تعیین سرعت صوت با استفاده از لولهٔ Quincke

لولهٔ Quincke (شکل ۱) وسیله‌ای است که با استفاده از آن می‌توان پدیده تداخل امواج صوتی را بررسی کرد و طول موج را به دست آورد. سپس برای بسامد معلوم، سرعت صوت را تعیین کرد و یا با دانستن سرعت صوت، بسامد آن را تعیین کرد.

شکل ۱: لولهٔ Quincke وسیله‌ای برای مشاهده تداخل امواج صوتی

این وسیله به نام فیزیکدان آلمانی Georg Hermann Quincke (شکل ۲) نام‌گذاری شده است.

شکل ۲: تصویر Georg Hermann Quincke برای اطلاعات بیشتر در مورد این فیزیکدان می‌توانید به آدرس `http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Hermann_Quincke` مراجعه نمایید.

مدل و نظریه

اگر معادله‌های توصیف کننده حرکت موج خطی باشند، اصل برهم‌نهی برقرار است، یعنی تغییر مکان هر ذره در یک لحظه معین برابر است با مجموع تغییر مکان‌هایی که هر یک از موج‌ها به تنهایی به ذره می‌دهند. فرض کنیم دو موج خطی

هماهنگ (تخت) با بسامد یکسان ω و اختلاف فاز $\Delta\varphi$ در یک راستا منتشر می‌شوند.

$$A_1(x,t) = A_1 e^{i(k_1 x-\omega t)} \quad (1)$$

$$A_2(x,t) = A_2 e^{i(k_2 x-\omega t-\Delta\varphi)} \quad (2)$$

که k عدد موج در راستای x است:

$$|k_1| = |k_2| = k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

اگر دو موج در خلاف جهت هم حرکت کنند، $k_1 = -k_2 = k$ خواهد بود، در نتیجه:

$$\begin{aligned} A_r &= (A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-i(kx+\Delta\varphi)})e^{-i\omega t} \\ &= (A_1 e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + A_2 e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})})e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \\ &= [(A_1 - A_2)e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + A_2(e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})})] \times e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \\ &= A_{r1}e^{i(kx-\omega t)} + A_{r2}\cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2})e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \end{aligned} \quad (4)$$

که دامنه موج تخت $A_{r1} = A_1 - A_2$ و دامنه موج ایستاده $A_{r2}\cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}) = 2A_2\cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2})$ است. بنابراین حاصل برهم‌نهی دو موج تخت با بسامد یکسان ω، اختلاف فاز $\Delta\varphi$ و عدد موج یکسان که در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند و دامنه‌های آنها متفاوت است، یک موج تخت و یک موج ایستاده [1] خواهد بود. اگر دامنه دو موج یکسان باشد، یعنی: $A_1 = A_2$، حاصل برهم‌نهی دو موج فقط موج ایستاده خواهد بود و دامنه موج تخت برابر صفر است.

در لولهٔ Quincke موج صوت به دو مؤلفه همدوس تقسیم می‌شود، این دو مؤلفه پس از حرکت در خلاف جهت همدیگر، با هم ترکیب شده و به آشکارساز می‌رسند. اگر مسیری که مؤلفه‌های موج طی می‌کنند یکسان باشد، دامنه آنها برابر خواهد بود، یعنی : $A_1 = A_2$ و موج حاصل از برهم‌نهی آنها موج ایستاده است. با افزایش اختلاف مسیر دو مؤلفه، A_2 کاهش می‌یابد، یعنی دامنه موج ایستاده کم شده و دامنه موج تخت افزایش می‌یابد.

ازمعادله ۴ قسمت حقیقی موج برایند برابر است با:

$$P = (A_1 - A_2)\cos(kx - \omega t) + 2A_2\cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2})\cos(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}) \quad (5)$$

[1] در یک موج تخت دامنه موج برای همه نقاط x یکسان است ولی در موج ایستاده دامنه موج برای xهای مختلف یکسان نیست.

