(12) Patentskrift (10) SE 529 915 C2

Sverige

(21) Patentansökningsnummer: 0502939-2
(45) Patent meddelat: 2008-01-08
(41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2007-06-23
(22) Patentansökan inkom: 2005-12-22
(24) Löpdag: 2005-12-22
(83) Deposition av mikroorganism: ---
(30) Prioritetsuppgifter: ---

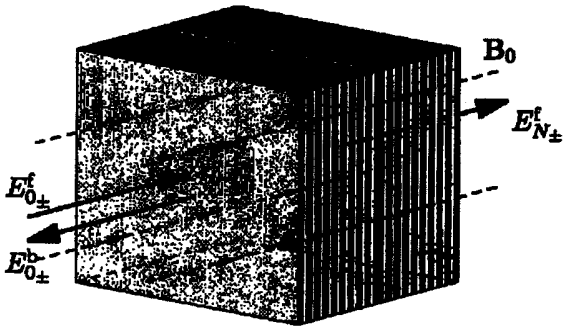
(51) Internationell klass:
*G02F 1/01* (2006.01)
*G02B 27/28* (2006.01)
*G02B 6/122* (2006.01)
*G02F 1/095* (2006.01)
*G02F 1/35* (2006.01)

(73) Patenthavare: Karl Fredrik Jonsson, Grevgatan 49, 114 58 Stockholm SE
(72) Uppfinnare: Karl Fredrik Jonsson, Stockholm SE
(74) Ombud:
(54) Benämning: Optisk polarisationstillstånds-switch
(56) Anförda publikationer: ---
(47) Sammandrag:

Uppfinningen avser reglering av en ljusstråle propagerande genom ett Bragg-gitter.

Ett Bragg-gitter är generellt ett medium i vilket de optiska egenskaperna är periodiskt modulerade, till exempel i en komponent bestående av en stack av tunna optiskt transparenta skikt genom vilka ljuset propagerar. Vanligt förekommande tillämpningar av Bragg-gitter innefattar dielektriska speglar, optiska bandpass-filter, antireflexbehandlingar, element för modulering och avstämning av system för optisk informationsöverföring, samt som element i distribuerade feedback-lasrar.

Uppfinningen avser användandet av ickelineär optisk växelverkan mellan ljus och materia för att åstadkomma reglering och möjlighet för modulering av transmissions- och reflektions-egenskaper hos ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter.



Sammandrag

Uppfinningen avser reglering av en ljusstråle propagerande genom ett Bragg-gitter.

Ett Bragg-gitter är generellt ett medium i vilket de optiska egenskaperna är periodiskt modulerade, till exempel i en komponent bestående av en stack av tunna optiskt transparenta skikt genom vilka ljuset propagerar. Vanligt förekommande tillämpningar av Bragg-gitter innefattar dielektriska speglar, optiska bandpass-filter, antireflexbehandlingar, element för modulering och avstämning av system för optisk informationsöverföring, samt som element i distribuerade feedback-lasrar.

Uppfinningen avser användandet av ickelineär optisk växelverkan mellan ljus och materia för att åstadkomma reglering och möjlighet för modulering av transmissions- och reflektions-egenskaper hos ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter.

Sammanfattning av uppfinningen

Enligt uppfinningen tillhandahålles en metod för reglering av intensitet och polarisationstillstånd hos en optisk signalstråle propagerande genom ett ickelineärt magneto-optiskt Bragg-gitter i vilket minst ett defekt skikt verkar så att ett spektralt smalt transmissionsband uppstår inom den i övrigt högreflekterande spektrala regionen given av villkoret för Bragg-resonans hos gittret, med nämnda metod innefattande stegen:

applicering av ett magnetfält i riktningen för modulationen av brytnings-index hos Bragg-gittret, för att lyfta polarisationstillstånds-degenereringen hos nämnda smala transmissionsband genom Faraday-effekten, skiftande de smala transmissionsbanden för ortogonala cirkulära polarisationstillstånd i motsatta respektive riktningar i spektrum, skapande ett första och ett andra smalt transmissionsband, respektive svarande mot ortogonala cirkulära polarisationstillstånd i transmission;

justering av styrkan hos nämnda applicerade magnetfält så att nämnda första och andra smala transmissionsband distinkt spektralt separeras från varann;

in i nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter riktande nämnda optiska signalstråle, så att denna är är riktad längs med nämnda magnetfält och av en optisk frekvens som vid en svag optisk intensitet motsvarar den optiska frekvensen för nämnda första smala transmissionsband, medförande att nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter vid en svag optisk intensitet

transmitterar endast en cirkulärpolariserad komponent hos nämnda signalstråle;

i en spektral riktning skiftande nämnda första och andra smala transmissionsband genom ett intensitets-beroende brytningsindex under exponering från ett intensivt optiskt fält, för att få gittret att växla mellan transmission och reflektion av ortogonala cirkulära polarisationstillstånd hos nämnda optiska signalstråle.

I ett utförande innefattar metoden vidare följande steg:

in i nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter riktande en andra intensiv optisk stråle med dess transversala utsträckning helt täckande utsträckningen hos nämnda optiska signalstråle, för att i en spektral riktning skifta nämnda första och andra smala transmissionsband genom ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt); samt

justerande av intensiteten hos nämnda andra intensiva optiska stråle så att istället positionera det nämnda andra smala transmissionsbandet vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstråle, för att växla till transmission av det cirkulära polarisationstillstånd som är ortogonalt mot det som transmitteras vid en låg optisk intensitet.

I ett utförande är nämnda andra intensiva optiska stråle pulserande i tiden, därmed verkande på nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter så att detta dynamiskt växlar mellan ortogonala cirkulära polarisationstillstånd i transmission vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstråle.

I ett utförande riktas nämnda magnetfält inom den dubbel-kon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen för modulationen av brytningsindex hos nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter.

I ett utförande genereras magnetfältet av en spole genom vilken en elektrisk ström leds.

