

Model izrade optičkih logičkih vrata

A model of making optical logic gates

Siniša Kovačević¹, Matko Zrnić²

¹Veleučilište u Virovitici, Matije Gupca 78, Virovitica, Hrvatska, sinisa.kovacevic@vuv.hr

²Veleučilište u Virovitici, Matije Gupca 78, Virovitica, Hrvatska, matko.zrnic@vuv.hr

Sažetak

U ovom radu prikazan je konceptualni model izrade optičkih logičkih vrata koji se temelji na uporabi svjetlosnog snopa i pojavi interferencije. Model koristi konstruktivnu i destruktivnu interferenciju za realizaciju binarnih stanja, pri čemu konstruktivna interferencija predstavlja logičku jedinicu (1), a destruktivna logičku nulu (0). Uz opis principa optičke interferencije, predložen je i koncept implementacije difraktivnih elemenata čija je funkcija usmjeravanje svjetlosnih zraka prema zajedničkim točkama interferencije. Na taj se način ostvaruje mogućnost realizacije osnovnih logičkih funkcija svjetlosnim putem, što predstavlja temelj za daljnji razvoj optičkih i fotonskih logičkih sustava.

Ključne riječi

optička logička vrata, konstruktivna i destruktivna interferencija, svjetlosni snop, difraktivni elementi, optička logika

Abstract

In this paper, a conceptual model of manufacturing optical logic gates is presented, which is based on the use of a light beam and the phenomenon of interference. The model uses constructive and destructive interference to realize binary states, where constructive interference stands for a logical one (1), and destructive interference stands for a logical zero (0). Along with the description of the principle of optical interference, the concept of implementation of diffractive elements whose function is to direct light rays towards common points of interference was also proposed. In this way, the possibility of realizing basic logic functions through the light path is realized, which represent the basis for the further development of optical and photonic logic systems.

Keywords

optical logic gate, constructive and destructive interference, light beam, diffractive elements, optical logic

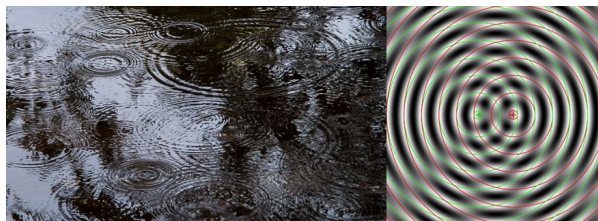
Uvod

U ovom radu biti će opisan konceptualni model izrade logičkih vrata pomoću svjetlosnog snopa odnosno primjenom pojave konstruktivne i destruktivne interferencije. Uvjetno rečeno konstruktivna interferencija trebala bi prezentirati binarnu jedinicu a destruktivna binarnu nulu. Osim korištenja metoda optičke interferencije, u radu je dan predložak implementacije difraktivnih elemenata koji bi „usmjeravali“ zrake prema zajedničkim točkama koje bi onda činile ili konstruktivnu ili destruktivnu interferenciju.

1. Interferencija svjetlosnih valova

Interferenciju možemo opisati kao međusobno djelovanje valova koji u isto vrijeme prolaze kroz neki prostor. Interferencija nastaje kada se dva ili više valova susretnu i preklope. Najbolji primjer interferencije valova je pojava na vodi, slika 1.

SLIKA 1: INTERFERENCIJA DVA VALA



Izvor: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/00032329-8067-4561-8260-18f27db1731f/interferencija-i-ogib-valova.html>; https://hr.wikipedia.org/wiki/Interferencija_valova

Ova pojava naziva se superpozicija – zbrajanje valova koji se susretnu u jednoj točki prostora stvarajući novi, rezultatni val. Prema načelu superpozicije, ukupni pomak čestice u sredstvu jednak je zbroju pojedinačnih pomaka koje proizvodi svaki od valova. Da bi u prostoru postojala stabilna interferencijska slika, izvori moraju biti koherentni, što znači da valovi moraju imati jednaku valnu duljinu i stalnu razliku faze ϕ , a time i razliku hoda δ . Razlika hoda je razlika duljina putova koje dva vala prijeđu od izvora do određene točke, a s razlikom faze povezana je odgovarajućim izrazom.

$$\delta = r_1 - r_2 \quad (1)$$

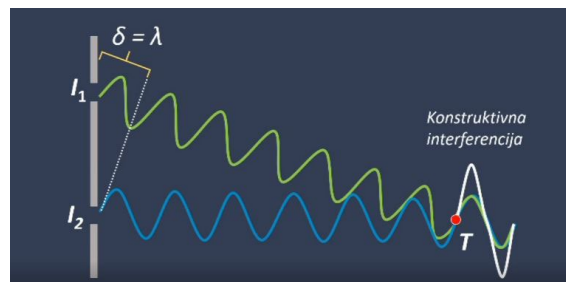
Razlika u fazi valova je s razlikom putova povezana na način

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta \quad (2)$$

Razlika u putovima koje valovi prijeđu određuje hoće li se u određenoj točki pojaviti konstruktivna ili destruktivna interferencija. Dobiveni val može imati veću ili manju amplitudu u odnosu na pojedine valove koji se preklapaju. Kada se dva ili više valova susretnu, ishod njihove interferencije – pojačanje ili poništavanje – ovisi upravo o toj razlici putova. [1].

Kada je razlika putova jednaka cijelom broju valnih duljina, koherentni valovi koji iz izvora I1 i I2 izlaze u fazi stižu u točku T također u fazi, pa dolazi do konstruktivne interferencije. Drugim riječima, podudaraju se bregovi oba vala ili njihovi dno, kao i sve druge točke jednake faze. Amplituda dobivenog vala tada se povećava jer se amplitude ulaznih valova zbrajaju, pri čemu interferirajući valovi ne moraju imati jednaku amplitudu [1]. Konstruktivna interferencija prikazana je na slici 2.

