

Comunicatii optice securizate de mare capacitate prin spatiul liber, bazate pe holograme generate pe computer (HOLCOMM)

Etapa 1 Modele conceptuale pentru proiectarea componentelor necesare unui comunicator optic prin spatiu liber utilizand vortexuri optice

Cristian Kusko, Mihai Kusko, Dana Cristea, Adrian Dinescu, Roxana Tomescu

CO – Institutul National de Cercetare si Dezvoltare pentru Microtehnologii – Bucuresti

Florin Adrian Popescu

P1 – S. C. Optoelectronica 2001 S.A.

Mona Mihailescu

P2 – Universitatea Politehnica Bucuresti

Rezumatul fazei:

Obiectivul central a proiectului HOLCOM este de a realiza un sistem de comunicatii optice prin spatiu liber utilizand ca metoda de codare a informatiei configuratii speciale ale fasciculelor de lumina, aceste configuratii numindu-se vortexuri optice. Vortexurile optice se obtin din interactia unui fascicul Gaussian cu doua clase de elemente optice difractive care pot fi atat masti spirale de faza cat si holograme generate pe computer. Vortexurile optice prezinta proprietatea remarcabila ca transporta moment orbital – OAM (orbital angular momentum) care are valori de la $m=1$ pana la infinit. Utilizarea acestui grad de libertate ca metoda de codare a informatiei duce la o crestere dramatica, cu ordine de marime, a volumului de date transmis printr-o legatura de comunicatie in spatiul liber. In vederea realizarii unui sistem de comunicatii in spatiu liber bazat pe vortexuri este necesara realizarea anumitor cerinte stringente: i) realizarea de elemente optice difractive de calitate optica si implicit optimizarea proceselor de fabricatie ale acestora, ii) dezvoltarea de algoritmi de proiectare ale elementelor optice difractive care sa permita atat generarea si detectia vortexurilor optice, iii) proiectarea unui montaj experimental care sa permita superpozitia vortexurilor optice pe legatura de comunicatie, iv) dezvoltarea de metode numerice pentru investigarea propagarii vortexurilor optice in diferite medii si v) proiectarea de circuite electronice de inalta performanta care sa permita modularea vortexurilor optice.

Activitatile din aceasta faza au adresat aceste obiective: i) s-au optimizat procesele tehnologice – in special metoda litografiei cu fascicul de electroni si a fotolitografiei – in vederea realizarii de structuri test care prezinta caracteristici de masti spirale de faza; ii) s-au dezvoltat metode de proiectare a elementelor optice difractive pentru generarea si detectia vortexurilor optice; iii) s-au investigat experimental utilizand modulatori partiali de lumina (SLM – space light modulators) comportamentul vortexurilor optice iv) s-au proiectat si s-au investigat utilizand atat soft comercial cat si programe dezvoltate de catre consorțiu montaje experimentale pentru superpozitia vortexurilor optice pe legatura de comunicatie in spatiu liber si v) s-au proiectat circuite electronice de inalta frecventa pentru modularea diodelor laser si pentru fotodetectori. Rezultatele asteptate potrivit planului de activitati sunt: i) Flux tehnologic preliminar; ii) Proiecte structuri test; iii) Proiect setup experimental; iv) Proiect algoritmi codare; v) Proiect circuite electronice de comanda.

Aceste rezultate au fost obtinute astfel incat consorțiul considera ca obiectivele acestei etape au fost indeplinite astfel incat cercetarea poate continua cu etapa a doua a proiectului: **Realizarea de componente optice si electronice pentru un comunicator in spatiu liber bazat pe vortexuri optice:** In continuare se vor prezenta rezultatele obtinute in aceasta etapa potrivit Planului de realizare a proiectului - anexa II la contractul de finantare.

Activitate I.1: Teste preliminare EBL de fabricare a elementelor optice difractive binare multi-nivele si 3D (CO –IMT)

In aceasta activitate s-au efectuat experimentari tehnologice in vederea realizarii de elemente optice difractive care genereaza vortexuri optice. Scopul acestei activitati a fost de a stabili cu precizie parametrii de proces care sa permita fabricarea de masti de faza spirale care sa prezinte calitate optica.

Pentru a optimiza procesele de fabricare a elementelor difractive care genereaza vortexuri optice au fost realizate doua structuri test, iar ca metode de fabricare s-a utilizat atat litografia cu fascicul de electroni (EBL) cat si fotolitografia. Dupa realizare, aceste structuri test au fost caracterizate utilizand microscopia cu forte atomice (AFM), microscopia de baleiaj cu fascicul de electroni (SEM) si microscopul optic.

Prima structura test este compusa dintr-o masca de faza spirala (spiral phase mask) cu diferenta de faza de 2π intre nivelul cel mai de jos (representat cu negru in Fig. 1) si cel mai de sus (representat cu alb in Fig. 1). Aceasta structura prezinta 8 nivele si este realizata prin

litografie 3D cu fascicul de electroni. Diferenta dintre primul nivel si ultimul este $h = \frac{\lambda}{2n_0}$.

Astfel diferenta dintre doua nivele adiacente pentru cazul de functionare in reflexie, cu 8

nivele se calculeaza dupa relatia $\Delta h = \frac{1}{N} \cdot \frac{\lambda}{2n_0}$

unde N este numarul de nivele si n_0 este indicele de refractie al mediului exterior (in acest caz aer). Pentru $\lambda = 635$ nm inaltimea maxima este de aproximativ 320 nm, iar diferenta dintre 2 nivele este aprox. 40 nm. In Fig. 1 se poate vizualiza structura realizata.



Fig.1 Schema structurii spirale cu diferenta de faza de 2π care genereaza un vortex cu un numar orbital $OAM=1$

Pentru realizarea acestui element optic difractiv am optat pentru un electron rezist pozitiv - PMMA 35K - cu grosimea stratului depus prin centrifugare de aproximativ 500 nm. Structura este realizata dintr-un patrat cu latura de 1 cm impartit in 8 triunghiuri egale cu o adancime descrescatoare consecutiv. Expunerea este realizata cu ajutorului unui echipament RAITH e_Line. Dimensiunea expusa este determinata de doza de expunere, aceasta doza este energia fascicului de electroni necesara pentru a rupe legaturile unui electron rezist si are expresia:

$$Doza = \frac{I_p - t_c}{SSz^2}$$

Unde I_p este curentul fascicului, t_c este timpul de contact, iar SSz este dimensiunea pasului (distanța dintre spoturi). Curentul de fascicul depinde de tensiunea de accelerare si de

apertura. Pentru expunere s-au utilizat urmatorii parametri: tensiune de accelerare – 10 kV; curent de fascicul – 127 pA; Apertura – 30 μm ; distanta de lucru – 16 mm; camp de scriere – 1 mm^2 .

Pentru a obtine inaltimile necesare ca acest dispozitiv sa functioneze in reflexie trebuie facuta corectia de doza de expunere pentru PMMA. Astfel s-au realizat initial trei variante ale aceleasi structuri variind doza de expunere. Fig.2 reprezinta curba de contrast a PMMA 35 k pentru expunerea cu fascicul de electroni. Aceasta curba a fost obtinuta in urma masuratorilor AFM a celor trei structuri initiale.

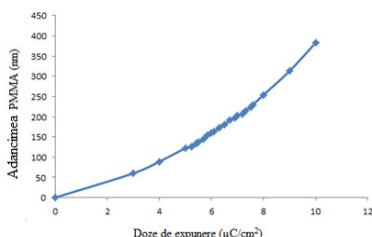


Fig. 2 Curba de contrast a PMMA 35 k.

A doua structura test este obtinuta prin fotolitografie. De aceasta data am utilizat tot un fotorezist pozitiv si anume HPR ce se depune prin centrifugare. Stratul depus este de aproximativ 1.4 μm . Expunerea la radiatie UV cu o lungime de unda de 405 nm se realizeaza cu ajutorul unei masti de faza. Energia utilizata la expunere este de aproximativ 12 mW/cm^2 , iar timpul de expunere este de 8s. Masca prin care s-a realizat expunerea este un film fotografic alb negru pe care se afla structura de mastii spirale de faza fotografiata in prealabil. S-a utilizat acest film transparent fotografic datorita rezolutiei foarte bune pe care o ofera, dar si din necesitatea de a obtine aceste structuri de vortex optic la un cost cat mai scazut.

In fig. 8 se poate observa imaginea mastii ce a fost printata pe o coala A4 de hartie obijnuita la o imprimanta cu o rezolutie de 600 x 600 DPI si apoi fotografiata pe un film fotografic alb-negru de 100 ASA. Filmul a fost apoi developat si utilizat ca masca in procesul de expunere la radiatie UV.



Fig. 3 Masca de faza utilizata pentru expunerea la UV in vederea obtinerii structurii de vortex optic.