I ett utförande genereras magnetfältet av invers Faraday-effekt resulterande från exponering av nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter med en tredje intensiv cirkulärpolariserad optisk stråle.

I ett utförande är riktningen hos nämnda andra intensiva stråle separerad från riktningen hos nämnda optiska signalstråle med en vinkel inte överskridande 30 grader.

I ett utförande är frekvensen hos nämnda andra intensiva stråle separerad från frekvensen hos nämnda optiska signalstråle med minst 5 procent.

I ett utförande är nämnda optiska signalstråle pulserande och av en intensitet stark nog att via ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) inducera en ändring i brytningsindex stor nog att att positionera nämnda andra smala transmissionsband vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstråle, därmed verkande så att dess transmitterade polarisationstillstånd själv-moduleras.

I ett utförande är nämnda optiska signalstråle cirkulärpolariserad, varmed vinsterna i funktion innefattar:

att nämnda optiska signalstråle helt transmitteras då nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter ej exponeras av nämnda andra intensiva optiska stråle, samtidigt som nämnda ickelineärt

magneto-optiska Bragg-gitter fullkomligt blockerar ortogonalt polariserat infallande ljus vid samma optiska frekvens som hos nämnda optiska signalstråle; samt

att nämnda optiska signalstråle helt reflekteras då nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter exponeras av nämnda andra intensiva optiska stråle, med den reflekterade optiska strålen i ett polarisationstillstånd som är ortogonalt mot polarisationstillståndet hos nämnda optiska signalstråle, samtidigt som det fullkomligt transmitterar infallande ljus som är polariserat ortogonalt mot nämnda optiska signalstråle.

I en annan aspekt tillhandahåller uppfinningen en optisk komponent för reglering av transmission av intensitet och transmitterat polarisationstillstånd hos en ljusstråle, med nämnda komponent innefattande:

en stack av ickelineärt magneto-optiska skikt med alternerande brytningsindex och/eller magneto-optiska gyrations-koefficienter, av vilka minst ett skikt är ett defekt skikt som avviker i optisk tjocklek från övriga skikt hos den i övrigt periodiska strukturen, med nämnda optiska tjocklek definierad som respektive skikts geometriska tjocklek multiplicerad med dess brytningsindex, samt

medel för applicering av ett magnetfält genom nämnda stack av magneto-optiska skikt,

att nämnda stack av magneto-optiska skikt, exkluderande nämnda defekta skikt, verkar så att hög reflektans uppnås vid en förutbestämd optisk design-våglängd, med nämnda optiska tjocklek hos varje skikt inte varierande mer än 10 procent från en fjärdedel av nämnda design-våglängd,

att nämnda defekta skikt öppnar för minst ett smalt transmissionsband för varje cirkulärpolariserat tillstånd hos ljuset, inom den i övrigt högreflekterande spektrala regionen given av den periodiska strukturen hos nämnda stack av magneto-optiska skikt,

att nämnda applicerade magnetfält är starkt nog att separera nämnda smala transmissionsband för ortogonala cirkulära polarisationstillstånd hos ljuset med minst halvvärdes-bredden hos den individuellt bredaste av nämnda smala transmissionsband,

att nämnda applicerade magnetfält riktas normalt mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att nämnda optiska signalstrålen riktas inom den dubbel-kon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att nämnda andra intensiva strålen riktas inom den dubbelkon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att åtminstone nämnda defekta skikt har ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) som är stort nog att i en riktning spektralt skifta nämnda smala transmissionsband hos nämnda stack av magneto-optiska skikt med minst halvvärdes-bredden hos den bredaste av nämnda smala transmissionsband, därmed tillhandahållande möjligheten att växla det transmitterade polarisationstillståndet hos ljus vid en optisk frekvens motsvarande en av nämnda smala transmissionsband från ett cirkulärpolariserat tillstånd till det ortogonala.

I ett utförande avviker nämnda defekta skikt med minst 30 procent i optisk tjocklek från övriga skikt i den i övrigt periodiska strukturen.

I ett utförande riktas nämnda applicerade magnetfält inom den dubbel-kon som bildas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt.

I ett utförande genereras det applicerade magnetfältet av en extern spole genom vilken en elektrisk ström leds.

I ett utförande genereras det applicerade magnetfältet på optisk väg genom invers Faraday-effekt under exponering med en cirkulärpolariserad intensiv andra optisk stråle.

I en annan aspekt tillhandahåller uppfinningen ett optiskt system innefattande:

en optisk cirkulator, transmitterande en optisk stråle inkommande till en första port ut via en andra port, samtidigt som ljus inkommande till den andra porten transmitteras genom en tredje port utan transmission till den första;

en komponent definierad enligt ovan;

en optisk två-till-en-kopplare, adderande ljuset inkommande via en första port till ljuset inkommande via en andra port och transmitterande det superponerade ljuset som en optisk signal ut genom en tredje port, så att ljuset ut från portarna två och tre hos nämnda optiska cirkulator kombineras ihop till en gemensam ut-signal; samt

medel för riktning och ihopkoppling av de optiska strålarna via komponenterna ingående i systemet.

I ett utförande innefattar nämnda medel för riktning av ljuset en mångfald av speglar och kollimerande linser.

I ett utförande innefattar nämnda medel för riktning av ljuset en mångfald av optiska fibrer eller optiska vågledare.

I en annan aspekt tillhandahåller uppfinningen en metod för reglering av polarisationstillståndet hos en optisk ut-signal medelst ett system definierat enligt ovan, innefattande följande steg:

riktande av nämnda optiska signalstråle in i nämnda första port hos nämnda optiska cirkulator;

transmission av nämnda optiska signalstråle genom nämnda andra port hos nämnda optiska cirkulator;

riktande av den transmitterande optiska strålen in i komponenten definierad ovan, därmed uppdelande den optiska strålen i en mellanliggande reflekterad optisk stråle och en mellanliggande transmitterad stråle;

riktande av nämnda mellanliggande reflekterade stråle in i nämnda port två hos nämnda optiska cirkulator, extraherande denna stråle via port tre hos nämnda optiska isolator, och riktande nämnda extraherade stråle in i nämnda port ett hos nämnda optiska två-till-en-kopplare;

riktande nämnda transmitterade mellanliggande stråle in i nämnda port två hos nämnda optiska två-till-en-kopplare; samt

extraherande av de optiska strålarna superponerade med nämnda optiska två-till-en-kopplare till en resulterande optisk stråle.

