

SÁCH TRẮNG

Hướng dẫn đo cảm biến chính xác dành cho kỹ sư

Tổng quan

Cảm biến chuyển đổi một hiện tượng vật lý thành tín hiệu điện có thể đo được. Nhưng một số cảm biến không tự nhiên đáp ứng với sự thay đổi hiện tượng vật lý và đòi hỏi phải điều phối tín hiệu. Trước khi đầu ra của cảm biến có thể được số hóa, tín hiệu có thể cần thêm các thành phần và mạch điện để tạo ra tín hiệu có thể tận dụng tối đa khả năng của phần cứng đo lường và giảm ảnh hưởng của nhiễu xuất phát từ giao thoa bên ngoài. Tài liệu này bao gồm các nguyên tắc thực hành tốt nhất về cách kết nối cảm biến với thiết bị đo kiểm, cách thực hiện điều phối đúng tín hiệu và cách giảm các nguồn lỗi có thể có trong hệ thống của bạn.

MỤC LỤC

Tổng quan	1
Cặp nhiệt điện, cảm biến đo nhiệt độ (RTD) và điện trở nhiệt	2
Cảm biến biến dạng và cảm biến dựa trên mạch cầu	8
Cảm biến gia tốc và micro	16
Bảng dữ liệu điện tử của cảm biến (TEDS)	27
Chọn hệ thống đo cảm biến	30

Cặp nhiệt điện, cảm biến đo nhiệt độ (RTD) và điện trở nhiệt

Cặp nhiệt điện, cảm biến đo nhiệt độ (RTD) và điện trở nhiệt đều hoạt động dựa trên nguyên lý rằng một số vật liệu đáp ứng theo cách dự đoán và đo lường được với biến đổi nhiệt độ. Đối với cả ba loại, đáp ứng đo được thường khá nhỏ và như với tất cả các phép đo tín hiệu nhỏ, rất khó đo chính xác và đáng tin cậy. Khả năng điều phối đúng tín hiệu ở các bộ phận phần cứng và phần mềm trong hệ thống đo lường của bạn có thể đơn giản hóa rất nhiều nhiệm vụ đo nhiệt độ. Các phần sau đây đề cập đến cách điều phối tín hiệu được khuyến nghị cần thiết để cặp nhiệt điện, RTD và điện trở nhiệt đo chính xác.

Các yêu cầu điều phối tín hiệu

Lọc

Thông thường phải đo nhiệt độ ở xa thiết bị đo lường. Điều này có nghĩa là dây cảm biến chuyển tín hiệu tương tự đến bộ số hóa phải dài. Thông qua chiều dài cáp, nhiễu từ môi trường vận hành có thể xâm nhập vào tín hiệu tương tự và dẫn đến đo không chính xác. Bạn cần phải giảm thiểu vấn đề này bằng cách cân nhắc cẩn thận nơi bạn chạy cáp. Tránh các đường dây điện xoay chiều, đèn huỳnh quang và màn hình máy tính có thể giúp tránh nhiễu từ đường dây điện 50/60 Hz mà chúng thường phát ra.

Bạn cũng có thể áp dụng bộ lọc thông thấp cho tín hiệu đến hoặc tích hợp một bộ lọc thông thấp vào phần cứng đo lường để giúp loại bỏ các tín hiệu tần số cao không mong muốn.

Cách điện

Tại lõi, các cặp nhiệt điện, RTD và điện trở nhiệt được làm bằng vật liệu dẫn điện. Nếu bạn không lưu ý đến việc cách điện, bạn có thể vô tình tạo ra một phép đo có khả năng gây nguy hiểm cho phần cứng đo lường hoặc người dùng.

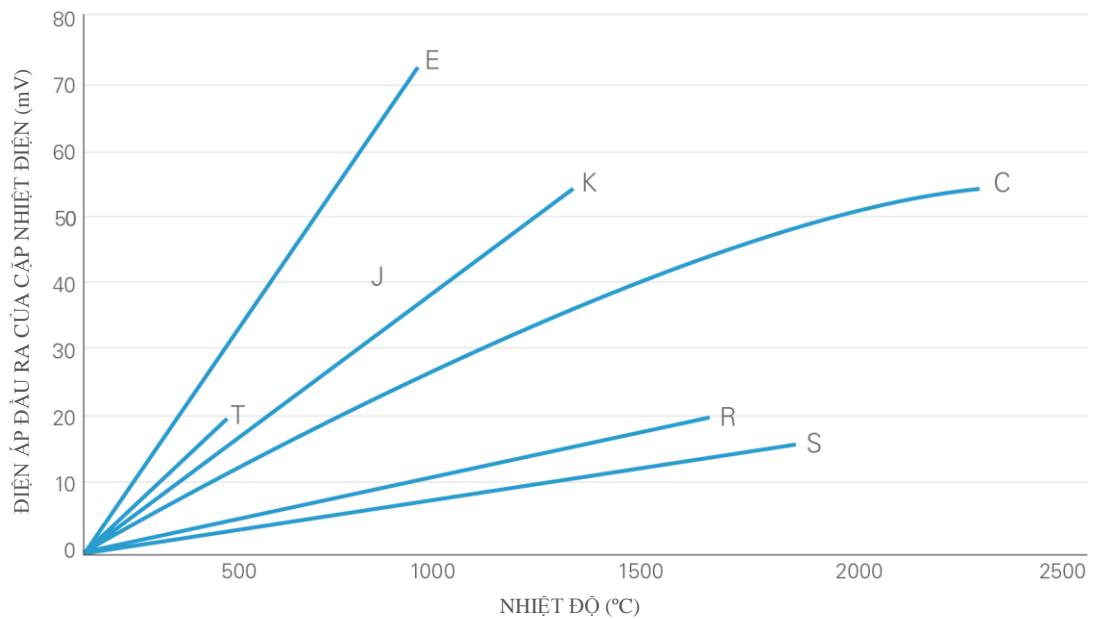
Cần nhắc đến việc lắp cặp nhiệt điện vào vỏ của một động cơ điện lớn. Động cơ lớn thường cần điện áp rất cao và thậm chí xảy ra tăng vọt điện áp mạnh hơn trong quá trình hoạt động. Nếu vỏ của động cơ tiếp xúc với một trong những điện áp cao này do đoản mạch bên trong, tăng vọt điện áp có thể đi đến phần cứng đo lường qua dây của cặp nhiệt điện. Bạn có thể sử dụng các cặp nhiệt điện được cách điện để ngăn chặn điều này, nhưng điều đó dẫn đến thời gian đáp ứng chậm hơn và phát sinh thêm chi phí.

Ngoài ra, thiết bị đo lường có chế độ cách điện kênh có thể giúp bảo vệ hệ mạch của bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (ADC) cũng như giảm thiểu nhiễu từ các kênh liền kề. Bạn cũng có thể sử dụng thiết bị đo lường được cách điện để đo chính xác khi có điện áp đồng pha cao bằng cách cách ly hệ mạch ADC khỏi đất và cho phép đo thả nổi đến tín hiệu cần đo (trong giới hạn của thiết bị).

Tuyến tính hóa

Đầu ra điện áp trên mỗi đơn vị nhiệt độ từ cặp nhiệt điện, RTD hoặc điện trở nhiệt không phải là mối quan hệ tuyến tính. Do đó, bạn không thể chỉ đơn giản áp dụng hệ số tỷ lệ để chuyển đổi điện áp đo được thành giá trị nhiệt độ có ý nghĩa trên toàn dải đo của cặp nhiệt điện. Ví dụ: Hình 1 thể hiện đầu ra điện áp của các cặp nhiệt điện khác nhau trên một phạm vi nhiệt độ. Lưu ý rằng đây là mối quan hệ phi tuyến tính.

CÁC CẶP NHIỆT ĐIỆN Ở CÁC NHIỆT ĐỘ KHÁC NHAU



Hình 1. Điện áp đầu ra của cặp nhiệt điện so với nhiệt độ¹

Bạn có hai lựa chọn để lập thang tỷ lệ chính xác các số đo và hiệu chỉnh cho sự phi tuyến tính này:

1. Sử dụng bảng tra cứu và nội suy tuyến tính cho các điện áp đo được giữa các điểm dữ liệu trong bảng. Điều này khá hiệu quả, nhưng có thể đòi hỏi phải mã hóa bảng tra cứu lớn giống như một phần của bảng cho cặp nhiệt điện kiểu K được trình bày trong Hình 2 và do Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia (NIST) lưu giữ.

¹ Digi-Key: <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/may/designing-thermocouple-applications-with-a-sensor-afe>

BẢNG ITS-90 DÀNH CHO CẶP NHIỆT ĐIỆN KIỂU K (ĐIỆN ÁP NHIỆT ĐIỆN TÍNH THEO mV)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293

Hình 2. Bảng tra cứu cặp nhiệt điện kiểu K của NIST²

2. Áp dụng phương trình điện áp-nhiệt độ cho loại cảm biến mà bạn đang sử dụng để thực hiện phép đo. Ví dụ như, đa thức bậc cao được yêu cầu cho bất kỳ cặp nhiệt điện nào cho trước là:

$$E = \sum_{i=0}^n (C_i t^i) \text{ , trong đó}$$

E = Điện áp nhiệt điện tính theo μV

C_i = Hệ số đa thức (do NIST cung cấp cho mỗi phạm vi nhiệt độ)

t = Nhiệt độ tính theo $^{\circ}C$

Điện trở nhiệt cũng đòi hỏi phương trình phức tạp tương tự để chuyển đổi chính xác tín hiệu trong phạm vi nhiệt độ lớn. Mặt khác, RTD thể hiện đáp ứng tuyến tính nhất trong số ba loại cảm biến đo nhiệt độ này. Mối quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ của RTD được xác định bằng phương trình Callendar-Van Dusen như sau:

$$\text{Đối với } <0^{\circ}C : RT = R_0[1 + AT + BT^2 + CT^3(T - 100^{\circ}C)]$$

$$\text{Đối với } >0^{\circ}C : RT = R_0[1 + AT + BT^2]$$

RT = Điện trở của RTD ở nhiệt độ T

R_0 = Điện trở danh định của RTD ở $0^{\circ}C$

A , B , và C = các hằng số được sử dụng để lập thang tỷ lệ RTD

²Dữ liệu về cặp nhiệt điện ITS-90 của NIST: <http://srdata.nist.gov/its90/main/>



Lưu ý rằng việc thực hiện những phép tính này trong phần mềm có thể đòi hỏi khả năng tính toán đáng kể tùy thuộc vào số kênh và tốc độ lấy mẫu cũng như phạm vi nhiệt độ hoạt động. Có một nền tảng phần mềm tích hợp chặt chẽ với phần cứng đo lường có thể đơn giản hóa rất nhiều nhiệm vụ lập thang tỷ lệ này bằng cách tích hợp khả năng lập thang tỷ lệ.

Các yếu tố cân nhắc cụ thể theo từng RTD/Điện trở nhiệt

Dòng điện kích thích

Điện trở nhiệt và RTD là các cảm biến điện trở cần có dòng điện kích thích để tạo ra điện áp đo được trên thiết bị. Nguồn dòng điện không đổi và chính xác có vai trò rất quan trọng để đảm bảo điện áp đúng và ổn định cho phép đo. Hệ thống DAQ bạn chọn cho phép đo RTD và điện trở nhiệt của bạn phải cung cấp nguồn dòng điện kích thích được xác định là đáng tin cậy để bạn có thể thu được các phép đo đúng và chính xác nhất.

Kết nối với phần cứng bằng cách sử dụng các cấu hình 2, 3 và 4 dây (chỉ RTD)

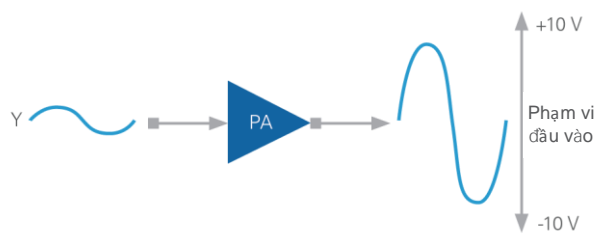
Bạn có thể mua RTD với ba cấu hình dây. Khác biệt và lợi ích của từng cấu hình sẽ được thảo luận chi tiết trong tài liệu tham khảo dành cho cảm biến RTD. Phần cứng đo lường bạn chọn cho hệ thống của mình cần phải đủ linh hoạt để tích hợp các loại RTD mà ứng dụng của bạn yêu cầu. Một số phần cứng đo lường chỉ cho phép RTD 2 dây, trong khi phần cứng khác cung cấp tính năng tự động phát hiện các RTD 3 hoặc 4 dây. Bạn cần phải chọn thiết bị DAQ được thiết kế cho mức điện trở của RTD, ví dụ: RTD 100 Ω hoặc 1000 Ω .

Các yếu tố cân nhắc cụ thể theo từng cặp nhiệt điện

Khuếch đại

Các cặp nhiệt điện sẽ tự tạo ra điện áp rất nhỏ cho một thay đổi nhiệt độ nhất định, thường khoảng vài milivôn và đôi khi ít hơn. Ví dụ, cặp nhiệt điện kiểu K chỉ tạo ra 40 μV cho mỗi độ C. Hầu hết phần cứng đo lường thông thường đều đo trong một phạm vi nhất định và độ phân giải của thiết bị quyết định thay đổi nhỏ nhất có thể phát hiện trong phạm vi điện áp đó. Vì điện áp bạn đang đo rất nhỏ trong trường hợp sử dụng cặp nhiệt điện nên bạn có thể muốn khuếch đại tín hiệu đo được để tận dụng toàn bộ phạm vi đầu vào của thiết bị đo lường.

ĐẦU RA CỦA CẶP NHIỆT ĐIỆN ĐƯỢC KHUẾCH ĐẠI



Hình 3. Khuếch đại đầu ra của cặp nhiệt điện để phát hiện thay đổi tín hiệu nhỏ hơn và sử dụng toàn bộ phạm vi đầu vào ADC.

