xét các đặc điểm chính của đơn vị xử lý trung tâm Cortex, tiếp theo là hệ thống thiết bị ngoại vi bên trong bộ xử lý Cortex.

2.4.3.3. Đơn vị xử lý trung tâm Cortex (Cortex CPU)

Trung tâm của bộ xử lý Cortex là một CPU RISC 32-bit. CPU này có một phiên bản được đơn giản hóa từ mô hình lập trình (programmer's model) của ARM7/9, nhưng có một tập lệnh phong phú hơn với sự hỗ trợ tốt cho các phép toán số nguyên, khả năng thao tác với bit tốt hơn và khả năng đáp ứng thời gian thực tốt hơn.

Kiến trúc đường ống

CPU Cortex có thể thực thi hầu hết các lệnh trong một chu kỳ đơn. Giống như CPU của ARM7 và ARM9, việc thực thi này đạt được với một đường ống ba tầng. Tuy nhiên Cortex-M3 khả năng dự đoán việc rẽ nhánh để giảm thiểu số lần làm rỗng (flush) đường ống.

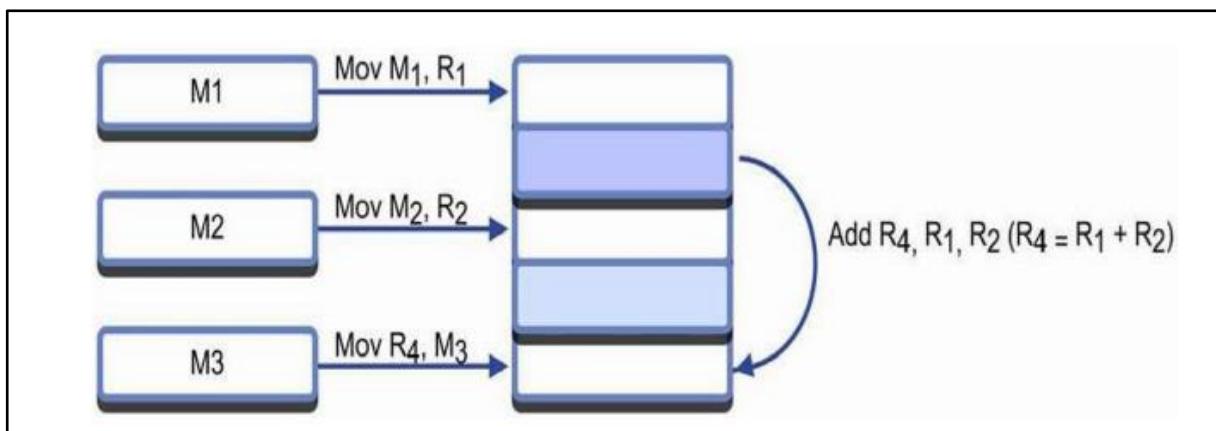


Hình 31: Kiến trúc đường ống của ARM Cortex-M3

Trong khi một lệnh đang được thực thi, thì lệnh tiếp theo sẽ được giải mã và lệnh tiếp theo nữa sẽ được lấy về từ bộ nhớ. Phương thức hoạt động này sẽ phát huy hiệu quả tối đa cho mã tuyến tính (linear code), nhưng khi gặp phải một rẽ nhánh (ví dụ cấu trúc lệnh if...else) thì các đường ống phải được làm rỗng (flush) và làm đầy (refill) trước khi mã có thể tiếp tục thực thi.

Mô hình lập trình

CPU Cortex là bộ xử lý dựa trên kiến trúc RISC, do đó hỗ trợ kiến trúc nạp và lưu trữ (load and store architecture). Để thực hiện lệnh xử lý dữ liệu, các toán hạng phải được nạp vào một tập thanh ghi trung tâm, các phép tính dữ liệu phải được thực hiện trên các thanh ghi này và kết quả sau đó được lưu lại trong bộ nhớ.



