

КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Балакирев М.В.

(Научный руководитель — к.т.н., доц. Богомолов Н.Ф.)

Целью данной работы является актуализация темы дальнейшего развития вычислительной техники в XXI столетии. В данном случае будут освещены базовые принципы и понятия, касающиеся реализации простейших логических элементов вычислительной техники в виде устройств, которые используют различные оптические явления.

Сегодня спрос на высокую пропускную способность устройств быстро увеличивается, а электронные устройства достигают своего теоретического потолка. Главная цель полнооптической обработки сигнала все еще не достигнута. В обработке оптических сигналов цифровые вентили имеют также громоздкие устройства электрооптического преобразования, а для создания полнооптической системы, необходимо, чтобы все компоненты, которые используются в цифровых устройствах и сетях были оптическими элементами. Вентили являются ключевыми элементами для реализации полнооптических логических функций, а в следствии устройств. Целесообразно разрабатывать оптический компонент с некоторыми вентилями, построенными по одной технологии для упрощения конструкции и обеспечения быстродействия (например, сверхбыстрые нелинейные интерферометры (UNI), SOA (полупроводниковые оптические усилители), высоконелинейное волокно (HNLF)). Для проектирования оптических вентилях необходимо реализовать нелинейную среду, которая модулирует сигнал для получения желаемых результатов. Нелинейность может генерироваться различными способами, например, с использованием нелинейного кольцевого зеркала, нелинейного волокна, фотонного кристалла, фильтра, акустической волны или полупроводникового оптического усилителя. Поэтому есть много исследований, на тему реализации полностью оптических систем обработки сигналов, которые уже обсуждались в различных работах.

Полнооптический вентиль

Полнооптические вентили разделены на две основные группы. Одна группа построена на базе SOA, а другая SOA не использует. В первой части будут представлены варианты исполнения полнооптических вентилях без SOA с использованием длины волокна, волноводов, фильтров, и переменного показателя преломления оптического волновода. Вентили, построенные с использованием SOA, обсуждаются во второй части. На рис. 1 дана классификация полнооптических вентилях.

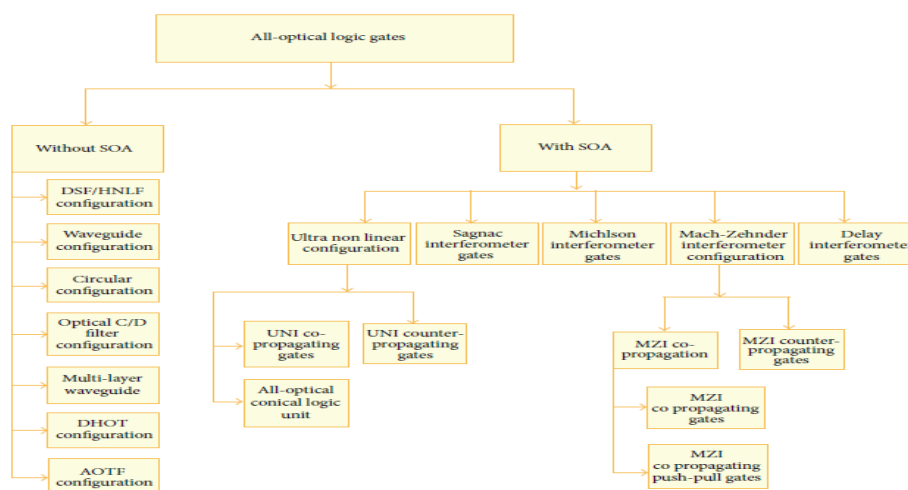


Рис. 1 Классификация полнооптических вентиляей

Полнооптический вентиль без SOA.

Нелинейность в кремневом волокне возникает из-за нелинейного показателя преломления. Изменение нелинейного показателя преломления вызывает интенсивность зависящую от фазы оптического поля. Эффект нелинейного взаимодействия между двумя встречными сигналами в волокне может быть выражен изменением электрического поля на одном из сигналов, вызванных другим после распространения через некоторое расстояние в волокне. Коэффициент преломления кремниевой среды зависящий от интенсивности дает три эффекта, самофазная модуляция (SPM), модуляция с перекрестным усилением (XGM) и четвертьволновое перемешивание (FWM). На рис. 2 сравнение вентиляей без SOA.

