

Critical Damping

Resonance

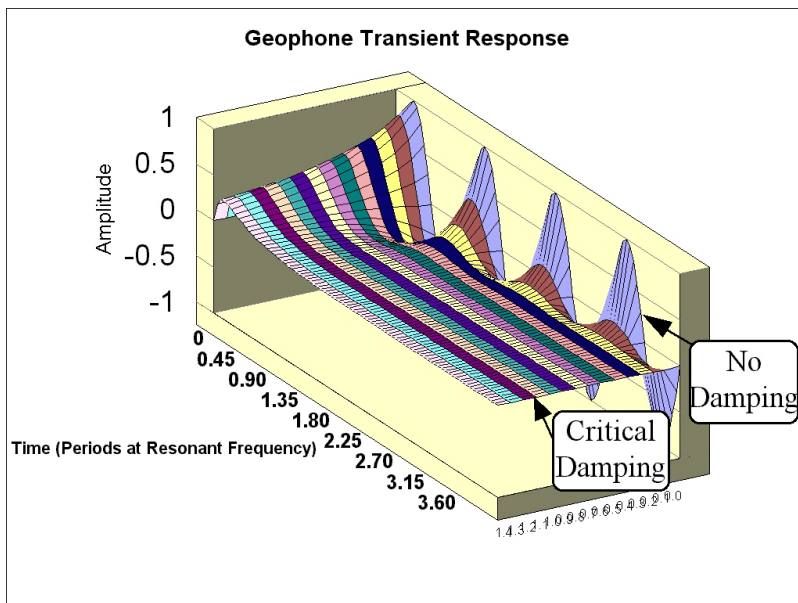
Seismic signals are detected in land seismic surveys with geophones. The essentials of a geophone are a magnet; a coil; and a spring. The magnet is attached to the geophone case, so that when the ground moves up and down with the seismic signal, the coil, attached to the case by a spring, tends to remain in the same place.

The movement of the magnetic field through the coil induces an electric voltage in the coil, and this voltage is the signal recorded for processing and interpretation. If the coil were totally unconnected to the case, it would record this signal accurately. But the spring connection means that when the case moves a force is applied to the coil proportional to the displacement of the case relative to the coil.

If movement changes direction (from up to down) slowly, the coil can follow the movement of the case. If changes in direction are very rapid, the coil has hardly started to move before it is pulled in the opposite direction, so it hardly moves at all.

In between, there is a frequency of direction change where the reversal of direction joins with the energy stored in the spring to pull the coil back to the rest position and past it, with the cycle repeated in the other direction. At this frequency, the geophone coil movement is very large. So is the signal. This is the resonant frequency.

Damping



If no energy is taken from the system, a weight on a spring (which is what a geophone really is), once excited, will oscillate at the resonant frequency indefinitely.

This is obviously not what is needed for recording a seismic signal, where we want to distinguish one reflection from the next.

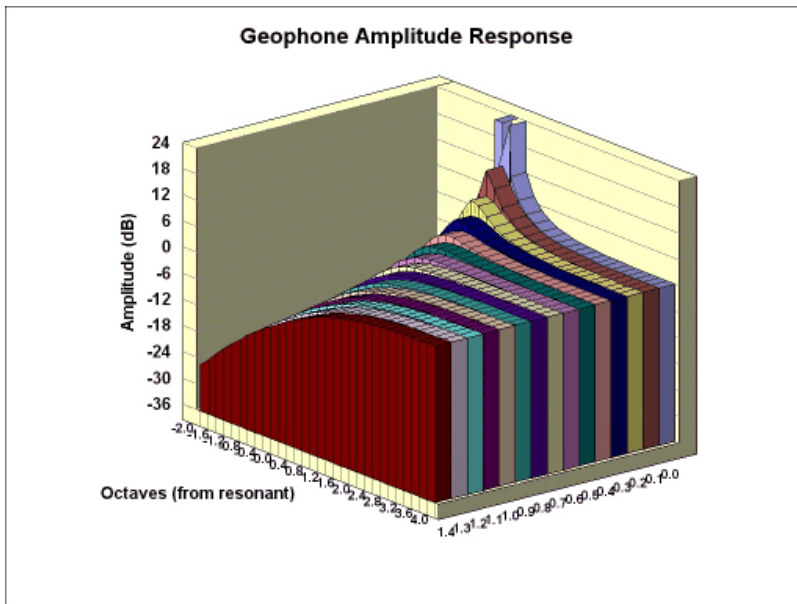
If energy is taken out of the oscillating system, the amplitude of oscillation decreases. This is called "damping". "Critical damping" occurs when the system just fails to oscillate.