اگر آشکارساز در $x = ۰$ قرار داده شود:

$$P = (A_۱ - A_۲)\cos(\omega t) + ۲A_۲\cos(\frac{\Delta\varphi}{۲})\cos(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{۲}) \qquad (۶)$$

در حد $A_۱ \approx A_۲$، دامنه موج برایند تقریباً برابر است با: $۲A_۲\cos(\frac{\Delta\varphi}{۲})$ و دامنه موج بازای

$$\frac{\Delta\varphi}{۲} = (۲n+۱)\frac{\pi}{۲} \qquad , \qquad n = ۰, \pm۱, \pm۲, ... \qquad (۷)$$

کمینه خواهد شد. اختلاف فاز برای دو کمینه متوالی برابر ۲π خواهد بود. بنابراین اگر اختلاف مسیر دو مؤلفه $۲\Delta d$ باشد:

$$k \times ۲\Delta d = ۲\pi \qquad (۸)$$

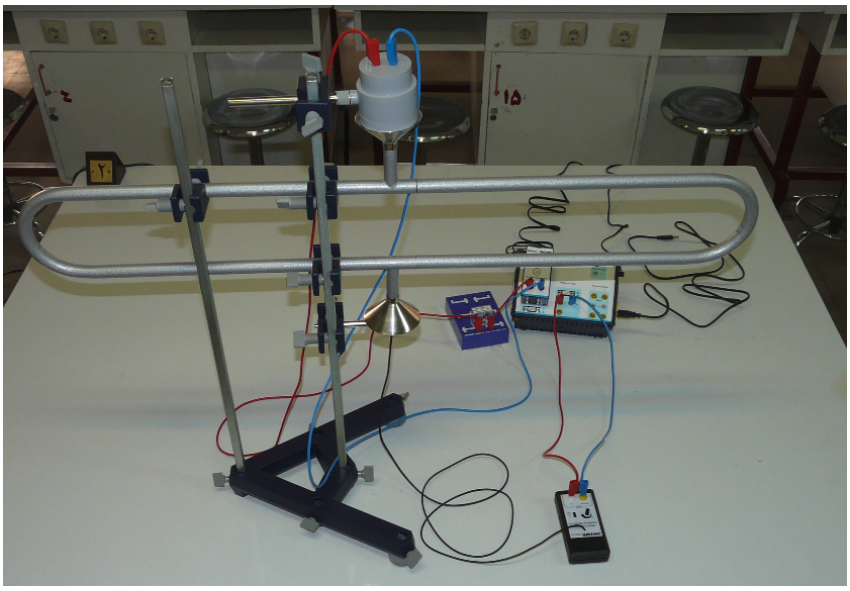
$$۲\Delta d = \lambda \qquad (۹)$$

وسایل آزمایش

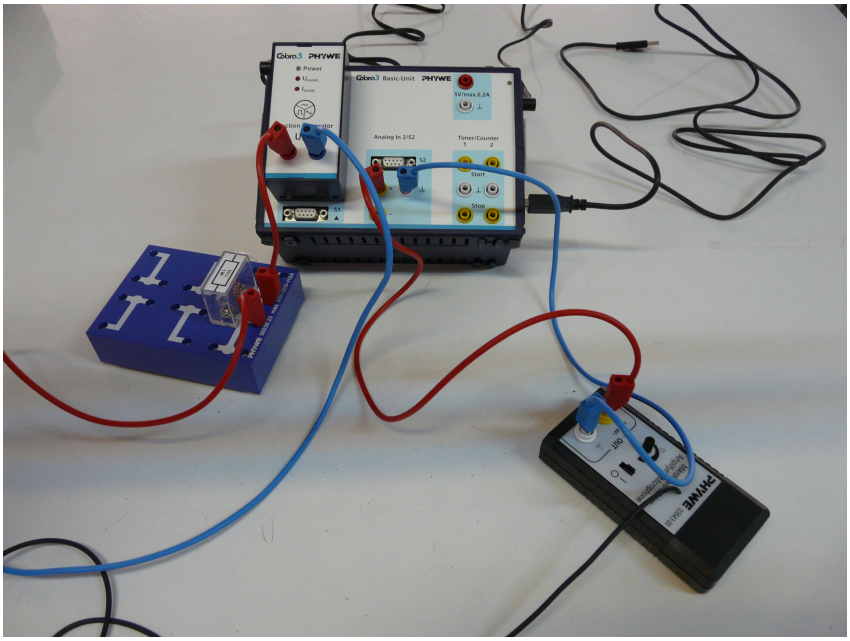
دستگاه Cobra3 ، نوسان‌ساز (Function genrator) برای اتصال به دستگاه Cobra3 ، لولهٔ Quincke ، بلندگو، میکروفن، میله برای نگه‌داشتن میکروفن، پایه مثلثی شکل، میله به طول ۶۳ سانتی‌متر (۲ عدد)، گیره نود درجه (۵ عدد)، مقاومت ۱۰۵Ω ، جعبه اتصال، سیم رابط (۵ عدد).