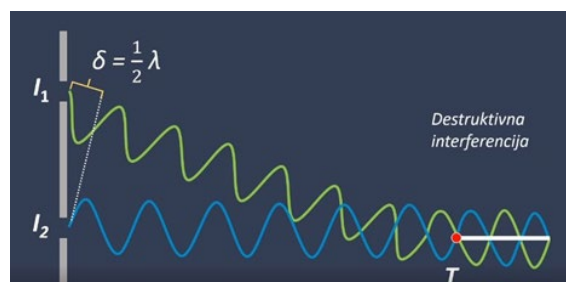
SLIKA 2: KONSTRUKTIVNA INTERFERENCIJA



Izvor: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/1872721/interferencija-svjetlosti.html>

Ako je razlika putova jednaka neparnom broju polovina valne duljine, valovi u točku T stižu u protu fazi i tada nastaje destruktivna interferencija. Tada se brijeg jednog vala podudara s dolom drugog vala, kao i sve točke suprotnih faza. Posljedica destruktivne interferencije je smanjenje amplitude proizvedenog vala, a ako su valovi istih amplituda, ta se amplituda može potpuno poništiti. [1]. Destruktivna interferencija prikazana je na slici 3.

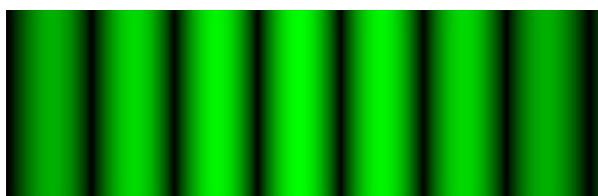
SLIKA 3: DESTRUKTIVNA INTERFERENCIJA



Izvor: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/1872721/interferencija-svjetlosti.html>

Ukratko, interferencija nastaje kada se dva ili više valova svjetlosti susretnu i preklape. Kada se svjetlosni valovi preklapaju, oni se mogu pojačavati ili oslabljivati, ovisno o fazama. Kada su valovi u fazi onda se vrhovi i dna valova poklapaju i nastaje konstruktivna interferencija, što rezultira jačim svjetlosnim intenzitetom. A ako su valovi izvan faze tada su njihovi vrhovi i dna suprotno usklađeni te dolazi do destruktivne interferencije, gdje se valovi međusobno poništavaju i rezultat je slabije ili čak potpuno odsustvo svjetlosti na određenim mjestima. Efekti interferencije svjetlosti vidljivi su na slici 4, gdje se pojavljuju svijetle i tamne, tzv. interferencijske pruge. Svijetle pruge nastaju zbog konstruktivne interferencije i u ovom primjeru imaju zelenu boju koja ovisi o valnoj duljini korištene svjetlosti, dok tamne pruge nastaju zbog destruktivne interferencije [2].

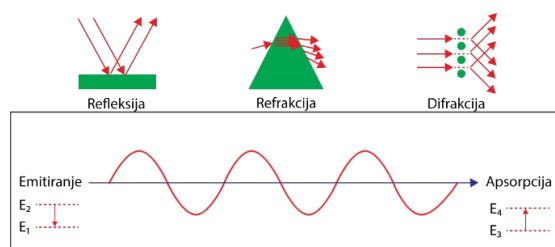
SLIKA 4: KONSTRUKTIVNA I DESTRUKTIVNA INTERFERENCIJA SVJETLOSTI KROZ REŠETKU S PROREZIMA



Izvor: <https://xmphysics.com/2023/01/02/10-4-3-white-light-interference-pattern-2/>

Konstruktivna interferencija stvara novi val koji je u fazi. Kod pojave destruktivne interferencije svjetlosti reflektirane iz dva izvora su izvan faze i elektromagnetski valovi poništavaju jedan drugog. Elektromagnetsko zračenje poput zraka svjetlosti ne može jednostavno nestati između emitiranja i apsorpcije. Zračenje se može reflektirati, refraktirati i difraktirati. No, sve dok nije apsorbirano, ukupna količina energije u elektromagnetskom valu ostaje nepromijenjena. I dok su procesi koji uključuju emisiju i apsorpciju uvijek kvantizirani, mehanizam prijenosa energije između ova dva događaja uvijek se ponaša kao čista i elastična valna pojava, bez primjetne kvantizacije u prostoru i vremenu, slika 5.