The figure to the left shows the response of a geophone to a transient signal (such as a tap on the top of the case). The horizontal axis

is time measured in units equal to periods at the resonant frequency. For example, if the resonant frequency is 10 Hz, the units on the axis are 100 ms=1.0. The response with no damping is continuous oscillation at the resonant frequency with no change in amplitude.

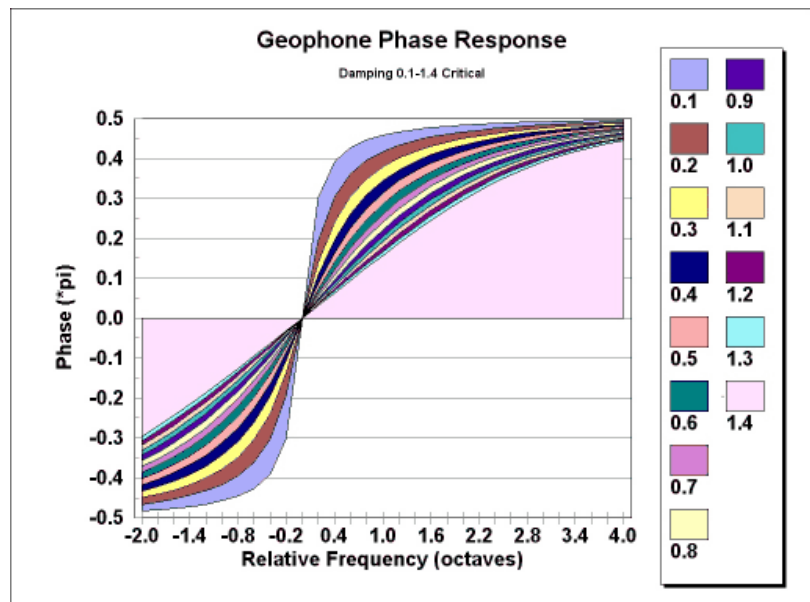
With increased damping, the oscillation dies with time, until at critical damping the response is never negative: it rises rapidly to a maximum then decays exponentially. The problem with critical damping is that the maximum is only about 36% of the response for an undamped geophone.

The practical solution is to use geophones with a damping factor of about 0.7 critical. This increases the response to 45% and improves the frequency response.



The amplitude of the geophone response is theoretically infinite at the resonant frequency, levelling off to a flat response about 3 octaves above the resonant frequency, if the geophone is undamped. As the damping increases, the peak at the resonant frequency decreases in amplitude, and disappears completely at 0.7 critical damping. Increased damping reduces the response at low frequencies. At 0.7, the response is down 3 dB at the resonant frequency, and drops at about 12 dB/octave. For 1.0 critical, the response is down 6 dB at the resonant frequency.

Phase response is a further problem. As the figure to the right shows, the phase of the signal from a geophone rotates 180 degrees as it goes through the resonant frequency. For little damping, the phase change is abrupt and occurs at the resonant frequency. For large damping factors, the phase change is more gradual, and is spread over several octaves.



What causes damping

As mentioned above, damping is caused by some factor taking energy out of the system. In practice, this means converting the mechanical energy of the coil movement into heat. There are three practical techniques, two of which are commonly used:

- The coil can be immersed in a viscous fluid.
- The coil can be wound on a conductive base, so that energy is absorbed in eddy currents.
- Electrical current can be drawn from the geophone by a load resistance, so that resistive heating of the geophone coil and the load dissipates energy.

Interpretation Considerations

The interpreter needs to consider what the variations in amplitude and phase response around the resonant frequency might do to any calculations using amplitudes or phase differences.

