

RESEARCH ON THE DESIGN OF HARD WATER TREATMENT SYSTEMS AND SCALE RECOVERY USING HIGH-FREQUENCY WAVES, APPLICATION IN INDUSTRIAL COOLING SYSTEMS USING OPEN CIRCULATION WATER

Phan Van Tu, Nguyen Duc Hung, Nguyen Van Tuan*

College of Technology and Trade

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	23/9/2024	The article studies the technology of treating scale, moss, and algae in open circulating industrial cooling systems using high-frequency waves, which is environmentally friendly, improves the efficiency of the heat exchange system, and saves electricity. The article uses a comprehensive and systematic research method, closely combining theoretical research with analysis of experimental results. The content of the article includes research on the theoretical basis of the formation, destruction and recovery of scale in open circulating water cooling systems using ultra-short pulse electrolysis method with 3 electrodes. The author group has calculated the design of electrodes, short-circuit control circuits using AC current with a frequency of 15 KHz - 5 MHz, voltage of 12 V - 48 V, and successfully designed a system for processing hard water, removing scale with high-frequency waves, applied in open-loop industrial water cooling systems.
Revised:	13/11/2024	
Published:	13/11/2024	
KEYWORDS		
Hard water treatment		
Scale Recovery		
Ultra short pulse electrolysis		
High-frequency waves		
Industrial cooling systems		

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC CỨNG VÀ THU HỒI CÁU CẶN BẰNG SÓNG CAO TẦN, ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG LÀM MÁT CÔNG NGHIỆP BẰNG NƯỚC TUẦN HOÀN HỒ

Phan Văn Tư, Nguyễn Đức Hưng, Nguyễn Văn Tuấn*

Trường Cao đẳng Công nghệ và Thương mại

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	23/9/2024	Bài báo nghiên cứu công nghệ xử lý cáu cặn, rong rêu và tảo trong các hệ thống làm mát công nghiệp tuần hoàn hở bằng nước dùng phương pháp sóng cao tần, thân thiện với môi trường, nâng cao hiệu suất của hệ thống trao đổi nhiệt và tiết kiệm năng lượng điện. Bài báo sử dụng phương pháp nghiên cứu tổng hợp, có hệ thống, kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu lý thuyết với phân tích kết quả thực nghiệm. Nội dung bài báo bao gồm: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về sự hình thành, phá hủy và thu hồi cáu cặn trong hệ thống làm mát bằng nước tuần hoàn hở sử dụng phương pháp điện phân xung cực ngắn với 3 điện cực. Nhóm tác giả đã tính toán thiết kế điện cực, mạch điều khiển điện phân xung cực ngắn sử dụng dòng điện AC với tần số 15 KHz – 5 MHz, hiệu điện thế 12 V – 48 V và thiết kế thành công hệ thống xử lý nước cứng, thu hồi cáu cặn bằng sóng cao tần, ứng dụng trong hệ thống làm mát công nghiệp bằng nước tuần hoàn hở.
Ngày hoàn thiện:	13/11/2024	
Ngày đăng:	13/11/2024	
TỪ KHÓA		
Xử lý nước cứng		
Thu hồi cáu cặn		
Điện phân xung cực ngắn		
Sóng cao tần		
Hệ thống làm mát công nghiệp		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11163>

* Corresponding author. Email: nguyentuancklk@gmail.com

1. Giới thiệu

Hiện nay trên thế giới nói chung có nhiều công bố về phương pháp sử dụng sóng cao tần để phá hủy cũng như thu hồi cáu cặn, như của Leonard D.Tijing, sử dụng trường điện tần số radio tạo ra giữa 2 điện cực graphit [1] có tác dụng làm giảm cặn canxi cacbonat bám trong hệ thống làm mát. Nghiên cứu và thực nghiệm, Cunping Huang đã chứng minh hiệu quả điện phân bằng xung điện [2] hay của Naohiro Shimizu đã công bố một phương pháp điện phân xung mới với hiệu suất rất cao – điện phân xung cực ngắn [3], sử dụng phương pháp điện phân dùng dòng một chiều DC truyền thống để khử độ cứng của nước [4] – [6], Hideo Hayakawa đã đưa ra phát minh thiết bị làm sạch nước với hệ ba điện cực [7] để khử các thành phần tạo ra độ cứng của nước trên cơ sở muối cacbonat hoặc sunfat [8]... Nhưng để có một hệ thống phá hủy và thu hồi cáu cặn đầy đủ, có tính thương mại thì hiện nay thế giới chưa có nhiều. Nhu cầu sử dụng các hệ thống giải nhiệt bằng nước tuần hoàn hở hiện nay tại Việt Nam và các nước lân cận trong khu vực Đông Nam Á là rất lớn. Chính vì vậy nhóm tác giả đã nghiên cứu tính toán thiết kế thiết bị xử lý nước cứng và thu hồi cáu cặn bằng sóng cao tần, ứng dụng trong hệ thống làm mát công nghiệp bằng nước tuần hoàn hở, nhằm khắc phục nhược điểm của các phương pháp xử lý nước cứng truyền thống đang được sử dụng tại Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết về sự hình thành, phá hủy và thu hồi cáu cặn