Hình 32: Kiến trúc load và store của ARM Cortex-M3

Các chế độ hoạt động

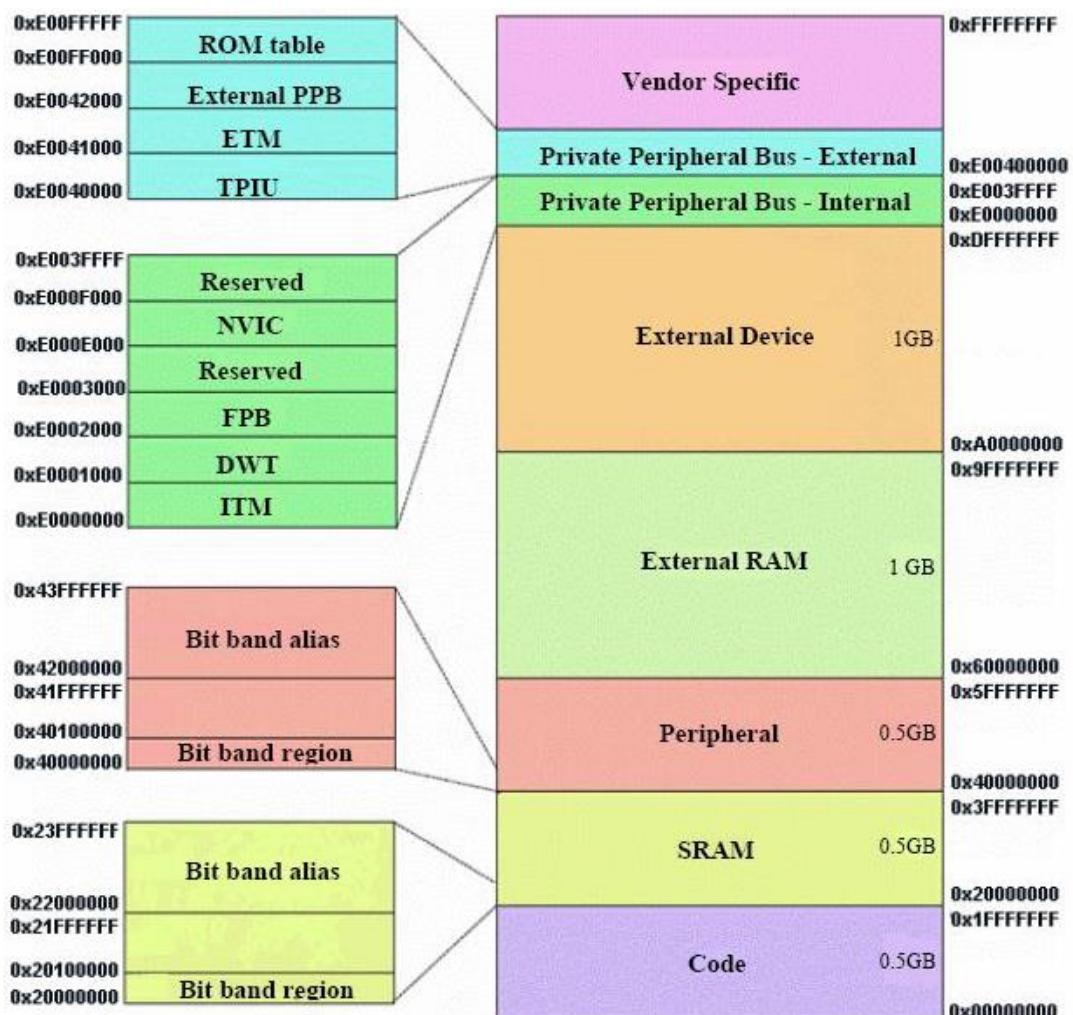
Bộ vi xử lý Cortex được thiết kế với mục tiêu giảm số bóng bán dẫn, nhanh chóng và dễ sử dụng lõi vi điều khiển, nó có được thiết kế để hỗ trợ việc sử dụng hệ điều hành thực hành thời gian. Bộ xử lý Cortex có hai chế độ hoạt động: chế độ Thread và chế độ Handler. CPU sẽ chạy ở chế độ Thread trong khi nó đang thực thi ở chế độ nền không có ngắt xảy ra và sẽ chuyển sang chế độ Handler khi nó đang thực thi các ngắt đặc biệt (exceptions). Ngoài ra, CPU Cortex có thể thực thi mã trong chế độ đặc quyền hoặc không đặc quyền (privileged or non-privileged mode).

Bản đồ bộ nhớ

Bộ xử lý Cortex-M3 là một lõi vi điều khiển được tiêu chuẩn hóa, như vậy nó có một bản đồ bộ nhớ cũng được xác định. Mặc dù có nhiều bus nội, bản đồ bộ nhớ này

là một không gian địa chỉ 4 Gbyte tuyến tính. Bản đồ bộ nhớ này là chung cho tất cả các thiết bị dựa trên lõi Cortex.

Modes (Thread out of reset)	Operations (privilege out of reset)		Stacks (Main out of reset)
	Handler	Thread	
	- An exception is being processed	Privileged execution Full control	Main Stack Used by OS and Exceptions
	- No exception is being processed - Normal code is executing	Privileged/Unprivileged	Main/Process



Hình 33: Bản đồ bộ nhớ tuyến tính 4Gbyte của bộ xử lý Cortex-M3

Truy cập bộ nhớ không xếp hàng

Bộ xử lý Cortex-M3 có thể truy cập bộ nhớ không xếp hàng, việc đó đảm bảo rằng SRAM được sử dụng một cách hiệu quả.

CPU Cortex có các chế độ định địa chỉ cho word, half word và byte, nhưng có thể truy cập bộ nhớ không xếp hàng (unaligned memory). Điều này cho phép trình liên kết của trình biên dịch tự do sắp xếp dữ liệu chương trình trong bộ nhớ. Việc bổ sung hỗ trợ tính năng dài bit (bit banding) vào CPU Cortex cho phép các cờ chương trình được đóng gói vào một biến word hoặc half-word hơn là sử dụng một byte cho mỗi cờ.

2.4.3.4. Bộ xử lý Cortex

Bộ xử lý Cortex được tạo thành từ CPU Cortex kết hợp với nhiều thiết bị ngoại vi như Bus, system timer...

Bus

Bộ vi xử lý Cortex-M3 được thiết kế dựa trên kiến trúc Harvard với bus mã và bus dữ liệu riêng biệt. Chúng được gọi là các bus Icode và Dcode. Cả hai bus đều có thể truy cập mã và dữ liệu trong phạm vi bộ nhớ từ 0x00000000 – 0x1FFFFFFF. Một bus hệ thống bổ sung được sử dụng để truy cập vào không gian điều khiển hệ thống Cortex trong phạm vi 0x20000000 – 0xDFFFFFFF và 0xE0100000 – 0xFFFFFFFF. Hệ thống gỡ lỗi trên chip của Cortex có thêm một cấu trúc bus được gọi là bus ngoại vi riêng.

Ma trận Bus

Bus hệ thống và bus dữ liệu được kết nối với vi điều khiển bên ngoài thông qua một tập các bus tốc độ cao được sắp xếp như một ma trận bus. Nó cho phép một số đường dẫn song song giữa bus Cortex và các bus chủ (bus master) khác bên ngoài như DMA đến các nguồn tài nguyên trên chip như SRAM và các thiết bị ngoại vi. Nếu hai bus chủ (ví dụ CPU Cortex và một kênh DMA) cố gắng truy cập vào cùng một thiết bị ngoại vi, một bộ phân xử nội sẽ giải quyết xung đột và cho truy cập bus vào ngoại vi có mức ưu tiên cao nhất.

Timer hệ thống (System timer)

Lõi Cortex có một bộ đếm xuống 24-bit, với tính năng tự động nạp lại (auto reload) giá trị bộ đếm và tạo sự kiện ngắt khi đếm xuống zero. Nó được tạo ra với dụng ý cung cấp một bộ đếm thời gian chuẩn cho tất cả vi điều khiển dựa trên Cortex.

