

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ ЕЛЕКТРООПТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Кайдан М.В., Андрущак В.С.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

E-mail: kaidan\_k@mail.ru, volodya1andrushchak@gmail.com

### The Estimation Parameter of Energy Efficiency for Optical Transport Network with Using Electro-Optic Devices

In work presented the influence electro-optic coefficient of modulator on energy efficiency of optical transport network. Estimation parameter of energy efficiency was performed on development mathematical and simulation model.

Оптичні модулятори і комутатори визначають енергоспоживання пристроїв DWDM рівня. Як було встановлено в нашій попередній роботі [1] – використання електрооптичного ефекту є кращим для оптичних модуляторів, а акустооптичної взаємодії для оптичних комутаторів.

Волоконнооптичні системи передачі інформації (ВОСПІ) зі швидкістю вище 10Гбіт/с вимагають використання зовнішніх модуляторів [2]. Відповідно об'єктом дослідження стали зовнішні електрооптичні модулятори за запропонованою архітектурою пристрою (див. рис.1).

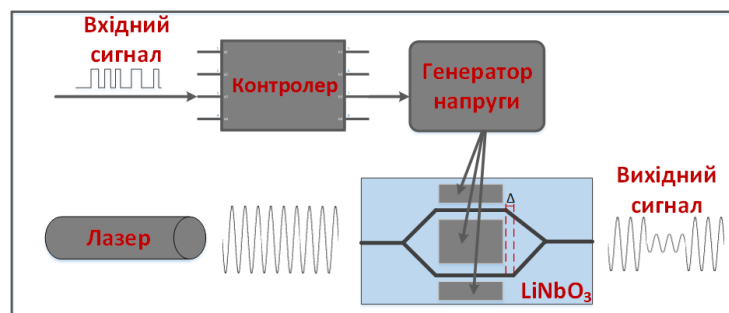


Рис.1 Структурна схема досліджуваного електрооптичного модулятора.

Контролер (процесор) здійснює управління даним модулятором і керуванням роботи генератором напруги. В залежності від значень вхідного сигналу (послідовності 1 і 0) процесор відсилає необхідний сигнал управління генератору напруги. Останній в свою чергу здійснює безпосереднє прикладання керуючої напруги до кристалу ніобату літію.

Виходячи із структури даного електрооптичного модулятора розроблено математичну модель для визначення параметру енергоефективності:

$$P_{\text{mod}}(V) = P_{\text{proc}}(v) + P_{\text{genV}}(v) + P_{\text{cool}}(v), \quad (1)$$

де  $P_{\text{proc}}(v)$  – енергоспоживання контролера, яке визначається енергоспоживанням процесора,  $P_{\text{genV}}(v)$  – енергоспоживання генератора напруги,  $P_{\text{cool}}(v)$  – електроенергія, яка витрачається на охолодження модулятора.

Енергетичне споживання процесора визначається сумою енергоспоживання наступних елементів: арифметично логічним пристроєм (ALU), тактовим генератором, кешом і елементів пам'яті.

Енергоспоживання кожного з такого елемента визначається наступною формулою [3]:

$$P_{elem} = C \cdot V_{dd}^2 \cdot a \cdot f, \quad (2)$$

де  $C$  – агрегаційна ємність навантаження для кожного компонента,  $V_{dd}$  – робоча напруга,  $a$  – активність кожного елемента для кожного такту генератора ( $0 \leq a \leq 1$ ),  $f$  – тактова частота процесора.

Витрати електроенергії модулятора на його охолодження визначається:

$$P_{cool}(v) = k \cdot (P_{proc}(v) + P_{genV}(v)) \quad (3)$$

Як зазначено в роботі [4] при споживання мережевим пристроєм 1 Вт електроенергії витрачається до 1 Вт електроенергії на його охолодження. Відповідно в розробленій математичній моделі приймаємо параметр  $k$  в межах  $0,5 \leq k \leq 1$ .

Енергоспоживання генератора  $P_{genV}(v)$  визначається півхвильовою напругою, яка необхідна для досягнення електрооптичного ефекту:

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot n^3 \cdot r_{ij} \cdot L}, \quad (4)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі,  $d$  - товщина зразка,  $n$  - показник заломлення,  $r_{ij}$  - електрооптичний коефіцієнт,  $L$  - довжина кристала.

Відповідно енергетичне споживання генератора напруги визначається за наступною формулою (5):

$$P_{genV}(v) = \int I \cdot U_{manag}(t) dt, \quad (5)$$

де параметр  $U_{manag}$  змінюється в діапазоні  $0 < U_{manag} < U_{\lambda/2}$ .

Проведено моделювання для оцінки параметру енергоефективності для електрооптичного модулятора, вхідні дані для якого представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вхідні дані для моделювання

Параметр	Значення	Параметр	Значення
<b>Процесор</b>		<b>Параметри кристалу і генератора</b>	
Напруга, $U$	1,25 В	Показник заломлення, $n$	2,2378
Тактова частота, $f$	2,8ГГц	Довжина хвилі, $\lambda$	1555нм
Сукупна ємність навантаження (СЄН) ALU, $C_{ALU}$	310 пФ	Електрооптичний коефіцієнт, $r_{ij}$	$3,4 \cdot 10^{-12}$ м/В $39,7 \cdot 10^{-12}$ м/В
СЄН тактового генератора, $C_{clk}$	3330 пФ	Товщина зразка, $d$	13,4мм
СЄН кешу $C_C$	957пФ	Довжина зразка, $L$	18,5мм
СЄН кешу і шин $C_{mchl}$	0,088фФ	Значення струму генератора, $I$	60мА

Моделювання проведене в діапазоні швидкостей від 10 до 100Гбіт/с для двох значень електрооптичного коефіцієнту –  $r_{ij}=3,4 \cdot 10^{-12}$  м/В [5] і для знайденого значення в роботі [6] –  $r_{ij}=39,7 \cdot 10^{-12}$  м/В.