I ett utförande är nämnda första optiska stråle cirkulärpolariserad.

I ett utförande är nämnda första optiska stråle linjärpolariserad.

I ett utförande är nämnda första optiska stråle elliptiskt polariserad.

I en annan aspekt tillhandahåller uppfinningen ett system för transmission av information, innefattande:

ett system definierat enligt ovan;

en ljuskälla för generering av en optisk bärvåg för nämnda optiska signalstråle, inkluderande ett polariserande optiskt element;

en pulserande ljuskälla för optisk modulering av nämnda system, inkluderande ett polariserande optiskt element;

en styrenhet för nämnda pulserande ljuskälla;

en komponent för generering av ett magnetfält;

en strömkälla för matning av nämnda komponent för generering av magnetfält;

en optisk detektor; samt

en optisk signal-analysator tillhandahållande återkoppling till nämnda styrenhet för nämnda pulserande ljuskälla.

I en annan aspekt tillhandahåller uppfinningen en optisk komponent innefattande en mångfald av Bragg-gitter-skikt, av vilka minst ett har en defekt, en magnetisk komponent för applicering av ett magnetfält genom gitter-skikten, samt en styrenhet för reglering av en parameter så att det uppstår separata smala HCP och LCP transmissionsband i det transmitterade spektrat.

I ett utförande reglerar styrenheten parametrar så att komponenten opererar som en switch under skiftning av de smala transmissionsbanden.

I ett utförande reglerar styrenheten parametrar så att komponenten opererar som en XOR-gate (exclusive or).

I ett utförande reglerar styrenheten parametrar för att introducera polarisationstillstånds-diversitet och scrambling i optiska länkar eller målsöknings-system.

I ett utförande reglerar styrenheten parametrar för dynamisk polarisations-tillstånds-filtrering och modulering.

I ett utförande reglerar styrenheten parametrar för att dynamiskt selektera fotoner med positivt eller negativt spin.

I ett utförande reglerar styrenheten ett applicerat magnetfält.

I ett utförande reglerar styrenheten topp-intensiteten hos ett intensivt optiskt pulståg.

I ett utförande reglerar styrenheten pulslängden.

I ett utförande reglerar styrenheten repetitionsfrekvensen av pulserna.

I ett utförande reglerar styrenheten polarisationstillståndet hos det infallande intensiva optiska pulståget.

Detaljerad beskrivning av uppfinningen

Uppfinningen är ytterligare förtydligad utifrån följande beskrivning av dess utföranden, exemplifierade med referenser till medföljande figurer där:

Fig. 1 visar en schematisk illustration över en implementering av det ickelineärt magneto-optiska Bragg-gittret. Gittret består av $N$ - 1 skikt av alternerande optiska och magneto-optiska media med lineära och ickelineära optiska och magneto-optiska egenskaper. Tjocklekarna hos skikten är valda som en fjärdedel av den optiska våglängden, med undantag för det mittre skiktet, också betecknat som ett defekt skikt, vilket är valt att ha minst den dubbla tjockleken jämfört med andra skikt med identiska egenskaper. Över komponenten, i samma riktning som ljuset propagerar, är ett statiskt magnetfält applicerat.

Fig. 2 visar ett perspektiv över det ickelineärt magneto-optiska Bragg-gittret i uppfinningen.

Fig. 3 och 4 visar diagram över möjliga metoder att använda komponenten, antingen i form av en självmodulering av ett intensivt optiskt pulståg (Fig. 3) eller i form av en extern modulering av en optisk stråle under inverkan av en andra intensiv stråle i form av ett optiskt pulståg (Fig. 4).

Fig. 5 visar skiftet i en riktning av smala transmissionsband av höger- (HCP) och vänster-cirkulärpolariserade (VCP) polarisationstillstånd hos ljuset, orsakat av en intensitets-beroende skiftning av brytningsindex (optisk Kerr-effekt).

Fig. 6 till 9 är mer detaljerade grafer visande den spektrala responsen; Fig. 6 visar ett typiskt spektrum av transmissionen i intensitet, för ett gitter bestående av en stack av $N - 1 = 53$ skikt av en kvarts våglängds tjocklek, med alternerande brytningsindex 2.18 och 1.93 och med designvågländen för centrum av reflektionsmaximum vald som $\lambda_0 = 1150$ nm. I etiketterna på spektrats axlar betecknar $W_0$ den genom gittret transmitterade intensiteten och $S_0$ den mot gittret infallande intensiteten (mätt i Watt per kvadratmeter).

Fig. 7 illustrerar den spektrala inverkan på transmissionsegenskaperna hos gittret genom introduceringen av ett centralt defekt skikt, av dubbel tjocklek jämfört med andra skikt med identiska materialegenskaper. Som grafen visar, agerar det defekta skiktet genom att öppna ett smalt transmissionsband i den i övrigt högreflekterande regionen i spektrum. Spektrat är polarisationstillstånds-degenererat i avseendet att transmissions-spektrat är detsamma oavsett polarisationstillståndet för ljuset som propagerar genom gittret. Genom att skifta basnivån av brytningsindex genom ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt), då gittret exponeras av en intensiv optisk stråle, så skiftas transmissionsspektrat i en riktning, och då i synnerhet även det smala transmissionsbandet, vilket är illustrerat i den infogade grafen.