2.1. Sự hình thành cáu cặn trong hệ thống làm mát

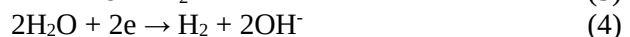
Sự hình thành cáu cặn trong hệ thống làm mát chủ yếu do nước cấp cho hệ thống này có độ cứng cao. Độ cứng của nước tạo ra do các ion kim loại hóa trị khác nhau chuyển vào trong nước từ quá trình phong hóa các khoáng chất lâu dài. Độ cứng của nước gây ra do sự tồn tại của các ion kim loại trong nước, chủ yếu là Ca^{2+} , Mg^{2+} (ngoài ra còn có Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} ...) với hàm lượng khác nhau tùy theo nguồn nước. Các khoáng tạo ra độ cứng của nước trên cơ sở muối carbonate hoặc sulfate [8].

Độ cứng của nước được phân thành độ cứng tạm thời (hay độ cứng cacbonat) khi các ion kim loại có mặt dưới dạng các muối bicarbonate (HCO_3^-) và độ cứng vĩnh cửu khi chúng ở dạng các muối của acid mạnh (sulfate và chloride).

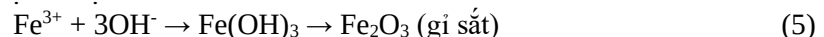
Trong các thiết bị trao đổi nhiệt của hệ thống làm mát nguồn nước và thiết bị có nhiệt độ cao, do đó tăng cường sự thoát CO_2 , cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận tạo ra CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 ... Khi nồng độ các chất này đạt đến quá bão hòa cùng với tốc độ nước tuần hoàn thấp sẽ lắng trong hệ thống. Trải qua thời gian lớp này dày lên và hình thành cặn bám. CO_2 sinh ra kết hợp với nước tạo thành acid H_2CO_3 ăn mòn đường ống và các bộ phận có hơi nước ngưng đọng [9]. Trong đường ống hoặc trong thiết bị trao đổi nhiệt xảy ra quá trình ăn mòn điện hóa. Các nguyên tử Fe bị oxi hóa thành Fe^{2+} . Các ion này tan vào dung dịch điện li trong đó đã có một lượng không khí oxygen, tại đây chúng bị oxi hóa tiếp thành Fe^{3+}



Các hydrogen ion của dung dịch điện ly bị khử thành hydrogen tự do, sau đó thoát ra khỏi dung dịch điện ly.



Các tinh thể Fe lần lượt bị oxi hóa từ ngoài vào trong. Sau một thời gian hình thành lớp gỉ trên vật bằng gang (thép) và vật liệu sẽ bị ăn mòn.



Một số loại muối dễ phân ly, khi hòa tan sẽ làm tăng độ dẫn điện của nước, thúc đẩy ăn mòn theo cơ chế điện hóa [9].

Vì vậy xử lý độ cứng của nước cấp mà tập trung vào khử Ca, Mg, Al, Fe,..., độ cứng carbonate, loại trừ cặn, tảo, rong rêu sẵn có, ngăn chặn bám cặn, rong rêu trở lại là mục tiêu chính của nghiên cứu.

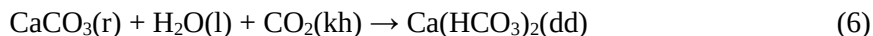
2.2. Sự phá hủy cấu cặn trong hệ thống làm mát

2.2.1. Phá hủy cấu cặn bằng sóng cao tần

Theo Leonard D.Tijing [1], sử dụng trường điện tần số radio tạo ra giữa 2 điện cực graphit có tác dụng làm giảm cặn calcium carbonate bám trong hệ thống làm mát. Trở lực của cặn giảm từ 34 - 88% tùy theo tốc độ dòng chảy, tần số sử dụng. Nhóm nghiên cứu của Leonard D.Tijing [1] đã sử dụng hai tần số 13,56 MHz và 27,12 MHz, hiệu điện thế nguồn cấp 2 V- 5 V tốc độ dòng chảy 0,3 m/s - 1,0 m/s. Ở tần số cao, các calcium ion và carbonate ion có xác suất va chạm cao hơn, do đó tăng cường khả năng lắng thành các khối hạt lớn kết tủa trong nước. Lớp cặn lắng trong ống dần giảm đi so với trường hợp không sử dụng trường điện. Khi tốc độ dòng chảy tăng, lớp cặn cũng giảm đi trong trường hợp có sử dụng từ trường.

