**Áp dụng kỹ thuật chèn điện áp trong trong hiệu chuẩn độ nhạy hở mạch trường áp suất của Microphone đo lường**

***Nguyễn Thị Hằng– Viện đo lường Việt Nam***

**TÓM TẮT**

*Trong lĩnh vực đo lường âm thanh hầu hết các phép đo được thực hiện bởi Microphone. Độ nhạy của Microphone là thông số quan trọng quyết định độ chính xác của phép đo âm thanh. Hiệu chuẩn độ nhạy Microphone là điểm khởi đầu cần thiết để thực hiện một phép đo âm thanh chính xác. Bài báo trình bày nguyên lý cơ bản của các phương pháp hiệu chuẩn độ nhạy Microphone đang được sử dụng rộng rãi hiện nay, đánh giá ưu nhược điểm của từng phương pháp, từ đó lựa chọn giải pháp phù hợp với điều kiện thực tế ở Việt Nam, đó là hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp so sánh và áp dụng kỹ thuật chèn điện áp để xác định điện áp hở mạch của Microphone. Từ giải pháp lựa chọn, xây dựng hệ thống thực nghiệm hiệu chuẩn các Microphone chuẩn thứ, Microphone đo lường thông thường tại Viện Đo lường Việt Nam. Kết quả đạt được thể hiện trong bài báo là khả quan và hứa hẹn sẽ được cải thiện tốt hơn trong các nghiên cứu tiếp theo.*

*Từ khóa: Hiệu chuẩn, Microphone, kỹ thuật chèn điện áp, độ nhạy Microphone*

1. **Giới thiệu**

Đo lường âm thanh đã được công nhận một cách rộng rãi là lĩnh vực có ảnh hưởng lớn đến đời sống xã hội, trải rộng từ các chủ đề lớn như kiểm soát tiếng ồn trong công nghiệp và môi trường, đến các giải pháp nghe và giao tiếp, chất lượng âm thanh phòng và tòa nhà. Đồng thời cũng được thừa nhận là việc hiệu chuẩn và liên kết chuẩn là điều kiện tiên quyết cần thiết trong hầu hết các phép đo lường âm thanh. Đa số các phép đo lường âm thanh, trong đó có thể kể đến áp suất âm, công suất âm, cường độ âm là được thực hiện bởi Microphone. Khi sử dụng chúng kết hợp cùng với các thiết bị liên quan khác (tiền khuếch đại, thiết bị phân tích và hoặc máy đo độ ồn tích phân), các Microphone này có khả năng cung cấp giá trị đọc từ đơn giản như mức áp suất âm hoặc các thể hiện phức tạp hơn như tính chất trường âm theo miền thời gian, tần số hoặc không gian. Do đó hiệu chuẩn Microphone là một điểm khởi đầu cần thiết trong gần như tất cả các phép đo lường âm thanh.

Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày tổng quan nguyên lý của các phương pháp hiệu chuẩn độ nhạy Microphone phổ biến trên thế giới hiện nay. Đồng thời đưa ra đánh giá, so sánh ưu nhược điểm của các phương pháp, từ đó lựa chọn phương pháp phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam. Phần cuối cùng trong nghiên cứu này là kết quả áp dụng phương pháp được lựa chọn – Hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp so sánh và áp dụng kỹ thuật chèn điện áp trong hiệu chuẩn các Microphone chuẩn thứ, Microphone đo lường tại Viện Đo lường Việt Nam.

1. **Tổng quan các phương pháp hiệu chuẩn độ nhạy trường áp suất của Microphone** 
   1. **Hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp thuận nghịch**

Một Microphone có tính chất thuận nghịch có thể hoạt động như một Microphone thông thường biến đổi tín hiệu âm thành tín hiệu điện, nhưng cũng có thể trở thành một nguồn âm, biến đổi tín hiệu điện thành nguồn âm. Do đó Microphone thuận nghịch có thể được hiệu chuẩn theo phương pháp thuận nghịch như mô tả dưới đây[1]:

Hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp thuận nghịch được thực hiện với một bộ ba Microphone. Ít nhất hai trong ba Microphone này phải có tính chất thuận nghịch. Microphone không có tính chất thuận nghịch chỉ đóng vai trò thu.