Fig. 8 visar transmissions-spektrat i intensitet för Bragg-gittret inkluderande ett centralt defekt skikt, då linjär magneto-optisk effekt är inkluderad under det att gittret exponeras av ett statiskt magnetfält. Den magneto-optiska effekten (Faraday-effekt) orsakar ett skift av basnivån

för brytningsindex med olika tecken för ortogonala cirkulärpolariserade komponenter av ljuset, med följd att ortogonala cirkulärpolariserade tillstånd hos ljuset upplever olika brytningsindex. I synnerhet lyfts den nämnda polarisationstillstånds-degenereringen hos det smala transmissionsbandet, så att detta splittas i två smala transmissionsband, ett för varje cirkulärt polarisationstillstånd. Liksom i det degenererade fallet kan de smala transmissionsbanden skiftas i en riktning genom ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) då gittret exponeras av en intensiv optisk stråle.

Fig. 9 visar transmissionen och det transmitterade polarisationstillståndet för en intensiv optisk puls, för vilken maximal intensitet inträffar vid tiden $t = 0$. Fig. 9(a) visar den normaliserade transmissionen, definierad som transmitterad intensitet dividerad med infallande intensitet, plottad som funktion av tiden, för en uppsättning av linjärt polariserade Gaussiska pulser, var och en av 10 ps pulslängd men med olika topp-intensiteter. I denna figur, vilken visar den själv-modulerande transmissionen av en intensiv pulserande signalstråle, har samma gitter-parametrar som i Fig. 8 använts, och topp-intensiteterna för de respektive pulserna är 1.6 GW/cm$^2$ (punkt-streckad kurva, puls-energi 216 nJ), 1.9 GW/cm$^2$ (heldragen kurva, puls-energi 255 nJ), and 2.7 GW/cm$^2$ (streckad kurva, puls-energi 367 nJ). Fig. 9(b) visar de motsvarande ellipticiteterna hos det transmitterade polarisationstillståndet för den själv-modulerande pulsen, för samma puls-energier som i Fig. 9(a). I Fig. 9(b) visas tydligt att ellipticiteten hos det transmitterade polarisationstillståndet växlar mellan att vara vänstercirkulärpolariserat ($W_3/W_0 \approx 1$) för låga intensiteter, och att vara högercirkulärpolariserat ($W_3/W_0 \approx -1$) vid höga intensiteter.

Fig. 10 visar ett schematiskt perspektiv över en möjlig implementering för att generera en periodisk modulation av en spatialt varierande magneto-optisk koefficient hos komponenten, genom användande av en S-formad slinga ovanpå en optisk vågledare. Det skall här dock betonas att magnetfältet som genereras av en slinga bestående av endast en ledare, som illustrerat i figuren, är mycket svagt, och att figuren här endast har till syfte att illustrera en möjlighet för generering av ett spatialt varierande magnetiskt fält.

Fig. 11 visar hur komponenten i uppfinningen kan användas för polarisationstillstånds-selektiv switchning. Då komponenten beteckas som varandes i AV-tillstånd vid låg optisk intensitet och i PÅ-tillstånd vid hög optisk intensitet, kommer komponenten att i sitt AV-tillstånd att, till exempel, helt transmittera vänstercirkulärpolariserade polarisationstillstånd (Fall I), samtidigt som komponenten reflekterar den högercirkulärpolariserade komponenten hos infallande ljus (Fall II). Det därmed reflekterade ljuset kommer då att vara vänstercirkulärpolariserat. Å andra sidan kommer komponenten närhelst den är i PÅ-tillstånd att helt transmittera högercirkulärpolariserat ljus (Fall IV), medan den vänstercirkulär-polariserade komponenten hos infallande ljus då istället reflekteras som högercirkulärpolariserad (Fall III).

Fig. 11 visar hur komponenten kan användas i ett optiskt system, inkluderande även en optisk cirkulator och en två-till-en-kopplare. I denna konfiguration av systemet adderas det reflekterade ljuset till det transmitterade, skapandes ett system som kan växla, till exempel, en infallande vänstercirkulärpolariserad stråle till en högercirkulärpolariserad transmitterad stråle.

Fig. 12 visar hur systemet från Fig. 11 vidare kan inkorporeras i ett större system för optisk transmission av information, till exempel genom att modulera polarisationstillståndet hos signalstrålen.

Uppfinningen tillhandahåller en metod och en komponent för reglering av intensiteten och polarisationstillståndet hos en optisk stråle propagerande genom ett Bragg-gitter, vilket simultant har ickelineära optiska och magneto-optiska egenskaper, och metoder för användning av denna komponent för att åstadkomma dynamisk polarisationstillstånds-filtrering och switchning. Det ickelineärt magneto-optiska Bragg-gittret kan operera antingen i reflektion eller i transmission, eller i en kombination där det reflekterade ljuset kombineras tillsammans med det transmitterade ljuset, bidragande till utökad funktionalitet och prestanda.

Fig. 1 visar en sido-vy av det magneto-optiska Bragg-gittret (magneto-fotoniska kristallen) i uppfinningen. För ytterligare förtydligande är samma gitter i Fig. 2 även avbildat i perspektiv. De infallande, reflekterade och transmitterade fälten är betecknade med deras motsvarande variabler för de elektriska fälten som är associerade med de optiska vågorna, med $E_0^f$, $E_0^b$ och $E_N^f$, respektive. Tecknen +/- i index används för att beteckna vänstercirkulärpolariserade (+) eller högercirkulärpolariserade (-) komponenter hos respektive våg. Över det magneto-optiska Bragg-gittret appliceras ett statiskt magnetiskt fält $\mathbf{B}_0$ parallellt med riktningen för propagationen för de optiska vågorna (med magnetfältet applicerat på detta vis sägs ett magneto-optiskt element vara i Faraday-konfiguration).