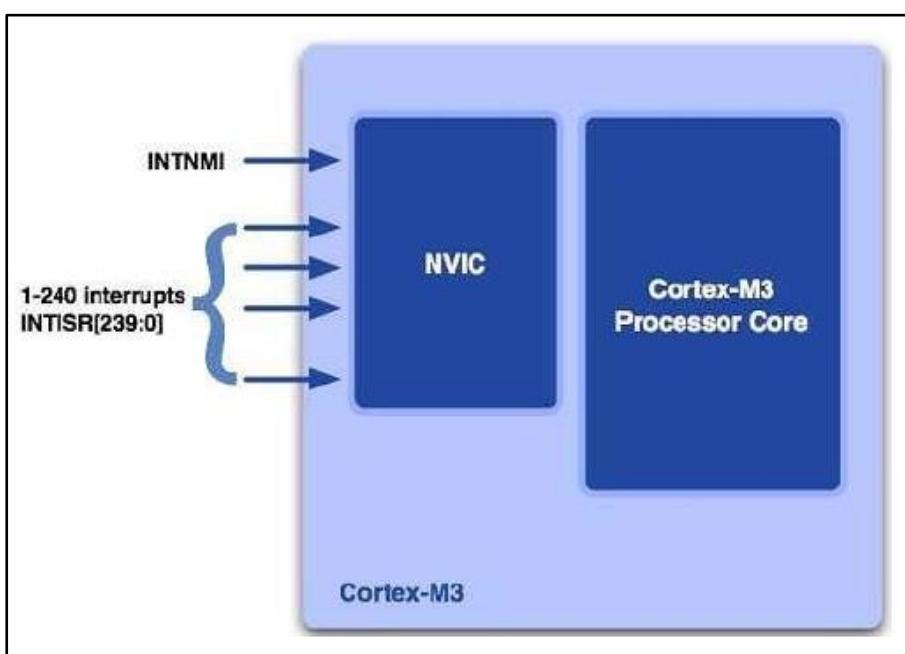
Đồng hồ SysTick được sử dụng để cung cấp một nhịp đập hệ thống cho một RTOS, hoặc để tạo ra một ngắt có tính chu kì để phục vụ cho các tác vụ được lập lịch. Thanh ghi trạng thái và điều khiển của SysTick trong đơn vị không gian điều khiển hệ thống Cortex-M3 cho phép chọn các nguồn xung clock cho SysTick.

Xử lý ngắt (Interrupt Handling)

Một trong những cải tiến quan trọng của lõi Cortex so với các CPU ARM trước đó là cấu trúc ngắt của nó và xử lý các ngắt ngoại lệ (exception handling). CPU ARM7 và ARM9 có hai đường ngắt: ngắt nhanh (fast interrupt-FIQ) và ngắt đa dụng (general purpose interrupt hay còn gọi là interrupt request-RIQ). Hai đường tín hiệu ngắt này phục vụ tất cả các nguồn ngắt bên trong một vi điều khiển, trong khi kỹ thuật được sử dụng là như nhau, nhưng việc thực hiện lại khác biệt giữa các nhà sản xuất chip.

Bộ điều khiển vector ngắt lồng nhau (Nested Vector Interrupt Controller)

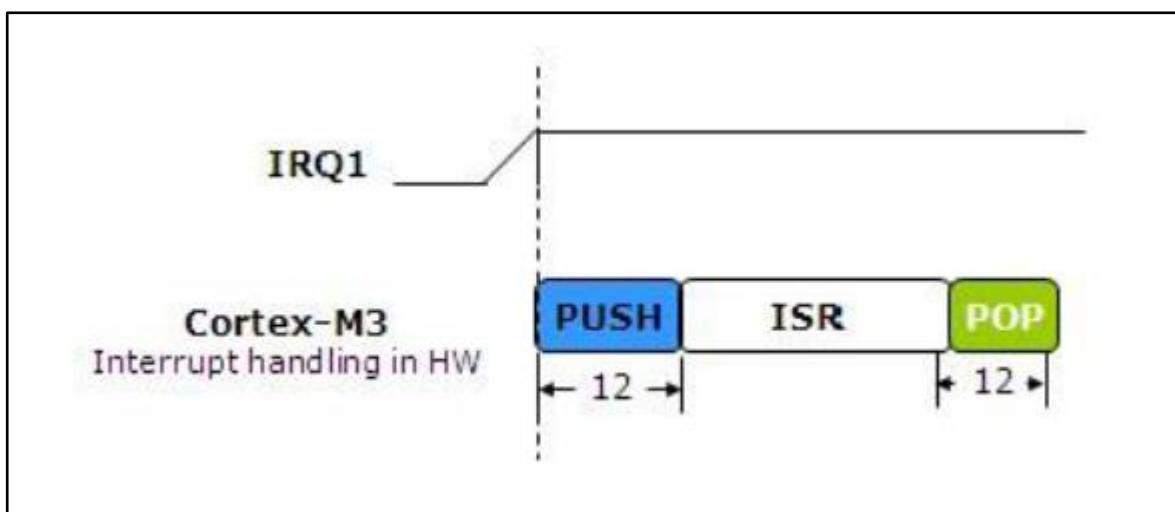
NVIC (Nested Vector Interrupt Controller) là một đơn vị tiêu chuẩn bên trong lõi Cortex. Điều này có nghĩa là tất cả các vi điều khiển dựa trên lõi Cortex sẽ có cùng một cấu trúc ngắt, bất kể nhà sản xuất chip là ST, Atmel, Luminary hoặc NXP... Vì vậy, mã ứng dụng và hệ điều hành có thể dễ dàng được chuyển từ vi điều khiển này sang vi điều khiển khác và lập trình viên khác không cần phải tìm hiểu một tập các thanh ghi hoàn toàn mới. NVIC cũng được thiết kế để có một độ trễ khi đáp ứng ngắt rất thấp.