Việc hiệu chuẩn được thực hiện với từng cặp Microphone đặt trong Coupler (1-2, 1-3, 2-3), trong đó một Microphone đóng vai trò phát tạo ra áp suất âm thanh trong Coupler, một Microphone đóng vai trò thu, đo áp suất âm thanh này (Hình 1). Theo nguyên lý thuận nghịch, tích độ nhạy của một cặp 2 Microphone bằng tỉ số giữa trở kháng truyền điện và truyền âm của cặp Microphone đó. Do vậy, nếu biết được các trở kháng của ba cặp Microphone thì có thể xác định được độ nhạy của từng Microphone.



Hình 1. Hiệu chuẩn LS Microphone theo phương pháp thuận nghịch

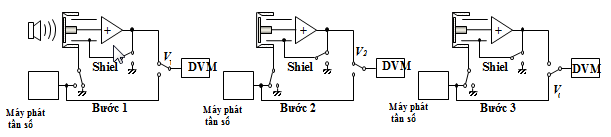
* 1. **Hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp so sánh**

***Nguyên lý hoạt động***

Khi Microphone chuẩn và Microphone cần hiệu chuẩn cùng đo một nguồn áp suất âm thanh đồng thời hoặc lần lượt, thì tỉ số độ nhạy được xác định bằng tỉ số điện áp ra hở mạch của chúng[2]. Tuy nhiên Microphone có trở kháng điện rất cao, trong khi hầu hết các thiết bị đo có trở kháng thấp, do đó tiền khuyếch đại thường được sử dụng để hòa hợp trở kháng giữa Microphone và thiết bị đo. Như vậy điện áp hở mạch của Microphone rất khó để đo trực tiếp, một kỹ thuật được gọi là “Kỹ thuật chèn điện áp - Insert Voltage Technique”[1]được áp dụng để xác định điện áp hở mạch này một cách dễ dàng hơn.

***Đo điện áp hở mạch bằng kỹ thuật chèn điện áp***

Sơ đồ xác định điện áp hở mạch của Microphone



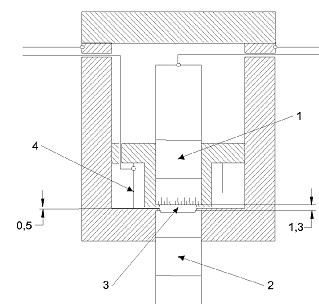
Hình 2. Kỹ thuật chèn điện áp

Kỹ thuật chèn điện áp được sử dụng để xác định điện áp hở mạch của Microphone. Bằng cách lần lượt tác động nguồn âm/điện áp hiệu chuẩn có cùng tần số lên Microphone. Khi áp dụng điện áp hiệu chuẩn, điều chỉnh điện áp hiệu chuẩn đến khi điện áp ra sau tiền khuếch đại bằng với điện áp ra khi áp dụng nguôn âm. Khi đó điện áp hở mạch của Microphone đúng bằng điện áp hiệu chuẩn.

Dựa theo các nguyên lý nói trên thì việc hiệu chuẩn độ nhạy của Microphone đo lường theo phương pháp so sánh với một Microphone chuẩn đã biết trước độ nhạy có một vài cách thực hiện khác nhau như sau[2]:

1. Phương án 1: Hai Microphone lần lượt đo cùng một nguồn âm và sử dụng kỹ thuật chèn điện áp để xác định điện áp hở mạch của Microphone

Bằng cách lần lượt từng Microphone đo cùng một nguồn âm xác định, phương pháp này yêu cầu khi thay đổi Microphone không được làm ảnh hưởng đáng kể đến nguồn âm, đồng thời sự thay đổi này phải được ghi lại và hiệu chỉnh. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng thêm một Microphone thứ ba, đóng vai trò giám sát.