2.2.2. Phá hủy cấu cặn bằng CO₂ hòa tan

Khí CO₂ là một khí được biết đến rộng rãi, gắn liền với cuộc sống của con người và mọi sinh vật. Tỷ trọng riêng của nó ở 25 °C là 1,98 kg/m³, nặng hơn không khí khoảng 1,5 lần. Phân tử carbon dioxide (O=C=O) chứa hai liên kết đôi và có hình dạng tuyến tính. Nó không có lưỡng cực điện. Do nó là hợp chất đã bị oxi hóa hoàn toàn nên về mặt hóa học nó không hoạt động lắm và cụ thể là không cháy. Nước sẽ hấp thụ một lượng nhất định carbon dioxide, và nhiều hơn lượng này khi khí bị nén. CO₂ có nhiều ứng dụng trong công nghiệp thực phẩm, dược phẩm, công nghệ ô tô, hàn, cứu hỏa... Bên cạnh đó về mặt địa chất thiên tạo, CO₂ cũng đóng góp vai trò quan trọng tạo nên những cảnh quan – đó chính là hiện tượng hình thành nhũ đá trong các hang động. Các nhà khoa học đã có nhiều nghiên cứu về hiện tượng này. Nguyên nhân là do dòng nước tại các khu vực này giàu Ca(HCO₃)₂. Vì đá vôi với thành phần chính là calcium carbonate bị hoà tan trong nước có chứa khí carbonic tạo thành dung dịch Ca(HCO₃)₂ theo phương trình phản ứng như sau:



Như vậy, bằng cách tạo ra CO₂ hòa tan trong nước, CO₂ sẽ đi vào hệ thống đường ống, hòa tan dần cấu cặn trong hệ thống làm mát mà thành phần chính là calcium carbonate. Mặt khác chỉ khoảng 1% carbon dioxide hòa tan chuyển hóa thành acid carbonic nên việc sử dụng CO₂ hợp lý sẽ không làm ảnh hưởng tới pH của hệ thống.

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp điện phân với dòng xoay chiều AC giữa 2 điện cực và tần số từ 15 KHz - 5 MHz, liên tục tạo ra gốc tự do OH·, O·, HOO· có tính oxi hóa mạnh, (điển hình là OH·), các gốc này sẽ oxi hóa không chọn lọc các hợp chất hữu cơ trong nước tạo thành CO₂ và H₂O [10], [11]. CO₂ sinh ra do quá trình này một phần sẽ hòa tan trong nước, tương tác và phá hủy một phần cấu cặn trong đường ống. Thực nghiệm cũng cho thấy pH của hệ thống ổn định từ 7,0 - 8,0 nằm trong tiêu chuẩn cho phép với nước cấp công nghiệp.

2.3. Sự thu hồi cấu cặn trong hệ thống làm mát

2.3.1. Khử độ cứng của nước bằng phương pháp điện phân

Một số nhà khoa học đã có những công bố về sử dụng phương pháp điện phân dùng dòng một chiều DC truyền thống để khử độ cứng của nước [4] – [6]. Nguyên lý của khử cặn bằng phương pháp điện phân nước dựa trên việc tạo ra môi trường pH cao quanh bề mặt cathode bằng cách khử nước và giải phóng ra ion hydroxyl OH⁻:



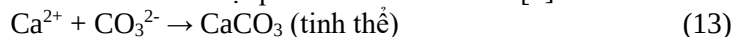
Ion HCO₃⁻ có thể chuyển thành CO₃²⁻ thông qua phản ứng sau [4] - [6]:



Bên cạnh đó, môi trường kiềm tạo ra sự kết tủa các ion khác gây nên độ cứng của nước như Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} ... ở dạng hydroxide theo phản ứng sau:



Trong giai đoạn của phản ứng (13), Ca^{2+} có thể phản ứng với CO_3^{2-} tạo thành các mầm tinh thể và phát triển thành tinh thể calcium carbonate khi độ quá bão hòa lớn hơn 1 [6]:



Quá trình kết tinh từ dung dịch là quá trình chuyển pha điển hình, trong đó chất kết tinh được chuyển từ dung dịch bão hòa sang pha rắn (tinh thể). Để thực hiện quá trình kết tinh trước hết phải có dung dịch quá bão hòa [12]. Độ quá bão hòa Ω được định nghĩa như sau:

$$\Omega = \frac{(\text{Ca}^{2+}) \cdot (\text{CO}_3^{2-})}{K_C} \quad (14)$$

Trong đó, (Ca^{2+}) và (CO_3^{2-}) là hoạt độ của các ion Ca^{2+} và CO_3^{2-} trong dung dịch. K_C là tích số tan của chất ít tan CaCO_3 , $K_C = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$. Giá trị là xác định với một cấu trúc kết tủa nhất định.