SLIKA 5: EMITIRANJE I APSORPCIJA ELEKTROMAGNETSKOG VALA



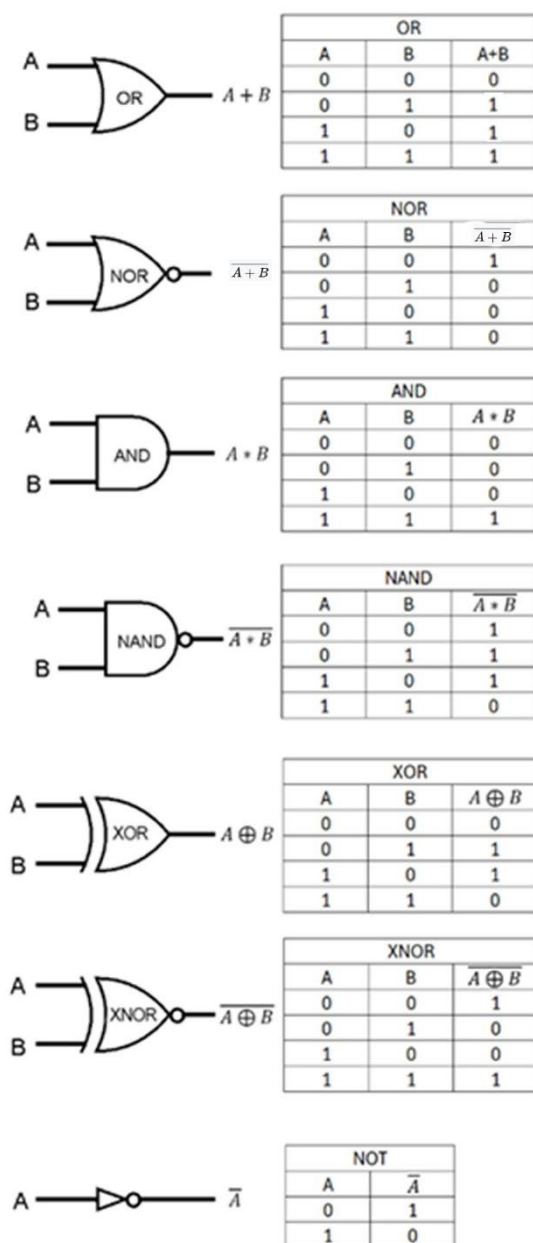
Izvor: autor

Osim refleksije i refrakcije, svjetlost pokazuje i svojstvo difrakcije, tj. savijanja vala zbog prepreke. Difrakcijski učinci posljedica su interferencije valova svjetlosti i postaju vidljivi kada je veličina prepreke usporediva s valnom duljinom vala. Ako se dva vala iste valne duljine i iz istog izvora zbog difrakcije saviju i dalje šire istim prostorom, s jednakim amplitudama i frekvencijama, ali s određenim faznim pomakom, tada su ispunjeni uvjeti za interferenciju. Ovisno o razlici faze, na nekim će se mjestima valovi pojačavati, a na drugima poništavati, što rezultira većom ili manjom amplitudom proizvedenog vala (Sajko, 2008:4).

2. Logička vrata predstavljena razinom napona - tranzistor kao sklopa

Kako bi razumijevanje za izradu modela logičkih vrata optičkom interferencijom bilo jasnije potrebno je poznavati standardna logička vrata koja se dugi niz godina koriste te nalaze široku primjenu u modernoj elektronici gdje su logička vrata predstavljena sa tranzistorima kao sklopkama. Na slici 6., prikazana su logička vrata korištena u digitalnim elektroničkim sklopovima.

SLIKA 6: LOGIČKA VRATA DIGITLNIH SKLOPOVA

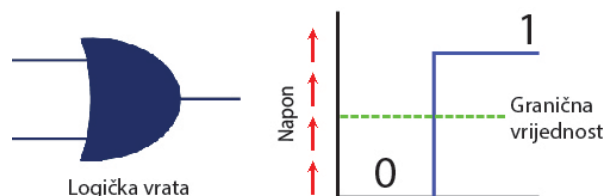


Izvor: Autor

Sva poznata logička vrata (I, ILI, itd.) imaju zajedničko svojstvo slanja vrijednosti istine (1) ili laži (0) na ulaze, obično predstavljene sa A i B, slika 6. Logička vrata primaju ulazne vrijednosti, obavljaju logičku operaciju nad njima, a zatim na izlaz šalju rezultat. Razne vrste logičkih vrata obrađuju ulazne vrijednosti na različite načine. Recimo da imamo logička vrata sa dva ulaza, A i B, sa dva različita stanja za svaki ulaz, to znači da postoji 4 različita moguća stanja ulaza. Primjer je operacija ILI. Jedino stanje u kojem ILI vrata rezultiraju izlaznom vrijednošću nula (0) je kada su oba ulaza u nuli (0). Ako jedan od ulaza ima vrijednost jedan (1), ili oba

ulaza imaju vrijednost jedan (1), izlaz će biti jedan (1). Logička vrata koje se koriste u elektronici koriste razine napona kako bi predstavile 0 i 1, koji su ili viši ili niži od granične vrijednosti, slika 7. [4].

SLIKA 7: LOGIČKA VRATA PREDSTAVljena RAZINOM NAPONA



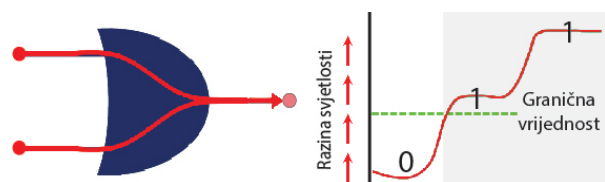
Izvor: Autor

3. Model izrade logičkih vrata svjetlosnom logikom

U modelu izrade logičkih vrata svjetlosnom odnosno optičkom logikom, primijeniti ćemo slično razmišljanje, gdje je intenzitet svjetla na ulazima ili na izlazu mjerilo za logičku vrijednost, dakle umjesto napona na ulazima i izlazu, koji može biti 0V ili +5V, propustit ćemo ili nećemo propustiti svjetlost.

Model izrade optičkih ILI vrata zasnovan je na svjetlosti koja je usmjerena na oba ulaza ka izlazu. Na izlazu se određuje jačina svjetlosti koja može biti ispod ili iznad granične vrijednosti. Ako je jačina svjetlosti iznad određene granične vrijednosti, izlaz će se smatrati da je u jedinici (1). Ako je jačina svjetlosti ispod granične vrijednosti, izlaz će se smatrati da je u nuli (0), slika 8.

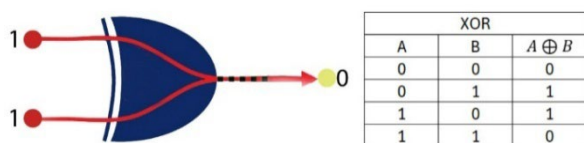
SLIKA 8: PROPUŠTANJE SVJETLOSTI NA ULAZIMA PREMA IZLAZU



Izvor: Autor

Model izrade optičkih vrata na ovaj način bio bi točan samo u slučaju da nema destruktivne interferencije, jer bismo u tom slučaju na izlazu dobili nulu (0) ako je na oba ulaza usmjerena svjetlost (1). Ovaj način odgovarao bi ekskluzivnim ILI vratima (XOR), slika 9.

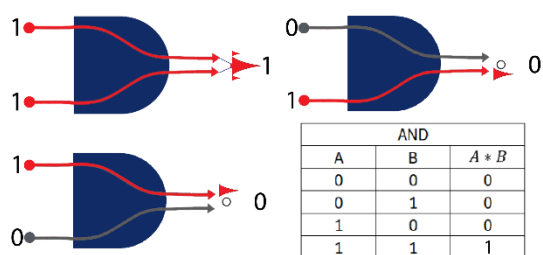
SLIKA 9: XOR VRATA SA PROPUŠTANJEM SVJETLOSTI



Izvor: Autor

Slično tome, vrata koja bi koristila konstruktivnu interferenciju odgovarala bi ILI vratima (AND) jer bi na izlazu bi davala vrijednost jedan (1), ako je svjetlost usmjerena na oba ulaza, slika 10.