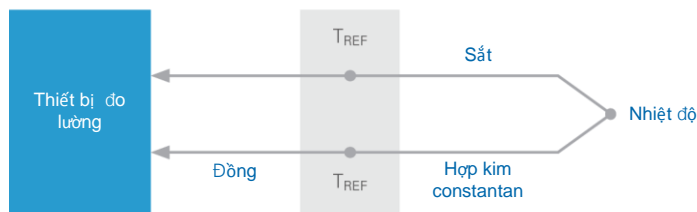
Trong trường hợp lý tưởng, thực hiện khuếch đại càng gần với phép đo chính càng tốt. Điều này giúp tránh làm khuếch đại bất kỳ nhiễu nào xen vào tín hiệu dọc theo chiều dài của dây cặp nhiệt điện. Nếu không thể khuếch đại bên ngoài hoặc nếu bạn cần đơn giản hóa hệ thống đo lường, bạn có thể sử dụng thiết bị đo lường với ADC 24-bit. Loại thiết bị này có thể có độ nhạy đo lường khoảng 0,2 $^{\circ}\text{C}$.

Bù điểm lạnh (CJC)

Bản chất của phép đo cặp nhiệt điện, như được thảo luận trong tổng quan về cặp nhiệt điện, phụ thuộc vào chênh lệch điện áp tạo ra khi hai kim loại khác nhau được nối và tiếp xúc với nhiệt độ tương đối nào đó. Một vấn đề phát sinh tại điểm kết nối giữa cặp nhiệt điện với đầu vào của phần cứng đo lường. Tại chỗ nối này, một mối nối khác giữa các kim loại khác nhau sẽ được tạo ra, và tùy thuộc vào môi trường, điều này cũng có thể gây ra chênh lệch điện áp. Nếu bạn không chú ý đến “cặp nhiệt điện ký sinh” thứ cấp này, nó có thể làm lệch đáng kể phép đo nhiệt độ dự kiến đủ để tạo ra kết quả không đúng.

Để ngăn ngừa điều này xảy ra, bạn có thể đưa một phép đo tham chiếu hoặc “phép đo điểm lạnh” vào trong phần cứng đo lường của bạn, như được thể hiện trong Hình 4. Bạn thực hiện phép đo tham chiếu này cách xa phép đo chính một chút và lý tưởng nhất là nằm sát cạnh “cặp nhiệt điện ký sinh” được tạo ra do kết nối cặp nhiệt điện thực với các đầu của thiết bị đo lường. Sử dụng cảm biến nhiệt độ đo trực tiếp (như RTD hoặc điện trở nhiệt) và sau đó lấy số đo chính trừ đi số đo tham chiếu thu được để loại bỏ hoặc bù cho thành phần ký sinh. Quy trình này được gọi là bù điểm lạnh hay còn gọi là CJC.

PHÉP ĐO CẶP NHIỆT ĐIỆN ĐIỂM LẠNH

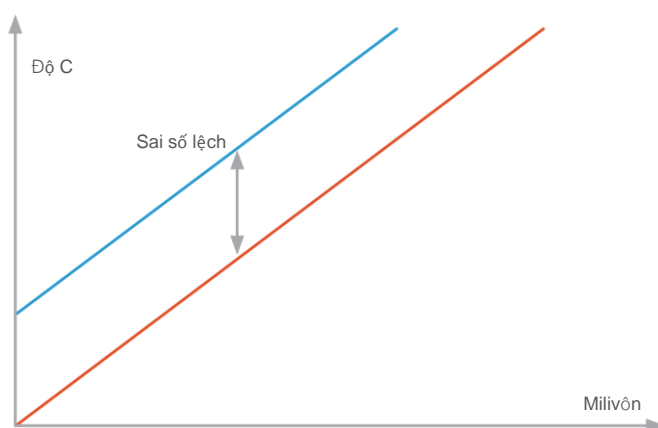


Hình 4. Sai số điểm lạnh làm tăng thêm điện áp cho phép đo cặp nhiệt điện.

Loại bỏ sai số lệch

Như đã thảo luận trước đây, CJC rất quan trọng để hiệu chỉnh ảnh hưởng của cặp nhiệt kế ký sinh được tạo ra do kết nối dây của cặp nhiệt điện với các đầu kim loại của phần cứng. Cặp nhiệt điện ký sinh gây ra lệch điện áp đo được dẫn đến kết quả không chính xác. Tương tự, nhiệt độ môi trường xung quanh thiết bị đo lường có thể dẫn đến lệch điện áp đo được từ cặp nhiệt điện do điện áp cảm ứng trong chính phần cứng. Để khắc phục điều này, bạn cần thường xuyên đo điện áp ẩn mà không dùng cặp nhiệt điện và lấy mỗi số đo của cặp nhiệt điện trừ đi giá trị này. Để đơn giản hóa quy trình này, một số phần cứng đo lường có chức năng tự động đưa về không để thường xuyên hoặc bán thường xuyên hiệu chỉnh cho bất kỳ điện áp lệch nào do môi trường xung quanh gây ra. Điều này có thể cải thiện đáng kể độ chính xác đo lường tổng thể của bạn.

BÙ BẰNG CÁCH TỰ ĐỘNG ĐƯA VỀ KHÔNG

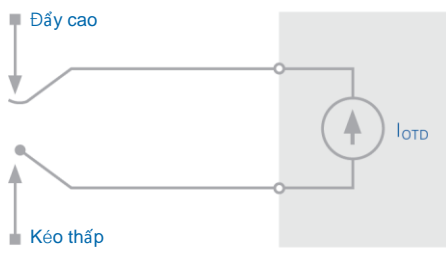


Hình 5. Tự động đưa về không sẽ bù cho sai số lệch.

Phát hiện các cặp nhiệt điện bị ngắt kết nối

Các cặp nhiệt điện có thể dễ bị ăn mòn và mài mòn theo thời gian vì thành phần của chúng (các kim loại khác nhau tiếp xúc có thể gây ra ăn mòn ở một số môi trường) và môi trường hoạt động điển hình dành cho loại cảm biến này. Người dùng có thể không dễ nhận ra cặp nhiệt điện bị hỏng hoặc bị ngắt kết nối và chúng có thể tạo ra dữ liệu không hợp lệ. Phát hiện cặp nhiệt điện hở là một tính năng của phần cứng cung cấp một dòng điện nhỏ để đẩy điện áp đầu vào ra khỏi phạm vi khi phần cứng phát hiện ra kết nối hở. Bạn có thể dễ dàng kiểm tra điều này ở phần mềm. Khi sử dụng tính năng này, hãy nhớ rằng dòng điện nhỏ có thể là nguồn gây ra sai số lệch ở các ứng dụng có độ chính xác cao. Để khắc phục được điều này, bạn có thể ghép nối tính năng phát hiện cặp nhiệt điện hở với tính năng đưa độ lệch dây dẫn về không, để thu được chênh lệch đo được khi có và không sử dụng dòng điện và lấy các số đo tương lai trừ đi giá trị thu được. Điều này có hiệu quả khắc phục cho sai số lệch do người dùng gây ra.

PHÁT HIỆN CẶP NHIỆT ĐIỆN HỖ



Hình 6. Mạch phát hiện cặp nhiệt điện hở đẩy điện áp cao khi cặp nhiệt điện bị hở.

Kết luận

Để có được mức độ chính xác đáng tin cậy về số đo nhiệt độ của bạn, bạn phải tiến hành thông qua nhiều lớp biến đổi tín hiệu, một số được khuyến nghị và một số là bắt buộc. Khi lựa chọn hệ thống đo lường cho các cặp nhiệt điện, RTD hoặc điện trở nhiệt, bạn cần cân nhắc việc lọc tích hợp để loại bỏ nhiễu, cách điện để tránh các vòng tiếp đất, và tuyến tính hóa để lập thang tỷ lệ điện áp so với nhiệt độ. Nếu bạn đang sử dụng cặp nhiệt điện làm cảm biến nhiệt độ của bạn, hãy ghi nhớ những nguồn sai số bổ sung này có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo:

- Sai số điểm lạnh—được hiệu chỉnh bằng cách bù điểm lạnh hay còn gọi là CJC
- Sai số lệch—được hiệu chỉnh bằng cách tự động đưa về không và đưa lệch dây dẫn về không
- Phát hiện cặp nhiệt điện hở để đảm bảo độ tin cậy và thời gian hoạt động của hệ thống

Tìm hiểu cách lấy số đo nhiệt độ chính xác và đáng tin cậy với phần cứng NI.

Hệ thống đo lường cặp nhiệt điện của NI

Hệ thống đo lường RTD của NI

Cảm biến biến dạng và cảm biến dựa trên mạch cầu

Cảm biến biến dạng là các thiết bị cảm ứng cơ bản dùng để xây dựng nhiều loại cảm biến khác, bao gồm cảm biến áp suất, tải trọng và cảm biến mô-men xoắn, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng kiểm tra kết cấu và giám sát. Mặc dù các cảm biến biến dạng phổ biến nhưng chúng là một trong những loại cảm biến khó sử dụng nhất để điều phối và thu nhận dữ liệu đáng tin cậy. Cảm biến biến dạng đo bằng cách cảm nhận sự thay đổi nhỏ về chiều dài của lá kim loại do ứng suất ngang qua một bề mặt thường nhỏ hơn 5 mm². Một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến hiệu quả đo của cảm biến biến dạng, bao gồm các vấn đề điều phối tín hiệu, nhiễu điện, biến động nhiệt độ và hiệu chuẩn không đúng. Vì các cảm biến áp suất, tải trọng và cảm biến mô-men xoắn thường dựa trên cấu hình cảm biến biến dạng mạch cầu đầy đủ, chúng cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố trong số này. Cân nhắc các đề xuất sau để bù sai số và tăng độ chính xác của các phép đo dựa trên mạch cầu của bạn.

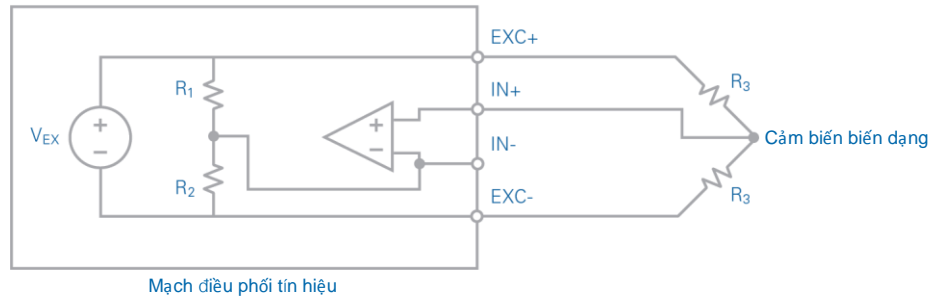
Các yêu cầu điều phối tín hiệu

Hoàn tất mạch cầu

Trừ khi bạn sử dụng cảm biến mạch cầu đầy đủ, bạn phải hoàn thành mạch cầu bằng các điện trở tham chiếu. Do đó, các mạch điều phối tín hiệu cho cảm biến dựa trên mạch cầu thường cung cấp những mạng lưới hoàn thiện bán cầu gồm hai điện trở tham chiếu có độ chính xác cao. Điện trở danh định của các điện trở hoàn thiện ít quan trọng hơn mức độ phù hợp của hai điện trở. Lý tưởng nhất là các điện trở phù hợp và cung cấp một điện áp tham chiếu ổn định $V_{EX}/2$ đến dây dẫn vào cổng âm của kênh đo. Điện trở lớn của các điện trở hoàn thiện giúp giảm thiểu mức tiêu thụ dòng điện từ điện áp kích thích. Tuy nhiên, sử dụng điện trở hoàn thiện quá lớn có thể dẫn đến tăng nhiễu và sai số do dòng điện phân cực.



MẠCH ĐIỀU PHỐI TÍN HIỆU CHO CẢM BIẾN BIẾN DẠNG



Hình 7. Mạch điều phối tín hiệu có tính năng kích thích và hoàn thiện mạch cầu cho mạch cảm biến biến dạng bán cầu.

Kích thích

Các cảm biến dựa trên mạch cầu đòi hỏi điện áp không đổi để cấp điện cho cầu. Mạch điều phối tín hiệu cầu thường có một nguồn điện áp. Không có mức điện áp tiêu chuẩn nào được công nhận rộng rãi trong ngành, nhưng mức điện áp kích thích khoảng 3 V và 10 V rất phổ biến. Mặc dù điện áp kích thích cao tạo ra điện áp đầu ra cao hơn tương ứng nhưng điện áp này cũng có thể gây ra sai số lớn hơn do gây nóng cảm biến. Tương tự, các biến động nhỏ về điện áp kích thích do các nguồn kích thích không ổn định có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo. Các phần tiếp theo sẽ đưa ra các đề xuất để giảm thiểu các ảnh hưởng của sai số do nguồn kích thích gây nóng cảm biến và không ổn định.

Khuếch đại

Đầu ra của các cảm biến biến dạng tương đối nhỏ. Ví dụ: hầu hết các cầu đo biến dạng tạo ra đầu ra dưới 10 mV/V hoặc 10 milivôn trên mỗi vôn điện áp kích thích. Với kích thích 10 V, tín hiệu đầu ra là 100 mV. Do đó, các mạch điều phối tín hiệu cho cảm biến dựa trên mạch cầu thường bao gồm mạch khuếch đại để tăng mức tín hiệu, tăng độ phân giải đo lường và cải thiện tỷ số tín hiệu trên nhiễu.

Các cảm biến tải trọng, áp suất và mô-men xoắn có thể tạo ra điện áp thấp hoặc cao, tùy thuộc vào yêu cầu kích thích của nó. Cảm biến mức thấp thường được cấp nguồn bởi một thiết bị đo lường và phát ra các tín hiệu milivôn. Cảm biến mức cao (hoặc cảm biến có điều phối) yêu cầu phải sử dụng nguồn điện bên ngoài cao hơn để hoạt động và phát ra tín hiệu ± 5 V, ± 10 V hoặc 4–20 mA.