Trong quá trình tạo ra dung dịch quá bão hòa, độ quá bão hòa cứ tăng dần, khi đạt đến giá trị nhất định thì hiện tượng kết tinh bắt đầu xảy ra. Quá trình kết tinh là quá trình biến đổi phức tạp gồm nhiều giai đoạn. Theo quan niệm chung thì quá trình kết tinh gồm 2 giai đoạn chính [12]: Sự tạo mầm tinh thể và sự lớn lên của tinh thể.

Nghiên cứu quá trình điện phân nước bằng phương pháp điện phân DC truyền thống, muốn tăng hiệu suất tạo kết tủa (với các thành phần như CaCO_3 và $\text{Mg}(\text{OH})_2$) cần tăng hiệu suất tạo OH^- . Do đó việc áp dụng phương pháp điện phân sao cho hiệu quả tạo H_2 cao cũng sẽ cho kết quả tạo cặn bám trên cathode nhiều hơn.

2.3.2. Bản chất và hiệu quả của quá trình điện phân xung cực ngắn

Quá trình tạo thành H_2 ở cathode do quá trình chuyển khối điều khiển trải qua 3 bước chính:

- Tạo thành H nguyên tử hấp phụ lên bề mặt xúc tác cathode: $\text{H}^+(\text{ad}) + \text{e}^- \rightarrow \text{H}(\text{ad})$ (ad: adsorbed - hấp phụ)

- Tạo thành phân tử H_2 : $\text{H}(\text{ad}) + \text{H}(\text{ad}) \rightarrow \text{H}_2(\text{ad})$

- Khử hấp phụ H_2 : $\text{H}_2(\text{ad}) \rightarrow \text{H}_2(\text{k})$

Bằng nghiên cứu và thực nghiệm, Cunping Huang đã chứng minh hiệu quả điện phân bằng xung điện với dung dịch ammonium sunfit [2]. Điện phân xung tạo ra cùng một lượng H_2 so với điện phân DC truyền thống trong một nửa thời gian với cùng một thể cực đại, cho hiệu quả tiết kiệm năng lượng rõ rệt.

Trong nghiên cứu của Naohiro Shimizu, xung cực ngắn với độ rộng xung 300 ns cùng với dải thế 7,9 đến 140 V và dải tần số 2-25 kHz. Đối với điện phân DC truyền thống khi thế tăng thì dòng tăng để tăng tốc độ thoát H_2 . Tuy nhiên hiệu suất giảm từ 40% ở thế 2,2 V còn 8% ở thế 12,6 V [3], như vậy tốc độ giải phóng hydrogen không tỷ lệ với công suất tiêu thụ vào. Sự giảm này chủ yếu do hầu hết electron chuyển thành năng lượng nhiệt. Trong trường hợp điện phân xung, tốc độ thoát hydrogen tăng tỷ lệ với công suất vào. Khi công suất vào tăng cùng với sự tăng tần số xung, hiệu suất không giảm trong trường hợp thế cực đại cao và tăng trong trường hợp thế thấp. Tính chất này ngược với điện phân DC. Sự tăng hiệu suất trong trường hợp thế thấp có thể do sự tiêu hao năng lượng giảm vì mỗi electron có năng lượng thấp hơn và dao động sóng xung nhọn hơn ở thế cực đại thấp. Với những lý do này năng lượng tiêu thụ điện phân có thể hiệu quả hơn. Nghiên cứu của Naohiro Shimizu cho thấy điện phân xung cực ngắn là phương pháp hứa hẹn khi ứng dụng tăng công suất cùng với sự tăng hiệu suất điện phân [3].