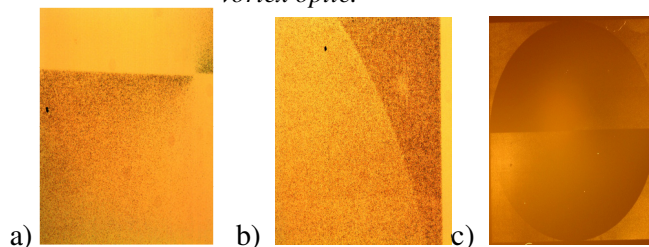


Fig. 4 Imaginea mastii de faza care genereaza vortexuri optice cu $\text{OAM}=2$ obtinuta prin expunere la UV si achizitionata cu un microscop optic: a) detaliu din centrul structurii; b) detaliu din marginea structurii. c) imagine de ansamblu a structurii.

In fig. 4 se pot observa imagini ale structurii achizitionate cu un microscop optic. Structura de pe filmul fotografic este redata foarte bine pe fotorezistul depus pe placheta de

siliciu. Totusi, datorita granulatiei filmului, structura nu este continua, ci punctiforma urmarind in exactitate textura masti. In fig. . 10 este redata o imagine de ansamblu a structurii pe placheta.

Datorita granulatiei filmului fotografic, acesta metoda nu este cea ideala pentru obtinerea unor masti de faza de calitate optica. Astfel, pentru structurile urmatoare se va investiga posibilitatea realizarii mastilor de faza pe gelatina cu o granulatatie mult mai fina.

Activitate I.2: Experimente tehnologice preliminare de corodare RIE de fabricare a elementelor optice difractive binare. (CO –IMT)

In aceasta activitate s-au efectuat teste tehnologice de corodare de tip reactive ion etching (RIE) in vederea realizarii de masti de faza de tip spirala in vederea obtinerii de vortexuri optice cu moment orbital bine controlat. S-a urmarit corodarea RIE a unor materiale transparente pentru a obtine elemente optice difractive care opreaza de transmisie. Ca material test s-a ales plexiglasul care prezinta un grad de transparenta ridicat si care se poate coroda utilizandu-se instalatie RIE prezenta in IMT. Structura test s-a obtinut prin corodarea unei plachete de plexiglas cu dimensiuni de 30x50 mm printr-o masca metalica de cupru in care s-au configurat mecanic ferestre dreptunghiulare cu dimensiuni de 2x10 mm. Parametrii de proces au fost urmatoarii: s-a utilizat o plasma de oxigen la o presiune de 30Pa in care debitul de oxigen a fost de 50 sccm (standard cubic centimeters per minute), puterea de radiofrecventa a fost 250 W, iar timpul de expunere al probei de plexiglas a fost de 5 minute.

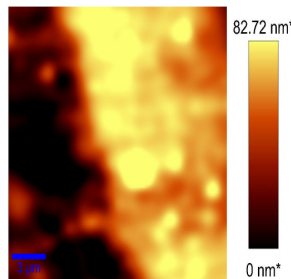


Fig. 5 Imaginea AFM a unei margini a domeniului corodat RIE intr-o proba de plexiglas.

O imagine tipica a topografiei probelor de plexiglas determinata prin microscopie de forta atomica este prezentata in Fig. 5, unde se poate distinge marginea domeniului corodat prin RIE. Cu toate ca adancimea de corodare este de aproximativ 80 nm, adancime compatibila cu cea necesara realizarii de elemente optice difractive, marginea domeniului corodat nu este foarte bine definita, prezentand o serie de neregularitati care o fac improprie pentru utilizarea acestuia la realizarea de elemente optice difractive de calitate optica. De asemenea rugozitatea relativ mare a suprafetelor corodate RIE indica ca improprie utilizarea acestei metode pentru realizarea DOE din plexiglas. Experimentari tehnologice pentru optimizarea acestei metode sunt in desfasurare, cu toate ca EBL si metoda fotolitografica prezentate anterior vor fi tehnologiile utilizate in etapa urmatoare pentru fabricarea de elemente optice difractive.

Activitate I.3: Caracterizarea structurilor test (SEM, AFM,WLI) (CO –IMT)

Aceasta activitate s-a desfasurat in paralel cu activitatea I.2 si a avut ca scop caracterizarea elementelor optice difractive obtinute si evaluare tehnologiilor utilizate in vederea realizarii acestora.

Structurile pe baza carora s-a calculat curba de contrast prin masuratori AFM se pot observa in Fig. 6.

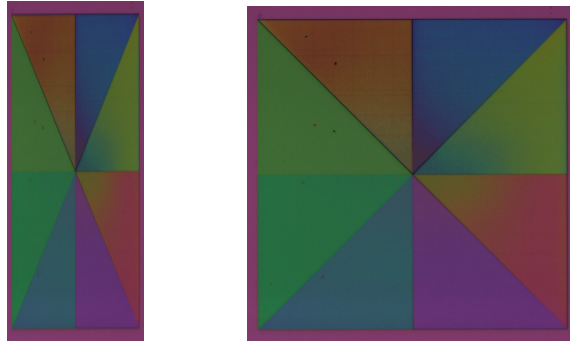


Fig.6 Imagine optica: a) imagine de ansamblu a probei; b) detaliu unei structuri.

In Fig. 7 se pot observa imaginile AFM ale celor trei structuri initiale cat si o imagine 3D a structuri in care se pot observa cele 8 nivele de adancime. Rezultatul obtinut prin caracterizarea SEM a acestor dispozitive se poate observa in fig . 5. Din aceste imagini se pot observa si o serie de defecte ce apar intre doua nivele consecutive sub forma unei linii neexpuse. Aceste defecte apar fie datorita unei usoare incarcari electrostatice a substratului, fie a unor efecte dinamice datorate vitezei mari de scriere impuse de sensibilitatea la electroni a materialului. Aceste defecte urmeaza a fi analizate in amanunt si diminuate in testele urmatoare.

Din primul set de adancimi obtinute am realizat corectia de doze in functie de inaltimea dorita pentru nivelele de PMMA, dar si corectia anumitor defecte ce apar in primul set de experimente. Urmatorul pas este acela de a caracteriza structurile obtinute in urma expunerii cu fascicul de electroni utilizand corectia de doze. In vederea caracterizarii s-au utilizat si in acest caz AFM si SEM. In Fig .6 se poate observa curba de contrast corectata obtinuta in urma masuratorilor AFM in timp ce in fig. .7 se pot vizualiza detalii ale structurii obtinute la SEM. Din imaginile SEM se poate observa o diminuare a defectelor inasa nu si eliminarea lor. Pentru a elimina aceste defecte in totalitate, pentru structurile viitoare, se va face o investigare amanuntita a acestora.

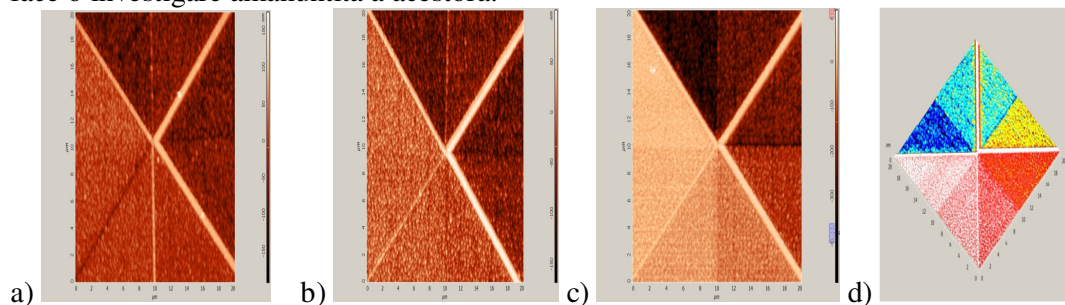


Fig.7 Imagini AFM: a) primul set de doze de expunere; b) setul doi de doze de expunere; c) setul trei de doze de expunere; d) Imagine 3D a structurii obtinute utilizand setul trei de doze.

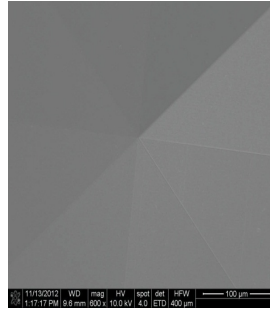


Fig. 8 Imagini SEM a structurii obtinuta dupa primul set de doze

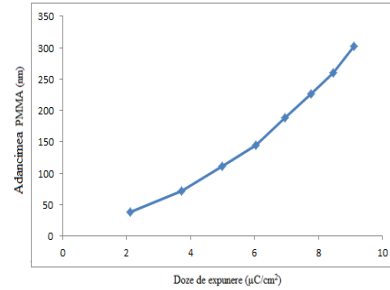


Fig. 9 Curba de contrast a PMMA 35k corectata

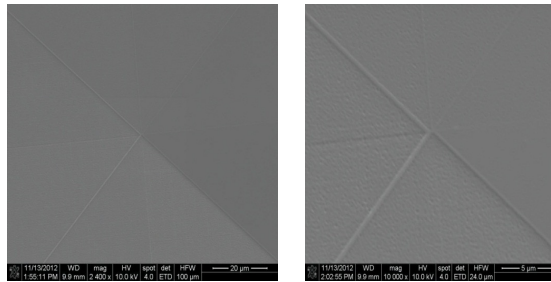


Fig. 10 Imagine SEM a structurilor de vortex realizate prin EBL in electronrezistul pozitiv PMMA dupa ce s-a realizat corectia de doze de expunere.