Як видно із графіків рис. 2 збільшення швидкості передачі призводить до лінійного зростання енергетичного споживання електрооптичного модулятора. Головний чином енергоспоживання процесора (зелена крива) збільшується при підвищенні швидкості передачі даних. Це пояснюється тим, що збільшення швидкості призводить до підвищення активності кожного елемента процесора, відповідно  $a \rightarrow 1$ . Слід зазначити, що енергоспоживання генератора напруги практично не змінюється при зміні швидкості передачі.

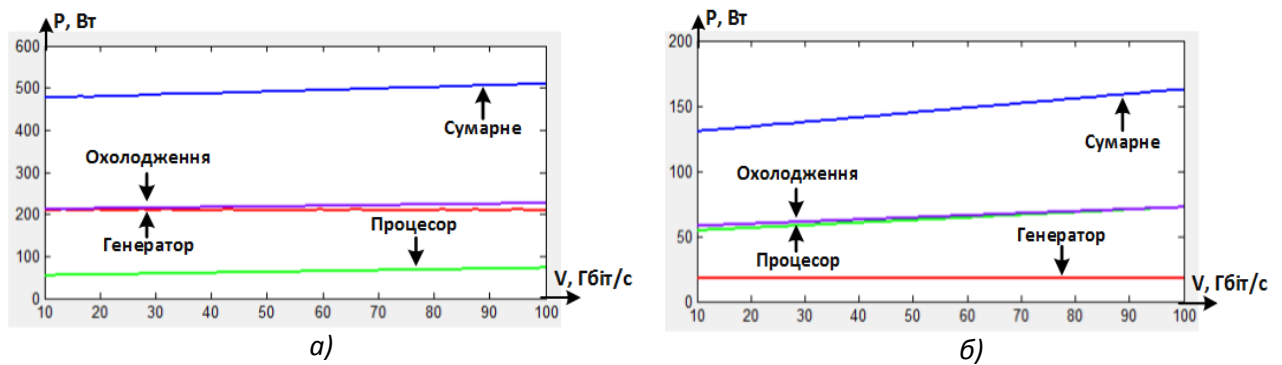


Рис. 2 Енергоспоживання електрооптичного модулятора і його компонентів в залежності від швидкості передачі даних при а)  $r_{ij}=3.4 \cdot 10^{-12}$  м/В б)  $r_{ij}=39.7 \cdot 10^{-12}$  м/В.

Таблиця 2. Результати моделювання.

Елемент модулятора	Енергоспоживання, Вт	Елемент модулятора	Енергоспоживання, Вт
$r_{ij}=3.4 \cdot 10^{-12}$ м/В, швидкість 10Гб/с		$r_{ij}=39.7 \cdot 10^{-12}$ м/В, швидкість 10Гб/с	
Генератор напруги	209,6	Генератор напруги	19,1
Сумарне	475,3	Сумарне	132,5
$r_{ij}=3.4 \cdot 10^{-12}$ м/В, швидкість 100Гб/с		$r_{ij}=39.7 \cdot 10^{-12}$ м/В, швидкість 100Гб/с	
Генератор напруги	210,5	Генератор напруги	18,9
Сумарне	509,2	Сумарне	164,5

Імітаційна модель дозволила встановити (див табл. 2), що збільшення швидкості передачі даних від 10 до 100Гбіт/с збільшило енергоспоживання процесора на 24,86%. Збільшення загального енергоспоживання відбулось на 33,9Вт (при  $r_{ij}=3.4 \cdot 10^{-12}$  м/В). Для електрооптичної комірки з параметром  $r_{ij}=39.7 \cdot 10^{-12}$  м/В енергоспоживання процесора також збільшилось на 24,86%. Збільшення загального енергоспоживання відбулось на 32Вт.

Із проведених досліджень встановлено, що збільшення швидкості передачі не призвело до збільшення енергетичного споживання генератора напруги. Вибір орієнтації зразка в модуляторі з електрооптичним коефіцієнтом  $r_{ij}=39.7 \cdot 10^{-12}$  м/В, дав змогу отримати зменшення енергоспоживання модулятора на 67,7%, у порівнянні із прямим зрізом ( $r_{ij}=3.4 \cdot 10^{-12}$  м/В).

### Література

1. М. Кайдан, В. Андрущак. Модель Розрахунку Енергоефективності для Електро- та Акустооптичних Пристроїв у Оптичній Транспортній мережі. In Proceeding of the I International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015) с.171-174.
2. Г.В. Колодезная. Оптические системы передачи. Учебное пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 99с.
3. Franklin, Mark A., and Tilman Wolf. "Power considerations in network processor design." *Network Processor Design: Issues and Practices 2* (2003): 29-50.
4. F. Idzikowski. Power consumption of network elements in IP over WDM network. TKN technical Reports Series – Berlin. – 2009.
5. П.С.Лопатина, В.В.Криштоп. “Електрооптический модулятор для волоконно-оптических линий связи”. Изв.Вузov.Приборостроение. – 2009. - Т.52. - №12. – с.67-71.
6. Andrushchak A.S., Mytsyk B.G., Demyanyshyn N.M., Kaidan M.V., Yurkevych O.V., Dumych S.S., Kityk A.V., Schranz W. Spatial anisotropy of linear electro-optic effect for crystal materials : II. Indicative surfaces as efficient tool for electro-optic coupling optimization // Optics & Lasers in Engineering.– 2009.–V.47, N.1. – P.24-30.