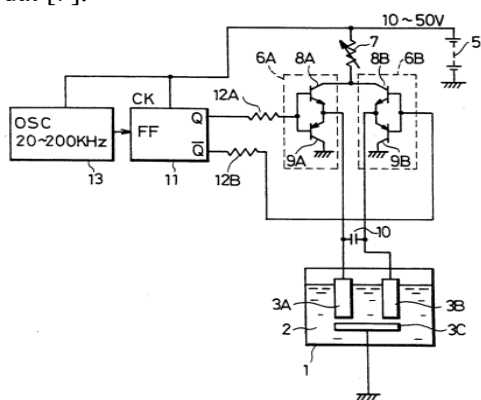
Trong quá trình điện phân với nguồn DC, luôn tồn tại trường điện, nghĩa là luôn có mặt lớp điện tích kép và lớp khuếch tán. Ngược lại khi điện phân xung cực ngắn, trường điện chỉ áp dụng

trong thời gian cỡ một vài micro giây, nhỏ hơn rất nhiều thời gian cần thiết để tạo lớp điện tích kép. Lúc này electron sẽ tụ tập trên bề mặt cathode và vận chuyển nhanh chóng tới ion H^+ , tạo ra hydrogen, tăng hiệu quả điện phân rõ rệt.

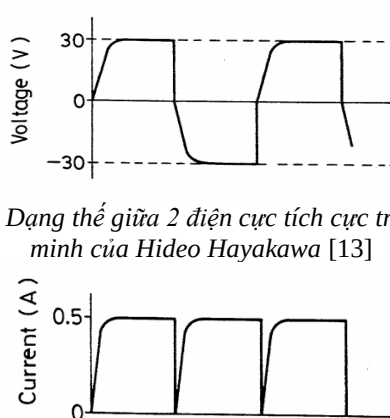
Từ những nghiên cứu lý thuyết trên cho thấy rằng cơ chế điện phân xung điện cực ngắn khác hẳn so với điện phân DC truyền thống. Điện phân DC dựa trên việc tạo thành lớp điện tích kép và quá trình khuếch tán giới hạn. Trong khi điện phân xung dựa trên việc ứng dụng trường điện mạnh và sự vận chuyển electron giới hạn trong thời gian cực ngắn. Sự khác nhau này có vai trò rất quan trọng trong thực tế và ứng dụng công nghiệp điện phân xung ngắn với mục đích tăng công suất vào mà không giảm hiệu suất.

2.3.3. Điện phân xung cực ngắn với hệ ba điện cực

Vào năm 1995, Hideo Hayakawa đã đưa ra phát minh thiết bị làm sạch nước với hệ ba điện cực như Hình 1. Hai điện cực tích cực với dòng đảo chiều tần số cao và một điện cực thụ động nổi đất [7].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị làm sạch nước của Hideo Hayakawa [7]

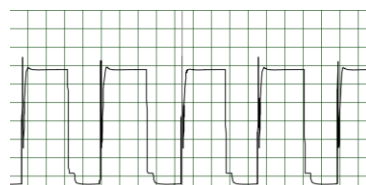


Hình 2. Dạng thế giữa 2 điện cực tích cực trong phát minh của Hideo Hayakawa [13]

Hình 3. Dòng điện một chiều qua điện cực thụ động trong phát minh của Hideo Hayakawa [13]

Trong phát minh của Hideo Hayakawa, thiết bị cấu tạo từ một điện cực nổi đất 3C và một cặp điện cực tích cực 3A, 3B, nguồn DC, 2 bộ điều khiển tần số nối với nguồn DC. Bộ điều khiển tạo ra dòng điện xoay chiều với tần số 20 KHz - 50 KHz và thế 10 V - 50 V. Khi áp dụng thế xoay chiều giữa 2 điện cực tích cực, hầu hết các hợp chất hữu cơ trong nước sẽ bị phân hủy và hóa hơi. Một số thành phần kết hợp với nhau và lắng lại trên điện cực thụ động [7]. Dạng thế giữa 2 điện cực như Hình 2. Dòng điện qua điện cực như Hình 3.

Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp điện phân xung 3 điện cực, trong đó giữa 2 điện cực tích cực có dòng AC với tần số 15 KHz - 5 MHz, hiệu điện thế 12 V - 48 V. Dòng qua điện cực thụ động luôn là một chiều, điện cực thụ động nối với âm cực. Dạng thế giữa 2 điện cực như Hình 4. Xung ở đây được sử dụng là xung cực ngắn với thời gian nhỏ hơn 1 μ s.



Hình 4. Dạng thế giữa 2 điện cực tích cực trong nghiên cứu

2.4. Thiết kế điện cực và mạch điều khiển

2.4.1. Hình dáng, kích thước và vật liệu điện cực

Để quá trình điện phân xử lý nước hiệu quả với hệ 3 điện cực, Hideo Hayakawa đã nghiên cứu với hiệu điện thế hiệu quả 10 - 50 V [7]. Trong nghiên cứu này, khi thiết kế hệ thống chúng tôi không sử dụng hiệu điện thế ở gần ngưỡng dưới (10 V) và gần ngưỡng trên (50 V). Chúng tôi lựa chọn mức điện áp thiết kế từ 12 V - 48 V, đây là mức điện áp sẵn có trong công nghiệp.

