UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA (DEE)

[MOD-NEU04] Redes Coerentes e Malhas MZI (Clements & SVD)

Portas Unitárias SU(2), Topologia de Clements e Multiplicação Matriz-Vetor

Prof. Marcelo Eduardo Vieira Segatto

LabTel — Laboratório de Telecomunicações | IN-Foton





Sumário do Módulo

1. O Interferômetro de Mach-Zehnder como Porta SU(2)

2. Topologia Retangular de Clements e Fatoração SVD

Matriz de Transferência e Rotações Unitárias

Matriz de Espalhamento do MZI com Deslocadores de Fase (θ, ϕ)

Composto por dois acopladores direcionais de 3 dB $(50:50)$ e dois desfasadores:

$$T_{\mathrm{MZI}}(\theta,\phi) = \begin{bmatrix} e^{j\phi}\cos\theta & -\sin\theta \\ e^{j\phi}\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \in \mathrm{SU}(2)$$

- θ: Controla a divisão de amplitude entre os dois braços de saída;
- ϕ: Controla o desvio de fase relativo externo;
- Preserva a energia total $(T^{\dagger}T = I)$.

Decomposição em Valores Singulares (SVD)

Mapeamento de Matrizes Densas de Pesos $W \in \mathbb{C}^{M \times N}$

Qualquer matriz linear arbitrária de pesos pode ser expressa pelo teorema SVD:

$$W = U \Sigma V^{\dagger}$$

Implementação Física:

- $V^{\dagger} \in \mathrm{U}(N)$: Malha de Clements de rotação de entrada.
- Σ: Atenuadores variáveis (VOAs) com valores singulares.
- $U \in \mathrm{U}(M)$: Malha de Clements de rotação de saída.

Vantagem de Clements vs Reck:

- Caminhos ópticos balanceados para todos os modos.
- Profundidade óptica constante N, minimizando perdas e dispersão.
- Implementado nativamente em PyTorch pelo ecossistema `neurophox`.

Síntese e Referências do Módulo [MOD-NEU04]

Obras Centrais de Consulta

- **Paul R. Prucnal & Bhavin J. Shastri (2017):** *Neuromorphic Photonics*, CRC Press / Taylor & Francis Group, ISBN 9781498725224.
- **Lorenzo Pavesi (2026):** *When Microring Resonators Behave Like Neurons*, Optics & Photonics News (Optica).
- **PNC 2027:** *XIV Winter School on Physical Neuromorphic Computing*, Università di Trento.

Continuidade da Trilha Formativa

Material didático coordenado pelo Prof. Marcelo Segatto para o Portal de Educação do IN-Foton.