ディジタルフィルタ設計手法を用いた マイクロリング共振器チェビシェフ波長フィルタの設計

Design of microring resonator Chebyshev wavelength filter using digital filter design method

横国大院工 [1]，中部大 [2]　○山内 真生 [1]，國分 泰雄 [2]，荒川 太郎 [1]

[1]Yokohama National Univ., [2]Chubu Univ., ◦Mao Yamauchi[1], Yasuo Kokubun[2], Taro Arakawa[1]
E-mail: yamauchi-mao-hf@ynu.jp, arakawa-taro-vj@ynu.ac.jp

1. はじめに

高次直列結合マイクロリング共振器（MRR）による波長フィルタは，小型で集積性に優れ，かつ所望のフィルタ特性の設計が容易である[1]．しかし，従来の設計法[2]では結合損失や伝搬損失を考慮された設計が行われておらず3dB 波長帯域や共振波長間隔（FSR）の正確な設計が行えない．また，我々はディジタルフィルタ設計手法を用いた MRR バタワース波長フィルタの設計手法を検討したが[3]，クロストークの目標値である 25dB 以下の実現が困難であることから阻止帯域においてより急峻な落ち込みを有するチェビシェフ特性に着目した．

そこで本研究では, ディジタルフィルタ設計手法を用いることで高次 MRR チェビシェフ波長フィルタにおいて各損失を考慮し所望の3dB 波長帯域, FSR を得る設計手法について検討したので報告する．

2. 設計方法

本設計手法における一般的な MRR 波長フィルタの設計の流れとしては初めに理想的なフィルタ特性を示すディジタルフィルタを設計し，ディジタルフィルタの伝達関数と MRR の伝達関数より結合効率を求め, あらかじめ設計されたディジタルフィルタに MRR フィルタを一致させることで理想的な MRR 波長フィルタを設計する手法.

チェビシェフ関数を以下の式に示す.

$$G_N(\omega) = \frac{{g_0}^2}{1+\left\{\varepsilon C_N\left(\omega/\Delta\omega_c\right)\right\}^2} \qquad (1)$$

ここで，εはリプル係数，$\Delta\omega_c$は 3dB 遮断周波数，ωは角周波数，C_N はチェビシェフ多項式，g_0 は利得である．式(1)においてチェビシェフフィルタの設計を行う．その結果，チェビシェフフィルタにおける伝達関数は次の式で表される．

$$H_{N.chev}(z) = \frac{\sigma_N}{\left|\prod_{k=1}^{N}\left(1-p_k z^{-1}\right)\right|} \qquad (2)$$

ここで，p_k は極を表し，σ_N はフィルタの最大利得を表す．σ_N は次式で表される．

$$\sigma_N = \left|\prod_{k=1}^{N}\left(1-p_k\right)\right|^2 \qquad (3)$$

式(2)の伝達関数を用い，設計パラメータとして，FSR，共振波長λ_0，3dB 波長帯域$\Delta\lambda$，リプル係数εの 4 変数を定めることで所望のチェビシェフフィルタの設計が行える．4 次異径リングのモデル図を Fig. 1 に，設計パラメータ（FSR=35.23 nm, λ_0=1550 nm, $\Delta\lambda$=8 nm, ε=0.25）と設定した設計結果を Fig. 2 に示す．バタワースフィルタに比べより箱形化されたフィルタ特性が得られ優位性が確認できる．ただし，同条件でのバタワースフィルタより挿入損失がやや増加したため, 損失を低減させるパラメータの検討が必要である．

謝辞　本研究の一部は，科研費・基盤研究(B)(18H01897)の補助を受けた．

参考文献

[1] B. E. Little, *et al.*, J. Lightw. Technol., 15, 6 (1997).
[2] C. Madsen *et. al.*, John Wiley & Sons, Inc. (1999).
[3]小松原拓也 応用物理学会秋季講演会, 7p-C14-7 (2017).

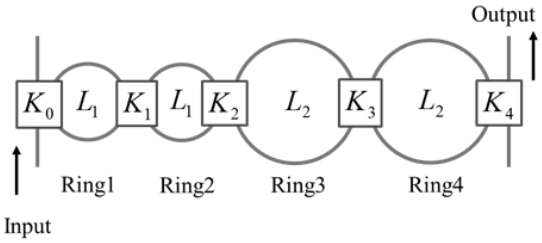

Fig.1. Schematic calculation model for 4th order series-coupled microring resonator (MRR) filter.

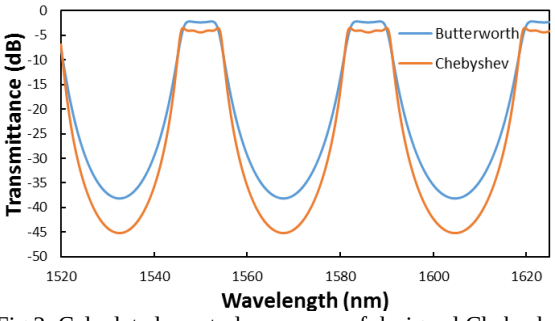

Fig.2. Calculated spectral responses of designed Chebyshev and Butterworth filters.