Ett av skikten i gittret har en optisk tjocklek som radikalt skiljer sig från andra skikt av samma typ; ett sådant skikt är vanligen betecknat som ett defekt skikt. Detta ändrar den spektrala responsen så att ett smalt transmissionsband uppstår inom den i övrigt högreflekterande regionen hos den spektrala

responsen. Om ett magnetfält appliceras över gittret, kommer det smala transmissionsbandet att för vänster- och högercirkulärpolariserade tillstånd att skiftas åt olika riktningar med respekt till den ursprungliga centrum-positionen, så att två närliggande och smala men urskiljbara transmissionsband uppstår. Genom att vidare utnyttja ett intensitetsberoende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) kan resonansvillkoret hos gittret skiftas i en riktning, så att de två smala transmissionsbanden för ortogonala cirkulärpolariserade tillstånd parvis förskjuts, vilket är illustrerat i Fig. 5. Följaktligen kan man reglera positionen av dessa transmissionsband genom reglering av följande parametrar:

- Tidpunkt för applicering av magnetfältet,
- styrkan av det applicerade magnetfältet,
- intensiteten hos det infallande ljuset, antingen pulserande eller kontinuerligt,
- om pulserande, topp-intensiteten, pulslängden ($\Delta t$) och repetitions-frekvensen.

Som ett exempel ger ett konstant magnetfält $\mathbf{B}_0$ en konstant separation mellan de smala transmissionsbanden, men genom att ändra eller modulera den infallande ljusintensiteten kan positionerna för dessa band ändras så att de repetitivt skiftas fram och tillbaka.

Före en mer detaljerad beskrivning av komponenten, skall nu två sätt att använda komponenten allmänt beskrivas. Antingen kan komponenten användas i en själv-modulerande konfiguration, illustrerad i Fig. 3, i vilken en pulserande intensiv optisk signalstråle som propagerar genom gittret kommer att modulera sitt eget polarisationstillstånd, eller så kan den användas i en konfiguration där en andra intensiv pulserande stråle används för att reglera gittret så att polarisationstillståndet hos en svag optisk signal-stråle moduleras, vilket är illustrerat i Fig. 4. Med "svag optisk signal-stråle" avses här en stråle med en intensitet som är tillräckligt låg för att motivera att direkta ickelineära

växelverkningar orsakade av denna stråle säkert kan försummas (med andra ord, att dessa effekter är mycket svagare än de ickelineära effekter som uppträder i närvaron av den intensiva pulsade strålen). I Fig. 3 och 4 har de transmitterade och reflekterade komponenterna av den intensiva pulserande strålen tagits bort för tydlighets skull.

I Fig. 3 är den intensiva infallande signalstrålen helt orsakande modulationen av sitt eget, intrinsiska, polarisationstillstånd i propagationen genom den magneto-fotoniska kristallen i komponenten. I detta fall kommer naturligvis summan av de transmitterade och reflekterade intensiteterna att följa den temporala intensitetsprofilen hos den infallande ljuspulsen. Fastän detta fall bistår med switchning och polarisationstillstånds-selektivitet, är det i många fall önskvärt att ha en modulation endast för polarisationstillståndet hos signalstrålen (av konstant in-polarisationstillstånd och/eller intensitet).

Möjligheten att modulera polarisationstillståndet hos en stråle vid konstant intensitet introduceras med Fig. 4, i vilken pulståget av en andra intensiv optisk stråle används för modulering av den svagare optiska signalstrålen. I detta fall behöver den modulerade signalstrålen separeras från att direkt sammanfalla med den pulserande intensiva strålen. Detta kan uppnås antingen spatialt (genom att helt enkelt låta de två strålarna infalla mot komponenten under aningen skilda vinklar) eller spektralt (genom att låta pumpstrålen operera vid en våglängd som ger en något icke-resonant växelverkan med gittret jämfört med den modulerade signal-strålen). En annan möjlighet för det senare fallet är att låta den andra intensiva strålen verka vid en optisk frekvens som svarar mot en högre ordnings gitter-resonans, så att en effektiv transparens eller kavitets-resonans uppnås för ett effektivt utnyttjande av den andra intensiva strålen för ickelineär optisk växelverkan. Den transversala arean som upptas av signalstrålen skall vara helt exponerat av det intensiva optiska pulståget för att garantera att signalstrålen är homogent modulerad av den spektrala skiftningen orsakad av den ickelineära optiska effekten. Avvikelser från detta orsakar

potentiella problem med utsläckningsförhållandet och modulations-kontrasten mellan vänster- och högercirkulärpolariserade polarisationstillstånd, då signalen - om denna inte är fullt ut exponerad av den pulserande strålen - endast partiellt kommer att påverkas.

Hänvisande till Fig. 5 och 8 är transmissionsbanden för rent höger- eller vänster-cirkulärpolariserat ljus smala och lokaliserade i den spektrala region där gittret i övrigt har en flat och hög reflektans. Då transmissionsbanden är smala och markanta kan den spektrala separationen mellan de resonanta våglängderna hos vänster- och högercirkulär polarisation vara moderat, följaktligen med en moderat skiftning av spektrum orsakad av ett intensitetsberoende brytningsindex (optisk Kerr-effekt).

Fig. 5 visar principen för switchning mellan vänster- och högercirkulärpolariserat (VCP och HCP, respektive) ljus i transmission, genom att skifta transmissionsspektrum $T(\lambda)$. I switchningen förblir vacuum-våglängden $\lambda_{op}$ för operationen konstant, och denna vacuum-våglängd skall väljas så att den sammanfaller med en av de smala transmissionsbanden, i den riktning åt vilken banden skiftas då ett intensitets-beroende brytningsindex inverkar. I den vänstra figuren transmitterar komponenten VCP ljus vid operationsvåglängden, medan den i den högra figuren istället switchat till att transmittera HCP ljus. Genom att byta tecken för det applicerade magnetfältet, byts positionerna för HCP och VCP sinsemellan.

Komponenten bistår därmed med helt optiska medel för reglering och modulering av polarisationstillståndet hos en optisk stråle. Vidare så bistår komponenten med helt optiska medel för switchning mellan ortogonala cirkulära polarisationstillstånd. Komponenten är avstämbar genom det applicerade statiska magnetfältet, vilket kan regleras genom en återkopplings-loop för automatisk optimering av en i övrigt helt optisk operation. Behovet för snabb elektrisk switchning av komponenten är eliminerad, och switchningen

eller modulationen kan åstadkommas genom användandet av en externt genererad pulserande optisk stråle.