SLIKA 10: AND VRATA SA PROPUŠTANJEM SVJETLOSTI

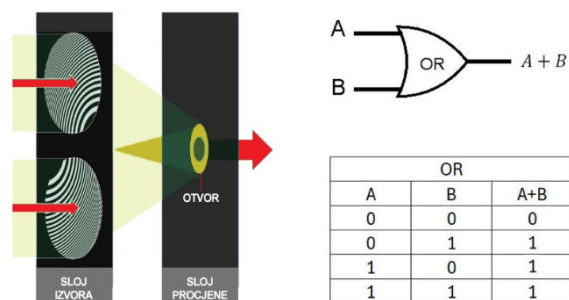


Izvor: Autor

U modelu optičkih vrata kao izvor svjetlosti može se koristiti koherentan, monokromatski snop, poput onoga koji emitira laser s diodom. Laser je uređaj koji proizvodi i pojačava koherentno, monokromatsko i usmjereno elektromagnetsko zračenje. Za laserski rad potrebno je da više atoma bude u pobuđenom nego u osnovnom stanju. Fotoni koje emitira laser imaju isti smjer, frekvenciju, polarizaciju i energiju. Rezultat je gotovo savršeno jednobojan i usko usmjeren snop velike gustoće energije. Za razliku od običnih izvora svjetlosti, poput žarulja, laserska svjetlost ima jednu valnu duljinu i putuje u uskom, koherentnom snopu – valovi su u istoj fazi i šire se u istom smjeru (Popović, 2021:33).

Svjetlosni snop bi se dijelio na dvije putanje A i B, koje se mogu pojedinačno uključiti ili isključiti. To bi se postiglo upotrebom dva optički aktivna sloja, sloj izvora gdje dolaze putanje A i B, i sloj procjene.

SLIKA 11: PRIKAZ MODELA OR VRATA PROPUŠTANJEM SVJETLOSTI KROZ DVA SLOJA

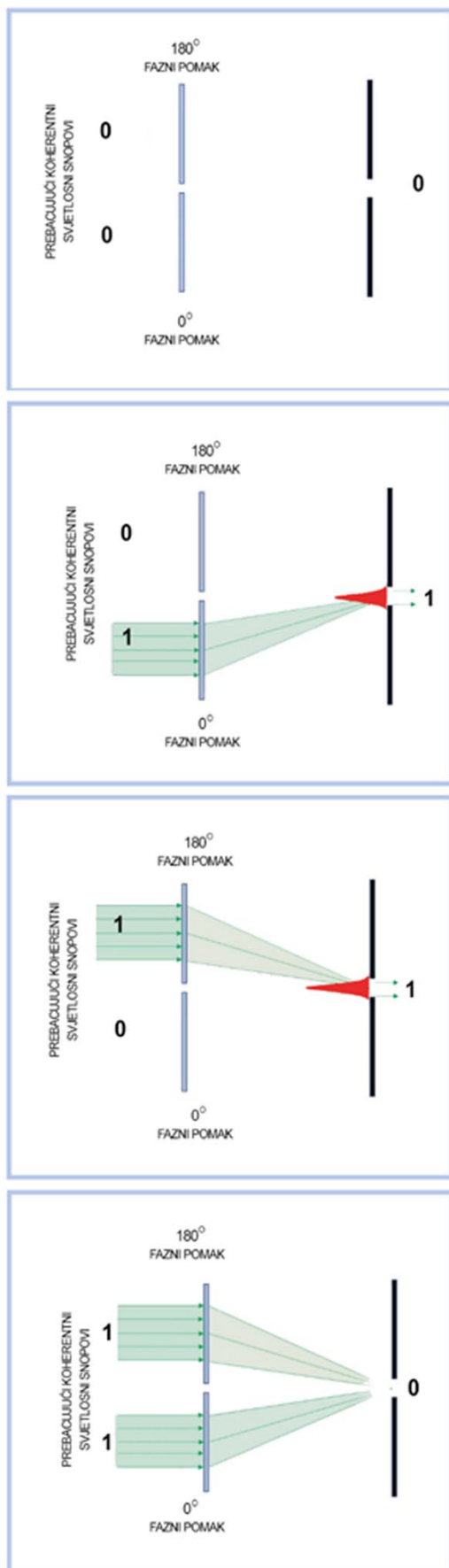


Izvor: Autor

Na izvornom sloju nalazili bi se optički elementi sa savinutim valom gdje bi se generirali obrasci koji bi se zatim evaluirali u sloju procjene. Sloj procjene bi zapravo djelovao kao jednostavan filter koji proizvodi izlaznu logičku vrijednost. Recimo da dva elementa sa valnim savijanjem koja služe kao ulazni signali A i B imaju usmjerenu svjetlost ka zajedničkoj točki, mjestu gdje se paralelne svjetlosne zrake susreću, i da su svjetlosne zrake sa oba elementa u fazi, nastati će konstruktivna interferencija. Dakle, ako postavimo otvor u zajedničkoj točki u sloju procjene, svjetlost će prolaziti kroz taj otvor za 3 različita ulazna stanja. Ako ulazi A i B ne prime svjetlost uopće, na izlazu neće biti svjetlosti odnosno rezultat vrijednosti će biti nula (0). Na ovaj način mogli bi konstruirati ILI vrata, slika 11.

Ako koristimo istu konfiguraciju i pomaknemo jedan od dva snopa za 180° izvan faze u odnosu na drugi snop, stvorit ćemo drugačiju vrstu logičkih vrata. U tom slučaju, svjetlost će prolaziti kroz sloj procjene samo kada je jedan od ulaznih signala uključen. Jer, ako su oba ulaza uključena, interferencija bi rezultirala nultim intenzitetom točno u centru zajedničke točke. Ovako bi mogla biti konstruirana ekskluzivna ILI (XOR) logička vrata, slika 12.