Hình 34: Cấu trúc của NVIC trong bộ xử lý Cortex

Exception Entry And Exit)

Khi một ngắt được sinh ra bởi một thiết bị ngoại vi, NVIC sẽ kích khởi CPU Cortex phục vụ ngắt. Khi CPU Cortex đi vào chế độ ngắt của nó, nó sẽ đẩy một tập các thanh ghi vào vùng ngăn xếp (stack). Thao tác này được thực hiện trong vi chương trình (microcode), vì vậy không cần viết thêm bất kì lệnh nào trong mã ứng dụng. Trong khi khung ngăn xếp (stack frame) đang được lưu trữ, địa chỉ bắt đầu của trình dịch vụ ngắt đã được lấy về trên bus Icode (instruction bus). Vì vậy, thời gian từ lúc ngắt được sinh ra cho tới khi lệnh đầu tiên của trình dịch vụ ngắt được thực thi chỉ có 12 chu kỳ.



Hình 35: Đáp ứng thời gian khi một ngắt bắt đầu xảy ra của Cortex-M3

Các chế độ xử lý ngắt cao cấp (Advanced Interrupt Handling Modes)

Với khả năng xử lý một ngắt đơn rất nhanh, NVIC được thiết kế để xử lý hiệu quả nhiều ngắt trong một ứng dụng đòi hỏi khắc khe tính thời gian thực. NVIC có một số phương pháp xử lý thông minh nhiều nguồn ngắt, sao cho độ trễ giữa các ngắt là tối thiểu và để đảm bảo rằng các ngắt có mức ưu tiên cao nhất sẽ được phục vụ đầu tiên.

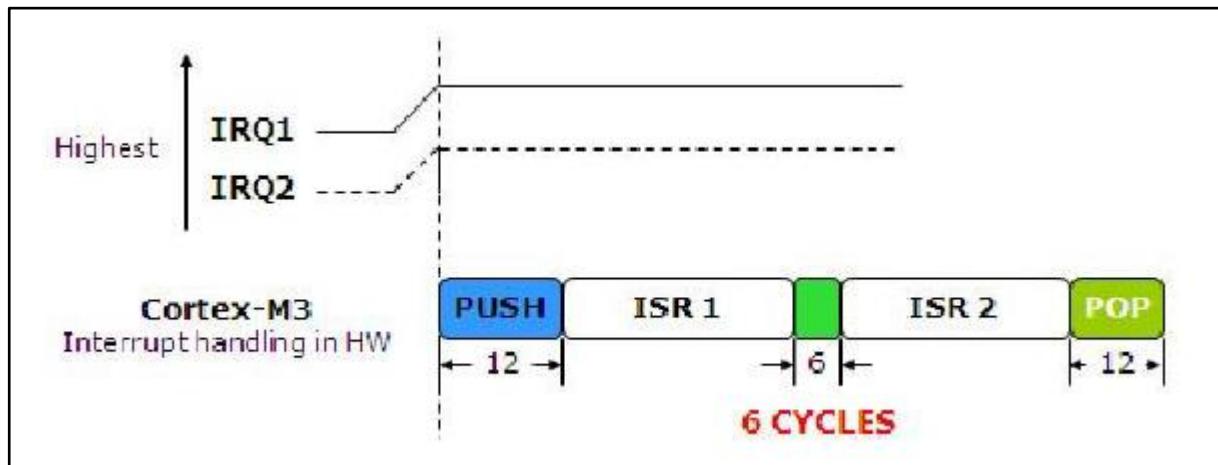
Quyền ưu tiên ngắt (Interrupt Pre-emption)

NVIC được thiết kế để cho phép các ngắt có mức ưu tiên cao sẽ dành quyền ưu (pre-empt) so với một ngắt có mức ưu tiên thấp hơn đang chạy. Trong trường hợp này ngắt đang chạy sẽ bị dừng và một khung ngăn xếp mới (new stack frame) được lưu lại, thao tác này chỉ mất 12 chu kỳ sau đó ngắt có mức ưu tiên cao hơn sẽ chạy. Khi ngắt

có mức ưu tiên cao thực hiện xong, dữ liệu lưu trên ngăn xếp trước đó sẽ được tự động lấy ra (automatically POPed) và ngắt ưu tiên thấp hơn có thể tiếp tục thực hiện.

Kỹ thuật Tail Chaining trong NVIC

Nếu một ngắt có mức ưu tiên cao đang chạy và đồng thời một ngắt có mức ưu tiên thấp hơn cũng được kích hoạt, NVIC sử dụng một phương pháp gọi là Tail Chaining để đảm bảo thời gian trễ là tối thiểu giữa các lần phục vụ ngắt. Nếu hai ngắt được nâng lên, ngắt có mức ưu tiên cao nhất sẽ được phục trước và sẽ bắt đầu thực hiện chỉ sau 12 chu kỳ xung nhịp kể từ lúc xuất hiện ngắt.



Hình 35: Đáp ứng thời gian khi hai ngắt xảy ra đồng thời của Cortex-M3

Điều này chỉ mất 6 chu kỳ xung nhịp và sau đó trình phục vụ ngắt kế tiếp có thể bắt đầu được thực thi. Vào cuối các ngắt đang chờ, ngăn xếp được khôi phục và địa chỉ trở về được lấy, tiếp đó chương trình ứng dụng nền có thể bắt đầu thực thi chỉ trong 12 chu kỳ xung nhịp.

Cấu hình và sử dụng NVIC

Để sử dụng NVIC cần phải qua ba bước cấu hình. Đầu tiên cấu hình bảng vector cho các nguồn ngắt mà chúng ta muốn sử dụng. Tiếp theo cấu hình các thanh ghi NVIC để cho phép và thiết lập các mức ưu tiên của các ngắt trong NVIC và cuối cùng cần phải cấu hình các thiết bị ngoại vi và cho phép ngắt tương ứng.