Lựa chọn mức kích thích tối ưu

Lựa chọn mức kích thích tối ưu là cân bằng giữa việc đạt được tỷ số tín hiệu trên nhiễu mạnh và giảm thiểu ảnh hưởng của tình trạng tự nóng lên. Trong một thế giới lý tưởng, mức điện áp kích thích cao được ưa chuộng vì thay đổi điện áp đầu ra cho một mức biến dạng nhất định tăng tỷ lệ thuận với điện áp kích thích. Do đó, bạn có thể đo dễ dàng chính xác hơn các điện áp nhỏ được tạo ra bởi cầu đo biến dạng, đặc biệt là trong môi trường nhiễu hoặc khi sử dụng dây dẫn dài, dễ bị nhiễu. Tuy nhiên, bởi vì cảm biến dạng lá về bản chất là thiết bị điện có điện trở, mức độ kích thích cao hơn khiến cảm biến tự nóng lên, gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực. Hiện tượng tự nóng lên sẽ làm thay đổi điện trở và độ nhạy của cầu và khả năng truyền biến dạng của chất kết dính. Cảm biến biến dạng hiếm khi bị hỏng do điện áp kích thích quá mức. Hậu quả thường thấy là hiệu quả đo bị giảm sút thay vì hỏng cảm biến.

Do nhiều yếu tố khác nhau có thể ảnh hưởng đến mức kích thích lý tưởng của bạn nên bạn không thể chuẩn hóa trên mức điện áp kích thích cầu cho một kích thước và loại cảm biến cụ thể. Nói chung, bạn có thể giảm tình trạng tự nóng lên bằng cách giảm mức kích thích, nhưng điện áp kích thích tối ưu được xác định tốt nhất bằng một quy trình thử nghiệm. Khi không có tải trọng nào được đặt, bạn nên kiểm tra điểm không của kênh trong khi tăng dần mức độ kích thích. Khi thấy kết quả đo ở điểm không không ổn định, bạn nên hạ mức kích thích cho đến khi ổn định trở lại. Bạn nên thực hiện thí nghiệm này ở nhiệt độ cao nhất mà bạn cần thực hiện các phép đo. Trong môi trường nhiễu, bạn vẫn có thể sử dụng mức kích thích thấp bằng cách che chắn đúng cách cho các dây dẫn và đặt thiết bị đo lường gần cảm biến. Tùy thuộc vào cấu hình thử nghiệm, hãy cân nhắc phần cứng đo lường có các thành phần có thể tách rời cho phép bạn linh hoạt tối đa trong việc đặt hệ thống.

Các yếu tố khác ảnh hưởng đến kích thích tối ưu

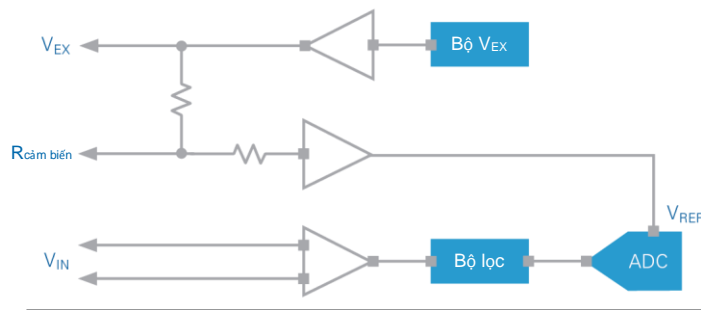
- **Diện tích lưới của cảm biến biến dạng.** Bạn có thể giảm tình trạng tự nóng lên bằng cách chọn cảm biến biến dạng có diện tích bề mặt lớn hơn (chiều dài cảm biến hoạt động x chiều rộng lưới hoạt động) để tản nhiệt tốt hơn.
- **Điện trở danh định của cảm biến biến dạng.** Cảm biến có điện trở cao hơn, như 350 Ω thay vì 120 Ω , làm giảm điện năng tiêu tán trên một đơn vị diện tích để làm cho điện áp kích thích cao hơn trở nên khả thi.
- **Tính chất tản nhiệt của bề mặt lắp.** Các kim loại có độ dẫn nhiệt cao, chẳng hạn như đồng hoặc nhôm, là các vật liệu tản nhiệt tuyệt vời, hút nhiệt ra khỏi cảm biến biến dạng. Các kim loại có độ dẫn nhiệt thấp, chẳng hạn như thép không gỉ hoặc titan, là các vật liệu tản nhiệt kém. Cần phải đặc biệt lưu ý khi đo biến dạng trên nhựa dẻo. Hầu hết các loại nhựa dẻo đều có tác dụng làm vật cách nhiệt chứ không phải là vật tản nhiệt, vì vậy cần phải có các giá trị kích thích cực thấp để tránh những ảnh hưởng nghiêm trọng của tình trạng tự nóng lên. Nhựa dẻo có nhiều chất độn vô cơ dạng bột hoặc dạng xơ ít có vấn đề hơn vì những chất độn như vậy giúp cải thiện tính dẫn nhiệt.
- **Kỹ thuật lắp đặt và nối dây.** Nếu cảm biến bị hư hỏng trong quá trình lắp đặt, nếu các mối hàn không liên kết một phần do nhiệt hàn hoặc nếu có bất kỳ lỗ hổng nào hình thành trong mạch keo, mức độ kích thích cao có thể gây ra các vấn đề nghiêm trọng. Kỹ thuật phù hợp rất cần thiết để đạt được hiệu quả đo ổn định trong toàn bộ hoạt động của cảm biến biến dạng nhưng đặc biệt trong điều kiện kích thích cao.

Bù cho nguồn kích thích không ổn định

Độ chính xác của phép đo dựa trên mạch cầu tỷ lệ thuận với độ ổn định của nguồn kích thích. Sự thay đổi nguồn kích thích sẽ làm thay đổi đầu ra đo được của cầu. Do đó, biến động nhỏ của nguồn kích thích sẽ dẫn đến báo cáo sai biến dạng. Hai phương pháp có thể giúp bạn khắc phục các nguồn kích thích không ổn định và không chính xác. Bạn có thể đo điện áp thực sự do nguồn cung cấp để bù cho các biến động khi chuyển đổi dữ liệu trong phần mềm hoặc bạn có thể tham khảo phép đo được ADC thực hiện đối với nguồn kích thích. Phương pháp đầu tiên đòi hỏi thực hiện các phép đo bổ sung, theo đó làm gia tăng thêm chi phí và độ phức tạp cho hệ thống.



HIỆU CHỈNH CHO NGUỒN ĐIỆN KHÔNG ỔN ĐỊNH



Hình 8. Một thiết kế ratiometric sử dụng điện áp kích thích làm điện áp tham chiếu cho ADC để hiệu chỉnh cho các nguồn điện không ổn định.

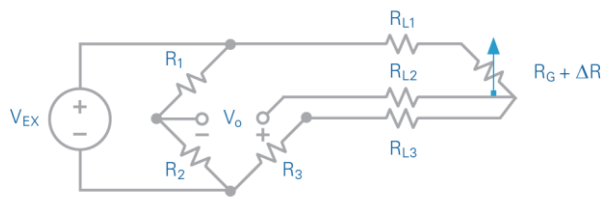
Phương pháp ratiometric loại bỏ sự phụ thuộc của bạn vào độ chính xác của điện áp kích thích bằng cách liên tục đo điện áp kích thích và lập thang tỷ lệ số đo trực tiếp trong phần cứng. Điện áp kích thích được đo liên tục bằng hệ mạch chính xác trên các mô đun và được sử dụng để điều khiển đầu vào tham chiếu của ADC. Sử dụng cách thức thực hiện này, như thể hiện trong Hình 8, các mô đun trả về dữ liệu dưới dạng tỷ số giữa của điện áp đầu ra của cầu và điện áp kích thích. Phương pháp này liên tục và tự động khắc phục sai số về độ chính xác của điện áp kích thích.

Giảm thiểu sai số từ điện trở của dây dẫn

Dây dẫn dài và dây đo nhỏ, có điện trở lớn hơn dây dẫn hoàn thiện cầu, có thể là nguồn chính gây ra sai số ở các phép đo của cảm biến biến dạng. Ví dụ, giả sử mỗi dây trong cảm biến biến dạng 2 dây dài 15 m với điện trở dây dẫn R_L bằng 1 Ω . Điện trở của dây dẫn cộng thêm 2 Ω vào nhánh của cầu, làm tăng thêm sai số lệch và làm giảm độ nhạy của đầu ra cầu. Bạn có thể bù cho sai số này bằng cách đo điện trở dây dẫn R_L và tính đến nó trong các phép tính biến dạng. Tuy nhiên, một vấn đề khó khăn hơn phát sinh từ các thay đổi điện trở dây dẫn do biến động nhiệt độ. Hệ số nhiệt của dây dẫn bằng đồng thường lớn hơn cả trăm lần so với hệ số nhiệt của cảm biến. Do đó, thay đổi nhỏ về nhiệt độ có thể tạo ra sai số đo cỡ vài microstrain ($\mu\epsilon$).

Sử dụng loại cảm biến 3 dây có thể loại bỏ các ảnh hưởng của việc thay đổi điện trở dây dẫn vì điện trở dây dẫn ảnh hưởng tới các chân liền kề của cầu. Như trong Hình 9, các thay đổi về điện trở dây dẫn, R_{L2} , không làm thay đổi tỷ lệ giữa chân cầu R_3 và R_G . Do đó, bất kỳ thay đổi nào về điện trở do nhiệt độ sẽ triệt tiêu lẫn nhau và cầu đo vẫn cân bằng.

CẢM BIẾN BIẾN DẠNG 3 DÂY

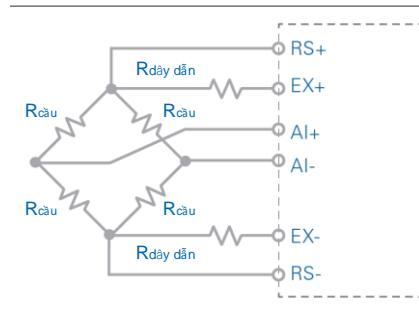


Hình 9. Cấu hình cảm biến biến dạng 3 dây

Cảm biến từ xa

Nếu mạch cảm biến biến dạng nằm cách xa mạch điều phối tín hiệu và nguồn kích thích, một nguồn gây sai số khác có thể có là điện áp rơi gây ra bởi điện trở trong các dây dẫn dài kết nối điện áp kích thích với cầu. Điều này dẫn đến việc cung cấp điện áp kích thích thấp hơn so với dự kiến ban đầu trên toàn bộ phần tử cảm biến. Một số mạch điều phối tín hiệu có tính năng gọi là cảm biến từ xa để bù cho sai số này. Với cảm biến từ xa phản hồi, bạn kết nối các dây cảm biến phụ đến vị trí mà dây điện áp kích thích kết nối với mạch cầu, như trong Hình 10. Các dây cảm biến phụ sẽ điều chỉnh nguồn kích thích thông qua các mạch khuếch đại phản hồi âm để bù cho tổn thất dây dẫn và cung cấp điện áp cần thiết tại cầu.

CÁC PHÉP ĐO CẢM BIẾN TỪ XA



Hình 10. Cảm biến từ xa đo điện áp kích thích thực tế được truyền tới cầu qua khoảng cách dài.

Một loại cảm biến từ xa khác sử dụng kênh đo riêng để đo trực tiếp điện áp kích thích thực tế được truyền qua cầu. Bởi vì dây dẫn của kênh đo mang dòng điện rất nhỏ, điện trở dây dẫn có ảnh hưởng không đáng kể đến phép đo. Sau đó bạn có thể sử dụng điện áp kích thích đo được trong quá trình chuyển đổi điện áp thành biến dạng để bù cho tổn thất dây dẫn.

Cải thiện tỷ số tín hiệu trên nhiễu

Các cảm biến biến dạng và cảm biến dựa trên mạch cầu thường hoạt động ở môi trường nhiễu điện. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) mô tả tỷ số giữa biên độ của tín hiệu với biên độ của nhiễu. SNR lớn hơn thường cho phép đo có ít nhiễu hơn, mang lại độ phân giải tổng thể tốt hơn. Nhiễu trong kết quả đo biến dạng có thể đặc biệt rắc rối vì có các tín hiệu nhỏ trong phép đo biến dạng. Bạn có thể tăng SNR bằng cách tăng biên độ tổng thể của tín hiệu trước khi nhiễu xen vào tín hiệu đó hoặc bằng cách giảm biên độ của nhiễu.

Nhiễu do một nguồn bên ngoài tạo ra thường có thể đi kèm với tần số cụ thể, vì vậy bạn có thể sử dụng phần mềm để lọc ra nếu tần số của nhiễu có thể dự đoán được và không can thiệp vào băng thông của tín hiệu quan tâm. Loại nhiễu phổ biến nhất là nhiễu đường dây điện, xuất hiện dưới dạng nhiễu 50 Hz hoặc 60 Hz trong phép đo.