Полнооптические вентили с SOA.

На этом этапе логические вентили снова можно разделить на несколько групп. В соответствии с интерференционными методами, такими как ультравысоконелинейная интерференция (UNI), интерферометр Саньяка (SI), Интерферометр Майкельсона (MI), интерферометр Маха-Цандера (MZI) и интерферометра задержки (DI) для реализации нелинейности в SOA. На рис. 3 дано сравнение вентиляей с SOA.

Reported gates category	Reported gates	Contrast ratio/extinction ratio	Operating speed	Modulation type	Nonlinear element	Polarization sensitivity	Integration capacity
HNLF/DSF	XOR/OR/NOT/AND/NXOR/NOR/XNOR	20/24.25/30/1 6.5 dB	40 G/10 Gb/s	FWM/XPM/SPM/NPR	DSF/HNLF-DSF/DSF	More	Bad
Waveguide configuration	XOR/NOR/NOT/NAND/AND	30/20 dB	40 G/100 Mb/s	FWM/TEA	FP Chip/waveguide	More	Moderate
Circulator	NOR/NOT	—	10 Gb/s	Gain modulation	FP-LD	More	Moderate
Optical channel-Dropping filter	AND/OR	—	—	Dark-bright solitons	OCDF	No	Moderate
Multibranch waveguide	AND/OR	—	—	Localized optical non-linearity	Multibranch non-linear media	More	Compact
Double heterostructure optical thyristor	AND/OR	50 dB	—	—	VCL-DOT	No	Compact
AOTF	AND/OR	—	300 Gb/s	SPM	AOTF	More	Compact

Рис. 2 Сравнение вентиляей без SOA

Reported gates category	Reported gates	Extinction ratio (dB)	Operating speed (Gb/s)	Modulation type	Nonlinear element	Polarization sensitivity	Integration capacity
UNI copropagating	XOR/AND/NOR/OR/NOT/XNOR/NAND	8/10/11	5/10/20/40	XGM, FWM	SOA	More	Compact
UNI counterpropagating	AND/NOR/OR/XNOR	6.5	10	XGM, FWM	SOA	More	Compact
Sagnac interferometer	XOR/NOT/AND/OR	21.12/14.7/22	10/40/100	XGM	SOA	No	Moderate
Michelson Interferometer	XOR	11	10	XGM	SOA	No	Compact
MZI configuration	XOR/XNOR/AND/NAND/OR/NOR	15/18/30	10/20/40/80	XGM, XPM	SOA	No	Compact
MZI Push-pull Configuration	XOR/OR	7.8/11/12	10/20/40	XGM, XPM	SOA	No	Moderate
MZI counter Propagating	XOR/NOR/XNOR	8/9.22/30	10/40	XGM, XPM	SOA	No	Compact
DI configuration	OR/NOR/XOR	13.9	40	XGM, XPM	SOA	No	Moderate

Рис. 3 Сравнение вентилей с SOA

На сегодняшний день направление полнооптических вычислительных систем стремительно развивается. Обилие технологий реализации тех или иных логических устройств свидетельствует о бурной работе в этом направлении. Особенно перспективным направлением являются системы использующие SOA и, возможно, в ближайшие десятилетия мы увидим практическую реализацию стабильных и продуктивных вычислительных машин на базе оптических технологий.

Литература

1. Bogoni, L. Pot, R. Proietti, G. Meloni, F. Ponzini, and P. Ghelfi, "Regenerative and reconfigurable all-optical logic gates for ultra-fast applications," *Electronics Letters*, vol. 41, no. 7, pp. 435–436, 2005.
2. Liu, H. Cai, X. M. Zhang, J. Tamil, Q. X. Zhang, and A. Q. Liut, "MEMS optical logic nor gate using integrated tunable laser," in *Proceedings of the IEEE 22nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS '09)*, pp. 971–974, Sorrento, Italy, 2009.
3. Glesk, R. J. Runser, and P. R. Prucnal, "New generation of devices for all-optical communications," *Acta Physica Slovaca*, vol. 51, no. 2, pp. 151–162, 2001.
4. Pallavi Singh, Devendra Kr. Tripathi, Shikha Jaiswal, and H. K. Dixit, "All-Optical Logic Gate Designs, Classification, and Comparison" *Advances in Optical Technologies*, vol. 2014