Activitate I.4: Concepere si elaborare algoritmi pentru proiectarea DOE cu eficienta de difractie ridicata care genereaza vortexuri optice (P2 – UPB)

Realizarea unei holograme intr-un montaj experimental urmeaza principiul introdus de catre Denis Gabor: suprapunerea unei unde de referinta cu o unda difractata de catre un obiect. Un domeniu actual al holografiei bazat pe simularea propagarii si combinatia cu tehnicile digitale, il reprezinta **generarea hologramelor pe computer (computer generated holograms - CGH)**. Pentru a genera o holograma pe computer trebuie urmat acelasi principiu, de suprapunere a unei unde de referinta cu una de obiect. In cadrul acestui proiect am generat holograme prin simularea suprapunerii dintre o unda plana $\Psi_1 = e^{ikx}$ cu o unda de obiect $\Psi_2 = e^{im\theta}$, unde k este frecventa spatiala care indica unghiul de inclinare al unde plane, θ este unghiul la centru in coordonatele cilindrice, m este un numar intreg care indica numarul de rotatii al fazei si se numeste **orbital angular momentum (OAM)**. Numarul intreg m se conserva de-a lungul propagarii si poate fi definit prin cuantificarea componentei pe axa Oz a momentului cinetic, L_z . Figura de interferenta obtinuta in urma generarii hologramei pe computer este proportionala cu functia

$$H = |\Psi_1 + \Psi_2|^2 = |e^{ikx} + e^{im\theta}|^2 = 2[1 + \cos(kx - m\theta)]$$

Scopul acestei proiectari a fost acela de a genera o distributie de intensitate in camp indepartat de forma unui **vortex optic**. Acest procedeu de generare este descris in multe lucrari care folosesc o distributie de intensitate de forma unui **vortex optic** in diferite aplicatii (Making optical vortices with computer-generated holograms, Alicia V. Carpentier, a_ Humberto Michinel, and José R. Salgueiro, David Olivier, Am. J. Phys. 76 _10_,916-921 October 2008).

Ca urmare, s-a implementat in MATLAB un cod pentru generarea unor holograme de tipul celui descris mai sus, iar imaginea acestora este prezentata in Fig. 1 pentru diferite valori ale OAM si ale frecventei spatiale. Aceste masti de faza sunt de tipul "fork", observandu-se prezenta singularitatii in centru si despicarea intr-un numar egal cu OAM. Codul este astfel realizat incat in final sa returneze o matrice corespunzatoare doar informatia de faza din holograma generata, prin descompunerea matricii complexe in partea de amplitudine si cea de faza. In acest fel, la sfarsitul codului avem salvata **masca de faza**, ca o imagine cu tonuri de gri, fiecare reprezentand o anumita valoare a fazei introdusa in calea unei incidente.

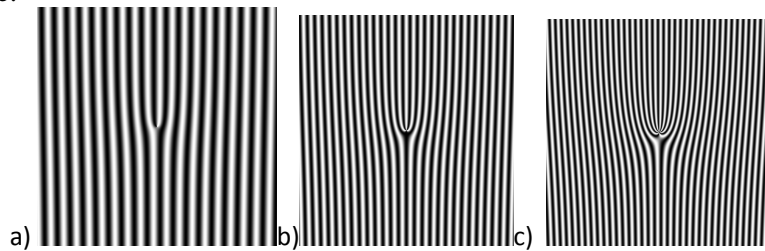


Fig. 11 Holograme generate pe computer de tip "fork" care genereaza vortexuri optice cu OAM a) $m=1$, b) $m=3$, c) $m=7$

In proiectare au fost incercate si alte tipuri de holograme si alte combinatii in generarea figurii de interferenta, cat si alte modalitati de implementare a codului in MATLAB. Dintre ele prezentam mai jos (Fig. 2), rezultatele obtinute din: i) simularea interferentei dintre o unda sferica de tipul $\Psi_1 = e^{ikr^2}$ si unda de obiect de acelasi tip ca mai sus $\Psi_2 = e^{im\theta}$, ii) generarea unor fascicule Bessel prin simularea propagarii printr-un axicon

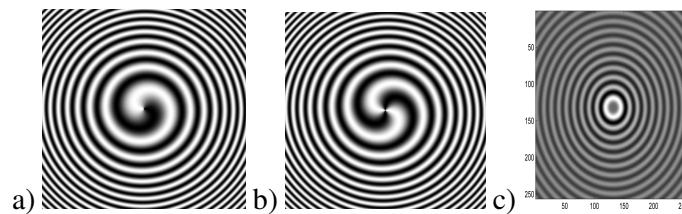


Fig. a) si b) Holograme generate pe computer care genereaza vortexuri optice atunci cand fasciculul laser incident este o unda sferica. Momentele vortexurilor OAM sunt: a) $m=1$ si b) $m=5$. c) obtinerea unui fascicul Bessel la propagarea unui fascicul gaussian printr-o lentila conica

Activitate I.5: Concepere si elaborare algoritmi pentru proiectarea DOE cu eficienta de difractie ridicata care detecteaza vortexuri optice (P2 – UPB)

In esenta, prin detectia unui vortex optic se intelege difractia acestuia pe o holograma generata pe computer astfel incat unghiul de imprastiere a vortexului optic respectiv sa fie intr-o corespondenta biunivoca cu numarul orbital al acestuia.

Metoda standard de a genera o holograma care sa difracte sub un anumit unghi un fascicul vortex cu un numar orbital bine stabilit este de a compune (a aduna) doua holograme de tipul "fork" cu aceeasi frecventa spatiala, dar cu OAM diferit.

a) b)

Fig. 12 a) holograma generata pe computer obtinuta prin suprapunerea hologramelor pentru $m=3$ si $m=5$, b) holograma cu nivele de gri obtinuta prin suprapunerea hologramelor pentru $m=4$ si $m=8$

Imagini tipice de holograme generate pe computer care permit detectia vortexurilor optice sunt prezentate in Fig. care arata compunerea unei holograme binarizate (alb-negru) orizontale de tip "fork" cu $m=3$ cu o holograma verticala binarizate de tip fork cu $m=5$ (Fig. 12 a), respectiv compunerea unei holograme binarizate (alb-negru) orizontale de tip "fork" cu $m=8$ cu o holograma verticala binarizate de tip fork cu $m=4$ (Fig 12 b). Se observa ca in acest caz hologramele prezinta trei nivele de gri, diferenta de faza intre nivelul de gri cel mai deschis si nivelul de gri cel mai inchis este de π .

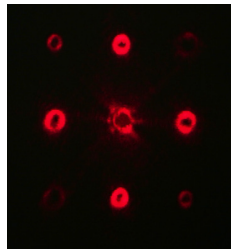


Fig. 13 Imaginea experimentală obținută prin difracția radiației laser pe o hologramă obținută prin sumarea a două imagini de interferență de tip "fork". Maximul de ordin zero a fost eliminat în montajul experimental pentru a evita saturarea senzorului camerei video

Imaginea experimentală obținută la trecerea unui fascicul laser Gaussian printr-o olograma generată prin suprapunerea hologramelor tip fork este arată în Fig. 13. Se observă reconstrucția obiectelor de tip vortex optic pentru valorile OAM folosite la generarea hologramelor de tip "fork" (lateral stanga-dreapta si sus-jos) dar si cu OAM egal cu suma sau diferenta (colturi). Pe o linie (sau pe o coloana) se observa prezenta unor VO cu trei diametre diferite (diferenta, OAM initial, suma). Maximul central a fost filtrat in montajul experimental.

Activitate I.6: Testarea generarii si sortarii vortexurilor optice prin modelare numerica (CO-IMT)

Modelarea vortexurilor optice utilizand integrala de difracție. In aceasta activitate s-a utilizat metoda teoretica a integralei de difracție pentru a analiza difracția unui fascicul Gaussian cu un element optic difractiv care genereaza vortexuri optice. In vreme ce in activitățile precedente s-a investigat atât teoretic cât și experimental hologramele generate pe computer de tip "fork", aici se va analiza difracția pe o mască de fază spirală de tipul celei prezentate în Fig. 3.