Trong trường hợp của bộ đếm thời gian SysTick, chúng ta có thể tạo ra một trình phục vụ ngắt bằng cách khai báo một hàm C với tên phù hợp:

```
void SysTick_Handler(void)
{
    ....
}
```

Các ngắt đặc biệt bên trong Cortex được cấu hình thông qua các thanh ghi điều khiển và thanh ghi cấu hình mức ưu tiên của hệ thống, trong khi đó các thiết bị ngoại vi người dùng được cấu hình bằng cách sử dụng các thanh ghi IRQ (Interrupt Request). Ngắt của SysTick là một ngắt đặc biệt bên trong Cortex và được xử lý thông qua các thanh ghi hệ thống. Một số ngắt đặc biệt khác bên trong lõi Cortex luôn ở trạng thái cho phép, bao gồm các ngắt reset và NMI (Non-Maskable Interrupt), tuy nhiên ngắt của timer hệ thống-SysTick lại không được kích hoạt bên trong NVIC.

```
SysTickCurrent = 0x9000;           //Start value for the sys Tick counter
SysTickReload = 0x9000;            //Reload value
SysTickControl = 0x07;             //Start and enable interrupt
```

Mỗi thiết bị ngoại vi được điều khiển bởi các khối thanh ghi IRQ. Mỗi ngoại vi có một bit cho phép ngắt. Những bit nằm trên hai thanh ghi cho phép ngắt có chiều dài là 32-bit. Việc cấu hình ngắt cho một thiết bị ngoại vi cũng giống với cấu hình một exception bên trong Cortex. Trong trường hợp ngắt của ADC, trước tiên chúng ta phải thiết lập vector ngắt và cung cấp hàm phục vụ ngắt-ISR:

```
DDC ADC_IRQHandler ;
void ADC_Handler(void)
{ }
```

Sau đó, ADC phải được khởi tạo và các ngắt phải được cho phép trong các thiết bị ngoại vi và các NVIC:

```
ADC1→CR2 = ADC_CR2; //Switch on the ADC and continuous conversion
ADC1→SQR1 = sequence1; //Select number of channels in sequence conversion
ADC1→SQR2 = sequence2; //and select channels to convert
ADC1→SQR3 = sequence3;
ADC1→CR2 |= ADC_CR2; //Rewrite on bit
ADC1→CR1 = ADC_CR1; //Start regular channel group, enable ADC interrupt
GPIOB→CRH = 0x33333333; //Set LED pins to output
NVIC→Enable[0] = 0x00040000; //Enable ADC interrupt NVIC→Enable[1] = 0x00000000;
```

2.4.3.5. Các chế độ năng lượng

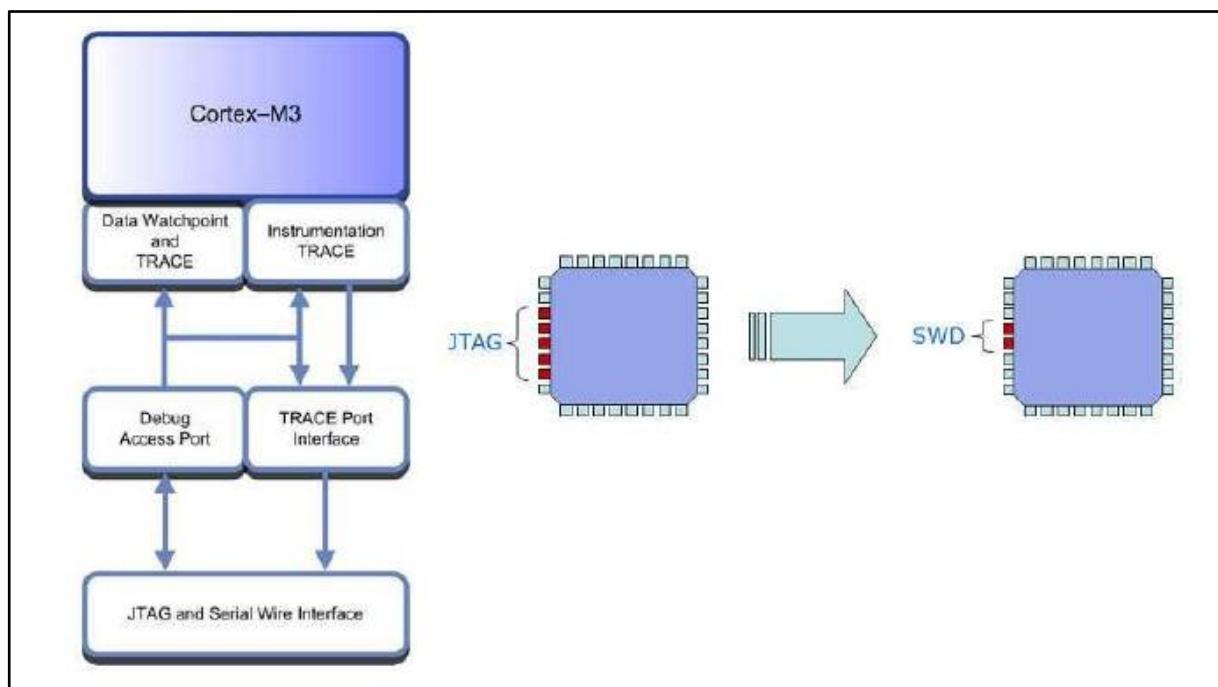
Trong phần này, chúng ta sẽ xem xét các chế độ quản lý năng lượng bên trong lõi Cortex. Các tùy chọn đầy đủ về quản lý năng lượng của STM32 sẽ được xem xét ở phần sau. CPU Cortex có một chế độ ngủ (sleep mode), sẽ đặt lõi Cortex vào chế độ năng lượng thấp của nó và ngừng thực thi các lệnh bên trong của CPU Cortex. Một phần nhỏ của NVIC vẫn được hoạt động bình thường, do đó ngắt tạo ra từ các thiết bị ngoại vi của STM32 có thể đánh thức lõi Cortex.