روش آزمایش

- مطابق شکل‌های ۳ و ۴ مدار آزمایش راببندید. نوسان‌ساز (Function genrator) متصل به دستگاه Cobra3 موج با بسامدهای مختلف تولید می‌کند که با وصل کردن آن به بلندگو اموج صوتی در لولهٔ Quincke تولید می‌شود. میکروفن متصل به دستگاه Cobra3 شدت موج حاصل از تداخل امواج صوتی در لولهٔ Quincke را به دستگاه Cobra3 منتقل می‌کند.
- کابل USB دستگاه Cobra3 را به کامپیوتر متصل کرده و برنامهٔ Measure را اجرا کنید.
- از نوار بالا روی Gauge کلیک کرده و گزینهٔ PowerGraph را انتخاب کنید. صفحه‌ای مانند شکل ۵ باز خواهد

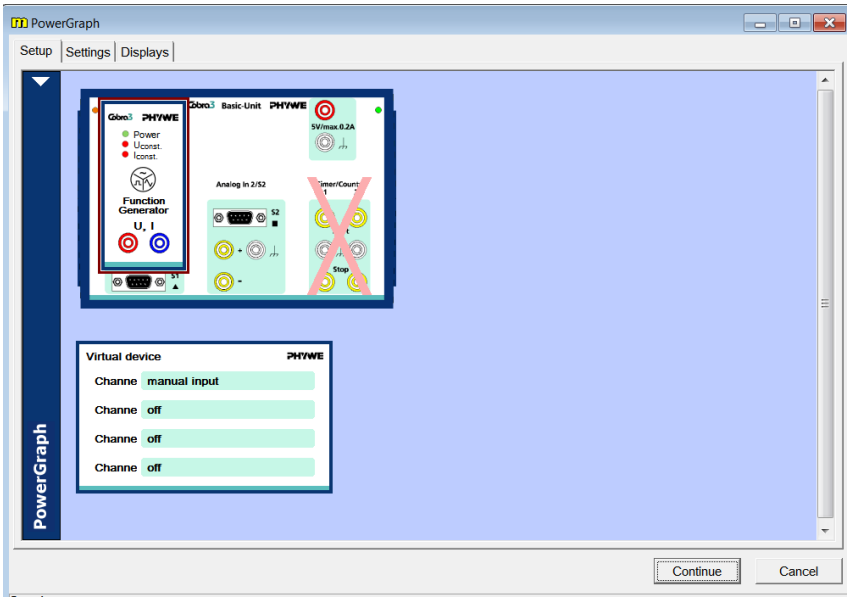


شکل ۳: آزمایش لولهٔ Quincke

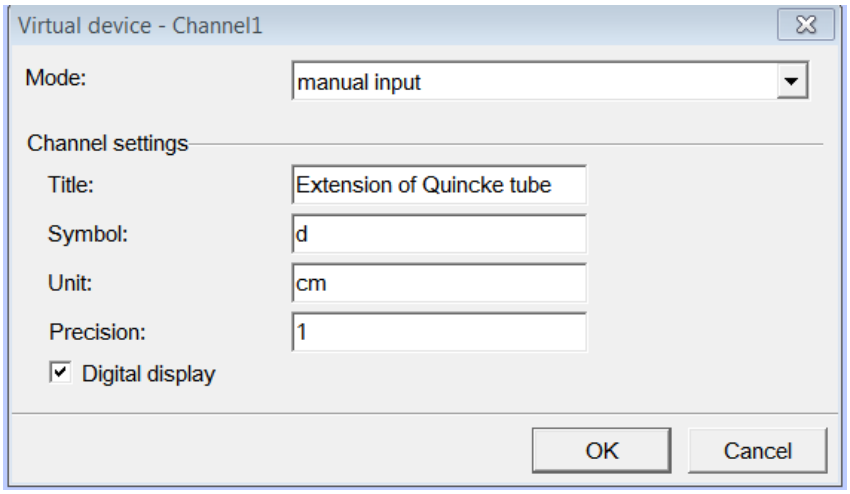


شکل ۴: نحوهٔ اتصال سیم‌ها

شد (اگر پنجرهٔ virtual device باز نشده بود از نوار بالا در قسمت Setup روی مثلث سفید رنگ کلیک کرده و Add device را انتخاب کنید) با کلیک کردن روی Channel در پنجرهٔ virtual device صفحه‌ای باز می‌شود، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۶ تنظیم کنید.