Pentru calculul valorii câmpului electromagnetic într-un plan aflat la distanța z de vortexul optic s-a utilizat teoria scalară a difracției. Pe baza integralei Kirchhoff se determina

valoarea campului in orice punct din planul obiect ca o integrala care cuprinde valorile complexe ale campului in planul elementului optic difractiv (vortex). Amplitudinea in punctul (x, y, z) este determinata de distributia de amplitudine $G(x', y', 0')$ prin relatia:

$$G(x, y, z) = A(x, y, z) e^{jkz} \iint_A \left[G(x', y', 0) e^{jk \frac{x'^2 + y'^2}{2z}} \right] e^{-jk \frac{x'x + y'y}{z}} dx' dy'$$

Forma integralei anterioare a fost obtinuta la o distanta z mult mai mare decat dimensiunile mastii de faza spirala aflandu-ne in cazul campului indepartat. Se observa ca utilizand formalismul integralei de difractie se poate obtine atat valoarea complexa a campului (si implicit a fazei) in planul de observatie cat si valoarea intensitatii acestuia.

Rezolvarea integralei de difractie s-a facut numeric, prin conceperea si dezvoltarea unui cod cu scris in MATLAB. Masca de faza spirala a fost considerata a prezenta o variatie continua a inaltimii, respectiv a drumului optic dupa cum este indicat in Fig. 3. Astfel, pe baza distributiei de faza din planul initial, s-au calculat si analizat vortexuri cu OAM diferite, un exemplu tipic fiind prezentat in Fig14 unde campul electromagnetic al unui vortex cu OAM avand $m=2$ este aratat. Se poate observa in Fig 14 a faptul ca faza campului se schimba de doua ori pe sectiunea transversala a fascicului radiatiei, aceasta fiind o caracteristica a vortexurilor de ordin doi. In Fig. 14 b s-a reprezentat intensitatea vortexului. Se poate observa configuratia inelara a acestuia, zona centrala a fascicului de radiatie prezentand intensitate zero.

Metoda bazata pe rezolvarea numerica a integralei de difractie este puternica si permite pe langa analiza interactiei unui fascicul Gaussian cu o masca spirala de faza cat si difractia vortexurilor pr diferite holograme generate pe computer conducand astfel la posibilitatea de a proiecta holograme care sa permita o detiectie eficienta a vortexurilor optice.

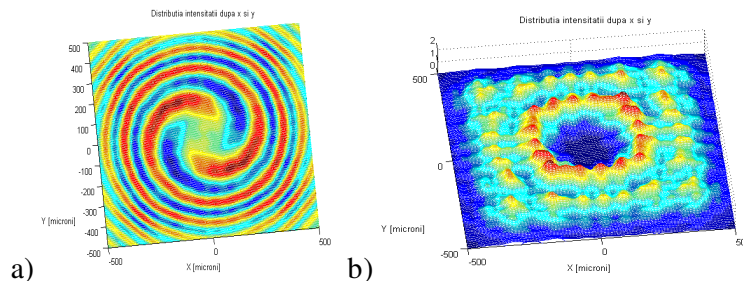


Fig.14 a) Partea reala a campului electromagnetic care prezinta un OAM $m=2$ b) amplitudinea campului.

Activitate I.7: Experimentarea modelelor propuse de generare a vortexurilor optice utilizand modulatori spatiali de lumina (SLM) (P2-UPB)

Pentru ca o holograma generata pe computer sa devina un obiect intr-un montaj experimental, se realizeaza un **obiect optic difractiv (diffractive optical element - DOE)** in conformitate cu tiparul rezultat prin simulare. Acesta se va realiza pe sticla prin litografie, dar inainte de trecerea la acest pas costisitor, am verificat simularile folosind un **modulator spatial de lumina (spatial light modulator SLM)**. Acesta este un dispozitiv opto-electronic care foloseste proprietatea cristalelor lichide de a se roti in jurul axei in functie de nivelul de gri adresat pixel-ului respectiv (prin tensiunea cu valoare corespunzatoare care se aplica intre electrozii transparenti ai ecranului). In acest fel, unda incidenta "vede" o harta de indici de refractie, schimbandu-si frontul de unda pentru a forma in camp indepartat distributia de intensitate dorita.

Pe SLM se adreseaza tiparul hologramei rezultat din simulare, adica masca de faza care este obtinuta in finalul codului. Unda incidenta pe acesta este difractata, iar in camp indepartat se obtine distributia de intensitate de tipul vortex optic. In Fig. 15 sunt reprezentate cateva imagini obtinute experimental folosind un montaj liniar, format din urmatoarele elemente: o dioda laser, telescop (pentru expandarea fascicolului laser pana la un diametru egal cu latura mica a ecranului SLM-ului), polarizor, SLM, polarizor, lentila pentru formarea imaginii, camera video CCD. In imaginile experimentale de mai jos se observa prezenta distributiei de intensitate de tipul vortex optic care prezinta o configuratie inelara unde diametrul zonelor din centru de intensitate zero a campului este cu atat mai mare cu cat creste valoarea OAM. De asemenea se observa ca la trecerea fascicului Gaussian prin holograma de tip "fork", in camp indepartat apare o figura de difractie cu un maxim central care are o configuratie Gaussiana si ordine superioare de difractie. Ordinele 1 de difractie din stanga si din dreapta maximului central corespund unor configuratii care prezinta OAM $m=5$ si $m=-5$ (Fig 15a) respectiv $m=8$ si $m=-8$ (Fig 15 b).

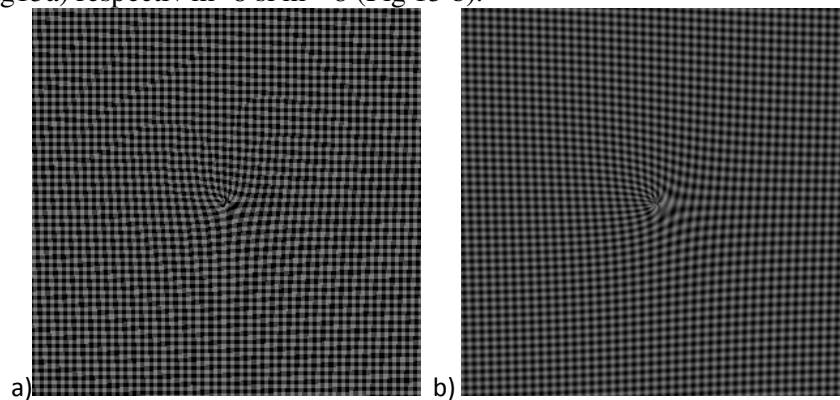


Fig. 15 Imaginea experimentală a vortexurilor optice care trec printr-o hologramă de tip "fork" cu a) $m=5$, b) $m=8$

Pentru realizarea montajului complex de "comunicații prin spațiu liber pe baza de vortexuri optice" cu două modulatori spațiale de lumină, echipa P2 a generat un cod pentru calcularea masilor de fază ce vor fi adresate pe cele două SLM-uri. Pentru primul am generat masti de fază de tipul "spiral phase plate" (Fig. 16) prin considerarea fazei unei obiect de tipul de mi sus. Se observă un număr de discontinuități în valoare de 2π , egal cu numărul OAM. Practic, acesta este obiectul plasat în bratul de obiect folosit la generarea hologramei.

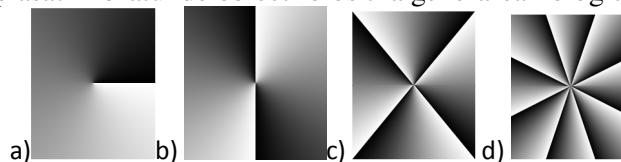


Fig. 16 Masti de fază spirale necesare obținerii vortexurilor optice cu OAM: a) $m=1$, b) $m=2$, c) $m=4$, d) $m=8$

Montajul experimental realizat pentru sortarea VO cu diferite AOM cuprinde în ordine urmatoarele elemente: o dioda laser, telescop pentru expandarea fascicolului laser, SLM1, polarizor, două lentile pentru expandarea fascicolului la diametrul necesar iluminării celui de al doilea SLM, SLM2, lentila pentru formarea imaginii pe ecran, camera video CCD.



Fig. 17 Montajul experimental realizat pe masa holografica. Primul SLM joaca rolul de transmitator iar cel de al doilea, joaca rolul de receptor

Activitate I.8: Proiectare setup optic care sa utilizeze un singur DOE si o retea de diode laser pentru obtinerea unei superpozitii de vortexuri optice in acelasi fascicul (CO – IMT).

Aceasta activitate este dedicarii analizei si proiectarii unui model conceptual de sistem de comunicatii optice prin spatiu liber bazat pe vortexuri optice care sunt multiplexate in acelasi fascicul optic cu ajutorul unui element optic difractiv – in particular o holograma de tip “fork”. Pentru a implementa acest tip de sistem s-a analizat configuratia reprezentata in Fig.18, varianta simplificata a celei propuse in [New J. Of Phys. 9, 328 (2007)].

