# 1.Butterworth Filter

Butterworth filter là một loại bộ lọc được thiết kế nhằm đảm bảo **đáp ứng tần số với độ phẳng cao nhất có thể trong vùng thông (passband)**, nghĩa là không có sự dao động hoặc gợn sóng nào trong đáp ứng biên độ. Bộ lọc Butterworth được ứng dụng rộng rãi trong việc xử lý tín hiệu, đặc biệt là trong các ứng dụng yêu cầu tín hiệu ra được mượt mà và chính xác nhất.

# 2.Các đặc điểm của bộ lọc Butterworth:

**Độ phẳng**: Butterworth filter có đáp ứng biên độ trong vùng thông phẳng nhất so với các bộ lọc khác như Chebyshev hay Elliptic. Điều này giúp tín hiệu không bị biến dạng nhiều trong vùng thông.

**Cắt tần số**: Ở tần số cắt, độ lợi của bộ lọc giảm đi 3 dB (giảm một nửa công suất). Đáp ứng biên độ bắt đầu giảm nhanh hơn sau tần số cắt.

**Bộ lọc bậc n**: Độ dốc của đáp ứng sau tần số cắt phụ thuộc vào bậc của bộ lọc. Bậc càng cao, độ dốc càng lớn.

**Dải thông và dải chắn**: Bộ lọc có hai vùng chính là dải thông (passband) nơi tín hiệu được cho qua mà không bị suy giảm đáng kể và dải chắn (stopband) nơi tín hiệu bị suy giảm mạnh.

# 3.Phương trình:

Bộ lọc Butterworth thường được mô tả bởi một hàm truyền (transfer function) dưới dạng:

A math equation with black text

Description automatically generated with medium confidence

ω: tần số góc của tín hiệu

ωc: tần số cắt

n: bậc của bộ lọc

Với n càng cao, bộ lọc sẽ có dải chắn rõ ràng hơn

# 4.So sánh bộ lọc Butterworth thông thấp và Butterworth thông cao

Bộ lọc Butterworth có thể được thiết kế theo nhiều loại, nhưng hai loại phổ biến nhất là bộ lọc **thông thấp (Low-Pass Filter)** và **thông cao (High-Pass Filter)**. Mặc dù cả hai đều dựa trên nguyên lý thiết kế Butterworth với đáp ứng tần số phẳng trong vùng thông, chúng có sự khác biệt rõ ràng trong việc xử lý tín hiệu.

**a. Bộ lọc Butterworth thông thấp (Low-Pass Butterworth Filter)**

* **Mục đích**: Cho phép các tần số thấp đi qua và chặn các tần số cao hơn một giá trị cắt xác định.
* **Đáp ứng biên độ**: Trong vùng tần số thấp, bộ lọc có đáp ứng phẳng (không suy giảm biên độ). Khi tần số vượt quá tần số cắt (fcf\_cfc​), biên độ tín hiệu giảm nhanh chóng, với độ dốc phụ thuộc vào bậc của bộ lọc.
* **Ứng dụng**: Loại bỏ nhiễu tần số cao, mượt hóa tín hiệu hoặc tách bỏ các thành phần tần số cao trong tín hiệu âm thanh, hình ảnh hoặc tín hiệu số.

Ví dụ: Đối với tín hiệu âm thanh, Butterworth thông thấp có thể dùng để loại bỏ âm thanh nhiễu nền có tần số cao trong bản ghi âm.

**b. Bộ lọc Butterworth thông cao (High-Pass Butterworth Filter)**

* **Mục đích**: Cho phép các tần số cao đi qua và chặn các tần số thấp hơn một giá trị cắt xác định.
* **Đáp ứng biên độ**: Trong vùng tần số cao, bộ lọc có đáp ứng phẳng. Khi tần số giảm xuống dưới tần số cắt (fcf\_cfc​), biên độ tín hiệu sẽ bị suy giảm.
* **Ứng dụng**: Loại bỏ các thành phần tần số thấp không mong muốn như tiếng ồn tần số thấp, hoặc sử dụng để làm nổi bật các tín hiệu tần số cao trong các ứng dụng xử lý ảnh, âm thanh.

Ví dụ: Bộ lọc thông cao có thể loại bỏ tiếng ồn nền hoặc tần số thấp gây ra bởi rung động trong các cảm biến.