Các kỹ thuật loại bỏ nhiễu bên ngoài khác để cải thiện SNR bao gồm:

- **Giảm chiều dài dây dẫn và sử dụng cặp xoắn hoặc loại dây tín hiệu giống nhau.** Nếu có thể, giảm chiều dài dây dẫn của cảm biến biến dạng và giữ dây tránh xa bất kỳ nguồn nhiễu tiềm ẩn nào. Sử dụng cặp xoắn và loại dây tín hiệu giống nhau cũng giúp đảm bảo rằng hầu hết nhiễu môi trường được truyền dẫn đều nhau đến các dây dẫn.
- **Sử dụng kỹ thuật vỏ bọc thích hợp.** Nối vỏ bọc với chân tham chiếu của thiết bị đo lường, có thể là COM hoặc EX- (xem tài liệu về thiết bị của bạn), và đảm bảo rằng bạn chỉ kết nối vỏ bọc tại một đầu của dây cáp. Đối với các thiết bị được cách điện không nối đất, vỏ bọc cần không nối đất và ở cùng một điện thế như các tín hiệu của bảng mạch để có hiệu quả.
- **Tăng biên độ của tín hiệu.** Với các phép đo biến dạng, bạn có thể thực hiện việc này bằng cách chọn một cảm biến biến dạng nhạy hơn hoặc tăng biên độ của điện áp kích thích. Hãy cẩn thận nếu bạn đang tăng biên độ điện áp kích thích bởi vì nếu bạn tăng quá nhiều, các sai số do tự nóng lên trong cảm biến biến dạng có thể lớn hơn các lợi ích SNR đạt được với kích thích lớn hơn.
- Các tính năng của thiết bị đo lường có thể giúp cải thiện SNR bao gồm:
 - **Dải động.** Dải động xác định mức nhiễu tương ứng với dải đo của thiết bị đo lường và thường được tính bằng decibel (dB). Ví dụ, một thiết bị đo lường có dải động không có tạp nhiễu (SFDR) là 106 dB tương đương với mức nhiễu trong khoảng 0,0005 phần trăm của dải đo. Điều này có nghĩa là bản thân thiết bị đóng góp thêm rất ít nhiễu.
 - **Hệ số triệt tín hiệu đồng pha (CMRR).** Do nhiễu từ các nguồn bên ngoài thường được dẫn đều nhau trên tất cả các dây dẫn, hệ số triệt tín hiệu đồng pha cao sẽ triệt tiêu một tỷ lệ phần trăm lớn nhiễu được dẫn.
 - **Cảm biến từ xa.** Khi sử dụng cảm biến từ xa, bạn sẽ loại bỏ bất kỳ nhiễu nào được dẫn đến các cáp kích thích khi bạn lấy mẫu dữ liệu vì cảm biến từ xa bù cho nhiễu.
 - **Bộ lọc chống chồng phổ.** Bộ lọc chống chồng phổ ngăn ngừa nhiễu tần số cao bị chồng chéo ở tần số thấp hơn. Tính năng này không chỉ cải thiện hiệu quả chống nhiễu tổng thể của thiết bị mà còn cho phép bạn sử dụng hiệu quả bộ lọc phần mềm để lọc các tần số cụ thể (bộ lọc khác) hoặc các dải tần số (bộ lọc thông thấp/thông cao).

Hiệu chuẩn đúng cách

Cân bằng cầu

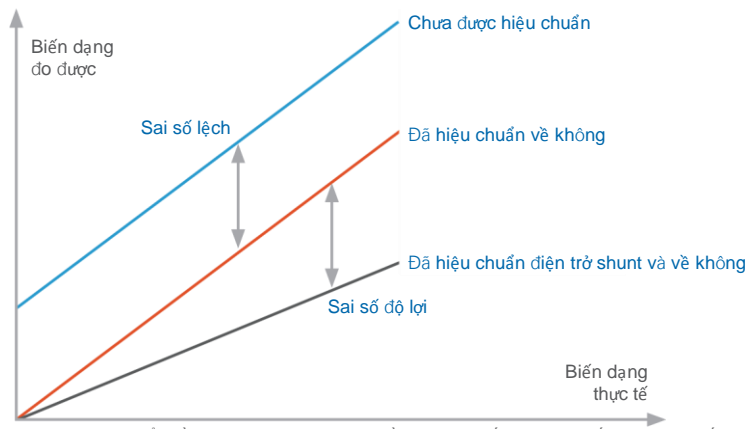
Khi bạn lắp đặt cầu lần đầu tiên, có thể bạn sẽ không đọc được chính xác 0 vôn khi không có biến dạng. Khác biệt nhỏ về điện trở giữa các nhánh cầu và điện trở dây dẫn và điều kiện lắp đặt đã bị biến dạng trước sẽ tạo ra sai lệch điện áp ban đầu khác không. Bạn có thể xử lý điện áp lệch ban đầu này theo các cách sau:

1. **Bù phần mềm.** Với phương pháp này, bạn phải thực hiện phép đo ban đầu trước khi tác dụng biến dạng đầu vào và sử dụng độ lệch này trong các phương trình chuyển đổi biến dạng để bù lệch điện áp ban đầu trong các phép đo tiếp theo. Phương pháp đơn giản và nhanh chóng này không yêu cầu điều chỉnh thủ công. Nhược điểm của phương pháp bù phần mềm là bạn không loại bỏ độ lệch của cầu. Nếu độ lệch đủ lớn, nó sẽ hạn chế độ lợi của mạch khuếch đại mà bạn có thể áp dụng cho điện áp đầu ra, do đó giới hạn phạm vi của phép đo.
2. **Mạch đưa độ lệch về không.** Phương pháp cân bằng thứ hai sử dụng một điện trở điều chỉnh, chiết áp, để điều chỉnh vật lý đầu ra của cầu về không. Bằng cách thay đổi điện trở của chiết áp, bạn có thể kiểm soát mức đầu ra của cầu và đặt đầu ra ban đầu thành 0 vôn.



3. **Đưa độ lệch về không.** Phương pháp thứ ba, giống như phương pháp bù phần mềm, không ảnh hưởng trực tiếp đến cầu. Một mạch không sẽ thêm điện áp một chiều có thể điều chỉnh, dương hoặc âm, vào đầu ra của mạch khuếch đại thiết bị đo kiểm để bù cho độ lệch cầu ban đầu. Tham khảo tài liệu về thiết bị để xác định các phương pháp đưa phần cứng về không mà thiết bị đo lường của bạn cung cấp.

HIỆU CHUẨN VỀ KHÔNG VÀ ĐIỆN TRỞ SHUNT

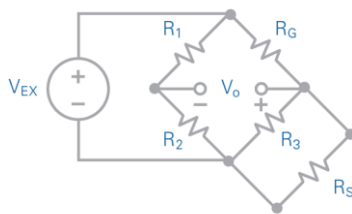


Hình 11. Hiệu chuẩn về không và điện trở shunt điều chỉnh sai số lệch và sai số độ lợi của thiết bị đo.

Điều chỉnh độ lợi

Bạn có thể xác minh đầu ra của hệ thống đo của cảm biến biến dạng bằng cách so sánh biến dạng đo được với biến dạng cơ học đã xác định trước hoặc tính toán trước. Sau đó bạn có thể sử dụng chênh lệch (nếu có) giữa biến dạng tính được và biến dạng đo được cho mỗi phép đo làm hệ số điều chỉnh độ lợi hoặc hệ số hiệu chuẩn. Quy trình này được gọi là hiệu chuẩn điện trở shunt và nó mô phỏng đầu vào của biến dạng bằng cách thay đổi điện trở của nhánh cảm biến trong cầu bằng một lượng đã biết. Bạn thực hiện quy trình này bằng cách rẽ nhánh hoặc kết nối một điện trở lớn có giá trị đã biết song song với một nhánh của cầu để tạo ra thay đổi đã biết về điện trở, như thể hiện trong Hình 12. Bởi vì giá trị của điện trở shunt đã biết, bạn có thể tính toán biến dạng cơ học tương ứng với điện áp rơi của điện trở. Sau đó bạn đo đầu ra của cầu và so sánh số đo này với giá trị điện áp dự kiến để khắc phục sai số độ lợi trong toàn bộ đường đo.

ĐIỆN TRỞ SHUNT



Hình 12. Điện trở shunt được kết nối ngang qua R3

Lập thang tỷ lệ số đo điện so với đơn vị kỹ thuật

Sau khi bạn đã thu được điện áp đo được, bạn cần chuyển đổi tín hiệu thành các đơn vị thực tế như pao (lb) cho lực hoặc psi cho áp lực. Bạn có thể lập thang tỷ lệ các giá trị điện so với hiện tượng vật lý mà cảm biến đo được bằng các phương pháp sau:

- **Tuyến tính hai điểm**—Sử dụng hai cặp giá trị điện và các giá trị vật lý tương ứng của chúng để tính toán độ dốc và hệ số chặn y của phương trình tuyến tính. Sau đó bạn có thể sử dụng phương trình này để lập thang tỷ lệ các giá trị điện so với các giá trị vật lý, bao gồm các số đo nằm ngoài phạm vi của giá trị được chỉ định để tính toán độ dốc và hệ số chặn y.
- **Bảng**—Cung cấp một bộ các giá trị điện và các giá trị vật lý tương ứng. Phần mềm đi kèm phần cứng đo lường của bạn phải có khả năng thực hiện lập thang tỷ lệ tuyến tính giữa mỗi cặp giá trị điện và vật lý. Giới hạn đầu vào phải nằm trong phạm vi các giá trị vật lý nhỏ nhất và lớn nhất.
- **Đa thức**—Cung cấp các hệ số chuyển tiếp và nghịch đảo của phương trình đa thức. Sau đó phần mềm sẽ sử dụng phương trình đó để lập thang tỷ lệ các giá trị điện so với các giá trị vật lý. Tìm kiếm phần mềm có thể tính một tập hệ số nếu bạn chỉ biết tập khác.

Các bảng dữ liệu hoặc chứng nhận hiệu chuẩn từ các nhà sản xuất cảm biến thường bao gồm bảng giá trị điện và vật lý hoặc phương trình đa thức để lập thang tỷ lệ. Nếu bạn không có bảng hoặc phương trình đa thức cho cảm biến của mình, hãy sử dụng phương pháp lập thang tỷ lệ tuyến tính hai điểm. Sử dụng đầu ra định mức của cảm biến và công suất cảm biến làm một cặp giá trị điện và vật lý. Sử dụng số không cho cặp giá trị điện và vật lý khác. Ví dụ: giả sử bạn có cảm biến áp suất đã được điều phối xuất ra tín hiệu 0–5 V hoặc dòng 4–20 mA. Cả 0 V và 4 mA đều tương ứng với số đo áp suất là 0. Tương tự, 5 V và 20 mA tương ứng với công suất toàn thang đo hoặc áp suất tối đa mà bộ chuyển đổi có thể đo được.

Sử dụng công nghệ TEDS để kết nối và cấu hình nhanh hơn

Như đã thảo luận ở phần trước, các bộ chuyển đổi dựa trên mạch cầu, chẳng hạn như cảm biến tải trọng, áp suất, hoặc mô-men xoắn, đòi hỏi phải có nhiều đầu vào từ bảng dữ liệu cảm biến để chuyển đổi đúng cách điện áp đầu ra từ cảm biến sang các đơn vị kỹ thuật. Khi bạn thiết lập và cấu hình hệ thống đo lường truyền thống, bạn phải nhập thủ công các thông số cảm biến quan trọng này. Bạn có thể giảm thời gian thiết lập này bằng cách trang bị cho hệ thống của bạn cảm biến thông minh và bộ chấp hành theo tiêu chuẩn IEEE 1451.4 hoặc Bảng dữ liệu điện tử của bộ chuyển đổi (TEDS). Những cảm biến này lưu trữ dữ liệu quan trọng như nhà sản xuất, model, phạm vi toàn thang đo và độ nhạy trong một EEPROM nằm trong cảm biến hoặc cáp cảm biến. Với thông tin thiết lập trên cảm biến, thiết bị đo kiểm tương thích TEDS có thể giao tiếp trực tiếp với cảm biến và thực hiện thiết lập tự động. Phần mềm tương thích TEDS cũng có thể tự động lập thang tỷ lệ từ các hàm đa thức do nhà sản xuất cảm biến hoặc phòng hiệu chuẩn cung cấp. Để biết thêm thông tin về tiêu chuẩn IEEE 1451.4 hoặc cách hoạt động của các cảm biến thông minh TEDS, hãy tham khảo [phần TEDS](#) ở cuối tài liệu này.



Kết luận

Giảm nhiễu và tăng độ phân giải đóng vai trò rất quan trọng để thực hiện các phép đo chính xác từ các cảm biến biến dạng và cảm biến cầu không được điều phối vì có các mức điện áp rất nhỏ. Lựa chọn đúng thiết bị đo lường có thể cải thiện đáng kể tính toàn vẹn cho các số đo của cầu. Ngoài độ lợi và mức kích thích, bạn cần cân nhắc dùng thiết bị đo lường với dải động lớn, đo mức kích thích và cấu trúc ratiometric. Sau đó, nếu bạn thực hiện các bước nhằm giảm nhiễu được đưa vào hệ thống, bạn có thể giảm mức kích thích để giảm sai số do tự nóng lên và nâng cao độ chính xác của tín hiệu từ cảm biến cầu. Bạn cần hiệu chuẩn cảm biến biến dạng định kỳ để tính đến các thay đổi về các đặc tính vật lý do thay đổi điện trở dây dẫn của cảm biến biến dạng và để bù cho sai hỏng ở hệ thống đo lường.

Tìm hiểu các hệ thống đo lường chính xác dạng cầu sử dụng phần cứng NI.

Cảm biến gia tốc và micro

Các phép đo âm thanh và độ rung rất quan trọng trong nhiều ứng dụng như kiểm tra tiếng ồn của môi trường hoặc giám sát tình trạng máy. Cảm biến gia tốc và micro đều đo dao động nhưng trong các môi trường khác nhau. Vì vậy, hai thiết bị này có yêu cầu điều phối tín hiệu tương tự nhau để tạo ra tín hiệu mà phần cứng đo lường có thể đọc đúng. Sau khi thu thập dữ liệu, bạn thường cần thực hiện xử lý tín hiệu bổ sung để hiển thị dữ liệu ở định dạng có ý nghĩa hơn. Ví dụ như, các tín hiệu rung thường được chuyển đổi thành phổ tần số cho thiết bị quay để phát hiện các dấu hiệu duy nhất có thể cho biết bộ phận cơ học bị lỗi. Các phần sau đây đề cập đến các đề xuất để thực hiện các phép đo chính xác bằng cảm biến gia tốc và micro và tìm hiểu các kỹ thuật phân tích cơ bản để giúp bạn hiểu sâu hơn về dữ liệu của mình.