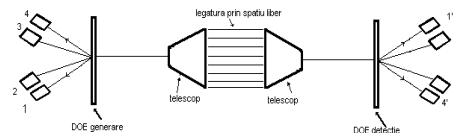


Fig. 18 Diagrama schematica a unui model conceptual de comunicator optic prin spatiu liber pe baza de vortexuri optice care realizeaza multiplexarea mai multor vortexuri cu ordine diferite cu ajutorul unei singure holograme.

In aceasta configuratie, o retea de diode laser 1, 2, 3, 4 - fiecare dintre acestea fiind modulata independent – este dispusa astfel incat fiecare fascicul generat de catre acestea formeaza un unghi ϕ cu axa optica astfel incat dupa difractia respectivului fascicul cu elementul optic difractiv, un vortex optic cu un OAM bine definit este generat de-a lungul axei optice. In acest fel o superpozitie de vortexuri optice modulate independent fiecare dintre ele avand un moment orbital bine definit este realizata de-a lungul legaturii de comunicatie in spatiu liber. Dupa elementul optic difractiv de generare se pozitioneaza un telescop pentru largirea fascicului. La celalalt capat al legaturii de comunicatie se plaseaza un telescop pentru ingustarea fascicului, dupa care urmeaza elementul optic difractiv de detectie (sortare a vortexurilor), element care a fost investigat in activitatea I.5. La unghiurile corespunzatoare difractiei vortexurilor cu moment OAM bine definit se plaseaza o retea de fotodiode 1', 2', 3' si 4', fiecare dintre acestea inregistrand modulatia fiecarui vortex. Elementul optic difractiv de generare a vortexurilor se proiecteaza utilizand metoda descrisa in activitatea 1.4 si formalismul integralei de difractie descris in activitatea 1.6.

Activitate I.9: Proiectare setup optic care sa utilizeze o retea de DOE si o retea de diode laser pentru obtinerea unei superpozitii de vortexuri optice in acelasi fascicul.(CO – IMT).

In aceasta activitate s-au proiectat, de asemenea, doua tipuri de configuratii capabile de a genera o superpozitie de vortexuri optice cu numere orbitale OAM distincte de-a lungul canalului de comunicatie. In acest caz abordarea a fost diferita fata de cea descrisa in activitatea I.8. In vreme ce in cazul precedent fasciculele laser modulate sunt difractate de un singur element optic difractiv (holograma tip fork), in cazurile tratate in continuare fiecare fascicul creat de o dioda laser modulata independent trece printr-o masca de faza spirala asa cum este aratat in Fig. 19. In acest caz diodele laser 1 si 2, modulate independent, sunt plasate perpendicular pe axa optica a sistemului. Fasciculele laser generate de acestea trec fiecare prin masca de faza spirala corespunzatoare cu moment OAM 1, respectiv 2, generandu-se astfel doua vortexuri optice, fiecare dintre ele avand momentul orbital distinct. Superpozitia acestor vortexuri de-a lungul canalului de comunicatie se face trecand fiecare vortex optic printr-un beam – splitter dupa cum se vede in Fig. 19. Dupa ce realizarea superpozitiei de vortexuri optice 1 si 2, fasciculul laser este largit cu ajutorul unui telescop si este transmis in spatiul liber. Partea de receptie si de detectie a vortexurilor optice este similara cu cea descrisa in activitatea I.8.

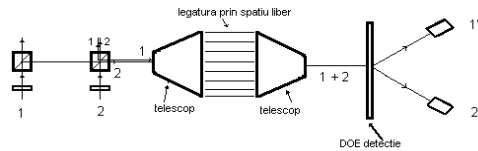


Fig. 19 Diagrama schematica a unui model conceptual de comunicator optic prin spatiu liber pe baza de vortexuri optice care realizeaza multiplexarea mai multor vortexuri cu ordine diferite cu ajutorul unei retele de diode laser si a unei retele de DOE.

De asemenea s-a analizat un alt setup optic, asemanator cu cel prezentat in Fig. 19, singura deosebire fiind ca in acest caz masca de faza spirala este plasata dupa beam splitter pe axa optica a sistemului. Acest setup este prezentat in Fig. 20. Deoarece partea de receptie si detectie a vortexurilor este identica cu cea a setup-urilor optice prezentate anterior, in acest caz s-a prezentat doar partea de generare si superpozitie a acestora.

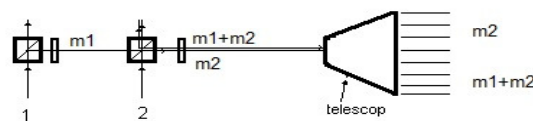


Fig. 20 Diagrama schematica a unui model conceptual de comunicator optic prin spatiu liber pe baza de vortexuri optice care realizeaza multiplexarea mai multor vortexuri cu ordine diferite cu ajutorul unei retele de diode laser si a unei retele de DOE

In esenta, fasciculul Gaussian 1, perpendicular pe axa optica, emis de dioda laser 1 trece printr-un beam -splitter si este directionat de-a lungul axei optice unde interactioneaza cu o masca spirala de faza, generandu-se in acest fel un vortex optic cu OAM m_1 . Acesta trece prin al doilea beam – splitter respectiv a doua masca spirala de faza astfel incat fasciculul laser capata un moment OAM m_1+m_2 . Fasciculul laser 2 interactioneaza numai cu masca spirala de faza 2 astfel incat acesta are momentul OAM m_2 . Prin acest procedeu de superpozitie, in

canalul de comunicatie prin spatiul liber exista o superpozitie de doua vortexuri caracterizate de numerele orbitale m_1+m_2 si m_2 .

Activitate I.10: Testarea si verificarea modelului conceptual de set-up optic prin modelare numerica (CO – IMT).

In aceasta activitate s-a efectuat modelarea si simularea generarii vortexurilor optice utilizand metoda propagarii fascicului (beam propagation method -BPM) in vederea testarii model conceptual de sistem de comunicatii prin spatiu liber. S-a ales modelarea montajului optic prezentat in Fig.20 pentru a demonstra numeric ca un fascicul gaussian care trece prin doua masti spirale de faza consecutive m_1 , respectiv m_2 , se transforma intr-un vortex cu numarul OAM m_1+m_2 . Ca metoda de modelare s-a utilizat BPM. BPM - Beam Propagation Method este o metoda numerica utilizata pentru calculul modului de propagare al radiatiei in coordonate spatiale. Pentru aceasta se utilizeaza aproximatia anvelopei de variatie lenta in raport cu directia de propagare astfel incat ecuatia lui Helmholtz se transforma intr-o ecuatie cu o derivata de ordinul 1 a campului electromagnetic pe directia de propagare si derivate de ordinul 2 pe directiile transversale. In esenta, se utilizeaza campul incident la distanta $z = z_0$ pentru calculul campului la distanta $z = z_0 + dz$ unde dz este pasul de propagare. Campul rezultat la distanta $z = z_0 + dz$ este folosit pentru calculul campului la distanta $z = z_0 + 2 dz$, si asa mai departe pana la capatul domeniului de calcul. Pachetul de soft OptiBPM a fost elaborat pentru analiza circuitelor fotonice integrate (ghiduri de unda) dar poate fi folosit si pentru analiza altor configuratii ca de exemplu elemente de optica difractiva si masti spirale de faza.

In Fig 20 a. s-a modelat trecerea unui fascicul Gaussian cu semi-largimea de 10 micrometri printr-o masca spirala de faza cu un diametru de 50 de micrometri care prezinta o variatie a fazei $m=1$ (Fig 16 a). Campul optic s-a determinat numeric la o distanta de 0.5 mm, astfel incat aproximatia campului indepartat este valida. Se poate vedea configuratia de vortex optic observata anterior atat experimental cat si numeric. Fig 20 b arata partea reala a campului electromagnetic. Configuratia de vortex optic cu numarul OAM $m=1$ este evidenta, faza modificandu-se pe sectiunea transversala a fascicului optic, aceasta prezentand doi lobi. Fig. 20 c si Fig 20 d arata amplitudinea si partea reala a

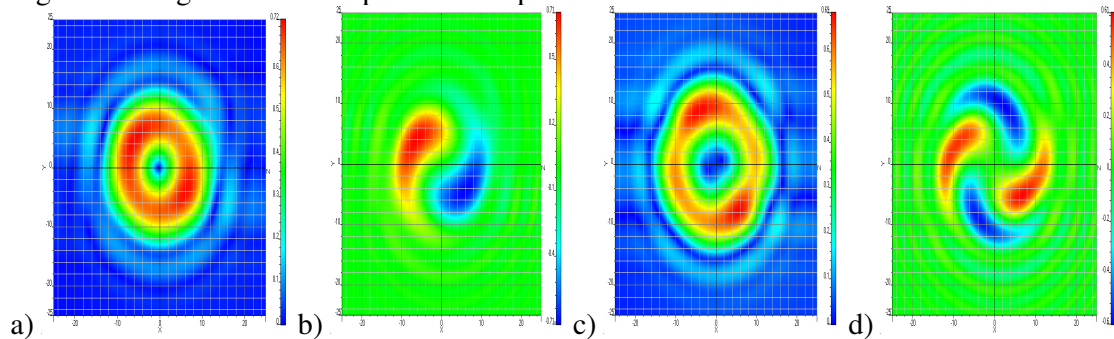


Fig. 20. Simulări BPM de generare de vortexuri optice a) amplitudinea unui vortex optic cu OAM $m=1$. b) partea reala a unui vortex optic cu OAM $m=1$. c) amplitudinea unui vortex optic cu OAM $m=2$. d) partea reala a unui vortex optic cu OAM $m=2$.

campului electromagnetic dupa interactia unui fascicul Gaussian cu o masca spirala de faza cu un numar $m=2$ (Fig 16 b). Se poate observa ca fasciculul a fost transformat intr-o configuratie de vortex optic cu numarul orbital OAM $m=2$.