Cách đi vào chế độ năng lượng thấp của CPU Cortex

Lõi Cortex có thể được đặt vào chế độ sleep bằng cách thực hiện lệnh **WFI** (Wait For Interrupt) hoặc **WFE** (Wait For Sự kiện). Trong trường hợp thực thi lệnh WFI, lõi Cortex sẽ tiếp tục thực hiện và phục vụ ngắt đang chờ xử lý. Khi trình phục vụ ngắt-ISR kết thúc, sẽ có hai khả năng xảy ra. Trước tiên, CPU Cortex có thể trở về từ ISR này và tiếp tục thực hiện chương trình ứng dụng nền như bình thường. Bằng cách đặt bit **SLEEPON EXIT** trong thanh ghi điều khiển hệ thống, lõi Cortex sẽ tự động đi vào chế độ ngủ một khi ISR này kết thúc. Ngắt **WFE** cho phép lõi Cortex tiếp tục thực hiện chương trình từ điểm mà nó được đặt vào chế độ sleep. Nó sẽ không nhảy đến và thực thi một trình phục vụ nào. Một sự kiện đánh thức (wake-up) chỉ đơn giản đến từ một thiết bị ngoại vi dù cho nó không được kích hoạt như là một ngắt bên trong NVIC.

Khối hỗ trợ gỡ lỗi CoreSight

Tất cả các CPU ARM đều trang bị hệ thống gỡ lỗi riêng của nó ngay trên chip. CPU ARM7 và ARM9 CPU có tối thiểu một cổng JTAG cho phép một công cụ gỡ lỗi chuẩn kết nối với CPU và tải chương trình vào bộ nhớ RAM nội hoặc bộ nhớ Flash. Cổng JTAG cũng hỗ trợ điều khiển động cơ bản (thiết lập chạy từng bước và các breakpoint v.v...) cũng như có thể xem nội dung của các vị trí trong bộ nhớ.



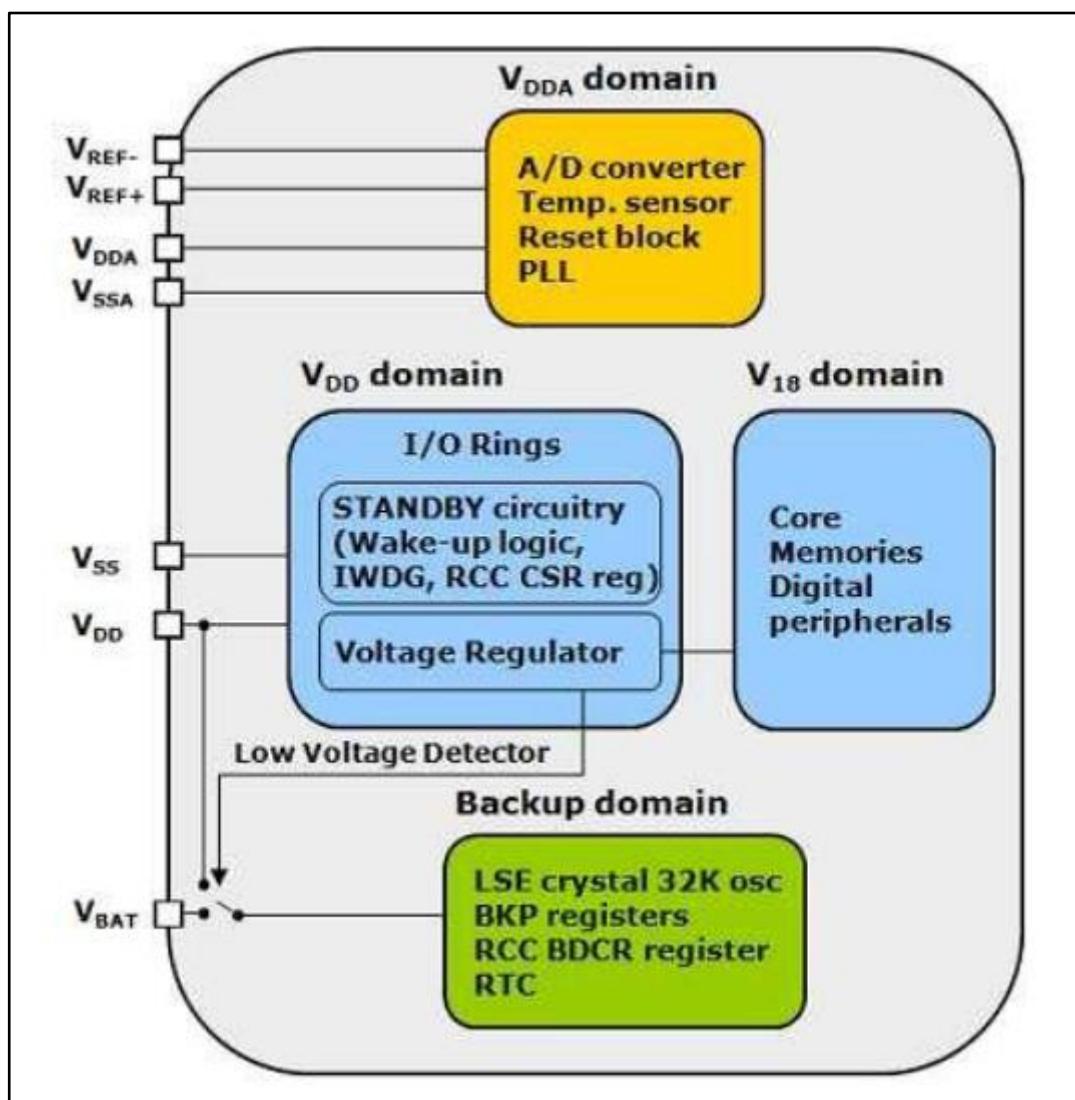
Hình 36: Hệ thống gỡ lỗi CoreSight bên trong Cortex

Hệ thống gỡ lỗi Cortex CoreSight sử dụng giao diện JTAG hoặc SWD (Serial Wire Debug). CoreSight cung cấp chức năng chạy kiểm soát và theo dõi. Nó có thể chạy khi STM32 đang ở một chế độ năng lượng thấp. Đây là một bước cải tiến lớn về chuẩn gỡ lỗi JTAG. Phần cứng cơ bản cho một thiết kế.