1. Microphone giám sát
2. Microphone chuẩn/ Microphone cần hiệu chuẩn
3. Hốc âm, đường kính 9,3 mm
4. Nguồn âm

Hình 3. Coupler dùng trong phép hiệu chuẩn hai Microphone lần lượt đo cùng 1 nguồn âm. IEC 61094-5:2001, Microphone đo lường – Phần 5: Các phương pháp hiệu chuẩn Microphone trường áp suất bằng phương pháp so sánh

1. Phương án 2: Hai Microphone lần lượt đo cùng một nguồn âm và không sử dụng kỹ thuật chèn điện áp để xác định điện áp hở mạch của Microphone

Bằng cách thay đổi vị trí của Microphone trên hai kênh đo, và lặp lại phép đo. Khi đó độ lệch *LC12*  giá trị đọc giữa 2 kênh sẽ là:

(1)

Trong đó:

*L1*  và *L2* : là mức độ nhạy của các Microphone

*Lm1*  và *Lm2* : là các hệ số của hệ thống đo

*Ld1*: là mức áp suất âm tạo ra bởi nguồn âm tại điểm giữa các màng rung của hai Microphone

*LWA* : là độ lệch giữa mức áp suất âm tại màng rung của Microphone ở vị trí A và *Ld1*

*LWB* : là độ lệch giữa mức áp suất âm tại màng rung của Microphone ở vị trí B và *Ld1*

Khi đổi chỗ 2 Microphone, thì độ lệch giá trị đọc giữa 2 kênh khi đó sẽ là:

(2)

Trong đó:

*Ld2*: là mức áp suất âm tạo ra bởi nguồn âm tại điểm giữa các màng rung của hai Microphone sau khi đổi chỗ.

Với giả thiết là các Microphone có độ nhaỵ khác nhau nhưng giống nhau về cấu trúc cơ khí và tính chất âm học. Từ (1) và (2), hiệu độ nhạy giữa 2 Microphone là:

(3)

Nếu *L1* đã biết, thì ta có thể tính được *L2* mà không cần biết đến các giá trị *Lm1, Lm2*, *Ld1,Ld2,LWA,LWB*

1. Phương án 3: Hai Microphone đồng thời đo cùng một nguồn âm và sử dụng kỹ thuật chèn điện áp để xác định điện áp hở mạch của Microphone

Phương pháp này yêu cầu màng rung của 2 Microphone được đặt cách nhau một khoảng cách nhỏ hơn một phần mười bước sóng của tần số cao nhất mà ta cần đo. Với tần số lên đến 20 kHz thì hai Microphone phải được đặt mặt đối mặt và cách nhau nhỏ hơn 1mm trong một Coupler có sẵn nguồn âm trong hoặc được được gá trên một hệ thống gá đỡ.

* 1. **Lựa chọn phương pháp**

Hiệu chuẩn Microphone bằng phương pháp thuận nghịch có thể đạt được độ không đảm bảo đo tốt nhất, đến vài phần trăm dB. Tuy nhiên đối với các Microphone chuẩn công tác (WS Microphone) và các Microphone đo lường thông thường thì phương pháp này nói chung là không áp dụng được do thiết kế hình học khác nhau của chúng dẫn đến không tạo được hốc kín giữa hai Microphone và sẽ gây rò rỉ âm thanh ra bên ngoài. Và phương pháp này có nhược điểm rất lớn là giá thành để thiết lập rất cao, thời gian thực hiện hiệu chuẩn lâu chỉ phù hợp với các phòng hiệu chuẩn cấp quốc gia khi số lượng mẫu hiệu chuẩn rất ít. Để hiệu chuẩn Microphone đo lường thông thường thì phương pháp so sánh là phù hợp nhất.

Trong ba phương án so sánh nêu trong mục 2.2 thì phương án 1 có ưu điểm là không yêu cầu thiết bị đo điện áp có độ chính xác quá cao, chỉ cần có độ lặp lại tốt. Nhưng do hai Microphone không có mặt trong trường âm cùng lúc do đó phương pháp này chỉ đạt được độ chính xác cao nếu hai Microphone có cùng chủng loại và không làm thay đổi đáng kể thể tích của hốc âm trong Coupler, đồng thời nguồn âm phải có độ ổn định rất tốt.