In continuare vom prezenta interactia unui fascicul Gaussian cu doua masti spirale de faza succesive ambele avand numarul OAM $m=1$. Acestea au fost plasate la o distanta de 0.5

mm una de alta, astfel incat regimul campului indepartat este valida. Configuratia campului electromagnetic este determinata numeric la o distanta de 0.5 mm de a doua masca spirala de faza si este prezentata in Fig 21 a si Fig 21 b. Se poate observa ca dupa interactia campului cu cele doua masti spirale de faza cu OAM $m=1$ campul a dobandit un numar OAM $m=2$.

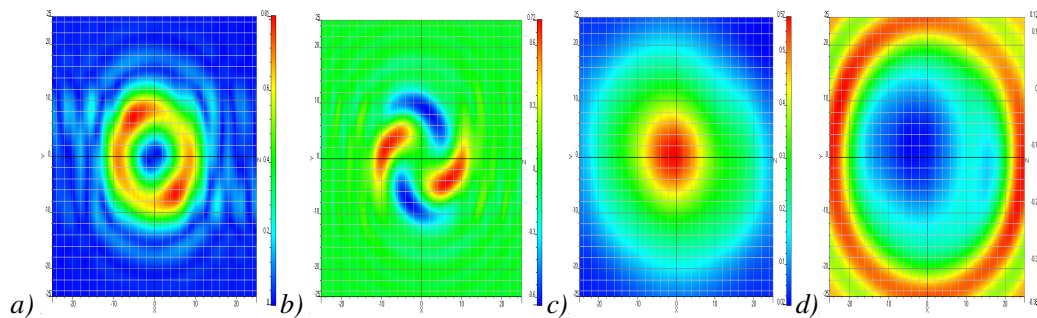


Fig. 21. Simulari BPM de generare de vortexuri optice: a) amplitudinea campului electromagnetic al unui vortex optic care se formeaza prin trecerea unui fascicul gaussian prin doua masti spirale de faza succesive, fiecare masca de faza avand numarul OAM $m=1$; vortexul optic rezultat are numarul OAM $1+1=2$. b) partea reala a campului electromagnetic al unui vortex optic care se formeaza prin trecerea unui fascicul gaussian prin doua masti spirale de faza succesive, fiecare masca de faza avand numarul OAM $m=1$; vortexul optic rezultat are numarul OAM $1+1=2$ fapt indicat de numarul care reprezinta de cate ori se schimba faza unei pe sectiunea transversala a fascicului. c) amplitudinea campului electromagnetic al unui vortex optic care se formeaza prin trecerea unui fascicul gaussian prin doua masti spirale de faza succesive, cu numerele OAM $m=1$ respectiv -1 ; Se observa ca structura de vortex dispare, fasciculul prezentand un maxim central. d) partea reala a campului electromagnetic al unui vortex optic care se formeaza prin trecerea unui fascicul gaussian prin doua masti spirale de faza succesive, cu numerele OAM $m=1$ respectiv -1 ; se observa ca faza ramane constanta pe sectiunea transversala a fascicului.

S-a determinat de asemenea configuratia campului electromagnetic dupa interactia acestuia cu doua masti de faza, prima avand numarul OAM $m=1$ iar a doua avand numarul OAM $m=-1$. Conditile de simulare au ramas aceleasi ca in cazul discutat anterior. Se poate observa ca dupa interactia razei Gaussiene cu cele doua masti spirale caracterul de vortex dispare fasciculul prezentand un maxim central, iar faza ramane constanta pe sectiunea transversala a fascicului.

Activitate I.11: Conceperea si optimizarea protocoloalelor decodare a informatiei utilizand vortexuri optice. (P1-Opto)

Un canal de comunicatie este in mod curent considerat ca un triplet format dintr-un alfabet de intrare, un alfabet de iesire, si pentru fiecare pereche de elemente de intrare iesire (i ; o) se defineste o probabilitate de tranzitie $p(i; o)$. La nivel semantic, probabilitatea de tranzitie este probabilitatea ca un simbol “ o ” sa fie receptionat atunci cand un simbol “ i ” a fost transmis prin canalul de comunicatie.

Avand dat un canal de comunicatie, Shannon a demonstrat ca exista un numar, denumit “capacitatea canalului”, astfel incat este posibila o transmisie inteligibila la viteze arbitrar apropiate de aceasta capacitate, transmisia inteligibila neputandu-se efectua la viteze mai mari decat acea capacitate. Notinea de capacitate se defineste numai in termenii teoriei informatiei. Astfel ea nu garanteaza existenta unor scheme de transmisie a informatiei care realizeaza capacitatea. Shannon introduce de asemenea notiunea de coduri ca reprezentand ansambluri de vectori care trebuie transmise. Este evident ca, daca chiar un singur element de intrare poate fi receptionat in cel putin doua moduri (chiar cu probabilitati diferite), atunci

nu este posibila o comunicare sigura pe acel canal. Acesta imposibilitate apare chiar daca sunt transmise elemente multiple dar care nu sunt corelate. Pentru a asigura o comunicare sigura, este obligatoriu sa fie transmise elemente de intrare care sa fie corelate. Aceasta conduce la conceptul de "cod", definit ca fiind o multime finita de vectori peste alfabetul de intrare. Presupunem ca toti vectorii au aceeasi lungime, si denumim aceasta lungime "lungimea de bloc" a codului. Daca numarul de vectori este de $K=2^k$, atunci fiecare vector poate fi descris ca folosind k biti. Daca lungimea vectorilor este n, atunci la fiecare n biti transmisi (sau altfel spus la n "utilizari" ale canalului) se transmit k biti (de informatie). Se spune ca codul are o rata de utilizare a canalului de k/n , sau k/n bpc (bits per channel use). Sa presupunem acum ca transmitem un cuvânt de cod si ca receptionam un vector din alfabetul de iesire. Problema este cum am putea deduce vectorul transmis. Daca canalul admite erori, atunci nu avem o metoda care sa ne indice absolut sigur care cuvânt de cod a fost transmis. Cu toate acestea, putem sa gasim cel mai probabil cuvânt de cod care a fost transmis, in sensul in care maximizam probabilitatea ca acel cod sa fie transmis prin observarea vectorului receptionat. Pentru a gasi un asemenea cuvânt de cod, se listeaza toate cele k cuvinte de cod si se calculeaza probabilitatea de aparitie pentru fiecare cod in parte. Se alege vectorii care produc probabilitate maxima si se alege unul din ei. Aceasta decodare poarta numele de decodare cu probabilitate maxima si are dezavantajul ca este mare consumatoare de timp (in special pentru lungimi mari de cod) si poate furniza erori, insa este cel mai sigura.

Shannon a dovedit existenta codurilor cu viteze apropiate de capacitatea canalului pentru care probabilitatea de eroare tinde catre zero atunci cand lungimea blocului de cod tinde catre infinit (de fapt Shannon a dovedit ca eroarea la decodarea cu probabilitate maxima tinde exponential catre zero in functie de lungimea blocului).

Numele codurilor LDPC provine din matricea caracteristica de verificare a paritatii, care contine dor cateva simboluri de 1 in comparatie de numarul de simboluri 0. Principalul lor avantaj este ca asigura o performanta foarte apropiata de capacitatea canalului pentru multe tipuri de canale de comunicatie si algoritmi de decodare rapizi. De asemenea, sunt foarte adecvate in configuratii care permit transmitia paralela a datelor.

Reprezentarea codurilor LDPC poate fi facuta in doua moduri: prin matrici si grafic.