I detalj innefattar komponenten ett magneto-optiskt Bragg-gitter, illustrerat i Fig. 1 och 2. Detta gitter består av $N-1$ skikt av alternerande optiska och magneto-optiska media, med lineära och ickelineära optiska och magneto-optiska egenskaper. Normal-riktningen hos dessa skikt väljs som $z$-axeln i följande beskrivning. Brytningsindex hos det $k$:te skiktet betecknas $n_k$, i skiktet $z_k < z < z_{k+1}$. Tjockleken hos skikten väljs som en fjärdedel av en optisk centervåglängd ($\lambda_c/4$, där $\lambda_c$ är våglängden i respektive medium, det vill säga $\lambda_c = \lambda_{c0}/n_k$), med undantag för det centrala skiktet, för vilket tjockleken väljs som dubbla tjockleken ($\lambda_c/2$) jämfört med andra skikt av i övrigt identiska materialegenskaper. Detta skikt betecknas som ett "defekt" skikt, och används för att öppna upp för ett smalt transmissionsband inom det breda stoppband med hög reflektans som resulterar från $\lambda_c/4$-skikten. Över komponenten appliceras i riktningen av propagationen av ljuset ett statiskt magnetfält $\mathbf{B}_0$ som introducerar en magneto-optisk effekt i form av Faraday-rotation (en effekt där effektiva brytningsindex för VCP och HCP ljus skiljer sig åt, därmed orsakande att en elliptiskt eller lineärt polariserad ljusstråle roterar axeln för polarisations-ellipsen alltefter strålen propagerar genom mediet, med denna effekt varandes oberoende av den optiska intensiteten) samt en ickelineär (foto-inducerad) Faraday-rotation.

Effekten på transmissionsegenskaperna hos gittret genom att inkludera ett defekt skikt illustreras i Fig. 6, som visar den relativa intensitets-transmissionen för en stack av $\lambda_c/4$-skikt med alternerande brytningsindex, designad för en maximal reflektans vid en vacuum-våglängd $\lambda_c = 1150.0$ nm. Som grafen i Fig. 6 visar är resultatet en förhållandevis flat platå för reflektionen i ett band som sträcker sig från ungefär 1100 nm till 1200 nm. I vissa tillämpningar är detta ett önskat resultat, till exempel i fall där man önskar separera ut ett visst brett

våglängdsband från en kommunikationskanal, eller när man önskar blockera ett visst band av våglängder för att undvika brus längre fram i ett optiskt kommunikations-system. I denna uppfinning önskar man dock att blockera ett brett band samtidigt som man önskar en hög transmittans i ett smalt band, det senare lokaliserat i det i övrigt högreflekterande stoppbandet.

Genom att låta det centrala skiktet i gittret vara ett "defekt" skikt med tjocklek $\lambda_c/2$ ändras transmissions-egenskaperna radikalt. Ett smalt transmissionsband öppnas upp i mitten av det i övrigt högreflekterande stoppbandet, vilket är illustrerat i Fig. 7.

I Fig. 7 illustreras att komponenten fortfarande tillhandahåller en mycket flat central platå med hög reflektion (mycket låg transmitterad intensitet), inom vilken ett smalt transmissionsband introducerats, med detta nära nog transparent vid maximal transmittans. Detta transmissionsband (såväl som andra lineära optiska egenskaper) kommer att i avsaknad av ett statiskt magnetfält och i en lineär optisk regim att vara oberoende av polarisationstillståndet hos den optiska strålen. Detta polarisationstillstånds-oberoende betecknas allmänt som "polarisationstillstånds-degenerering". Detta smala transmissionsband existerar vidare endast på grund av inkluderandet av det defekta skiktet, vilket här är nödvändigt för funktionen. Det smala transmissionsbandet kan nå total transmittans närhelst de två omgivande stackarna av $\lambda_c/4$-skikt balanserats mot varann (så att de är av samma styrka i reflektion), och den spektrala bredden hos transmissionsbandet reduceras med en ökande brytningsindex-kontrast mellan skikten (det vill säga med en ökande reflektans hos stackarna som omger det defekta skiktet). Den spektrala bredden hos transmissionsbandet minskar även med ett ökande antal omgivande $\lambda_c/4$-skikt (ökande $N$). Det skall här betonas att det inte är nödvändigt att gittret består av endast två typer av media. Gittret kan lika gärna konstrueras utifrån

två identiska stackar av godtyckliga $\lambda_c/4$-konfigurerade media, omslutande ett centralt $\lambda_c/2$-skikt.

Fig. 7 visar transmissions-spektrat simulerat för godtyckligt polarisationstillstånd, i en lineär optisk regim och i avsaknad av magneto-optiska effekter (magnetfältet ej pålagt). I denna simulering var det centrala (udda) skiktet $k = 27$ modifierat till att ha en tjocklek $\lambda_c/2$, som tidigare illustrerat i Fig. 1 och 2; i övrigt var materialparametrarna identiska med de som användes för Fig. 6. I den i Fig. 7 infogade grafen visar pilen den riktning i vilken spektrat förskjuts via ett intensitets-beroende brytningsindex (under antagandet av en positiv ökning av brytningsindex vid en hög optisk intensitet; skiftningen kommer i annat fall att istället ske i motsatt riktning, till vänster i grafen).

Allteftersom intensiteten hos den optiska strålen ökas till en regim i vilken ickelineära optiska effekter uppträder, kommer brytningsindex att via optisk Kerr-effekt att ändras med en varierande intensitet. Som en följd av denna ändring av brytningsindex kommer hela spektrum (och i synnerhet topparna i transmission eller reflektion) att skiftas antingen i en positiv riktning (för en positiv ökning av brytningsindex på grund av ickelineära effekter) eller i en negativ riktning (om istället en minskning av brytningsindex sker). I den i Fig. 7 infogade grafen visas en förstoring av det smala transmissionsbandet tillsammans med en pil som indikerar riktningen i vilken spektrum skiftas via det ickelineära brytningsindex (under antagandet om en positiv ökning av brytningsindex vid en hög optisk intensitet).