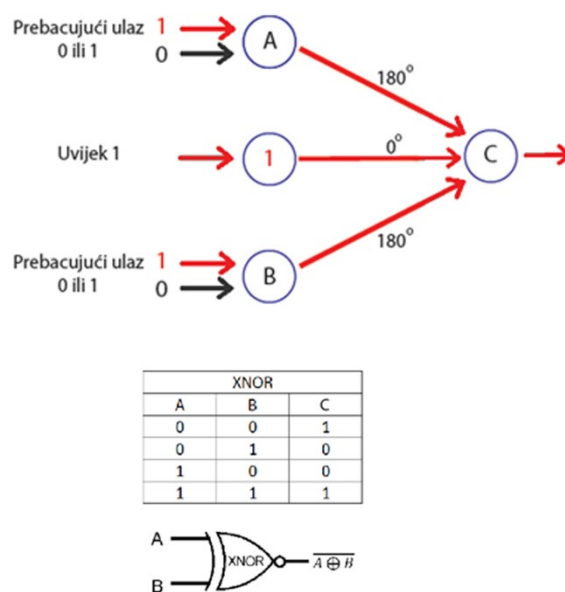
SLIKA 12: MODEL OPTIČKIH XOR VRATA



Izvor: Autor

Kada bismo uz postojeće ulaze A i B (dva elementa sa savijenim valom), kroz koje je usmjerena svjetlost, dodali još jedan ulaz na koji je također usmjerena svjetlost, taj ulaz bi trebao uvijek biti uključen odnosno u fazi (ne bi bio dio logičke evaluacije). Ako na izlazu kod dodanog novog elementa postavimo svjetlost da je izvan faze, dakle u okomitom odnosu na zajedničku točku, a u odnosu na dva transferirana ulaza, mogli bi realizirati ekskluzivna NOR vrata, slika 13.

SLIKA 13: MODEL OPTIČKIH XNOR VRATA

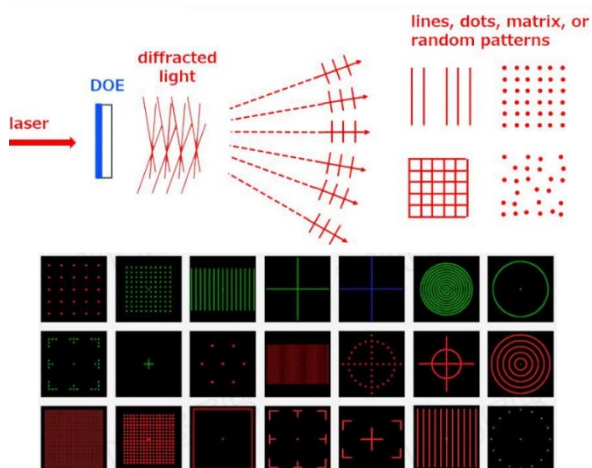


Izvor: Autor

Korištenjem principa interferencije mogli bi dizajnirati sve vrste logičkih vrata. Slijedeći korak bila bi izrada i testiranje uzoraka sa savijenim valom odnosno leća sa raspršenim valovima.

Optički elementi sa valnim savijanjem uglavnom se koriste za lasersko formiranje snopa, poput formiranja specifičnih obrazaca. Dizajn mikrostrukture se koristi za promjenu faze svjetla. Dizajn mikrostrukture površine optičkog elementa sa savijenim valom može napraviti izlaz bilo koje svjetlosti koja je u skladu sa dizajnom raspodjelom jačeg svjetla kada je specifična svjetlost ulazna [6]. Razne vrste obrazaca sa savijenim valovima prikazani su na slici 14.

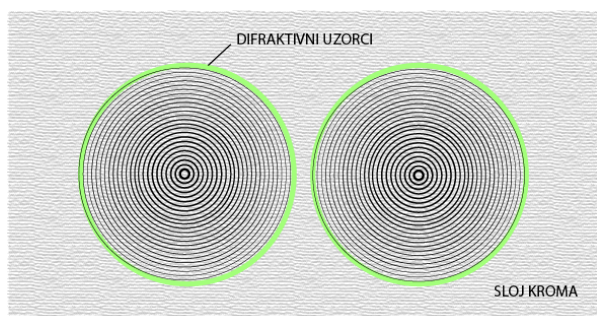
SLIKA 14: VRSTE DIFRAKTIVNIH OBRAZACA



Izvor: <https://www.s-laser.com/info/what-are-the-fields-of-applications-of-diffrac-51090773.html>

Uzorci sa savijenim valovima, slika 15., mogli bi biti izrađeni koristeći fotolitografiju kao metodu proizvodnje te pomoću uređaja za prenošenje uzoraka. U tradicionalnom načinu izrade, uređaj za prenošenje uzoraka prenosi uzorak na silicij. No mora li nužno biti korišten silicij u procesu izrade. Uzorci sa raspršenim valovima mogli bi biti utisnuti u tankom neprozirnom sloju kroma koji bi bili smješteni na vrhu kvarcnog sloja. Kvarcni sloj bi bio upotrijebljen iz razloga što kristalni kvarc (kristalni kvarc je osnovni element kvarcnog sloja) vibrira pod određenom frekvencijom [7]. Uzorci sa raširenim valovima ne moraju nužno biti u obliku kružnica, mogu biti kvadratni, pravokutni, itd. [8].