Phương án 2 có ưu điểm là không cần thiết bị để tạo điện áp chèn. Tuy nhiên để thực hiện theo mô hình này thì hai Microphone phải có cùng chủng loại, đảm bảo giống nhau về cấu trúc cơ khí và tính chất âm học và nguồn âm phải có độ ổn định rất tốt.

Phương án 3có ưu điểm là không cần đổi chỗ các Microphone trong quá trình thực hiện. Hai Microphone có mặt đồng thời trong nguồn âm do đó không cần sự có mặt của Microphone thứ ba để giám sát sự thay đổi nguồn âm và không yêu cầu nguồn âm có độ ổn định quá cao và không yêu cầu các Microphone có cùng chủng loại. Tuy nhiên phương pháp này yêu cầu phải có thiết bị và các phương tiện phụ trợ để thực hiện kỹ thuật chèn điện áp.

Do mục tiêu của nghiên cứu là sao truyền chuẩn từ Microphone chuẩn đầu là loại B&K 4180 (đã được hiệu chuẩn với độ chính xác cao theo phương pháp thuận nghịch tại Viện đo lường Việt Nam) xuống các Microphone chuẩn thứ và các Microphone đo lường thông thường, Microphone chuẩn đầu B&K 4180 này có cấu trúc hình học và nguyên lý đặc biệt tương đối khác so với các Microphone chuẩn thứ và Microphone đo lường thông thường do đó để đạt được độ chính xác cao nhất thì nhóm tác giả đề xuất thực hiện theo phương án 3. Đồng thời trong quá trình thực hiện không cần đổi chỗ các Microphone do đó hoàn toàn có thể thực hiện tự động hóa toàn bộ quá trình hiệu chuẩn.

1. **Thực nghiệm**

**3.1 Sơ đồ thực nghiệm**

Để thử nghiệm và đánh giá tính hiệu lực của phương pháp được lựa chọn, nhómm tác giả đã thiết lập sơ đồ thực nghiệm nêu trong hình 4.



Hình 4. Hiệu chuẩn Microphone bằng phương pháp so sánh trong Coupler kín tích cực và sử dụng kỹ thuật chèn điện áp để xác định điện áp hở mạch của các Microphone

Hai Microphone được đặt đối mặt trong một Coupler kín tích cực. Coupler này được thiết kế sao cho tạo ra trường âm giống nhau trên cả hai Microphone. Thuật ngữ kín ở đây nghĩa là hốc âm giữa hai Microphone có kích thước nhỏ một phần mười bước sóng của tần số lớn nhất mà ta cần hiệu chuẩn, ví dụ ở 20 kHz là khoảng 1,7 mm. Trường âm được tạo ra bởi tranducer PVDF hình trụ đặt phía ngoài hốc âm và được dẫn vào hốc âm qua một chuỗi lỗ đồng tâm, điều này đảm bảo trường âm có tính đối xứng và đồng dạng.

Đầu tiên sẽ đo điện áp ra trên hai Microphone cần hiệu chuẩn và Microphone chuẩn khi Coupler phát âm thanh, điện áp này được kí hiệu lần lượt là *VDUT,c VREF,c*

Xác định điện áp hở mạch của Microphone chuẩn *V­REF,o* bằng phương pháp chèn điện áp như mô tả trong mục 1.2.2. Tuy nhiên rất khó để điều chỉnh điện áp hiệu chuẩn sao cho điện áp ra *V1*  và *V2* là bằng nhau, nên thực tế ta sẽ thay thế nguồn âm bằng một điện áp hiệu chuẩn *VREF,cal* xấp xỉ bằng *VREF,c.* khi đó điện ra là *VREF,load*. Khi đó điện áp hở mạch của Microphone chuẩn *V­REF,o* được tính như sau:

 (4)

Trong đó hệ số hở mạch:

 (5)

Tương tự xác định điện áp hở mạch của Microphone cần hiệu chuẩn *V­DUT,o.*

Khi đó độ nhạy hở mạch của Microphone cần hiệu chuẩn *SDUT,o* được tính như sau:

 (6)

Trong đó:

*SREF,o* và *SDUT,o* lần lượt là độ nhạy hở mạch của Microphone chuẩn và Microphone cần hiệu chuẩn.

