




# Parte 5 Projeto de Filtros IIR





## Capítulo 8: Projeto de Filtros IIR

### 1. Introdução aos Filtros IIR

Os **Filtros de Resposta ao Impulso Infinita (IIR)** são amplamente utilizados no processamento de sinais digitais devido à sua eficiência em atender especificações com ordens menores em comparação aos filtros FIR. Diferente dos filtros FIR, os filtros IIR possuem realimentação, o que resulta em uma resposta ao impulso infinita.

Os filtros IIR são projetados a partir de **prototipagem analógica**, onde um filtro analógico é convertido para um sistema digital equivalente. Os métodos mais comuns incluem:  **Transformação bilinear** – Mapeia um filtro analógico para o domínio digital.  **Aproximação de Butterworth, Chebyshev e Elíptico** – Técnicas para otimizar a resposta em frequência.  **Projeto baseado em polos e zeros** – Ajuste da função de transferência para atender requisitos específicos.

### 2. Características dos Filtros IIR

Os filtros IIR apresentam vantagens e desafios:  **Alta eficiência** – Atendem especificações com ordens menores.  **Menor consumo computacional** – Requerem menos coeficientes para implementação.  **Resposta de fase não linear** – Pode causar distorção em algumas aplicações.  **Possibilidade de instabilidade** – Deve-se garantir que todos os polos estejam dentro do círculo unitário.

A equação geral de um filtro IIR é dada por:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b[k] x[n-k] - \sum_{j=1}^N a[j] y[n-j] \quad y[n] = \sum_{k=0}^M b[k] x[n-k] - \sum_{j=1}^N a[j] y[n-j]$$

onde:

- $y[n]$  é a saída do filtro.
- $b[k]$  são os coeficientes do numerador.
- $a[j]$  são os coeficientes do denominador.
- $x[n-k]$  são os valores da entrada deslocados no tempo.

### 3. Métodos de Projeto de Filtros IIR

#### 3.1. Filtros Butterworth

Os filtros **Butterworth** são conhecidos por sua resposta de magnitude suave e sem ondulações na banda de passagem. São ideais para aplicações onde uma transição gradual entre bandas é desejada.

### 3.2. Filtros Chebyshev

Os filtros **Chebyshev Tipo I e II** apresentam ondulações na banda de passagem ou rejeição, permitindo uma transição mais abrupta entre bandas.

### 3.3. Filtros Elípticos

Os filtros **Elípticos** oferecem a transição mais rápida entre bandas, mas apresentam ondulações tanto na banda de passagem quanto na banda de rejeição.

### 3.4. Transformação Bilinear

A **Transformação Bilinear** é um método que converte filtros analógicos para digitais, garantindo que a resposta em frequência seja preservada.

## 4. Implementação Computacional

A implementação de filtros IIR pode ser feita em **Python** e **MATLAB**. Aqui está um exemplo de um filtro Butterworth usando **SciPy** em Python:

python

```
import numpy as np
import scipy.signal as signal
import matplotlib.pyplot as plt





# Definição dos parâmetros do filtro Butterworth
order = 4
cutoff_freq = 0.3 # Frequência de corte normalizada
b, a = signal.butter(order, cutoff_freq)

# Resposta em frequência do filtro
w, h = signal.freqz(b, a)

plt.plot(w / np.pi, 20 * np.log10(abs(h)))
plt.title("Resposta em Frequência do Filtro Butterworth")
plt.xlabel("Frequência Normalizada")
plt.ylabel("Magnitude (dB)")
plt.grid()
plt.show()
```

Esse código cria um **filtro Butterworth** e exibe sua resposta em frequência.

## 5. Aplicações dos Filtros IIR

Os filtros IIR são amplamente utilizados em:  **Processamento de áudio** – Equalização e remoção de ruídos.  **Processamento de imagens** – Realce de bordas e filtragem adaptativa.  **Comunicações digitais** – Modulação e demodulação de sinais.  **Sistemas biomédicos** – Filtragem de sinais ECG e EEG.