2.4.3.6. Kiểu đóng gói chip và kiểu chân linh kiện

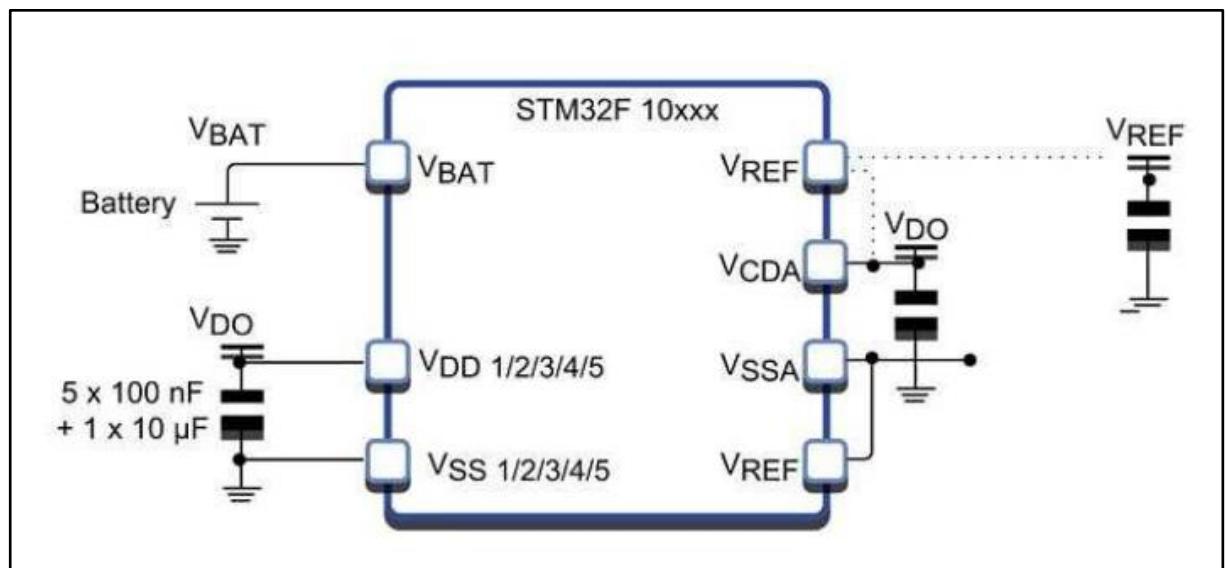
Các biến thể của dòng Access, USB, Performance và Connectivity của STM32 được thiết kế để phù hợp với nhiều kiểu đóng gói, để cho phép nâng cấp phần cứng một dễ dàng mà không cần phải thiết kế lại PCB (Printed Circuit Board). Tất cả các vi điều khiển STM32 đều có sẵn dạng đóng gói LQFP, từ 48 chân đến 144 chân.

2.4.3.7. Nguồn cung cấp điện



Hình 37: Các miền năng lượng bên trong STM32

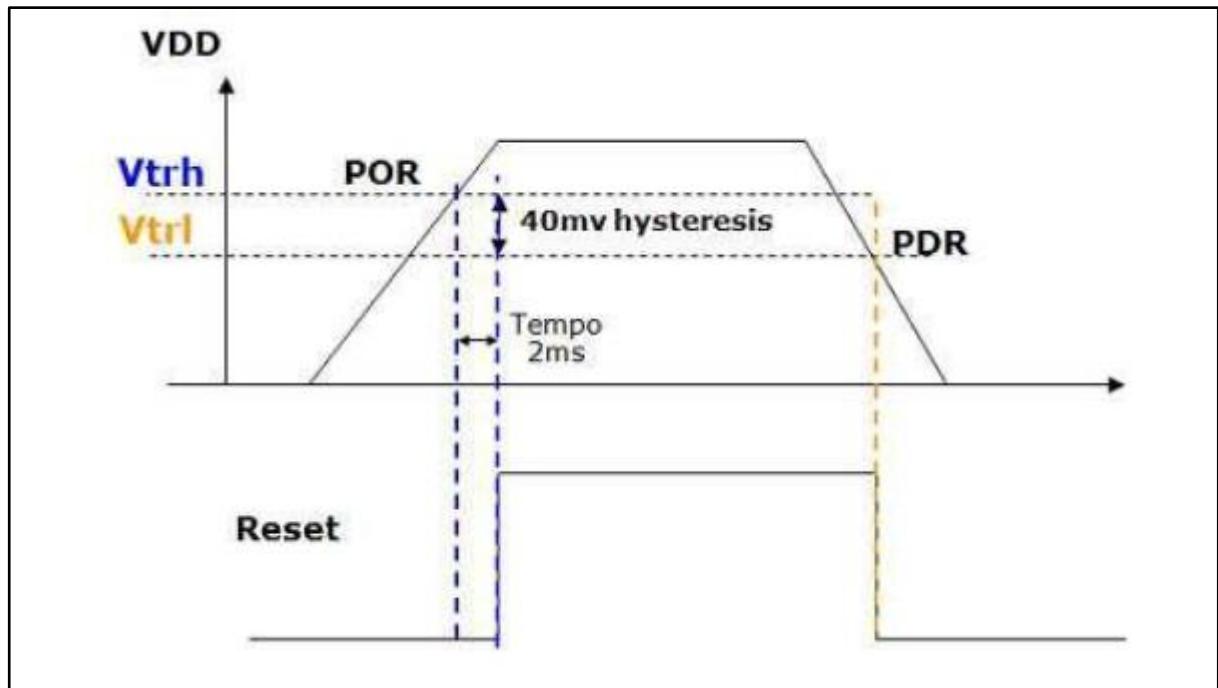
Tùy chọn cung cấp năng lượng thứ hai được sử dụng để cung cấp cho ADC. Nếu ADC được sử dụng, nguồn điện chính VDD được giới hạn trong phạm vi 2.4V đến 3.6V. Đối với chip đóng gói 100 chân, khối ADC có thêm chân điện áp tham khảo VREF+ và VREF-. Chân VREF- phải được kết nối với VDDA và VREF+ có thể thay đổi từ 2,4V đến VDDA. Tất cả các kiểu đóng gói chíp còn lại thì điện áp tham khảo được kết nối bên trong với các chân cung cấp điện áp ADC. Mỗi nguồn cung cấp năng lượng cần một tụ chống nhiễu đi kèm.