**3.2 Kết quả thực nghiệm**

Bảng 2 là kết quả hiệu chuẩn 03 LS2 Microphone Brüel&Kjær loại 4180 trong dải tần từ 20 Hz đến 20 KHz theo bước 1/3 ốc ta theo phương pháp thuận nghịch và phương pháp so sánh.

Bảng 1. Số liệu hiệu chuẩn Microphone B&K loại 4180

| **Tần số**  **(Hz)** | **4180**  **(SN 2889928)** | | **4180**  **(SN 2889929)** | | **4180**  **(SN 2889931)** | | **Độ không đảm bảo đo mở rộng (k=2;95%CL)** | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **(dB)** | | **(dB)** | | **(dB)** | |
| **Thuận nghịch** | **So sánh** | **Thuận nghịch** | **So sánh** | **Thuận nghịch** | **So sánh** | **Thuận nghịch** | **So sánh** |
| 20,00 | -38,22 | -38,27 | -37,94 | -37,90 | -38,05 | -38,08 | 0,08 | 0,10 |
| 25,10 | -38,23 | -38,29 | -37,95 | -37,92 | -38,06 | -38,09 | 0,08 | 0,10 |
| 31,60 | -38,24 | -38,28 | -37,96 | -37,94 | -38,07 | -38,09 | 0,08 | 0,10 |
| 39,80 | -38,25 | -38,29 | -37,97 | -37,93 | -38,08 | -38,07 | 0,08 | 0,10 |
| 50,10 | -38,25 | -38,29 | -37,97 | -37,93 | -38,08 | -38,10 | 0,08 | 0,10 |
| 63,10 | -38,26 | -38,30 | -37,98 | -37,94 | -38,09 | -38,10 | 0,04 | 0,07 |
| 79,40 | -38,27 | -38,30 | -37,99 | -37,95 | -38,10 | -38,11 | 0,04 | 0,07 |
| 100,00 | -38,27 | -38,31 | -37,99 | -37,95 | -38,10 | -38,12 | 0,04 | 0,07 |
| 125,90 | -38,27 | -38,31 | -38,00 | -37,96 | -38,10 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 158,50 | -38,28 | -38,32 | -38,00 | -37,97 | -38,11 | -38,12 | 0,03 | 0,07 |
| 199,50 | -38,28 | -38,31 | -38,01 | -37,98 | -38,11 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 251,20 | -38,29 | -38,32 | -38,01 | -37,97 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 316,20 | -38,29 | -38,33 | -38,01 | -37,98 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 398,10 | -38,29 | -38,33 | -38,01 | -37,98 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 501,20 | -38,29 | -38,33 | -38,02 | -37,98 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 631,00 | -38,29 | -38,33 | -38,02 | -37,98 | -38,13 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 794,30 | -38,29 | -38,33 | -38,02 | -37,98 | -38,13 | -38,14 | 0,03 | 0,07 |
| 1000,00 | -38,29 | -38,33 | -38,01 | -37,98 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 1258,90 | -38,29 | -38,33 | -38,01 | -37,98 | -38,12 | -38,12 | 0,03 | 0,07 |
| 1584,90 | -38,28 | -38,32 | -38,00 | -37,97 | -38,12 | -38,13 | 0,03 | 0,07 |
| 1995,30 | -38,26 | -38,30 | -37,99 | -37,96 | -38,11 | -38,12 | 0,03 | 0,07 |
| 2511,90 | -38,24 | -38,26 | -37,95 | -37,93 | -38,07 | -38,08 | 0,03 | 0,07 |
| 3162,30 | -38,20 | -38,22 | -37,92 | -37,90 | -38,05 | -38,06 | 0,03 | 0,07 |
| 3981,10 | -38,14 | -38,16 | -37,87 | -37,84 | -38,01 | -38,02 | 0,03 | 0,07 |
| 5011,90 | -38,05 | -38,07 | -37,78 | -37,75 | -37,94 | -37,96 | 0,03 | 0,07 |
| 6309,60 | -37,91 | -37,93 | -37,66 | -37,64 | -37,86 | -37,87 | 0,03 | 0,07 |
| 7943,30 | -37,70 | -37,71 | -37,49 | -37,46 | -37,74 | -37,75 | 0,03 | 0,07 |
| 10000,00 | -37,42 | -37,44 | -37,28 | -37,25 | -37,61 | -37,62 | 0,03 | 0,07 |
| 12589,30 | -37,16 | -37,16 | -37,12 | -37,09 | -37,57 | -37,58 | 0,04 | 0,08 |
| 15848,90 | -37,23 | -37,25 | -37,37 | -37,35 | -37,90 | -37,93 | 0,05 | 0,10 |
| 19952,60 | -38,51 | -38,39 | -38,79 | -38,67 | -39,20 | -39,34 | 0,08 | 0,15 |