Lo smorzamento critico

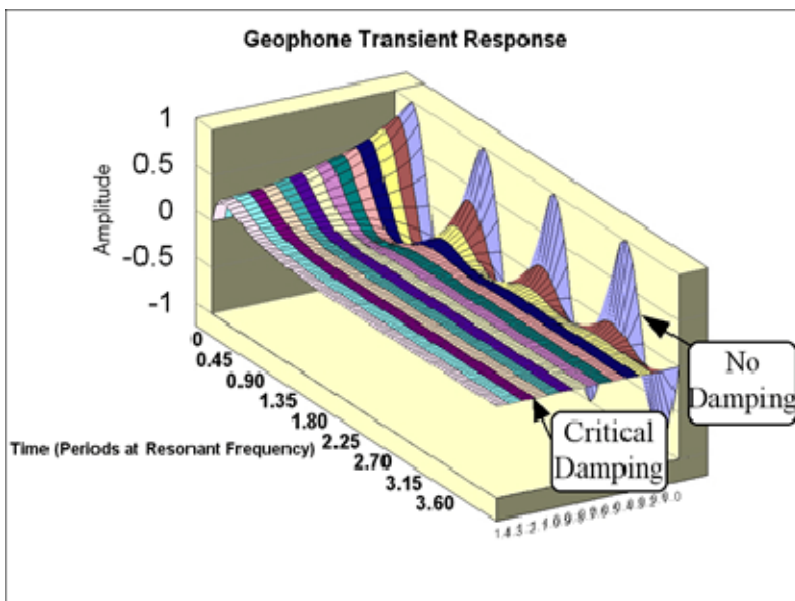
Risonanza

Nei rilievi sismici terrestri, I segnali sismici vengono rilevati tramite geofoni che sono composti essenzialmente da un magnete, una bobina e una molla. Il magnete è fissato alla custodia del geofono, in modo che quando con il segnale sismico il terreno si muove su e giù, la bobina, attaccata alla custodia da una molla, tende a rimanere ferma nello stesso punto.

Il movimento del campo magnetico attraverso la bobina induce in questa una tensione elettrica che sarà il segnale acquisito per l'elaborazione e l'interpretazione. Se la bobina fosse completamente scollegata dalla custodia, registrerebbe questo segnale in modo accurato, ma essendovi invece in qualche modo collegata attraverso la molla, succede che quando questa si muove, viene applicata alla bobina una forza proporzionale allo spostamento della custodia rispetto alla bobina. Se il movimento cambia direzione (dall'alto verso il basso) lentamente, la bobina riesce a seguirne il movimento. Se invece i cambi di direzione sono molto rapidi, la bobina che ha appena iniziato a muoversi prima di essere tirata nella direzione opposta, difficilmente si muoverà.

Nel mezzo, c'è una frequenza di cambio di direzione in cui l'inversione di direzione si aggiunge all'energia immagazzinata nella molla per riportare la bobina nella posizione di riposo e oltre, con il ciclo ripetuto nell'altra direzione. A questa frequenza, il movimento della bobina del geofono è molto ampio e così il segnale. Questa è la frequenza di risonanza.

Smorzamento



Se non viene prelevata alcuna energia dal sistema, un peso su una molla (che è in realtà ciò che rappresenta il geofono), una volta eccitato, oscillerà alla frequenza di risonanza indefinitamente.

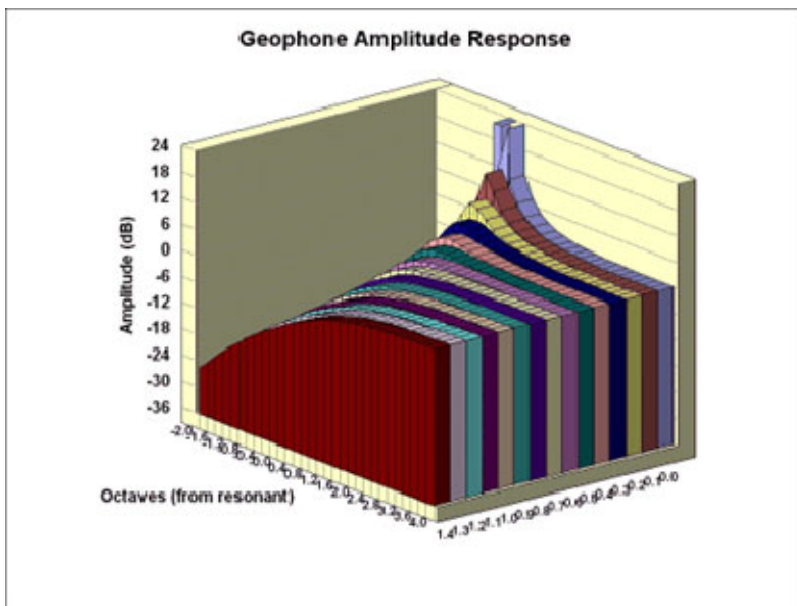
Questo ovviamente non è quello che serve per registrare un segnale sismico, dove si vuole distinguere una riflessione dall'altra.

Se si preleva energia dal sistema oscillante, l'ampiezza dell'oscillazione diminuisce. Questo si chiama "smorzamento". Lo "smorzamento critico" si verifica quando il sistema non riesce ad oscillare.