I praktiken orsakar ickelineariteten inte bara en translatering av spektrum, utan kan även ändra formen av transmissions-spektrum. I vilken grad som spektrum distorderas bestäms av intensiteten, ickelineära koefficienter, geometrin, och även lineära optiska koefficienter, då dessa parametrar alla kommer att

växelverka till att koncentrera eller sprida ljuset till eller från de aktiva ickelineära områdena i gittret.

Vi betraktar igen det lineära optiska fallet, men nu med ett statiskt magnetfält applicerat över gittret. Det intressanta fenomen som därmed uppstår är att komponenten nu får ett smalt transmissionsband för var och ett av de cirkulära polarisationstillstånden, med respektive transmissionsband skiftat i motsatta riktningar i spektrum från centrala designvåglängden $\lambda_c$, visat i detalj i den i Fig. 8 infogade grafen.

Fig. 8 visar ett transmissions-spektrum för höger (heldragen) och vänster (streckad) cirkulärpolariserat infallande ljus, fortfarande i en lineär optisk regim men nu med det statiska magnetfältet påslaget. På grund av den lineära magneto-optiska effekten lyfts degenereringen mellan transmissions-spektra för ortogonalt cirkulärpolariserade moder, vilket får till följd att dessa spektra skiftas i motsatta riktningar i spektrum, jämfört med det degenererade smala transmissionsbandet som visats i Fig. 7. I den numeriska simuleringen för grafen i denna figur valdes den magneto-optiska gyrations-konstanten för udda skikt som motsvarande en lineär Faraday-rotation om 52 rad/mm (3.0 grader per mikrometer); alla andra materialparametrar var identiska med de som användes för Fig. 6 och 7.

För en lineärt polariserad infallande stråle, innehållande lika stor effekt i dess höger- som vänstercirkulärpolariserade komponent, skulle transmissionen vid en våglängd omedelbart till höger om den centrala designvåglängden $\lambda_c = 1150$ nm i Fig. 8 (våglängd vid maximum av den streckade kurvan) vara vänstercirkulärpolariserad. Samtidigt skulle det transmitterade polarisationstillståndet vid en våglängd omedelbart till vänster om samma centrala designvåglängd vara högercirkulärpolariserad (våglängd vid maximum av den heldragna kurvan). Därmed, om ett instrument för att växla mellan olika närliggande våglängder existerade, skulle man därmed för en

lineärpolariserad infallande stråle enkelt kunna växla mellan vänster- och högercirkulärt polarisationstillstånd genom utnyttjandet av splittningen av det smala transmissionsbandet i närvaron av ett statiskt magnetiskt fält. I många tillämpningar är detta dock inte ett önskvärt tillvägagångssätt, då (i) det är en komplicerad process att snabbt växla en optisk signal från en våglängd till en annan, och att det (ii) i en majoritet av alla praktiska tillämpningar är önskvärt att hålla signalen stadigt vid en fix våglängd. I en optisk analogi med frekvensmodulering (FM) för radiosändningar, skulle en sådan komponent snarare agera som en konverter, konverterande en frekvensmodulation till en motsvarande polarisationstillståndsmodulation.

Vi har dock en annan möjlighet till förfogande för att ändra den relativa positionen för en observations-våglängd relativt transmissions-spektrat, nämligen att direkt ändra på spektrat istället för våglängden. I synnerhet kan denna ändring via en ickelineär optisk växelverkan, som ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt), regleras på helt optisk väg. Ändringen kan åstadkommas direkt med en optisk signalstråle vid en vacuum-våglängd som motsvarar våglängden för maximal transmittans för vänstercirkulärpolariserat ljus (följande fallet behandlat i Fig. 8), i vilket fall intensiva pulser kommer att transmitteras som högercirkulärpolariserade medan svaga pulser kommer att transmitteras som vänstercirkulärpolariserade. En annan möjlighet är användandet av en andra intensiv pulserande optisk stråle för reglering av det transmitterade polarisationstillståndet (modifierande transmissionsegenskaperna hos gittret) och en svag optisk signalstråle, den senare upplevande gittret som transparent antingen för vänster- eller höger-cirkulärpolariserat ljus men annars inte involverad i den ickelineära process som modifierar själva transmissionen.

Ett exempel på fotoinducerad (ickelineärt optisk) operation av komponenten illustreras i Fig. 9, vilken visar transmissionen av intensitet och polarisations-tillstånd som funktion av tiden $t$ för en Gaussisk lineärpolariserad puls med

halvvärdes-bredd 10 ps. Variablerna som använts som ordinator i Fig. 9(a) och 9(b) är Stokes-parametrarna (se till exempel J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (Wiley, New York, 1975), vilka för det infallande ljuset definieras som

$$S_0 = (\varepsilon_0 c/2)(|E_{0+}^f|^2 + |E_{0-}^f|^2), \qquad S_1 = \varepsilon_0 c\,\mathrm{Re}[E_{0+}^{f*}E_{0-}^f],$$
$$S_3 = (\varepsilon_0 c/2)(|E_{0+}^f|^2 - |E_{0-}^f|^2), \qquad S_2 = \varepsilon_0 c\,\mathrm{Im}[E_{0+}^{f*}E_{0-}^f],$$

medan parametrarna för det genom gittret transmitterade ljuset definieras som

$$W_0 = (\varepsilon_0 c/2)(|E_{N+}^f|^2 + |E_{N-}^f|^2), \qquad W_1 = \varepsilon_0 c\,\mathrm{Re}[E_{N+}^{f*}E_{N-}^f],$$
$$W_3 = (\varepsilon_0 c/2)(|E_{N+}^f|^2 - |E_{N-}^f|^2), \qquad W_2 = \varepsilon_0 c\,\mathrm{Im}[E_{N+}^{f*}E_{N-}^f],$$

där i synnerhet kvoterna $S_3/S_0$ och $W_3/W_0$ är de normaliserade ellipticiteterna hos polarisationstillstånden för det infallande och transmitterade ljuset, med värdet +1 svarande mot vänstercirkulärpolariserad ljus och -1 svarande mot högercirkulärpolariserat ljus, samt 0 svarande mot lineär polarisation. Stokes-parametrarna är här skalade med faktorn $\varepsilon_0 c/2$ så att deras värden ges i enheter av optisk intensitet, i Watt per kvadratmeter.