Độ lệch giữa độ nhạy của các Microphone này khi hiệu chuẩn bằng phương pháp so sánh và phương pháp thuận nghịch được nêu trong hình 5.

Hình 5. Độ lệch giữa độ nhạy của LS2 Microphone khi xác định bằng phương pháp so sánh và phương pháp thuận nghịch

Hình 5 cho thấy ở vùng tần nhỏ hơn 10 kHz, phương pháp cho kết quả rất tốt, độ lệch chỉ dưới 0,05 dB. Khi tần số tăng độ lệch tăng lên nhanh chóng tới 0,13 dB tại 20 kHz. Việc mất chính xác ở tần số cao có thể đến từ sự mất đối xứng trong coupler, do khi tần số tăng thì bước sóng giảm khoảng cách giữa các Microphone không còn đủ nhỏ so với bước sóng gây ra sai khác về mức áp suất âm trên màng rung của Microphone chuẩn và Microphone cần hiệu chuẩn và giả thiết hai Microphone cùng đo cùng một nguồn âm không còn đảm bảo, tuy nhiên sự chênh lệnh này nhỏ hơn so với độ không đảm bảo đo, do đó kết quả này có thể tạm chất nhận được và số hiệu chỉnh cho nguyên nhân này có thể được thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

Ngoài ra do trong hệ thống đo vẫn tồn tại nhiễu của thiết bị đo, Coupler không đủ kín, nhiễu nội tại của các Microphone, tiền khuếch đại …và tín hiệu đo thì tương đối thấp cỡ vài mV dẫn đến tỉ số tín hiệu trên nhiễu khá thấp, và đặc biệt thấp ở vùng tần số thấp < 31,5 Hz cũng làm giảm độ chính xác của hệ thống đo.

**3.3 Độ không đảm bảo đo**

Ước tính độ không đảm bảo đo cho thấy thành phần độ không đảm bảo đo của chuẩn là thành phần ảnh hưởng lớn nhất đến độ không đảm bẩo đo loại B của phép hiệu chuẩn. Nếu sử dụng Microphone chuẩn đã được hiệu chuẩn theo phương pháp thuận nghịch thì độ độ không đảm bao đo của chuẩn khoảng 0,04 dB. Ngoài ra độ không đảm bao đo loại B, còn đến từ một số yếu tố hệ thống khác như: sai số của thiết bị đo điện áp, trở kháng của các Microphone, điện áp phân cực, và các yếu tố môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, áp suất khí quyển), tổng độ không đảm bảo đo các thành phần này khoảng 0,02 dB. Độ không đảm bao đo loại A được xác định bằng độ lệch chuẩn từ ít nhất năm lần hiệu chuẩn, không quá 0,01 dB với các tần số < 12 kH và tăng lên đến 0,06 dB tại 20 kHz. Do đó độ không đảm bảo đo tổng hợp của phép hiệu chuẩn ước tính là 0,1 dB ở tần số dưới 50 Hz, từ 50 Hz đến 12 kHz là 0,07 dB và từ 12 kHz đến 20 k Hz là 0,15 dB với độ tin cậy 95% (k=2).