SLIKA 15: DIFRAKTIVNI UZORCI UTISNUTI NA TANKOM SLOJU KROMA

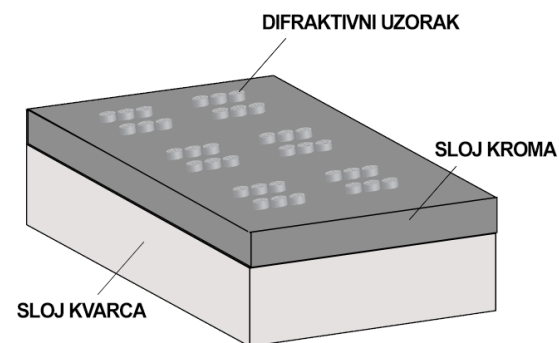


Izvor: Autor

Kroz male mikroskopske transparentne difraktivne uzorke koji bi bili utisnuti u tankom sloju kroma, prolazila bi svjetlost, slika 16. Difrakcija svjetlosti ili ogib se može objasniti Huygensovom načelom i valnom prirodom svjetlosti. Naime, valovi svjetlosti dolaskom do pukotine ogibaju se na rubovima te se

ovisno o razlici hoda pojačavaju ili poništavaju što rezultira svijetlim i tamnim prugama ogiba. Svijetle i tamne pruge te njihovu jakost moguće je detaljno analizirati pomoću difraktometra (Vlahović, 2022:1). Uzorci sa savijenim valovima trebali bi biti mali iz razloga što se svjetlost može uspješno difraktirati samo ako su karakteristike uzorka istog reda i veličine kao valna dužina svjetlosti.

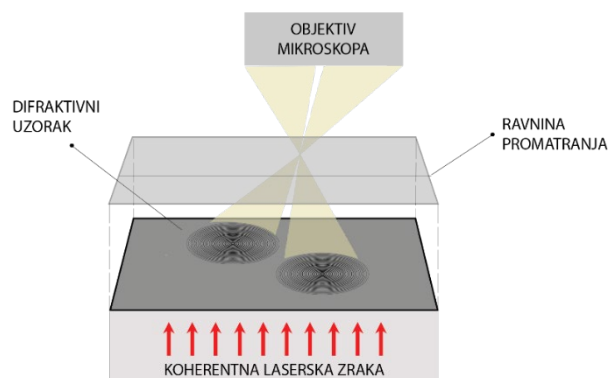
SLIKA 16: SLOJEVI KVARCA, KROMA I UTISNUTIH DIFRAKTIVNIH UZORAKA



Izvor: Autor

Zbog toga što bi difraktivni uzorci bili mali, potreban bi bio mikroskop sa vrlo plitkom dubinom fokusa za proučavanje razvoja svjetlosnog vala iza difraktivnog uzorka, slika 17. Promatrala bi se distribucija intenziteta svjetlosti prisutna u fokalnoj ravnini mikroskopa gdje se fokusiraju svjetlosne zrake kako bi se stvorila jasna slika difraktivnog uzorka koji se promatra [10]. Fokalnu ravninu mogli bi nazvati i ravninom promatranja koja bi se pomicala prema fokalnoj odnosno žarišnoj točki.

SLIKA 17: PROMATRANJE SVJETLOSTI MIKROSKOPOM

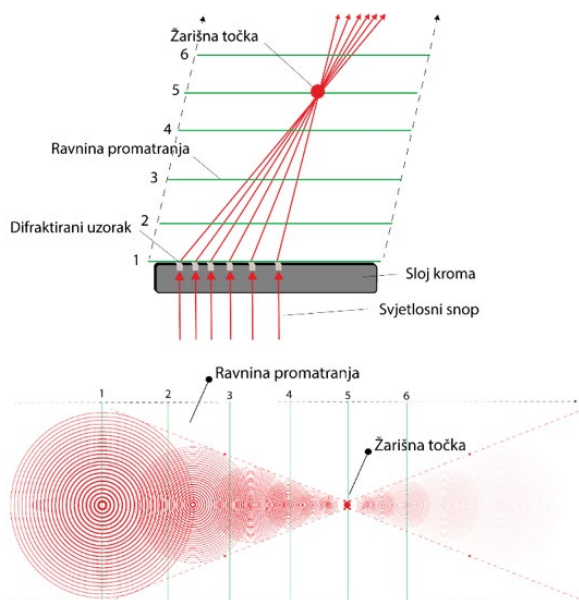


Izvor: Autor

Na slici 18. prikazan je difraktivni uzorak koji je u fokusu pod mikroskopom. Najmanja širina na uzorku bila bi široka svega nekoliko mikrona. Na broju 1, ravnina promatranja poravnata je sa utisnutim

uzorkom, pa je u fokusu. Svjetlost lasera prolazila bi kroz prozirne dijelove uzorka. Dok pomičemo ravninu promatranja dalje od difraktivnog uzorka, broj 2, 3, 4, valna fronta svjetlosti koncentrira se prema žarišnoj točki, broj 5, koja je u ovom slučaju uz samu površinu difraktivnog uzorka.

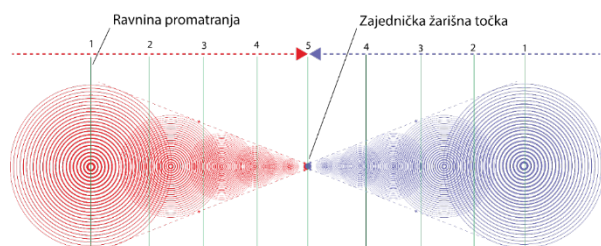
SLIKA 18: PROMATRANJE SVJETLOSTI KROZ DIFRAKTIVNI UZORAK



Izvor: Autor

Difraktivni uzorak prikazan na slici 18. predstavljao bi prvi ulaz za logički uređaj. Kada bi izradili još jedan ovakav identičan uzorak za drugi ulaz, koji bi bio točno na istoj udaljenosti od fokalne odnosno žarišne točke mogli bismo stvoriti konstruktivnu interferenciju. Zajednička žarišna točka bilo bi mjesto gdje je jačina svjetlosti najveća, odnosno mjesto gdje nastaje konstruktivna interferencija, prikazana slikom 19.