- Vật liệu làm điện cực là thép không gỉ 12Cr18Ni8, điện trở suất $\rho = 1,10 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$.

Theo các thực nghiệm của nghiên cứu, nước cấp cho hệ thống làm mát trong các nhà máy có độ dẫn điện tương đương TDS 500-1000 ppm (độ dẫn tính theo tổng lượng chất rắn hòa tan). Độ dẫn điện của nước EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) thường gấp 1,5 lần độ dẫn TDS.

Do vậy $\text{EC} = 750 - 1500 (\mu\text{S}/\text{cm}) = (750 - 1500) \times 10^{-6} (\text{S}/\text{cm}) = (750 - 1500) \times 10^{-6} (\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}) = (750 - 1500) \times 10^{-4} (\Omega^{-1}\text{m}^{-1})$

Giả sử hình dạng điện cực bên trong cũng có hình trụ rỗng với bán kính r . Như vậy nếu giả thiết lượng dung dịch điện phân (ở đây là nước giàu ion) chiếm toàn bộ phần bên trong điện cực tích cực hình trụ có bán kính r , chiều dài L thì thực tế trở dung dịch nhỏ hơn giá trị giả định này nên ta có:

$$R_{\text{dd}} < \rho_{\text{dd}} L / S = \frac{\rho_{\text{dd}} L}{\pi r^2} \quad (15)$$

Xét cho trường hợp độ dẫn dung dịch cao nhất (hay điện trở suất thấp nhất). Với $\text{EC} = 1500 \times 10^{-4} (\Omega^{-1}\text{m}^{-1})$

ta có: $L/r^2 > \pi \times R_{\text{dd}} / \rho_{\text{dd}} = \pi \times R_{\text{dd}} \times \text{EC} = 1,65 \times \pi \times (1500 \times 10^{-4}) = 0,78$ Hay $L > 0,78 r^2$ (16)

Giả thiết lượng dung dịch điện phân chiếm toàn bộ phần bên trong điện cực hình trụ thụ động có bán kính R , chiều dài L thì thực tế trở dung dịch lớn hơn giá trị giả định này nên ta có:

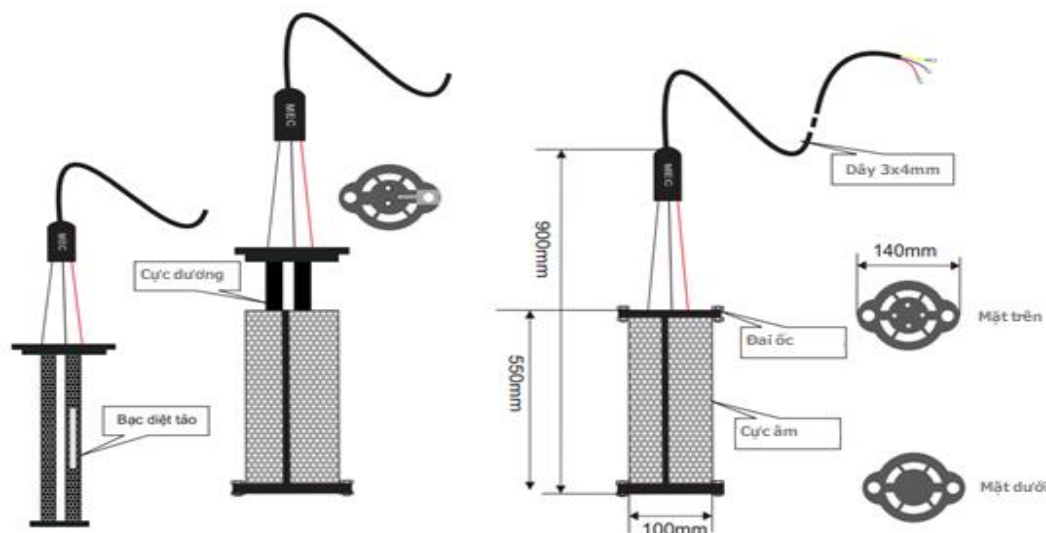
$$R_{\text{dd}} > \rho_{\text{dd}} L / S = \frac{\rho_{\text{dd}} L}{\pi R^2} \quad (17)$$

Xét cho trường hợp độ dẫn dung dịch cao nhất ta cũng có $L < 0,78 R^2$. Như vậy $0,78 r^2 < L < 0,78 R^2$. Chọn $R = 10 \text{ cm}$ suy ra $L < 78 \text{ cm}$.