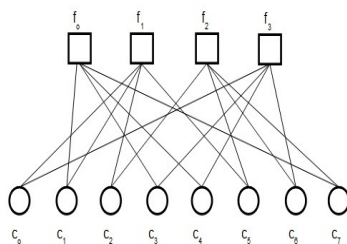
Pentru descrierea matriciala se ia ca exemplu o matrice cu dimensiunea $n \times m$ pentru un cod (8,4).

Se pot defini doua numere care descriu aceste matrici, w_r fiind numarul de simboluri 1 din fiecare rand si w_c pentru coloane. Pentru ca matricea sa poate fi definita ca fiind de densitate mica, atunci $w_r \ll n$ si $w_c \ll m$. In cazul de fata dimensiunea matricii ar trebui sa fie considerabil mai mare.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura de mai jos reprezinta asa numitul graf Tanner corespunzator matricii considerate.

Calea $c_2 \rightarrow f_1 \rightarrow c_5 \rightarrow f_2 \rightarrow c_2$ ar trebui evitata, deoarece poate afecta performanta operatiunii de decodare.



Grafurile Tanner nu asigura numai o reprezentare completa a codului, ci ajuta si la descrierea algoritmului de decodare.

Grafurile Tanner sunt de tip bipartit, adica nodurile grafului sunt separate in doua multimi distincte, iar liniile grafului conecteaza numai noduri din multimi diferite. Cele doua tipuri de noduri sunt denumite noduri c (variabile) si noduri f (de verificare). Conexiunea dintre noduri este evidenta, un nod de verificare f_i este conectat la un nod variabila c_j daca elementul corespunzator h_{ij} al matricii H este egal cu 1. Un cod LDPC este regulat daca w_c este constant pentru fiecare coloana si $w_r = w_c + (n/m)$ este de asemenea constant pentru fiecare rand. In exemplul de fata, matricea este regulata cu $w_c = 2$ si $w_r = 4$. Regularitatea acestui cod poate fi de asemenea observata in configuratia grafului, fiecare nod avand acelasi numar de linii pentru nodurile f , respectiv c . Daca matricea H este de densitate mica, dar numarul de simboluri 1 nu este constant in fiecare linie si coloana, atunci codul LDPC se considera a fi neregulat. Caracteristica codurilor LDPC de a performa aproape de limita Shannon a unui canal de comunicatie se manifesta numai pentru blocuri de date lungi. Au fost experimentate simulari care functioneaza la 0,04 dB de limita Shannon la o rata de eroare a transmisiei (bit error rate) de 10^{-6} folosind lungimi de bloc de 10^7 biti.

Lungimile mari ale dimensiunilor blocurilor conduc la dimensiuni mari ale matricilor de verificare a paritatii si a matricilor generatoare de cod. Complexitatea multiplicarii unui cuvnt de cod cu o matrice depinde de numarul de simboluri 1 din matrice. Daca consideram o matrice densitate mica H in forma $[P^T I]$, matricea generatoare G poate fi calculata ca $[I P]$. Submatricea P nu este in general cu densitate mica si de aceea complexitatea codarii este ridicata.

Activitate I.12: Proiectarea modulelor electronice pentru codare /decodare a semnalului optic (P1-Opto)

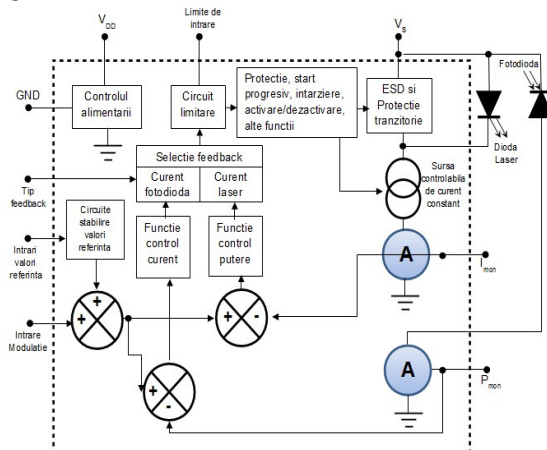
Pentru proiectul HOLCOM se vor utiliza doua tipuri de diode laser care emit radiatie optica la lungimea de unda de 850nm: o dioda laser pentru viteze de comunicatie de 1Gbps care poate furniza o putere optica de pana la 10 mW, si o dioda laser care pentru viteze de comunicatie de 2,5Gbps, care poate furniza o putere optica de pana la 2,5 mW. Principalul criteriu de alegere a fost obtinerea unei puteri optice emise cat mai ridicate la viteze mari de comunicatie prin utilizarea unor diode laser VCSEL cu o singura jonctiune.

Principalele caracteristici ale celor doua diode laser cu fotodiode monitor se gasesc in tabelul urmator:

Parametru	Simbol	Valoare tipica	
		Model PH85-F1P1S2 (Roithner Laser Technik)	Model OPV310 (OPTEK Technology)
DIODA LASER			
Putere optica maxima	P ₀	10 mW la I _F =20mA	1,5 mW la I _F = 7 mA
Curent de prag	I _{TH}	5 mA	2 mA
Variatie I _{TH} cu temperatura	Δ I _{TH}	2,5 mA intre 0°C si 70°C	2 mA intre 0°C si 70°C
Tensiune la polarizare directa	V _F	2 V la I _F =20mA	2,1 V la I _F = 7 mA

Divergenta fasciculului	Θ	29° la $I_F=20\text{mA}$	24° la $I_F = 7\text{mA}$
Timpi de comutare directa/inversa	t_f / t_r	250 ps	100 ps
Largimea de banda optica	$\Delta\lambda$	0,85 nm	0,85 nm
Lungimea de unda	λ	850 nm	850 nm
FOTODIODA MONITOR			
Curent invers fara iluminare	I_D	20 nA, $V_R = 3\text{V}$	30 nA la $V_R = 5\text{V}$
Curent monitor	IM	0,1 $\mu\text{A} \div 1 \text{ mA}$ la $P_0 = 8 \text{ mW}$	40 μA la $P_0 = 2\text{mA}$ si $V_R = 5\text{V}$

Circuit de comanda a diodelor laser (Driver Laser) Un circuit de comanda pentru diode laser, care va fi denumit in continuare ca „driver laser”, este in mod ideal un circuit electronic care asigura curent constant, liniar, lipsit de zgomot si precis pentru dioda laser pe care o controleaza. Nivelul curentului poate fi controlat prin monitorizarea curentului care trece prin dioda laser sau a curentului care trece printr-o fotodioda care este de obicei asociata constructiv, in aceasi capsula, diodelor laser, si care are functia de monitoriza puterea optica emisa de laser prin generarea unui curent proportional cu aceasta. In figura de mai jos este prezentata schema bloc generala a unui driver laser.



V_{DD} este valoarea tensiunii unei surse de alimentare externa care alimenteaza partea electronica de control. In mod uzual are o valoare scazuta, tipic 3,3V sau 5 V.

V_S este valoarea unei surse de alimentare externa care alimenteaza etajul de iesire (sursa de curent constant). In functie de aplicatie, poate fi identica cu V_{DD} .

Circuitele pentru selectia feedback-ului permit alegerea modului de control, prin valoarea curentului prin dioda laser sau prin valoarea curentului prin fotodioda. Daca este folosit pentru feedback valoarea curentului prin dioda laser, sistemul de control va actiona pentru stabilizarea acestei valori la o valoare constanta.

I_{mon} este valoarea unei tensiuni proportionale cu valoarea curentului prin dioda laser. Relatia dintre cele doua marimi electrice este descrisa de catre o functie de transfer care este de obicei prezentata in caracteristicile de catalog ale diodei laser.

P_{mon} reprezinta valoarea unei tensiuni proportionale cu valoarea curentului prin fotodioda. Relatia dintre cele doua marimi electrice este descrisa de catre o functie de transfer care este de obicei prezentata in caracteristicile de catalog ale diodei laser.

Majoritatea driverelor laser permit controlul prin determinarea valorii curentului prin dioda laser sau a valorii curentului prin fotodioda. Daca se foloseste controlul in functie de valoarea curentului prin dioda laser, sistemul de control va actiona pentru mentinerea acestei valori la un nivel constant si variatia iesirii sursei controlabile de curent constant va fi nula, caz in care metoda de control poarta numele de Mod Curent Constant (CC). Daca se foloseste controlul in functie de valoarea curentului prin fotodioda, sistemul de control va actiona pentru mentinerea acestei valori la un nivel constant (si astfel a puterii de emisie a diodei laser la un

nivel constant), iesirea sursei controlabile de curent constant se modifica in sensul mentinerii puterii de emisie a laserului la un nivel constant, caz in care metoda de control poarta numele de Mod Putere Constanta (CP).

Deoarece valorile punctelor de referinta sunt specifice fiecarei aplicatii, acestea trebuie stabilite de catre proiectant. De obicei, driverele laser includ elemente de reglaj analogic sau numeric pentru anumiti parametri, dintre care cei mai uzuali se refera la valorile necesare modurilor CC si CP.