SLIKA 19: PRIKAZ ZAJEDNIČKE ŽARIŠNE TOČKE OD DVA DIFRAKTIVNA UZORKA

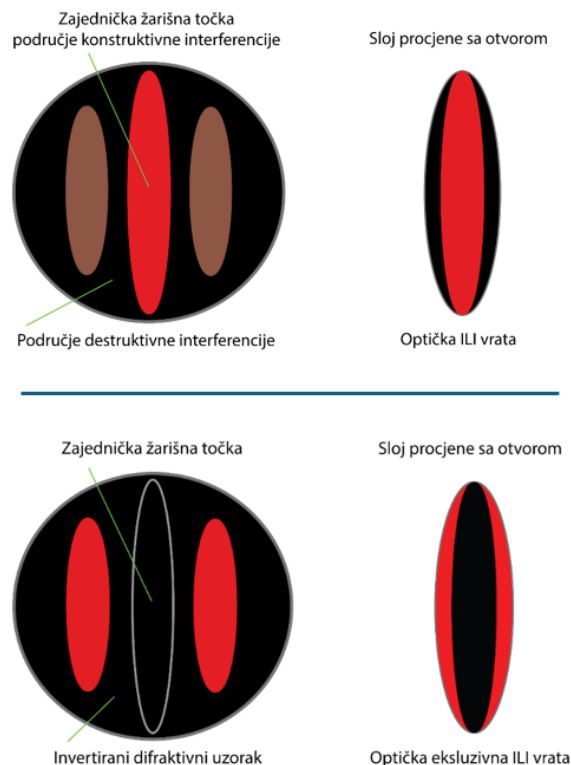


Izvor: Autor

Osim konstruktivne interferencije, u centru zajedničke žarišne točke, u tamnom području, mogli bi stvoriti i destruktivnu interferenciju, slika 20. U

središtu zajedničke žarišne točke bilo bi potrebno dodati sloj procjene i stvoriti otvor kako bi realizirali svjetlosna ILI vrata.

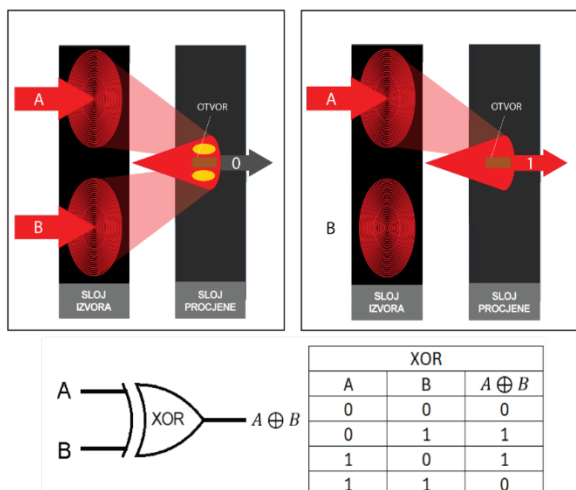
SLIKA 20: NASTAJANJE KONSTRUKTIVNE I DESTRUKTIVNE INTERFERENCIJE U ZAJEDNIČKOJ TOČKI



Izvor: Autor

Kada bi zamijenili jedan od ulaznih uzoraka s drugim, koji ima identičnu žarišnu udaljenost, ali koji svjetlost pomiče za 180 stupnjeva izvan faze, dva dijela uzorka stvorili bi tamnu liniju točno u središtu preklapljenih žarišnih točaka, slika 20. To bi postigli inverzijom difraktivnog uzorka (Lelas, 2009:17). Ako bismo koristili otvor u obliku proreza na sloju procjene, izlaz bi bio u isključenom stanju kada su oba ulaza uključena. Međutim, ako je samo jedan od ulaza osvijetljen, rezultat na izlazu će biti uključen, jer će se isti otvor nalaziti u središtu za svaku od dvije pojedinačne žarišne točke. Dakle, jednostavnom inverzijom faze na jednom od ulaza, vrlo lako bismo pretvorili ILI vrata u ekskluzivna ILI vrata, slika 21.

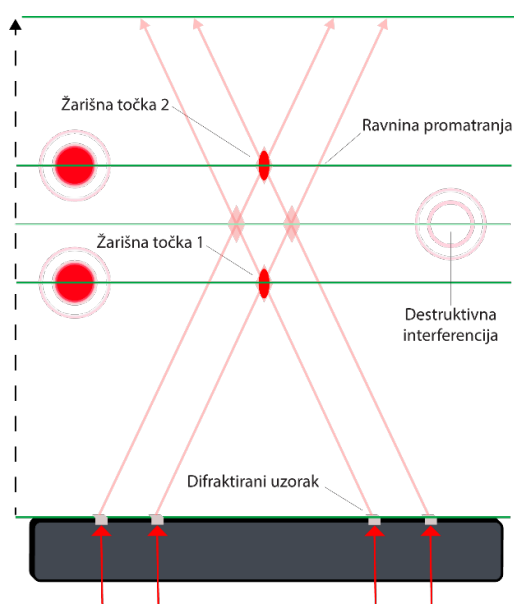
SLIKA 21: EKSLUZIVNA ILI VRATA IZVEDENA INVERZNIH UZORKOM



Izvor: Autor

Kod primjene spiralnih koncentričnih difraktivnih uzoraka, polovina površine uzoraka difraktirala bi svjetlost izvan faze u odnosu na drugu polovinu površine. Oba elementa izvan faze bili bi centrirana točno oko zajedničke žarišne tačke koji bi se u ovom slučaju nalazili jedna iznad druge a ne jedna pored druge. Na slici 22. vidimo pomicanje ravnine promatranja kroz žarišne tačke difraktivnih uzorka. Prva promatrana žarišna točka, točka bliže površini uzorka, stvara konstruktivnu interferenciju. Zatim promatramo prsten sa destruktivnom interferencijom u centru. Kako pomičemo ravninu promatranja dalje, promatramo drugu žarišnu točku, koja je točno iznad prve te stvara konstruktivnu interferenciju.

SLIKA 22: PROMATRANJE SVJETLOSTI KORISTEĆI UZORAK SA POLOVINOM IZVAN FAZE

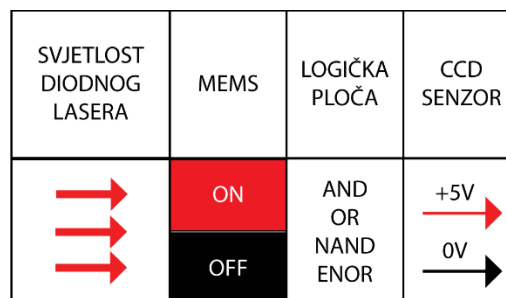


Izvor: Autor

4. Model izrade optičkog sklopa

Prikaz koncepta uređaja koji bi imao integrirana optička vrata koristeći optičku interferenciju **isključivo je zamišljeni model** koji osim optičke logičke ploče izvedene na gore opisan način koristi laser, MEMS optički preklopnik i CCD senzor.