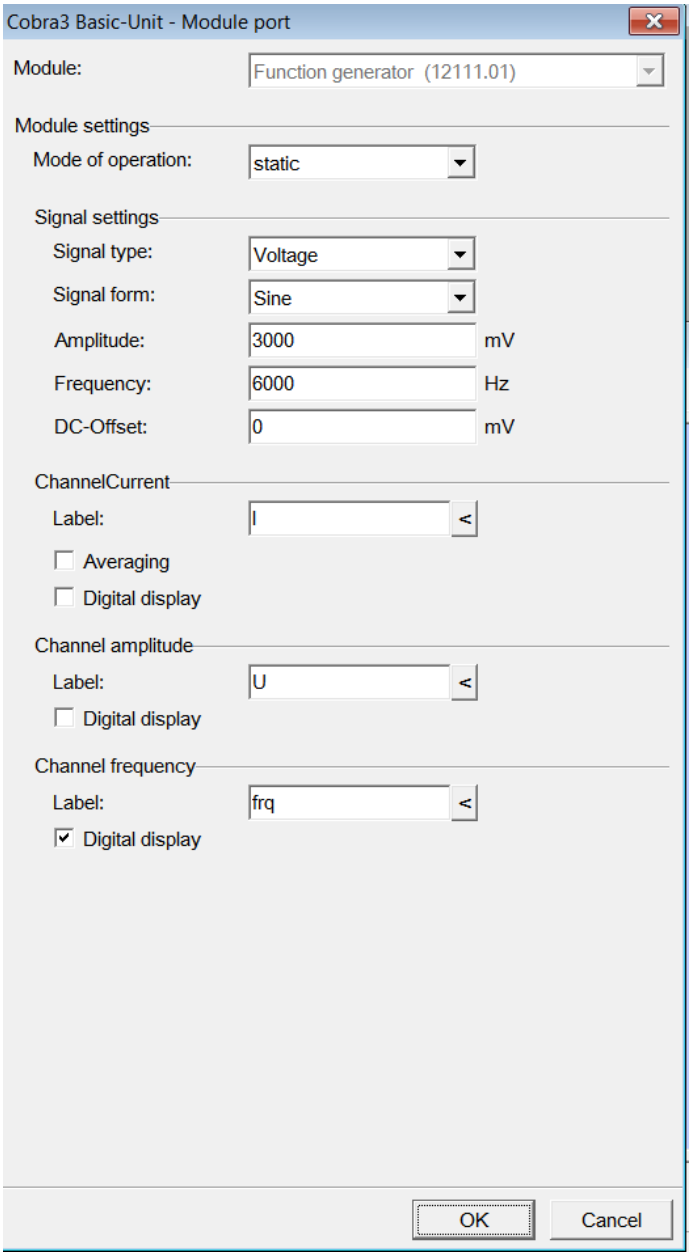


شکل ۵: ایجاد صفحه virtual-device



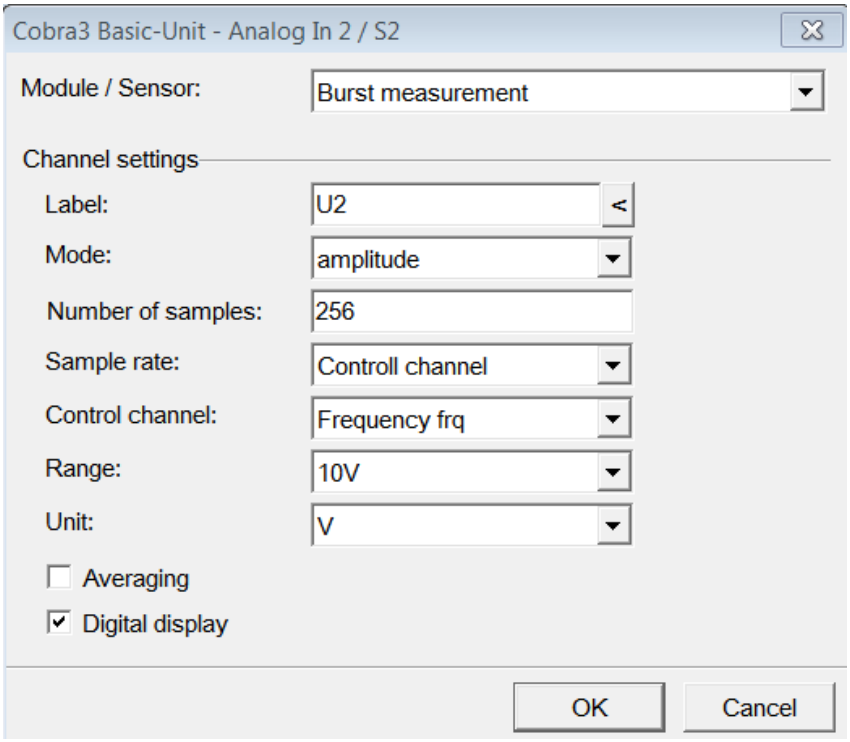
شکل ۶: صفحه virtual-device

- در شکل ۵ روی Function Generator کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۷ باز خواهد شد، در این پنجره نوع موج و بسامد آن را تعیین می‌کنیم. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۷ تنظیم کنید.



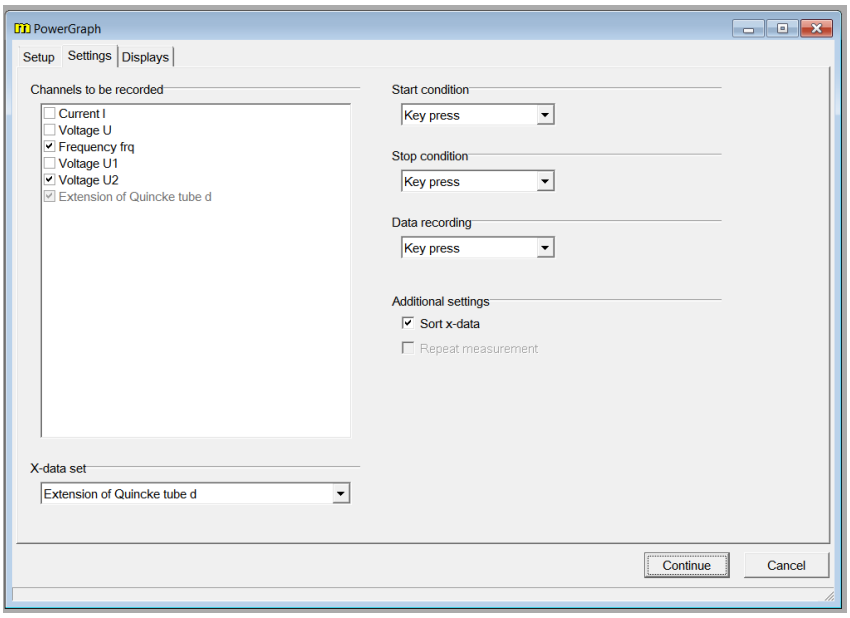
شکل ۷: تنظیمات نوسان‌ساز (Function genrator)