**3.4** **Đánh giá tính hiệu lực của phương pháp**

Tính hiệu lực của phương pháp được lựa chọn được đánh giá bằng cách xác định độ tương đương của kết quả hiệu chuẩn bằng phương pháp nêu trong nghiên cứu với phương pháp hiệu chuẩn thuận nghịch có độ không đảm bảo đo cao hơn và đã được công nhận.

Để đánh giá độ tương đương của kết quả sử dụng giá trị đánh giá *En* được xác định theo công thức sau[5]:

En = (Mrep – Mcom)/(U2rep + U2com)1/2 (7)

Trong đó *Mrep* là độ nhạy áp suất của Microphone hiệu chuẩn theo phương pháp thuận nghịch, *Mcom* là độ nhạy áp suất của Microphone hiệu chuẩn theo phương pháp thuận nghịch, *Urep* và *Ucom* là các độ không đảm bảo đo tương ứng.

Hình 6 là các giá trị En theo tần số. Giá trị tuyệt đối của *En* đều nhỏ hơn 1 do đó các kết quả hiệu chuẩn theo phương pháp so sánh và phương pháp thuận nghịch là tương đương, và kết quả hiệu chuẩn theo phương pháp so sánh nêu trong bài là hoàn toàn tin cậy.

Hình 6. Hệ số Entheo tần số

**KẾT LUẬN**

Từ các kết quả thực nghiệm cho thấy, hiệu chuẩn Microphone đo lường bằng phương pháp so sánh và sử dụng kỹ thuật chèn điện áp để đo điện áp hở mạch có thể xác định được độ nhạy của Microphone đo lường một cách tin cậy và có độ không đảm bảo đo không quá lớn so với hiệu chuẩn bằng phương pháp thuận nghịch. Phương pháp này có giá trị kinh tế rất lớn đối với Viện đo lường Việt Nam, các chi cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng và các trung tâm dịch vụ hiệu chuẩn do kinh phí trang bị thấp hơn rất nhiều so với hệ thống hiệu chuẩn Microphone theo phương pháp thuận nghịch, đồng thời gian thực hiện hiệu chuẩn nhanh phù hợp với hiệu chuẩn số lượng phương tiện đo lớn. Với các kết quả đạt được trong nghiên cứu, để giảm độ không đảm bảo đo và tăng tính chính xác của phép hiệu chuẩn, các nghiên cứu sau sẽ tập trung vào nghiên cứu sự liên quan giữa khoảng cách của các Microphone đến độ chính xác của kết quả hiệu chuẩn, đồng thời thiết kế các bộ lọc chuyên dụng để tăng tỉ số tín hiệu trên nhiễu, tránh các tín hiệu nhiễu không mong muốn tham gia vào kết quả hiệu chuẩn.

*Tài liệu tham khảo*

[1]ISO16094 – 2 Measurement Microphones Part 2, *Primary method for pressure calibration of laboratorystandard microphones by the reciprocity technique*

[2]ISO16094 – 5 Measurement Microphones Part 5, *Methods for Pressure calibration of working standardmicrophones by comparison*

[3]COOMET.AUV.A-S1, *Technical report on supplementary comparison  
“Comparison of national standards of the sound pressure unit in air through calibration of working reference microphones*, Metrologia 2014 51 Tech. Suppl. 09005

[4]E. Frederiksen, *Acoustic metrology - an overview of calibration methods  
and their uncertainties***,** EDP Sciences 2013

[5] Marin Chushkov, *Thomas Fedtke, Bilateral comparison of pressure sensitivities of*

*laboratory standard microphones (LS2P) between NCM and PTB*, October 16, 2006

*Thời gian nhận bài : 11/2017– BBT*