SLIKA 23: MODEL OPTIČKOG SKLOPA



Izvor: Autor

Svjetlost diodnog lasera je koherentna svjetlost koja se emitira iz diodne laserske komponente. Diodni laser ima aktivni sloj poluvodičkog materijala napravljen od galij-arsenida. Kada se na laser primijeni električna struja, elektroni i rupe se ubrizgavaju u aktivni sloj. Elektroni se rekombiniraju s rupama, oslobađajući energiju u obliku fotona (svjetlosnih čestica). Svjetlost se reflektira između zrcala unutar diodnog lasera, uzrokujući pojačanje svjetlosti kroz stimuliranu emisiju. Pojačana svjetlost izlazi iz diodnog lasera kao koherentan i usmjeren snop.

MEMS optički preklopnik koristio bi sitna mikroskopska ogledala koja se mogu pomaknuti ili nagnuti pomoću elektrostatičkih, elektromagnetnih ili termalnih aktuatora.

Aktuatori bi kontrolirali pomicanje mikro ogledala te bi zatim optičkim vlaknima prenesli svjetlosni signal.

Temeljni princip rada optičke logičke ploče je interferencija svjetlosti, gdje se dva ili više svjetlosnih snopova kombiniraju kako bi formirali novi svjetlosni obrazac. Ovisno o fazi svjetlosnih valova, interferencija može biti konstruktivna (pojačavanje svjetlosti) ili destruktivna (gašenje svjetlosti). Svjetlost bi se provodila kroz optičke vodiče na logičkoj ploči, gdje bi se upravljalo njenim putem i fazom. Zatim bi detektori svjetlosti, poput foto dioda, koristili za očitavanje rezultata interferencijskih obrazaca koji predstavljaju izlazne logičke operacije.

CCD senzor detektirao bi svjetlost koja ulazi kroz leću i pada na površinu senzora. Svaka foto dioda na senzoru stvorila bi električne signale proporcionalne intenzitetu svjetlosti. Električni signali pomicali bi se kroz senzor do rubova čipa, gdje bi se izvršavala pretvorba u naponske signale.

5. Zaključak

U ovom radu prikazan je konceptualni model izrade logičkih vrata koji se temelji na primjeni optičke interferencije svjetlosti. Korištenjem konstruktivne i destruktivne interferencije moguće je ostvariti logičke funkcije koje u konvencionalnim elektroničkim sklopovima obavljaju tranzistori. Prikazano je da se pomoću difraktivnih optičkih elemenata svjetlosni snopovi mogu usmjeriti prema zajedničkim točkama u kojima nastaju interferencijski uzorci, čime se postižu različiti logički izlazi (npr. AND, OR, XOR, XNOR).

Predloženi model, iako konceptualan, pokazuje da je izvedivo ostvariti logičke operacije isključivo svjetlosnim putem, bez upotrebe elektroničkih komponenti. Na taj se način otvara mogućnost razvoja fotoničkih logičkih sustava koji bi mogli nadmašiti ograničenja klasične CMOS tehnologije u pogledu brzine, potrošnje energije i toplinskih gubitaka.

Daljnji razvoj ovakvih sustava mogao bi uključivati eksperimentalnu izradu i testiranje difraktivnih uzoraka, optimizaciju faznih odnosa svjetlosnih snopova te integraciju s MEMS komponentama i CCD senzorima za precizno upravljanje i detekciju svjetlosnih signala. Takav pristup predstavlja korak prema realizaciji optičkih procesora i računalnih sustava nove generacije, temeljenih na fotoničkim principima.

Literatura

- [1] Brlečić, M. (2022): Nastavni pristup interferenciji svjetlosti (str. 2-3). Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:561915>
- [2] Dujak, D., Đekić, M. (2021): Fizika, termodinamika, optika, atomska i nuklearna fizika. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu (str. 102)
https://fizika.pmf.unsa.ba/wp-content/uploads/2021/06/Fizika_cijela-knjiga-compressed.pdf
- [3] Sajko, R. (2008): Postupci ostvarivanja globalnog osvjetljenja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
<https://www.zemris.fer.hr/predmeti/irg/Zavrzni/08Sajko/dl.html>
- [4] Lamza, S. (2010): Modeliranje mikroprocesorskih sustava i programske veze sa sustavom udaljenog laboratorija u razvojnom paketu proteus, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Studij elektrotehnike (str 18.)
https://mikrokontroleri.weebly.com/uploads/6/1/6/5/616571/zavrzni_rad_sl.pdf
- [5] Popović, L. (2021): Zakretanje ravnine polarizacije svjetlosti pomoću Faradayevog efekta. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:855588>
- [6] Elite - Laser Solution Provider, Članak (2020): Koja su polja primjene difraktivnog optičkog elementa (DOE) laserskog modula?
<http://ba.elitemodule.com/info/what-are-the-fields-of-applications-of-diffrac-51286811.html>
- [7] Wikipedia, Kvarcni oscilator:
https://hr.wikipedia.org/wiki/Kvarcni_oscilator
- [8] LightTrans (2020): Diffraction Patterns behind Different Apertures
https://www.lighttrans.com/fileadmin/shared/UseCases/Application_UC_Diffraction%20Patterns%20behind%20Different%20Apertures.pdf
- [9] Vlahović, A. (2022): Izrada makete digitalnog difraktometra, Završni rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:286951>
- [10] Trnak, M. (2010): Elektronska mikroskopija, Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku
<https://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/TRN01.pdf>
- [11] Lelas, D. (2009): Fizika 2, Predavanje 8, Fizikalna optika
http://adria.fesb.hr/~zmiletic/Fizika%202/8.%20Fizikalna%20Optika/Fizika2_Razlikovni_Predavanje8.pdf