- در شکل ۵ روی Analog In 2/S2 کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۸ باز خواهد شد، در این پنجره می‌توان تنظیمات لازم برای ثبت شدت موج به وسیلهٔ میکروفن را انجام داد. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۸ تنظیم کنید.



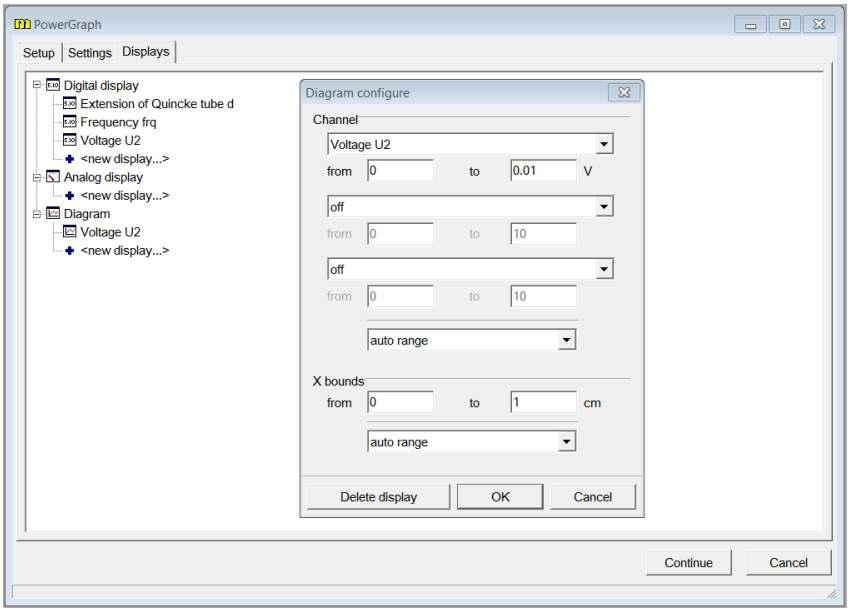
شکل ۸: تنظیمات برای ثبت شدت موج به وسیلهٔ میکروفن

- در شکل ۵ از نوار بالا روی Settings کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۹ باز خواهد شد، پارامترها را دقیقا مانند شکل ۹ تنظیم کنید.