Các yêu cầu điều phối tín hiệu

Khuếch đại

Do điện tích được cảm biến gia tốc tạo ra là rất nhỏ nên tín hiệu điện do cảm biến phát ra dễ bị nhiễu và bạn phải sử dụng các thiết bị điện tử nhạy để khuếch đại và điều phối tín hiệu. Vì các cảm biến gia tốc áp điện là các nguồn trở kháng cao, bạn phải thiết kế mạch khuếch đại nhạy điện tích có mức nhiễu thấp, trở kháng đầu vào cao và trở kháng đầu ra thấp.

Cảm biến Áp điện từ tích hợp (IEPE) tích hợp mạch khuếch đại điện tích hoặc mạch khuếch đại điện áp gần với cảm biến để đảm bảo miễn trừ nhiễu tốt hơn và đóng gói tiện lợi hơn. Tuy nhiên, các cảm biến này cần dòng điện kích thích từ 4–20 mA để vận hành hệ mạch bên trong.

Kích thích

Như đã đề cập ở phần trước, cảm biến IEPE yêu cầu dòng điện bên ngoài để cấp nguồn cho mạch khuếch đại. Các giá trị kích thích IEPE thường dùng là 2,1 mA, 4 mA và 10 mA. Tham khảo thông số kỹ thuật của thiết bị để biết danh sách các giá trị dòng điện IEPE được hỗ trợ mà bạn cần sử dụng cho cảm biến.

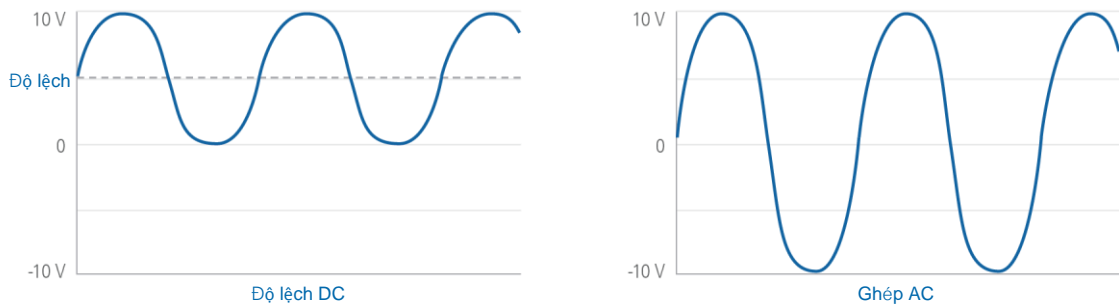
Tương tự như cảm biến gia tốc, micro có thể được cấp nguồn bên ngoài hoặc bên trong. Micro dạng tụ điện phân cực bên ngoài yêu cầu phải có 200 V từ nguồn điện bên ngoài. Đảm bảo rằng nguồn điện mà bạn sử dụng cung cấp điện sạch ở mức điện áp định mức và bạn không kết nối nhiều micro với nguồn điện hơn so với công suất của nó. Micro dạng tụ điện phân cực trước được cấp nguồn bởi các mạch khuếch đại IEPE đòi hỏi phải có nguồn dòng điện không đổi.



Ghép AC

Bật tính năng điều phối tín hiệu IEPE sẽ tạo ra độ lệch điện áp một chiều bằng với tích của dòng điện kích thích và trở kháng cảm biến. Tín hiệu thu được từ cảm biến gồm cả thành phần AC lẫn DC và thành phần DC làm lệch thành phần AC khỏi 0. Như thể hiện trong Hình 13, điều này có thể làm giảm độ phân giải của phép đo của bạn bởi vì khuếch đại tín hiệu AC bị hạn chế để tránh bão hòa dải đầu vào của ADC. Bạn có thể giải quyết vấn đề này bằng cách ghép AC. Còn được gọi là ghép bằng điện dung, ghép AC sử dụng tụ điện nối tiếp với tín hiệu để lọc thành phần DC từ một tín hiệu. Khi thực hiện trong phần cứng, ghép AC có thể giúp bạn áp dụng một dải đầu vào hẹp hơn để cải thiện độ phân giải biên độ AC và dải động khả dụng của kênh. Khi thực hiện trong phần mềm, ghép AC có thể loại bỏ dữ liệu DC sai lệch làm sai cách phép xử lý tín hiệu và các kết quả đo như RMS và mức đỉnh. Ghép AC cũng làm giảm độ lệch DC dài hạn của các cảm biến do tác động của già hóa và nhiệt độ.

BỘ LỌC GHÉP AC VÀ DC



Hình 13. Ghép AC lọc các thành phần DC của một tín hiệu để tăng độ phân giải của phép đo.

Nối đất

Việc nối đất cho cảm biến không đúng cách có thể dẫn đến các vòng nối đất tạo ra nguồn nhiễu trong hệ thống đo lường của bạn. Bạn có thể tránh điều này bằng cách đảm bảo rằng hoặc đầu vào của hệ thống đo lường hoặc cảm biến được nối đất chứ không phải là cả hai được nối đất. Nếu cảm biến được nối đất, bạn phải kết nối cảm biến vào bộ đo theo kiểu vi sai. Nếu cảm biến không được nối đất, bạn nên kết nối đầu âm của hệ thống đo lường với mặt đất.

Tham chiếu của cảm biến	Cấu hình kênh
Không nối đất	Vi sai giả
Đã nối đất	Vi sai hoặc vi sai giả

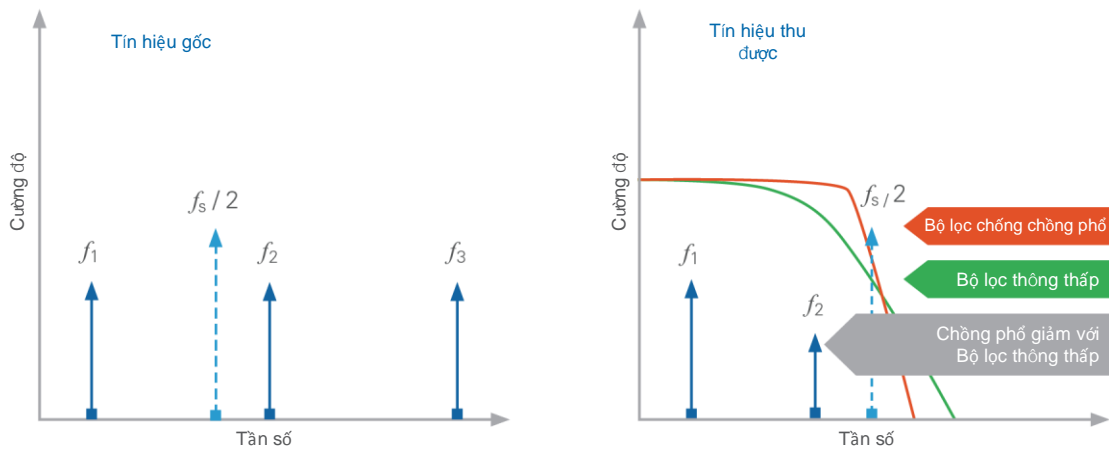
Bảng 1. Cấu hình kênh đầu vào tương tự

Bộ lọc chống chồng phổ

Chồng phổ là mối lo ngại phổ biến khi thực hiện các phép đo âm thanh và độ rung. Theo định lý lấy mẫu Nyquist-Shannon, tần số cao nhất có thể được phân tích là tần số Nyquist (f_N), tức là tần số lấy mẫu của ADC chia cho hai. Bất kỳ tần số tương tự nào lớn hơn tần số Nyquist sẽ xuất hiện như là tần số từ 0 đến f_N sau khi lấy mẫu. Nếu không có hiểu biết chi tiết về tín hiệu ban đầu, bạn không thể phân biệt tần số giả danh này với tần số thực sự nằm giữa 0 và f_N .

Một bộ lọc thông thấp thường thích hợp để làm giảm nhiễu tần số cao được tạo ra khi chống phổ. Tuy nhiên, nếu độ dốc hàm truyền của bộ lọc không quá cao, tần số ngay trên tần số Nyquist có thể không bị suy giảm hoàn toàn và có thể được đưa lại vào phần hợp lệ của tín hiệu. Là một dạng của bộ lọc thông thấp, bộ lọc chống chống phổ có băng thông cố định và độ dốc hàm truyền nhanh. Bộ lọc này giúp duy trì các tín hiệu ngay dưới tần số Nyquist và giảm tín hiệu ngay phía trên tần số Nyquist. Trong Hình 14, hai bộ lọc được sử dụng để loại bỏ nhiễu tần số cao. Bộ lọc thông thấp loại bỏ nhiễu ở f_3 , nhưng độ dốc hàm truyền chậm chỉ làm giảm nhiễu ở f_2 , nhiễu này bị chống trở lại vào tín hiệu. Bộ lọc chống chống phổ loại bỏ cả hai thành phần tần số từ tín hiệu thu được.

BỘ LỌC CHỐNG CHỐNG PHỔ



Hình 14. Các bộ lọc chống chống phổ với độ dốc hàm truyền cao giúp giảm nhiễu ngay trên tần số Nyquist.

Dải động

Dải động được định nghĩa là tỷ số giữa các tín hiệu lớn nhất và nhỏ nhất mà một thiết bị có thể đo được cùng một lúc. Được biểu diễn bằng decibel, dải động là $20 \log (V_{\max}/V_{\min})$. Ví dụ, thiết bị có dải đầu vào $\pm 10 \text{ V}$ và dải động lớn hơn 110 dB có thể có tỷ số điện áp là 106.

Các ADC truyền thống có độ phân giải thấp hơn thường có 16 bit, cho phép bạn có dải động khoảng 90 dB. Hầu hết các cảm biến có dải động từ 110 dB trở lên, do đó các thiết bị 16 bit không thể đo toàn dải cảm biến vì các tín hiệu mức thấp bị chìm trong nhiễu điện của phép đo. Thiết bị đo kiểm có độ phân giải 24 bit có thể có dải động lên đến 120 dB, do đó bạn có thể phát hiện các tín hiệu nhỏ hơn và tận dụng tối đa các cảm biến của bạn.

Lấy mẫu đồng thời

Ở một số ứng dụng như lập bản đồ nhiễu, kiểm tra tác động và đo cường độ âm thanh, thông tin pha giữa hai kênh riêng biệt đóng vai trò rất quan trọng. Trong những trường hợp này, bắt buộc phải lấy mẫu đồng thời, nghĩa là bạn phải thực hiện phép chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số cùng một lúc cho mọi kênh.

Lập thang tỷ lệ các đơn vị tuyến tính so với các đơn vị tương đối tính theo decibel
Sử dụng các đơn vị tương đối, chẳng hạn như decibel (dB), để hiển thị các kết quả vô hướng và phổ khi bạn muốn hiển thị các thành phần lớn và nhỏ trên cùng thang đo. Ví dụ, trong Bảng 2, công suất âm thanh của tiếng thì thầm được so sánh với công suất âm thanh của động cơ phản lực. So sánh các giá trị này dễ dàng hơn bằng cách sử dụng thang lôga.

Nguồn tham chiếu	Công suất âm thanh (oát)	Công suất âm thanh (dB)
Tiếng thì thầm	0,00000000001 W	10 dB
Tàu vũ trụ	100000000 W	200 dB

Bảng 2. Ví dụ so sánh công suất âm thanh

Sử dụng phương trình sau để chuyển đổi các đơn vị tuyến tính thành đơn vị tương đối tính theo dB cho các giá trị biên độ:

$$\text{dB} = 20 \log \frac{V}{V_0}$$

Sử dụng phương trình sau để chuyển đổi các đơn vị tuyến tính thành đơn vị tương đối tính theo dB cho các giá trị công suất:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P}{P_0}$$

Bạn thường sử dụng các đơn vị tương đối dB tham chiếu với ngưỡng nghe là 20 µPa để báo cáo các phép đo âm thanh như mức áp suất âm thanh và phổ quang tám phân đoạn. Đối với phép đo công suất âm thanh, giá trị tham chiếu là 1 pW. Đối với các phép đo đáp ứng tần số, bạn thường sử dụng mức tăng bằng một lần giá trị tham chiếu dB. Trong trường hợp này, các giá trị dB âm cho độ lớn cho thấy sự suy giảm, các giá trị dB dương cho thấy sự gia tăng, và 0 dB tương đương với mức tăng bằng một. Do mỗi miền đo lường có thể sử dụng một giá trị tham chiếu cụ thể, bạn cần chỉ định giá trị tham chiếu dB khi báo cáo kết quả tính theo dB.

Duy trì chất lượng tín hiệu khi sử dụng cáp dài

Khi bạn sử dụng cáp rất dài với cảm biến IEPE, điện dung bổ sung trong cáp có thể ảnh hưởng đến đáp ứng tần số của cảm biến bằng việc lọc một số thành phần tần số cao. Ngoài ra, nhiễu và biến dạng có thể thâm nhập vào tín hiệu đo của bạn nếu bạn không có đủ dòng điện để truyền điện dung cáp. Nhìn chung, bạn cần bận tâm về việc sử dụng cáp dài với cảm biến IEPE chỉ khi bạn quan tâm đến dải tần số trên 10 kHz trong khi sử dụng cáp dài hơn 100 ft (30 m).

Để xác định chính xác hơn ảnh hưởng của cáp dài, bạn nên thử nghiệm xác định đặc tính điện cao tần. Sử dụng máy phát hàm để cung cấp biên độ cực đại của tín hiệu dự kiến vào mạch khuếch đại có độ lợi bằng 1, trở kháng đầu ra thấp được mắc nối tiếp với bộ cảm biến. So sánh tỷ số của tín hiệu ban đầu với tỷ số của tín hiệu đo được trên dao động ký. Nếu tín hiệu bị suy giảm thì bạn phải tăng dòng điện được sử dụng để truyền tín hiệu cho đến khi bạn có tỷ số 1:1. Cần thận không cung cấp dòng điện quá mức trên dây cáp ngắn hoặc khi kiểm tra ở nhiệt độ cao. Bất kỳ dòng điện nào không được cấp sử dụng sẽ được sử dụng để cấp nguồn cho thiết bị điện tử bên trong và dòng điện này sẽ tạo ra nhiệt khiến cho cảm biến vượt quá thông số nhiệt độ tối đa.