La figura a sinistra mostra la risposta di un geofono a un segnale transitorio

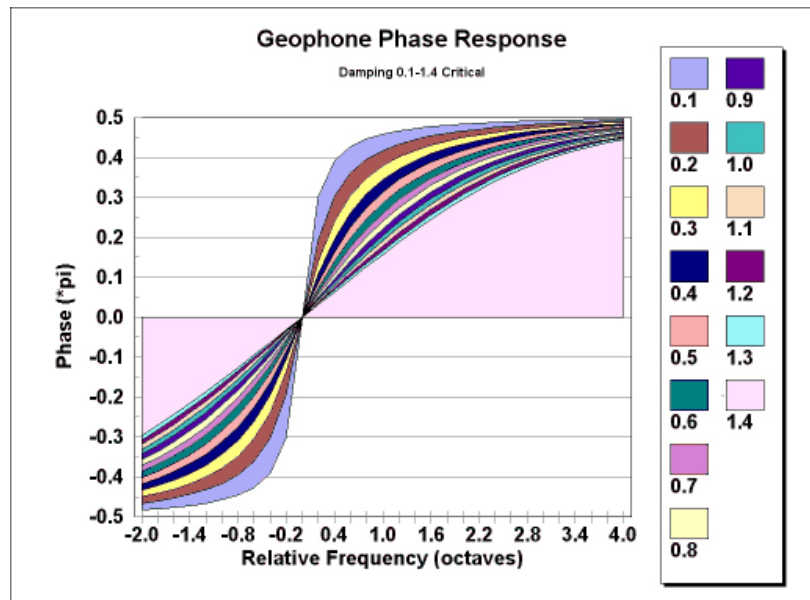
(come un tocco sulla parte superiore della custodia). L'asse orizzontale è il tempo misurato in unità pari a periodi alla frequenza di risonanza. Ad esempio, se la frequenza di risonanza è 10 Hz, le unità sull'asse sono 100 ms=1,0. La risposta senza smorzamento è un'oscillazione continua alla frequenza di risonanza senza variazione di ampiezza.

All'aumentare dello smorzamento, l'oscillazione muore nel tempo, finché allo smorzamento critico la risposta non è mai negativa ma sale rapidamente fino al massimo per poi decadere esponenzialmente. Il problema con lo smorzamento critico è che il massimo è solo il 36% circa della risposta per un geofono non smorzato. La soluzione pratica consiste nell'utilizzare geofoni con un fattore di smorzamento critico di circa 0,7. Ciò aumenta la risposta al 45% e migliora la risposta in frequenza.



Se il geofono non è smorzato, l'ampiezza della risposta del geofono è teoricamente infinita alla frequenza di risonanza, stabilizzandosi su una risposta piatta circa 3 ottave sopra la frequenza di risonanza. All'aumentare dello smorzamento, il picco alla frequenza di risonanza diminuisce di ampiezza e con uno smorzamento critico di 0.7 scompare completamente. L'aumento dello smorzamento riduce la risposta alle basse frequenze. A 0.7, la risposta scende di 3 dB alla frequenza di risonanza e decade poi a circa 12 dB/ottava. Per smorzamento critico 1.0, la risposta scende di 6 dB alla frequenza di risonanza.

La risposta di fase è un ulteriore problema. Come mostra la figura a destra, la fase del segnale da un geofono ruota di 180 gradi mentre attraversa la frequenza di risonanza. Con smorzamento basso, il cambiamento di fase è brusco e si verifica alla frequenza di risonanza. Per fattori di smorzamento elevati, il cambio di fase è più graduale e si sviluppa su più ottave.



Cosa causa lo smorzamento

Come accennato in precedenza, lo smorzamento è causato da un fattore che sottrae energia al sistema. In pratica, ciò significa convertire l'energia meccanica del movimento della bobina in calore. Ci sono tre tecniche pratiche, due delle quali sono comunemente usate:

- La bobina può essere immersa in un fluido viscoso.
- La bobina può essere avvolta su una base conduttiva, in modo che l'energia venga assorbita dalle correnti parassite.
- La corrente elettrica può essere prelevata dal geofono tramite una resistenza di carico, in modo che il riscaldamento resistivo della bobina del geofono e del carico dissipi energia.

Considerazioni sull'interpretazione

L'interprete deve considerare cosa potrebbero fare le variazioni di ampiezza e risposta di fase intorno alla frequenza di risonanza a qualsiasi calcolo che utilizza ampiezze o differenze di fase.