شکل ۹: تنظیمات برنامه برای اندازه‌گیری

- در شکل ۵ از نوار بالا روی Displays کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۱۰ باز خواهد شد، با انتخاب new display در قسمت Diagram صفحهٔ جدیدی برای تنظیم پارامترهای نمودار باز خواهد شد، پارامترها را دقیقا مانند شکل ۱۰ تنظیم کنید.



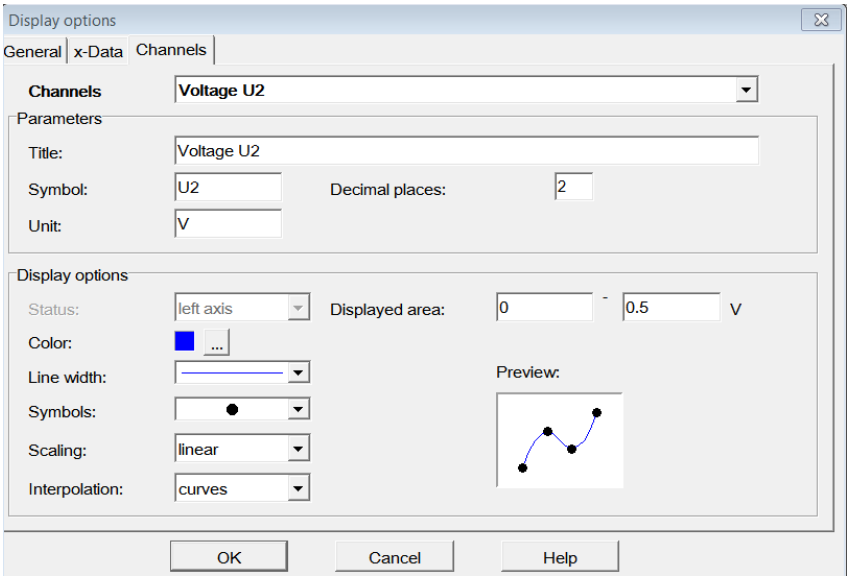
شکل ۱۰: تنظیمات پارامترهای نمودار

- میکروفن را روشن کنید و تقویت کننده آن را روی مقدار متوسط قرار دهید. پس از تنظیمات لازم برنامه و انتخاب بسامد در شکل ۵ روی continue کلیک کنید.

- بازوی متحرک لولهٔ Quincke را روی اولین درجه‌بندی حک شده قرار داده و در صفحه باز شده عدد صفر را وارد کنید وروی دکمه Save value کلیک کنید.

- Δd را افزایش دهید و قسمت قبل را تکرار کنید. پس از مشاهده حداقل چهار مینیمم روی دکمه Stop measurment کلیک کنید.

- برای نمودار رسم شده روی دکمه Display options کلیک کنید و با انتخاب Channels صفحه‌ای مانند شکل ۱۱ باز خواهد شد، در این صفحه می‌توان منحنی حاصل از درون‌یابی نقاط ثبت شده را رسم کرد. پارامترها را مانند شکل ۱۱ تنظیم کنید.



شکل ۱۱: تنظیمات پارامترهای نمودار

- برای منحنی رسم شده با استفاده از Survey فاصله بین چهار ماکزیمم یا مینیمم را به دست آورید. با تقسیم کردن عدد به دست آمده بر سه، Δd و در نتیجه λ به دست می‌آید.نتایج حاصل را در جدول ۱ یادداشت کنید.
- مطابق جدول ۱ بسامد موج را با استفاده از پنجرهٔ Function Generator تغییر دهید و طول موج را به دست آورید.
- با روش کمترین مربعات منحنی نمایش تغییرات بسامد بر حسب عکس طول موج را رسم کنید
- با استفاده از شیب خط سرعت صوت را تعیین کنید.

$\nu(Hz)$	۶۰۰۰	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰
$\Delta d(cm)$						
$\lambda(m)$						
$۱/\lambda(m^{-۱})$						

جدول ۱: تغییرات طول موج بر حسب بسامد