Để giảm thời gian bảo dưỡng thiết bị (tức là thu được nhiều cặn trong 1 lần đặt thiết bị) mà không làm giảm đáng kể hiệu quả điện phân, trong nghiên cứu này chế tạo 2 điện cực gồm nhiều tấm lưới nhỏ bề rộng 3,5 cm xếp thành hình vòng cung cách nhau những khoảng cố định $\frac{1}{4}$ đường tròn.

Như vậy giá trị bán kính r giả định của điện cực tích cực lúc này là 5,5 cm. Suy ra $L > 23,6 \text{ cm}$.

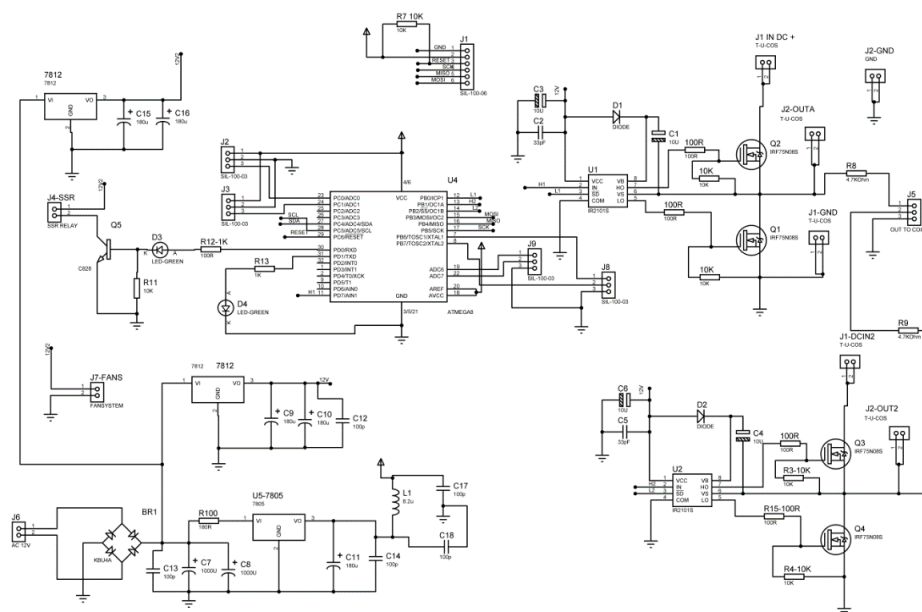
Ta có $23,6 \text{ cm} < L < 78 \text{ cm}$. Từ đó chọn $L = 550 \text{ cm}$ để tối đa diện tích bề mặt điện cực, kéo dài thời gian bảo trì, bảo dưỡng khi vận hành. Hình dạng điện cực thụ động và điện cực tích cực như Hình 5.



Hình 5. Điện cực thụ động và điện cực tích cực

2.4.2. Thiết kế mạch điều khiển điện cực

Mạch gồm có khối điều khiển trung tâm, khối điều khiển điện cực, khối nguồn, khối mạch tăng áp. Khối điều khiển điện cực bao gồm mạch tạo dao động điều khiển điện cực, sử dụng chip ATEMEGA 8, giao tiếp với khối điều khiển trung tâm qua giao thức I2C để truyền dữ liệu về tần số của bộ điều khiển điện cực. Tín hiệu dao động H-Side và L-Side được cách ly quang với bộ điều khiển cầu H. Bộ điều khiển cầu H điều khiển 4 Mosfet kênh N, tạo dao động công suất cho điện cực. Mạch điều khiển điện cực được biểu diễn như hình 6.



Hình 6. Mạch điều khiển điện cực

3. Kết quả và bàn luận

Nghiên cứu chạy thử nghiệm, kiểm tra các thông số kỹ thuật của thiết bị phá hủy, thu hồi cáu cặn tại phòng thí nghiệm. Đánh giá khả năng thu hồi cáu cặn của thiết bị trong thời gian 10 ngày, 20 ngày. Đánh giá độ bền của thiết bị khi chạy thực nghiệm. Hệ thống làm mát bằng nước với lưu lượng 5 m³/h, độ dẫn điện 200 μ S, tổng rắn hoà tan 400 ppm, nhiệt độ từ 25 °C – 30 °C (nước cấp cho tháp giải nhiệt). Hệ thống gồm 2 bể nước làm mát có thể tích 2 m³, chảy tuần hoàn. Giải tần số làm việc từ 15 KHz ÷ 5 MHz. Kết quả thông số đo đạc như Bảng 1.