Giảm thiểu việc cấu hình và thời gian thiết lập với công nghệ TEDS

Các cảm biến có chức năng TEDS mang EEPROM tự nhận dạng được tích hợp để lưu trữ một bảng thông số và thông tin cảm biến. EEPROM có chứa dữ liệu hiệu chuẩn, độ nhạy và dữ liệu của nhà sản xuất cho cảm biến. Với các thông số được lưu trữ về cảm biến, thiết bị đo kiểm tương thích TEDS có thể giao tiếp trực tiếp với cảm biến và thực hiện thiết lập theo chương trình. Phần mềm tương thích TEDS cũng có thể tự động lập thang tỷ lệ từ các hàm đa thức do nhà sản xuất cảm biến hoặc phòng hiệu chuẩn cung cấp. Để biết thêm thông tin về tiêu chuẩn IEEE 1451.4 hoặc cách hoạt động của TEDS, hãy tham khảo [phần TEDS](#) ở cuối tài liệu này.

Các yếu tố cần nhắc nhở bổ sung dành cho micrô

Các micrô ổn định trong khoảng thời gian dài nếu chúng được thao tác đúng cách. Các thành phần của micrô dễ hỏng và có thể bị hư hỏng do dùng sai mục đích. Những mẹo sau đây có thể giúp bạn duy trì các phép đo chính xác với micrô:

- Luôn luôn hiệu chuẩn toàn bộ chuỗi đo, bao gồm cả micrô, trước khi bắt đầu đo. Đối với các phép đo rất quan trọng, một biện pháp phòng ngừa bổ sung là, bạn có thể muốn thực hiện một lần hiệu chuẩn mới ngay sau khi các phép đo được hoàn thành để đảm bảo hệ thống vẫn nằm trong dung sai.
- Đối với các phép đo ngoài trời, micrô phải được trang bị bộ phận bảo vệ phù hợp với môi trường. Bộ phận này có thể bao gồm mũ che mưa, gai chống chim và bộ sưởi tích hợp để tránh ngưng tụ.
- Để tránh rung ảnh hưởng đến phép đo, bạn có thể cần phải lắp dụng cụ chống sóc cho micrô. Kiểm tra độ nhạy rung trong các thông số kỹ thuật của micrô.
- Đối với các phép đo có thể lặp lại, hãy đảm bảo rằng micrô được lắp chặt và ở vị trí có thể lắp lại chính xác so với cả thiết bị được thử nghiệm lẫn môi trường.
- Đối với các thiết bị đo cầm tay hoặc sử dụng giá ba chân, hãy cân nhắc sử dụng cánh tay nối dài micrô để giúp giảm phản xạ không mong muốn.
- Cần thận trọng các hạn chế của nhà sản xuất đối với độ dài của cáp. Suy giảm tín hiệu trước tiên xảy ra ở tần số cao hơn và mức âm thanh cao với cáp dài. Kiểm tra SNR của cáp với micrô được kết nối. Kiểm tra tạp âm và xuyên âm và nhiễu thoát qua từ các máy phát điện, động cơ điện, máy điều hòa, điện thoại di động, thiết bị radar, máy phát thanh hoặc phát hình và các nguồn có khả năng gây nhiễu khác.

Kỹ thuật phân tích miền thời gian

Mức độ

Có lẽ phân tích đo lường cơ bản nhất liên quan đến âm thanh và độ rung là mức độ. Bạn có thể thực hiện phép đo mức âm thanh và độ rung với các tín hiệu miền thời gian. Giá trị hiệu dụng (RMS) đo lường năng lượng (như vậy là khả năng phá hủy) của các tín hiệu âm thanh và rung thay đổi động. Bạn tính RMS bằng cách bình phương tín hiệu, lấy trung bình của nó trong một khoảng thời gian và sau đó lấy căn bậc hai của kết quả.

$$\text{Mức}_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{x_0 + x_1^2 + \dots + x_n}{n}}$$

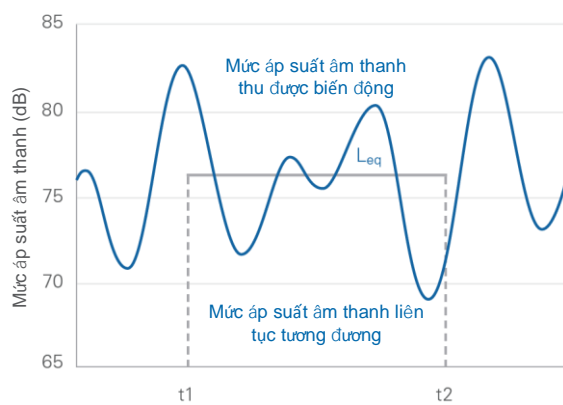
Một phép đo mức âm thanh phổ biến là mức áp suất âm thanh. Giá trị này luôn luôn được biểu diễn tương đối với áp suất chuẩn là 20 μPa (ngưỡng thính giác của con người).

Vấn đề chính với các phép đo dựa trên trung bình là kết quả phép đo của bạn thay đổi dựa trên chiều dài bạn chọn làm khoảng cách trung bình. Đó là lý do tại sao các phép đo như mức áp suất âm thanh có khoảng cách chuẩn. Bạn có thể sử dụng hai phương pháp chính để tìm RMS: lấy trung bình tuyến tính và lấy trung bình theo hàm mũ.

Lấy trung bình tuyến tính

Lấy trung bình tuyến tính hoặc mức âm thanh liên tục tương đương (L_{eq}), là một trong những quy trình lấy trung bình thời gian cho các phép đo mức âm thanh. Tất cả các điểm có trọng số bằng nhau trong một khoảng thời gian lấy trung bình tuyến tính hữu hạn. Phương pháp này thường được sử dụng để đo mức phơi bày dài hạn trong một môi trường nhất định (ví dụ, đo tiếng ồn giao thông tại giao lộ trong một giờ). Bạn tính L_{eq} bằng cách lấy tích phân bình phương tín hiệu trong một khoảng thời gian cố định và chia cho khoảng thời gian. Kết quả thể hiện âm thanh ổn định tương đương có cùng một năng lượng như âm thanh được đo.

ĐO MỨC CHỊU ÂM THANH DÀI HẠN



Hình 15. L_{eq} được sử dụng để định lượng mức phơi bày dài hạn với âm thanh trong một môi trường nhất định.

Lấy trung bình theo hàm mũ

Lấy trung bình theo hàm mũ là một quá trình lấy trung bình liên tục nhằm gán trọng số khác nhau cho dữ liệu hiện tại và trước đây. Trọng số được gán cho dữ liệu trước đây so với dữ liệu hiện tại phụ thuộc vào hằng số thời gian mũ dùng để xác định độ dốc của cửa sổ phân rã theo hàm mũ.

Chế độ lấy trung bình theo hàm mũ hỗ trợ các hằng số thời gian chuẩn như sau:

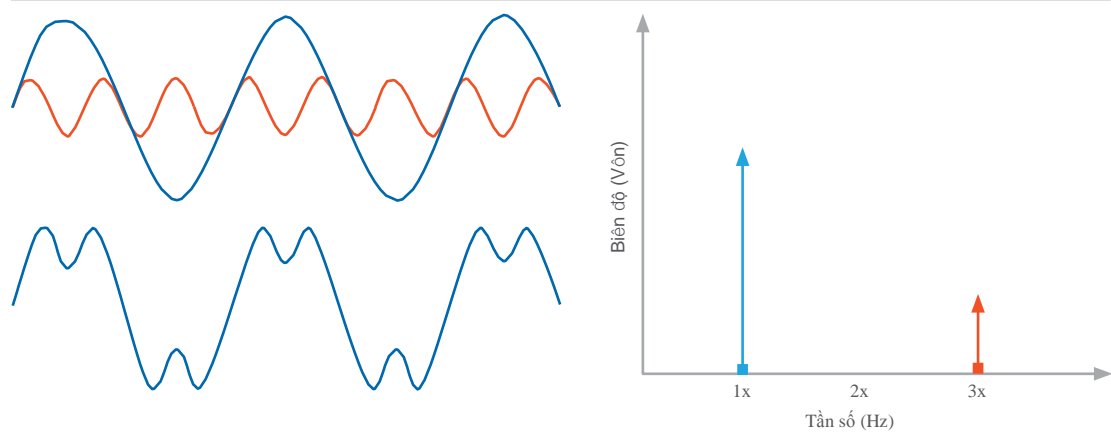
- **Chậm**—Sử dụng hằng số thời gian là 1.000 ms. Lấy trung bình chậm sẽ hữu ích cho việc theo dõi mức áp suất âm thanh của các tín hiệu với mức áp suất âm thanh thay đổi từ từ.
- **Nhanh**—Sử dụng hằng số thời gian là 125 ms. Lấy trung bình nhanh sẽ hữu ích cho việc theo dõi áp suất âm thanh của các tín hiệu với mức áp suất âm thanh thay đổi nhanh chóng.
- **Xung**—Sử dụng hằng số thời gian rất nhanh là 35 ms nếu tín hiệu tăng lên, nhưng sau đó dùng một hằng số thời gian rất chậm là 1.500 ms nếu tín hiệu giảm xuống. Lấy trung bình xung sẽ hữu ích cho việc theo dõi sự gia tăng đột ngột mức áp suất âm thanh (trong khi va đập hay tiếng nổ lớn) và ghi lại mức gia tăng để bạn có bản ghi về những thay đổi.

Kỹ thuật phân tích miền tần số

Biến đổi Fourier

Phân tích tần số được sử dụng phổ biến nhất để phân tích tín hiệu âm thanh và rung. Tín hiệu miền thời gian rời rạc cho thấy tín hiệu thay đổi từ mẫu này sang mẫu khác như thế nào theo thời gian. Bất kỳ dạng sóng nào trong miền thời gian đều có thể được biểu diễn bằng tổng trọng số của sin và cosin. Việc phân giải các tín hiệu phức tạp này là nền tảng của biến đổi Fourier và quá trình xử lý tín hiệu số. Phổ miền tần số tương ứng cho biết các tần số khác nhau góp phần vào tín hiệu tổng thể như thế nào (Hình 16). Điều này hữu ích cho việc phân tích tín hiệu tĩnh có các thành phần tần số không thay đổi theo thời gian.

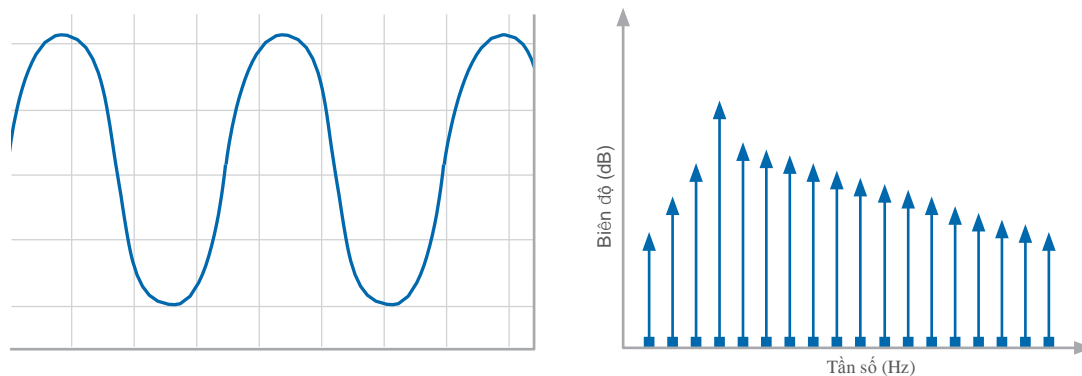
PHỔ BIÊN ĐỘ TẦN SỐ



Hình 16. Phổ tần số thể hiện các biên độ và tần số khác nhau của các thành phần hình sin.

Phép biến đổi Fourier nhanh (FFT) phân giải một dạng sóng thời gian liên tục thành các thành phần hình sin của nó. Bởi vì các thiết bị đo lường lấy mẫu dạng sóng và biến đổi chúng thành các giá trị rời rạc, bạn phải sử dụng phép biến đổi Fourier rời rạc (DFT) để hoạt động trên các tín hiệu sử dụng phần cứng kỹ thuật số. Thuật toán này tạo ra các thành phần miền tần số với các giá trị rời rạc hoặc các bin. Một trong những hạn chế của DFT là nó giả định rằng nó đang hoạt động trên một tín hiệu tuần hoàn với số chu kỳ là số nguyên. Rất khó thu được chính xác số chu kỳ là số nguyên trong khi lấy mẫu một tín hiệu. Khi số chu kỳ không phải là một số nguyên, các điểm cuối không liên tục. Điều này làm cho năng lượng ở một tần số rò rỉ sang các tần số khác, như thể hiện trong Hình 17.

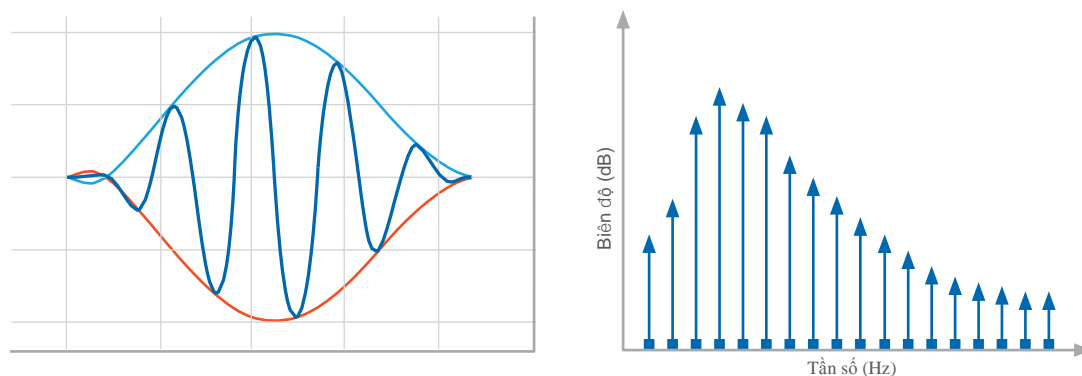
ĐO SỐ CHU KỲ KHÔNG PHẢI LÀ SỐ NGUYÊN



Hình 17. Đo số chu kỳ không phải là số nguyên dẫn đến sự rò rỉ phổ trong miền tần số.