Funcția de control curent descrie modul in care diferenta dintre valoarea de referinta si valoarea curentului prin dioda laser este modificata pentru furnizarea unui semnal electric care asigura controlul adecvat al sursei controlabile de curent constant in vederea mentinerii acestei diferente la un minim. Este folosita in modul CC.

Funcția de control putere descrie modul in care diferenta dintre valoarea de referinta si valoarea curentului prin fotodioda este modificata pentru furnizarea unui semnal electric care asigura controlul adecvat al sursei controlabile de curent constant in vederea mentinerii acestei diferente la un minim. Este folosit in modul CP.

Intrarea de modulatatie permite aplicarea unui semnal analogic sau a unui semnal numeric (TTL, LVTTTL, ECL, PECL) care sa modifice caracteristicile de functionare ale diodei laser (curent, putere optica emisa) conform unei functii de transfer.

Circuitul de limitare are scopul de a proteja diode laser. Proiectantul stabileste valoarea limita a curentului in functie de parametrii de functionare ai diodei laser, iar un circuit activ de limitare a curentului va intrerupe curentul prin dioda laser daca se depaseste curentul limita stabilit.

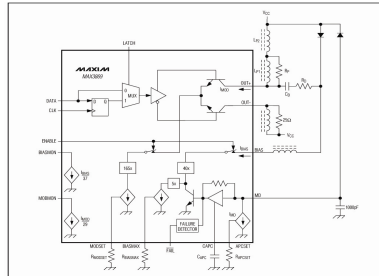
Driver laser cu monitorizare de current si control automat al puterii – MAX3869 Circuitul integrat MAX3869 este un driver laser complet alimentat cu tensiune scazuta de $3,3V_{CC}$ pentru aplicatii la viteze de transmisie de pana la 2,5 Gbps. Dispozitivul accepta intrari de date si de sincronizare cu nivele logice PECL (Positive Emitter Coupled Logic) si asigura polarizari si curenti de modulatatie pentru comanda diodei laser. Poate fi utilizata sincronizarea datelor cu un semnal de ceas (caca este disponibil) pentru a reduce zgomotul.

Bucula de reglaj pentru controlul automat al puterii mentine o putere optica constanta in timp si in domeniul de temperaturilor de functionare. Poate fi utilizat intr-o gama larga de aplicatii, avand in vedere a gama larga a curentilor de modulatatie intre 5mA si 60mA si a curentului de polarizare intre 1mA si 100mA.

Sunt disponibile doua iesiri pentru monitorizarea curentului de polarizare si a curentului de modulatatie si o iesire pentru semnalizarea depasirii capacitatii buclei de reglaj pentru controlul automat al puterii si imposibilitatii acesteia de a mentine constanta puterea optica de iesire a diodei laser.

Driverul laser contine doua parti principale: un circuit de inalta frecventa pentru injectia curentului in diode laser (driver-ul propriu-zis) si un etaj de polarizare a laserului comandat de catre bucla de reglaj pentru controlul automat al puterii. Circuitul a fost proiectat pentru operare la frecvente inalte si la tensiuni mici de alimentare (3,3V). Pentru minimizarea zgomotului de modulatatie din semnalul de intrare la frecvente apropiate de 2,5GHz, dispozitivul accepta un semnal de ceas diferential de nivel PECL pentru refacerea sincronizarii datelor. Cand intrarea LATCH este la 1_L datele de intrare sunt sincronizate cu intreaarea de ceas. Cand intrarea LATCH este 0_L atunci datele de la intrare sunt aplicate direct etajului de iesire. Etajul de iesire este alcatuit dintr-o pereche diferentiala de inalta frecventa si o sursa de curent de modulatatie programabila. Deoarece iesirea modulata injecteaza un curent de maxim 60 mA cu fronturi de 100 ps, pot fi generate virfuri de tensiune tranzitorii datorate inductantelor parazite. Aceste varfuri e tensiune se suprapun peste semnalul util de comanda a diodei laser si afecteaza operarea normala a driverului laser in cazul in care iesirea modulate este cuplata cu laserul in current continuu. Pentru a evita acest effect, iesirea

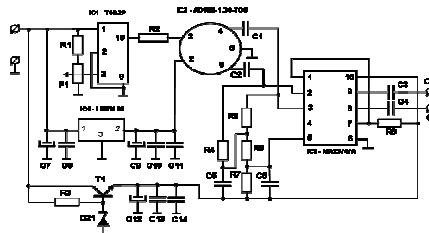
circuitului a fost proiectata pentru a fi cuplata cu catodul diodei laser in curent alternativ. O astfel de configuratie izoleaza laserul de tensiunea continua a iesirii si permite iesirii OUT+ sa varieze in jurul valorii tensiunii de alimentare VCC. In figura de mai jos este descrisa o diagrama functionala.



Iesirea de modulatie este optimizata pentru a suporta sarcini cu valori de 25Ω ; tensiunea minima necesara la iesirea OUT+ este de 2,0V. Se pot obtine curenti de modulatie cu excursii de 80mA, insa datorita cerintelor referitoare la tensiunea minima de alimentare si a restrictiilor pentru zgomotul de modulatie la viteze de 2,5Gbps, curentul de modulatie specificat in documentatie este limitat la 60mA. Pentru interfatarea cu o dioda laser se utilizeaza o rezistenta de balast R_D care asigura adaptarea impedantelor. Un circuit sunt RC poate fi de asemenea necesar pentru a compensa inductanta parazita a diodei laser, imbunatatind astfel forma de unda optica si a micșorarea distorsiunilor.

La viteza de 2,5 Gbps orice sarcina capacitiva va degrada performanta optica a fluxului radiat de catre dioda laser. Deoarece iesirea BIAS este conectata direct la catodul laserului, trebuie minimizata capacitatea parazita asociata cu acest pin prin folosirea unei inductante pentru a izola pinul BIAS de catodul laserului.

Receptor optic cu fotodioda in avalansa. Pentru detectia semnalelor optice modulate la viteze de peste 1Gbps, se va folosi un amplificator de banda larga cu fotodioda in avalansa, a carui schema este prezentata in figura de mai jos.



Pentru detectie se utilizeaza o fotodioda in avalansa de tip AD500-1.3G-TO5 (IC2), care are montata in aceeasi capsula un amplificator transimpedanta. Aria activa a fotodiodei este de $0,196 \text{ mm}^2$ iar responsivitatea este de $0,4 \text{ A/W}$ la lungimea de unda de 850nm. In regim de avalansa, castigul fotodiodei este de 200 atunci cand este polarizata invers cu o tensiune maxima de $160V_{cc}$. Amplificatorul transimpedanta inclus in capsula asigura o banda de trecere la semnal mic de 2GHz, si o transimpedanta in mod diferential de aproximativ 2800Ω la un semnal de intrare de $40\mu\text{A}$, semnal care se incadreaza in domeniul de liniaritate al amplificatorului. Impedanta de iesire a amplificatorului transimpedanta este de 50Ω si asigura un semnal de iesire diferential de aproximativ 400mV varf la varf.

Considerand o energie optica receptionata de $1 \mu\text{W}$, rezulta un curent prin fotodioda in avalansa de:

$$I_{APD} = (0,4 \text{ A/W}) \times (1 \times 10^{-6} \text{ W}) = 0,4 \mu\text{A}$$

Luand in considerare un factor de castig al fotodiodei in avalansa de 100, curentul la intrarea amplificatorului transimpedanta va fi de $40\text{ }\mu\text{A}$. Luand in considerare functia de transfer a amplificatorului, la iesire se a obtine un nivel de al semnalului de 40mV .

Deoarece acest nivel nu poate asigura valorile necesare pentru prelucrarea semnalului in circuite de serializare – deserializare, se foloseste un amplificator limitator tip MAX3747A (IC3) care accepta la intrare o gama larga de tensiuni si asigura o iesire de nivel constant la un nivel de 800mV varf la varf (nivel CML – current mode logic) pe sarcini de $50\text{ }\Omega$ si frecventa de raspuns peste 3 GHz .

Circuitul integrat IC1 de model TS0.2P este o sursa de tensiune inalta ($0 - 200V_{cc}$) necesara polarizarii fotodiodei in avalansa. Alimentarea fotodiodei se realizeaza printr-o rezistenta de protectie R2 cu valori intre $150 - 300\text{ k}\Omega$. Reglarea valorii tensiunii de iesire se realizeaza cu ajutorul potentiometrului P1.

Circuitul integrat IC4 tip LM78L05 asigura alimentarea amplificatorului transimpedanta cu o tensiune de $5V_{cc}$, iar tranzistorul T1 impreuna cu dioda Zenner DZ1 asigura alimentarea amplificatorului limitator IC3 cu o tensiune de $3,3V_{cc}$.