Bảng 1. Thông số thử nghiệm tại phòng thí nghiệm

Thông số đo đạc	10 ngày	20 ngày
Độ dẫn (μ S)	200	200
Tổng rắn hoà tan (ppm)	400	390
Lượng cáu cặn trên điện cực (Kg)	Không xác định (Có hình ảnh)	Không xác định (Có hình ảnh)

Hình ảnh lượng cáu cặn thu được sau 10 và 20 ngày trên điện cực như Hình 7. Khi máy chạy ở dải tần số thấp không gây ảnh hưởng đến các thiết bị điện khác. Máy chạy ổn định, mát (Nhiệt độ trong tủ điều khiển dao động từ 30 ÷ 38°C), đảm bảo các thông số kỹ thuật đã đưa ra.



Hình 7. Hình ảnh điện cực sau 10, 20 ngày chạy

Qua quá trình nghiên cứu, nhóm đã thành công trong việc tạo ra thiết bị xử lý nước cứng và thu hồi cặn bằng sóng cao tần, ứng dụng trong hệ thống làm mát công nghiệp bằng nước tuần hoàn hở. Tần số thu hồi cặn hiệu quả ở dải từ 15 KHz đến 5 MHz, còn khi chạy ở dải tần số cao hơn lượng cặn thu hồi được là không đổi nhưng có độ xốp giảm, khó vệ sinh điện cực hơn. Đối với dải tần số thấp hơn 15 KHz thì cặn thu được trên điện cực quá xốp, mềm và có thể bị dòng chảy cuốn trôi lại vào hệ thống.

Khi sử dụng phương pháp phá hủy, thu hồi cặn bằng phương pháp sóng cao tần thì không phải mua hóa chất để thau rửa dẫn đến tiết kiệm được chi phí mua hóa chất, không phải dừng hệ thống công nghệ khi bảo trì, nên không ảnh hưởng đến kế hoạch sản xuất, nâng cao được hiệu suất sản xuất của nhà máy. Đây là phương pháp thuần điện, không sử dụng lõi lọc, hóa chất nên thân thiện với môi trường.

4. Kết luận

Bài báo này kế thừa các kết quả nghiên cứu về thu hồi, phá hủy cặn trong hệ thống làm mát công nghiệp bằng nước tuần hoàn hở. Nhóm tác giả đã tính toán thiết kế điện cực, mạch điều khiển điện cực để thu hồi cặn với tần số làm việc từ 15 KHz ÷ 5 MHz, điện áp 12 V ÷ 48 V.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] L. D. Tijging, H. Y. Kim, D. H. Lee, C. S. Kim, and Y. I. Cho, "Physical water treatment using RF electric fields for the mitigation of CaCO_3 fouling in cooling water," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 1426-1437, 2010.
- [2] C. Huang, "Solar hydrogen production via pulse electrolysis of aqueous ammonium sulfite solution," *Solar Energy*, vol. 91, pp. 394-401, 2013.
- [3] N. Shimizu, S. Hotta, T. Sekiya, and O. Oda, "A novel method of hydrogen generation by water electrolysis using an ultra-short-pulse power supply," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 36, pp. 419-423, 2006.
- [4] D. Hasson, V. Lumelsky, G. Greenberg, Y. Pinhas, and R. Semiat, "Development of the electrochemical scale removal technique for desalination applications," *Desalination*, vol. 230, pp. 329-342, 2008.
- [5] G. Elgressy, "Electrochemical device and method for scale deposition and removal," U.S. Patent US20050173242A1, August 2005.
- [6] C. Gabriella, G. Maurin, H. Francy-Chausson, P. Thery, T. T. M. Tran, and M. Tlili, "Electrochemical water softening: principle and application," *Desalination*, vol. 201, pp. 150-163, 2006.
- [7] H. Hayakawa, *Process and apparatus for improving quality of water*, U. S. Patent US5435894A, 1995.
- [8] R. N. Reeve, *Introduction to environmental analysis*, John Willey and Sons, LTD, 2002.
- [9] N. V. Tu, *Corrosion and material protection*, Science and Technology Publishing House, (in Vietnamese), 2002.
- [10] R. Ali, W. A. W. A. Bakar, and L. K. Teck, "Zn/ZnO/TiO₂ and Al/Al₂O₃/TiO₂, Photocatalysts for the Degradation of cypermethrin," *Modern Applied Science*, vol. 4, no. 1, pp. 59-67, 2010.
- [11] F. E. Senftle, J. R. Grant, and F. P. Senftle, "Corrosion and material protection," *Electrochimica Acta* vol. 55, pp. 5148-5153, 2010.
- [12] N. T. Ha, "Crystallization kinetics CaCO_3 ," (in Vietnamese), Master's thesis in engineering, Hanoi University of Science and Technology, 2007.
- [13] S. K. Mazloomi and N. Sulaiman, "Influencing factors of water electrolysis electrical efficiency," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 4257-4263, 2012.