Bạn có thể giảm thiểu các ảnh hưởng của rò rỉ quang phổ bằng cách sử dụng một kỹ thuật được gọi là tạo cửa sổ. Tạo cửa sổ bao gồm nhân thời gian ghi bằng một cửa sổ chiều dài hữu hạn với biên độ thay đổi trơn tru và dần dần về phía không tại các cạnh. Điều này khiến cho các điểm cuối của dạng sóng gặp nhau và, do đó, tạo nên dạng sóng liên tục mà không có sự chuyển tiếp đột ngột.

GIẢM THIỂU RÒ RỈ PHỔ



Hình 18. Áp dụng một cửa sổ sẽ giảm thiểu ảnh hưởng của rò rỉ phổ.

Loại cửa sổ bạn sử dụng phụ thuộc vào loại tín hiệu mà bạn đang thu. Trong nhiều trường hợp, bạn có thể không biết đủ về tín hiệu, vì vậy bạn cần phải thử nghiệm với các cửa sổ khác nhau để tìm ra lựa chọn tốt nhất. Nhìn chung, cửa sổ Hanning (Hann) đáp ứng yêu cầu của hầu hết các ứng dụng. Cửa sổ Hann có độ phân giải tần số tốt hơn các cửa sổ khác và chạm vào không tại cả hai đầu, giúp loại bỏ tất cả các gián đoạn. Bảng 3 liệt kê các loại cửa sổ thông thường, các loại tín hiệu thích hợp và ứng dụng ví dụ.

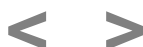
Cửa sổ	Đặc tính	Loại tín hiệu và ứng dụng
Hình chữ nhật (không có cửa sổ)	Các tín hiệu thoát qua ngắn hơn chiều dài của cửa sổ; thu hẹp cửa sổ vào trong một khoảng thời gian hữu hạn	Tín hiệu thoát qua trong thời gian ngắn như va đập Xác định các tần số gần nhau với biên độ gần như bằng nhau Theo dõi bậc
Hanning	Các tín hiệu thoát qua dài hơn chiều dài của cửa sổ; hình dạng hình sin với các điểm cuối bằng không	Xử lý tổng thể các tín hiệu tĩnh Sóng sin hoặc kết hợp các sóng sin
Hamming	Các tín hiệu thoát qua dài hơn chiều dài của cửa sổ; một phiên bản sửa đổi của cửa sổ Hanning không liên tục ở các điểm cuối	Sóng sin gần nhau
Flat Top	Độ chính xác biên độ tốt nhất trong tất cả các loại cửa sổ nhưng giới hạn khả năng chọn lọc tần số	Các phép đo biên độ chính xác, đơn âm mà không có các thành phần tần số gần đó Âm lấn át mà biên độ là mối lo ngại như sự mất cân bằng

Bảng 3. Cửa sổ và các ứng dụng

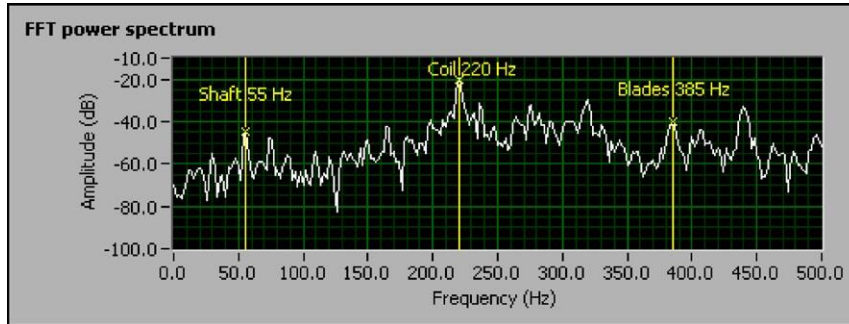
Phân tích bậc

Một hạn chế nữa của FFT đó là nó không chứa bất kỳ thông tin thời gian nào. Nhiều đặc tính cơ học của máy móc chuyển động quay hoặc máy móc chuyển động qua lại, chẳng hạn như động cơ, máy bơm, máy nén và tua bin, thay đổi kèm theo tốc độ. Bạn có thể quan sát một số lỗi cơ học, chẳng hạn như cộng hưởng, chỉ khi tốc độ quay đạt hoặc vượt qua tốc độ tới hạn. Tuy nhiên, khi tốc độ quay thay đổi, băng thông tần số của mỗi sóng hài càng rộng hơn. Do đó, một số thành phần tần số có thể trùng lặp. Phổ công suất FFT thu được không còn có thể giúp bạn xác định được các thành phần rung đặc trưng bởi vì không xuất hiện đỉnh rõ ràng trong phổ.

Mặt khác, với phân tích bậc, bạn có thể xác định dữ liệu ở các bậc khác nhau, hoặc sóng hài, của tốc độ quay. Bạn thực hiện chuẩn hóa bậc bằng cách lấy lại mẫu dữ liệu trong miền góc (điểm trên mỗi vòng quay) thay vì miền thời gian (điểm trên mỗi giây). Bậc thứ nhất đề cập đến tốc độ quay của máy. Mỗi bậc sau đó là một bội số tương ứng của tốc độ quay. Bậc thứ hai gấp đôi tốc độ quay, bậc thứ ba gấp ba lần tốc độ quay, v.v. Do đó sử dụng phân tích bậc, bạn có thể phân tích các biến đổi tín hiệu do thay đổi tốc độ.

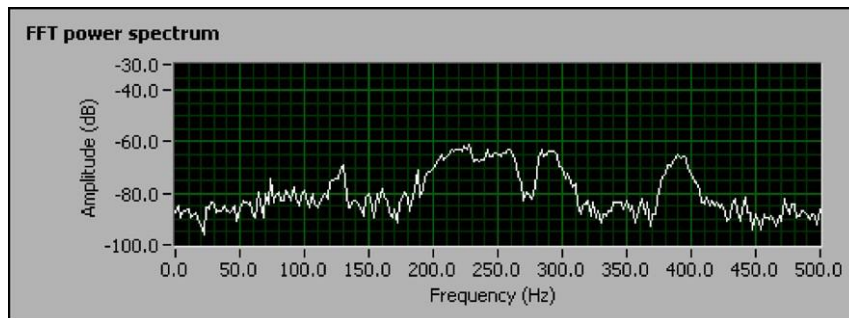


Ví dụ, Hình 19 sử dụng phổ công suất FFT để xác định và định lượng các thành phần tần số trong độ rung của quạt máy tính. Lưu ý rằng tín hiệu rung tổng thể của quạt máy tính là sự chồng chéo rung động từ trục, cuộn dây và cánh quạt. Trục quay với tốc độ tương tự như tốc độ quay của quạt máy tính, trong khi tốc độ quay của cuộn dây và cánh quạt tương ứng gấp bốn lần và bảy lần so với tốc độ quay của quạt máy tính.



Hình 19. Các thành phần tần số trong tín hiệu rung của quạt máy tính

Hình 20 thể hiện phổ công suất FFT của quạt máy tính khi tốc độ quay thay đổi từ 1.000 đến 4.000 vòng quay mỗi phút (rpm). Lưu ý rằng bạn không thể xác định bất kỳ đỉnh rõ ràng nào liên quan đến các bộ phận cơ học cụ thể trong đồ thị phổ công suất FFT.



Hình 20. Phổ công suất FFT cho thấy không có đỉnh khi tốc độ quay của quạt thay đổi.

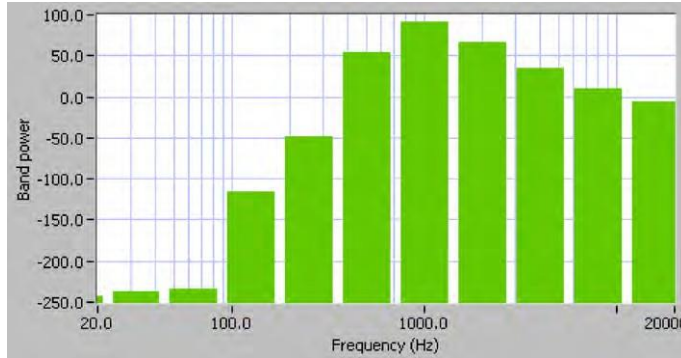
Tuy nhiên, đồ thị phổ công suất theo bậc trong Hình 21 cho thấy các đỉnh được xác định rõ ràng có liên quan đến các bộ phận cơ học khác nhau. Đỉnh ở bậc thứ nhất tương ứng với độ rung của trục. Đỉnh ở bậc thứ tư tương ứng với độ rung của cuộn dây. Đỉnh ở bậc bảy tương ứng với độ rung của cánh quạt.



Hình 21. Phổ công suất theo bậc xác định đỉnh bằng cách chuẩn hóa tốc độ quay.

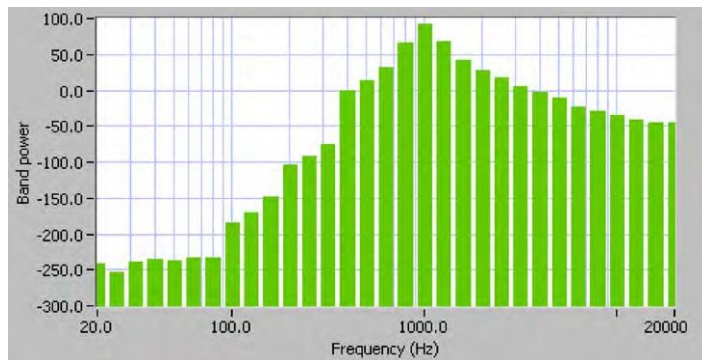
Phân tích quãng tám cho âm thanh

Phân tích quãng tám là một kỹ thuật để phân tích tín hiệu âm thanh. Kỹ thuật này đo năng lượng phổ với các bộ lọc dải thông cách quãng theo hàm lôga. Thang lôga nhấn mạnh tần số từ thấp đến trung bình và việc phân nhóm bằng tần mô phỏng tốt hơn tai người hoặc cách con người cảm nhận âm thanh. Ví dụ, bạn thường không thể nhận ra sự khác biệt giữa 350 Hz và 351 Hz. Công suất ở mỗi băng tần được tính toán và hiển thị trong biểu đồ cột với trục x là thang lôga, như thể hiện trong Hình 22.



Hình 22. Phân tích quãng tám sẽ nhóm các băng tần trên thang lôga để mô phỏng cách con người cảm nhận âm thanh.

Quãng tám là khoảng cách giữa hai tần số, một tần số trong số đó gấp đôi chiều dài của tần số kia. Ví dụ, tần số 250 Hz và 500 Hz cách nhau một quãng tám, giống như tần số 1 kHz và 2 kHz. Độ phân giải của bộ lọc quãng tám bị hạn chế bởi vì phạm vi 16 Hz–16 kHz chỉ có 11 quãng tám. Để khắc phục độ phân giải hạn chế của các bộ lọc quãng tám, bạn có thể sử dụng các bộ lọc khác được gọi là bộ lọc quãng tám phân đoạn. Thay vì trên một quãng tám chỉ có một bộ lọc, các bộ lọc N được áp dụng cho mỗi quãng tám để cải thiện độ phân giải, như thể hiện trong Hình 23. Các dải phân đoạn điển hình là 1/3 quãng tám với ba dải trên mỗi quãng tám, 1/12 quãng tám với 12 dải trên mỗi quãng tám và 1/24 quãng tám với 24 dải trên mỗi quãng tám. Các tiêu chuẩn ANSI và IEC xác định các thông số kỹ thuật cho các bộ lọc dải quãng tám và bộ lọc dải quãng tám phân đoạn.



Hình 23. Bộ lọc quãng tám phân đoạn cung cấp độ phân giải cao hơn.

Do bộ lọc phụ thuộc rất nhiều vào sự lọc số, phân tích quãng tám phân đoạn là một hoạt động sử dụng CPU nhiều. Tăng số lượng bộ lọc được áp dụng cho tín hiệu sẽ làm tăng nhu cầu đặt trên CPU và có thể dẫn đến tăng thời gian tính toán. Nhìn chung, phân tích quãng tám thứ ba trực tuyến đòi hỏi công suất xử lý gấp khoảng 10 lần so với phép tính phổ FFT với cùng một tốc độ lấy mẫu.

Xử lý và phân tích tín hiệu bổ sung

Hướng dẫn này có đề cập đến các nguyên tắc thực hành điều phối tín hiệu và xử lý tín hiệu cơ bản bắt buộc để đo âm thanh và độ rung chính xác. Danh sách dưới đây trình bày tổng quan về một số kỹ thuật phân tích khác mà bạn có thể muốn thực hiện. Tham khảo tài liệu về phần mềm đo lường của bạn để xác định xem các chức năng này và các chức năng khác không được liệt kê có bao gồm hay được cung cấp với gói phân tích riêng hay không.