Hình 38: Cách bố trí tụ chống nhiễu cho STM32

2.4.3.8. Mạch Reset

STM32 chứa một mạch reset nội, mạch này giữ cho chip ở trạng thái reset cho tới khi nào VDD vẫn còn dưới mức 2.0V.



Hình 39: Đặc tính của mạch reset bên trong STM32

Bộ POR (Power On Reset) và PDR (Power Down Reset) đảm bảo xử lý chỉ chạy với một nguồn cấp điện ổn định, và không cần bất kì một mạch reset bên ngoài.

Một mạch reset bên ngoài không cần thiết trong thiết kế của STM32. Tuy nhiên, trong quá trình phát triển chân nRST có thể được kết nối với một nút reset đơn giản, đồng thời chân nRST cũng được kết nối đến cổng JTAG, để công cụ phát triển có thể tạo ra tín hiệu reset vi điều khiển.

CHƯƠNG 3

TỔNG KẾT THỰC TẬP

3.1. Kết quả công việc thực tập

Thực tập tốt nghiệp là cơ hội cho sinh viên làm quen với môi trường làm việc thực tế, là cơ hội để cá nhân tự thể hiện khả năng của mình bằng những gì đã học được ở trường lớp, là cơ hội để sinh viên áp dụng kiến thức, kỹ năng của mình một cách hiệu quả nhất. Đó là nền tảng vững chắc, là những kinh nghiệm vàng của sinh viên trước khi bước vào kỳ luận văn và tốt nghiệp.

Qua kì thực tập tại công ty TNHH CloudFERMI, em đã học tập được rất nhiều điều cũng như hoàn thành những nhiệm vụ được giao như sau:

- Làm quen được với môi trường làm việc năng động, hiệu quả tại công ty.
- Học được cách sử dụng trang web GitHub, nơi làm việc teamwork của những kỹ sư tương lai.
- Tìm hiểu tất cả các vấn đề liên quan đến độ pH.
- Nghiên cứu, hiểu được cấu tạo, nguyên lý hoạt động của cảm biến pH một cách cụ thể nhất.
- Hiểu và tính toán được các số liệu cụ thể của mạch xử lý tín hiệu thu về từ cảm biến đo độ pH.
- Nghiên cứu về STM32F103C8T6.

Bên cạnh những kết quả làm được khá quan đó, em cũng gặp phải không ít những khó khăn, tiêu biểu nhất là ở tài liệu nghiên cứu về cảm biến pH bằng tiếng Việt khá kham hiến, hầu như không giúp em được gì cho nghiên cứu. Do đó, việc dịch tài liệu bằng tiếng anh đã làm em gặp rất nhiều khó khăn, đã làm chậm tiến độ công việc nghiên cứu. Tuy nhiên em cũng đã cố gắng để hoàn thành nhiệm vụ nghiên cứu của kỳ thực tập.

3.2. Hướng phát triển của đề tài.

Độ pH là một trong những yếu tố của môi trường ảnh hưởng lớn đến sức khỏe của con người cũng như những động vật, đặc biệt là thủy sinh. Mô hình nghiên cứu thiết bị điều khiển theo dõi các yếu tố môi trường thủy sinh bao gồm Oxy hòa tan trong nước, độ dẫn điện của nước, nhiệt độ, độ pH là một trong những ứng dụng kết hợp cảm biến pH thiết thực và hiệu quả cũng như cần thiết với thực tế ngành thủy sản tại Việt Nam.

Bên cạnh đó cảm biến pH còn được sử dụng nhiều trong các phòng thí nghiệm, các ứng dụng kiểm soát độ pH của đất trồng...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

(1) Nguyễn Ngọc Hà, 2014, *Lập trình cǎn bǎn ARM CORTEX M3 STM32F103C8T6*.

(2) Alliance Technical Sales Inc, “pH Theory Guide”, January 2018,

<https://alliancets.com/images/alliancets/PDF/Resources/Guide-to-pH-Measurement-Jan-2018-Alliance-Tech-Sales.pdf>

(3) Endress+Hauser Group, “Potentiometric pH measurement”, April 2013,

<https://www.youtube.com/watch?v=P1wRXTl2L3I>

(4) Krishna Chytanya Chinnam, 2009, *Capacitive pH-Sensors using pH sensitive polymer*, Master Thesis in Molecular Electronic and System Design at Linkoping’s University.

(5) Rosemount Analytical Inc, “THEORY AND PRACTICE OF pH MEASUREMENT”, December 2010,

<https://www.emerson.com/documents/automation/manual-theory-practice-of-ph-measurement-en-70736.pdf>

(6) Texas Instruments, “AN-1852 Designing With pH Electrodes”, April 2013,

<http://www.ti.com/analog/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=snoa529a&docCategoryId=1&familyId=78>

(7) Yokogawa Electric Corporation, “pH Temperature Compensation”, May 2009,

<https://web-material3.yokogawa.com/TNA0924.us.pdf>

❖ HẾT ❖