- Biến đổi Fourier trong thời gian ngắn tách thành phần tần số từ các tín hiệu thay đổi tương đối chậm với thời gian.
- Phổ đáp ứng sốc mô tả môi trường cơ học động để giúp bạn ước tính khả năng gây hư hỏng của một loại sốc cụ thể đối với một bộ phận.
- Phép tính phát hiện đường bao tách tín hiệu điều chế hoặc tín hiệu đường bao từ tín hiệu điều chế biên độ để xác định các lỗi cơ học có hiệu ứng điều chế biên độ trên tín hiệu rung của máy.
- Bộ lọc trọng số âm phản ánh sự không tuyến tính của tai người hoặc đo nhiều tần số âm thanh trên các mạch điện thoại hoặc truyền thông vô tuyến.
- Phát hiện âm (tone) xác định âm với biên độ cực đại hoặc tất cả các âm với biên độ vượt quá ngưỡng quy định.
- Phân tích biến dạng xác định độ méo tổng hài (THD), THD cộng với nhiễu, và tỷ số tín hiệu trên nhiễu và méo (SINAD).
- Phát và đo sóng sin quét mô tả đáp ứng tần số động của một thiết bị được thử nghiệm.

Kết luận

Cẩn thận xem xét thông số kỹ thuật của cảm biến gia tốc hoặc micrô của bạn để chọn thiết bị đo có dải động, độ lợi, tốc độ lấy mẫu và mức kích thích thích hợp cho cảm biến của bạn. Bạn cũng có thể muốn cân nhắc lấy mẫu đồng thời nếu bạn đang tương quan các phép đo trên các kênh khác nhau và bộ lọc chống chồng phổ thích hợp để giảm ảnh hưởng của nhiễu tần số cao. Đánh giá phần mềm đo lường về các kỹ thuật xử lý tín hiệu, chẳng hạn như lấy trung bình và tạo cửa sổ, có thể giúp diễn đạt tốt hơn hiện tượng rung động hoặc âm thanh mà bạn đang cần đo.

[Tìm hiểu các hệ thống đo lường âm thanh và rung động chính xác sử dụng phần cứng NI.](#)

Bảng dữ liệu điện tử của cảm biến (TEDS)

Khi bạn kết nối cảm biến với hệ thống đo lường của mình, bạn phải nhập thủ công các thông số quan trọng của cảm biến như phạm vi, độ nhạy và các hệ số tỷ lệ, để phần mềm sử dụng và lập thang tỷ lệ dữ liệu cảm biến đúng cách. Thông thường, bạn tìm thấy các thông số kỹ thuật này bằng cách xác định nhà sản xuất và số model của cảm biến và tra cứu thông tin bạn cần trong bảng dữ liệu tương ứng. Bạn có thể tự động hoá quy trình cấu hình này bằng cách sử dụng các cảm biến thông minh. Bảng dữ liệu điện tử của bộ chuyển đổi (TEDS), có tất cả mọi thứ bạn cần biết để thực hiện một phép đo. Thiết bị đo kiểm và phần mềm tương thích TEDS sau đó có thể đọc dữ liệu này để cấu hình việc thu thập dữ liệu và áp dụng các hệ số tỷ lệ.



TEDS được triển khai cho một cảm biến theo một trong hai cách. Cách thứ nhất, TEDS có thể nằm trong bộ nhớ nhúng, điển hình là EEPROM, trên chính cảm biến hoặc trong cáp. Cách thứ hai, TEDS ảo có thể tồn tại dưới dạng một tệp riêng biệt mà có thể tải xuống từ Internet. TEDS ảo được sử dụng để lưu trữ dữ liệu cho các cảm biến cũ nếu không có bộ nhớ nhúng hoặc EEPROM. TEDS ảo cũng có giá trị trong các ứng dụng mà các điều kiện hoạt động của cảm biến ngăn không cho sử dụng bất kỳ thiết bị điện tử nào, chẳng hạn như EEPROM, trong cảm biến.

Tiêu chuẩn IEEE 1451.4 xác định phương pháp mã hóa thông tin TEDS cho một loạt các loại cảm biến. Tối thiểu, một TEDS theo chuẩn IEEE 1451.4 sẽ chứa thông tin về nhà sản xuất, số model và số sê-ri của cảm biến. Thông thường, TEDS cũng mô tả các thuộc tính quan trọng của cảm biến hoặc bộ chấp hành, chẳng hạn như phạm vi đo, độ nhạy, hệ số nhiệt độ và giao diện điện. Bảng 4 trình bày một ví dụ về TEDS cho cảm biến tải trọng.

TEDS cơ bản	ID nhà sản xuất	21
	ID model	19
	Chữ cái phiên bản	D
	Số sê-ri	8451
TEDS tiêu chuẩn và mở rộng (các trường thay đổi theo loại cảm biến)	Ngày hiệu chuẩn	10 tháng 2 năm 2014
	Phạm vi đo	± 100 lb
	Đầu ra điện	± 3 mV/V
	Trở kháng của cầu	350 Ω
	Kích thích, danh định	10 VDC
	Kích thích, tối thiểu	7 VDC
	Kích thích, tối đa	18 VDC
Khu vực dành cho người dùng	Thời gian đáp ứng	333,33 μ s
	Vị trí cảm biến	R32-1
	ID bản ghi hiệu chuẩn	543-0123

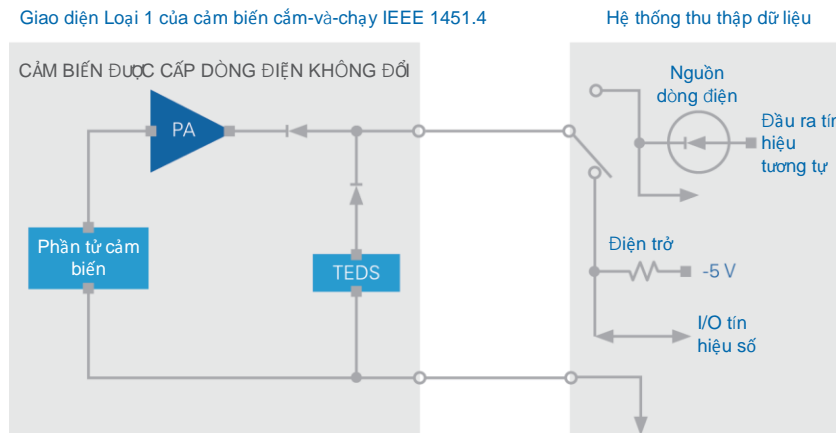
Bảng 4. TEDS ví dụ dành cho cảm biến tải trọng

Để bao gồm một loạt các cảm biến trong khi vẫn duy trì sử dụng bộ nhớ ở mức tối thiểu, tiêu chuẩn IEEE 1451.4 sử dụng các mẫu xác định các đặc tính cụ thể cho các loại cảm biến khác nhau. Mỗi loại cảm biến, từ các bộ khuếch đại điện tích đến điện trở nhiệt, đều có mẫu riêng. Ngoài 16 mẫu tiêu chuẩn này, các cảm biến có thể có một trong ba mẫu hiệu chuẩn: bảng hiệu chuẩn, đường cong hiệu chuẩn (đa thức) và bảng đáp ứng tần số. Để tăng độ chính xác của phép đo, phản cứng và phần mềm tương thích với TEDS có thể sử dụng bảng tra cứu hiệu chuẩn cảm biến hoặc bảng so khớp đường cong để hiệu tốt hơn đặc tính của cảm biến. Nếu có sự đồng ý trước của nhà sản xuất, bạn có thể lưu trữ lên đến 128 điểm hiệu chuẩn hoặc hệ số cho đa thức phân đoạn đa bậc.

Kết nối với phần cứng đo lường

Tiêu chuẩn IEEE 1451.4 xác định hai loại giao diện ở chế độ hỗn hợp: Hai dây Loại 1 và đa dây Loại 2. Giao diện hai dây Loại 1, được thể hiện trong Hình 24, hoạt động với các cảm biến được cấp dòng điện không đổi, chẳng hạn như cảm biến gia tốc. Cảm biến Loại 1 bao gồm điốt hoặc công tắc tương tự, bạn có thể sử dụng để ghép tín hiệu tương tự với thông tin TEDS kỹ thuật số trên một cặp dây duy nhất

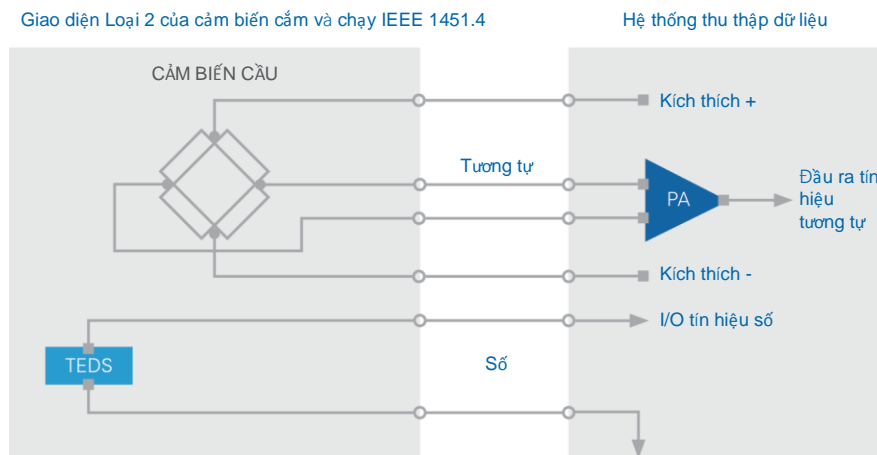
GIAO DIỆN HAI DÂY



Hình 24. Giao diện hai dây Loại 1 này ghép số đo tương tự và dữ liệu TEDS kỹ thuật số.

Giao diện Loại 2 sử dụng mỗi nối riêng biệt cho các phần tương tự và số của giao diện ở chế độ hỗn hợp. I/O tương tự của cảm biến không thay đổi và mạch TEDS kỹ thuật số được thêm song song. Như thế, bạn có thể có các cảm biến plug-and-play với hầu như bất kỳ loại cảm biến hoặc bộ chấp hành nào, bao gồm cả cặp nhiệt điện, RTD, điện trở nhiệt, cảm biến cầu, pin hóa học điện phân và các cảm biến vòng lặp dòng điện 4–20 mA. Hình 25 minh họa việc triển khai giao diện ở chế độ hỗn hợp Loại 2.

GIAO DIỆN ĐA DÂY



Hình 25. Giao diện đa dây Loại 2 này kích hoạt chức năng plug-and-play

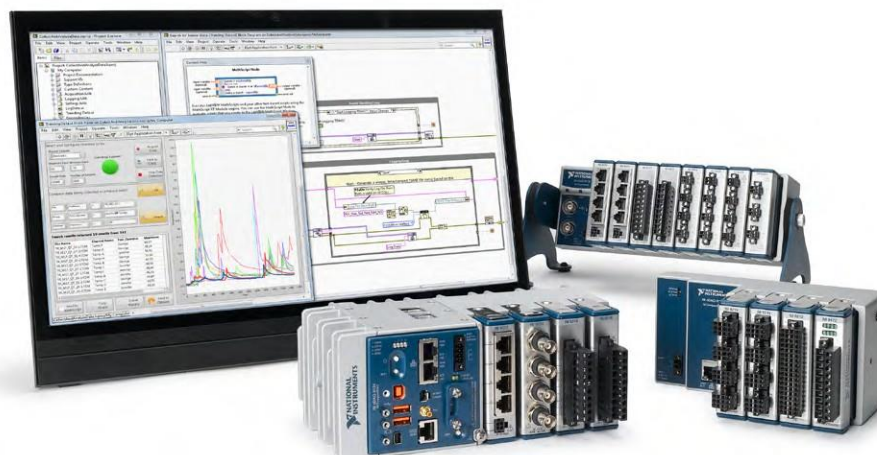
Kết luận

Bạn gặp ít rủi ro khi chọn TEDS vì việc triển khai công nghệ TEDS không làm thay đổi tín hiệu đầu ra tương tự của cảm biến, vì vậy nó vẫn tương thích với các giao diện tương tự truyền thống. Các khả năng plug-and-play được cung cấp với cảm biến và thiết bị TEDS giúp giảm thời gian thiết lập bằng cách loại bỏ sự cần thiết phải xem lại các bảng dữ liệu của nhà sản xuất và chứng nhận hiệu chuẩn. Ngoài ra, các khả năng này còn loại bỏ khả năng gây ra lỗi của kỹ thuật viên hoặc kỹ sư, khi phải thiết lập hệ thống thủ công và có thể cấu hình sai thông số cảm biến.

Chọn hệ thống đo cảm biến

Hướng dẫn này đã xem xét nhiều yêu cầu để thực hiện các phép đo cảm biến chính xác. Khi cấu hình hệ thống đo lường của bạn, hãy bắt đầu với nguồn tín hiệu của bạn và cân nhắc bất kỳ yêu cầu điều phối tín hiệu nào cần cho các đặc tính điện của cảm biến. Đảm bảo rằng thiết bị đo kiểm của bạn có độ phân giải hoặc dải động, tốc độ lấy mẫu và phạm vi đầu vào phù hợp nhất với nhu cầu ứng dụng của bạn. Cuối cùng, hãy chọn bộ phần mềm có hiệu quả nhất giúp bạn thu nhận, lập thang tỷ lệ và phân tích dữ liệu đo của bạn.

NI có nhiều loại phần cứng DAQ khác nhau, từ các thiết bị đo lường đơn đến các hệ thống mô đun hiệu năng cao. Các nền tảng CompactDAQ và PXI đặc trưng ở các mô đun đa kênh với khả năng điều phối tín hiệu tích hợp như khuếch đại, lọc, kích thích và cách ly cho phép kết nối trực tiếp và cho các phép đo cảm biến chính xác. I/O dành cho từng cảm biến cụ thể giúp giảm tổng chi phí hệ thống và khả năng xảy ra lỗi vì bạn không phải xây dựng và bảo trì hệ mạch điều phối tín hiệu riêng biệt. Ngoài ra, bạn có thể sử dụng các driver cho phần cứng của NI cùng với phần mềm ứng dụng như LabVIEW để chuyển dữ liệu của bạn thành các đơn vị mong muốn và thực hiện phân tích bằng các chức năng xử lý tín hiệu tích hợp.



Hình 26. Phần cứng CompactDAQ cung cấp kết nối cảm biến trực tiếp qua USB, Ethernet, Wi-Fi và các phiên bản chạy độc lập với máy tính.