I den numeriska simuleringen som utfördes för graferna i Fig. 9(a) och 9(b) användes följande värden för parametrarna: en intensitets-beroende ändring av brytningsindex varande $\Delta n = 2.3\times10^{-3}$ vid en optisk intensitet 1.0 GW/cm$^2$ (eller $n_2 = 2.3\times10^{-8}$ m$^2$/W, hänvisande till den ickelineära koefficienten i formeln $n(I) = n_0 + n_2 I$ för det intensitets-beroende brytningsindex, om intensiteten $I$ mäts i Watt per kvadratmeter), en ickelineärt optisk ellips-rotation (inducerad via dubbelbrytningen inducerad av optisk Kerr-effekt) varande maximalt 2.5 rad/mm vid en optisk intensitet 1.0 GW/cm$^2$, och en foto-inducerad Faraday-rotation varande 0.7 rad/mm vid en optisk intensitet 1.0 GW/cm$^2$. Ellips-rotationen inducerad via den optiska Kerr-effekten är maximal för cirkulärpolariserat ljus, med olika tecken för ortogonala polarisationer, och noll för linjärpolariserat ljus; för en detaljerad beskrivning av ellips-rotationen i ickelineärt optiska media, se till exempel Y.R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics* (Wiley, New York, 1984).

Fig. 9 visar (a) den normaliserade intensitetstransmissionen $W_0/S_0$ (transmitterad optisk intensitet dividerad med infallande optisk intensitet) som funktion av tiden $t$, när gittret exponeras av en Gaussisk optisk puls med halvvärdes-bredd 10 ps och topp-intensitet vid tiden $t = 0$, och (b) den motsvarande normaliserade ellipticiteten $W_3/W_0$ hos det transmitterade polarisationstillståndet. ($W_3/W_0 = -1$ svarar mot högercirkulärpolariserat ljus, $W_3/W_0 = +1$ mot vänstercirkulärpolariserat ljus, och $W_3/W_0 = 0$ mot lineärpolariserat ljus.) De maximala pulsintensiteterna som användes i den numeriska simuleringen var 1.6 GW/cm$^2$ (punkt-streckad kurva, svarande mot en puls-energi 216 nJ), 1.9 GW/cm$^2$ (heldragen kurva, svarande mot en puls-energi 255 nJ), och 2.7 GW/cm$^2$ (streckad kurva, svarande mot en puls-energi 367 nJ).

Eftersom de cirkulärpolariserade moderna är egen-moderna för propagation i mediet som används i komponenten, kommer en cirkulärpolariserad infallande stråle att förbli cirkulärpolariserad allteftersom den traverserar kristallen, opåverkad av propagationen och med ljusstrålen endast påverkad i intensitet. Denna egenskap hos egenmoderna är giltig i en lineär såväl som en ickelineär optisk regim.

I Fig. 9(a) visas att medan transmissionen under det att pulsen passerar hålls kring cirka 50 procent (man tappar naturligt någon av de cirkulärpolariserade komponenterna i filtreringen av den linjärpolariserade infallande strålen, och därmed även hälften av intensiteten), genomgår den transmitterade ellipticiteten en dramatisk ändring. I konfigurationen som analyseras i Fig. 9(b) är det transmitterade polarisationstillståndet i huvudsak vänstercirkulärpolariserat när den optiska intensiteten är låg (bort från maximum hos den Gaussiska pulsen). Då intensiteten ökas ändras polarisationstillståndet via lineärt till högercirkulärpolariserat, och för en maximal intensitet 1.6 Gw/cm$^2$ hos pulsen (punkt-streckad kurva i Fig. 8) är denna ändring kontinuerlig, från $W_3/W_0 = 1$ (VCP) ner till cirka $W_3/W_0 = -0.5$

(högerelliptiskt polariserat). Då intensiteten vidare ökas, genomgår komponenten en bifurkation i transmissions-karakteristiken, och transmissions-egenskaperna kommer istället att ändras i diskreta steg. För en maximal puls-intensitet 1.9 Gw/cm$^2$ (heldragen kurva i Fig. 8) kommer den transmitterade ellipticiteten vid $t$ = -2.5 ps att göra ett hopp ned till $W_3/W_0$ = -1 (HCP), vid vilken ellipticiteten förblir fram till tiden $t$ = 4.5 ps, då den hoppar tillbaks till den övre nivån igen, gradvis ändrande tillbaka till $W_3/W_0$ = 1 (VCP) igen. Ett liknande uppträdande återfinns för ännu högre intensiteter.

Användningen av komponenten begränsas inte bara till tillämpningar där en snabb optisk modulation krävs. Komponenten kan lika väl användas i en icke modulerad konfiguration under utnyttjande av de smalt separerade transmissionsbanden. Genom att använda det statiska magnetfältet som en kontrollparameter, åstadkoms funktionalitet hos en komponent där vänster- och högercirkulärpolariserade smala toppar kan användas för symmetrisk mätning av ett optiskt spektrum kring centervåglängden för Bragg-resonansen, för vilken komponenten är designad att vara resonant i avsaknad av statiska magnetfält eller ickelineära effekter. Denna princip för användning av komponenten är möjlig även utan ickelinjära effekter.

Komponenten kan implementeras antingen som ett binärt gitter bestående av stackade homogena tunna skikt, eller som ett gitter bestående av en brytningsindex-variation, som i till exempel fiber-Bragg-gitter eller korrugerade gitter i planara vågledare. En modulation av den magneto-optiska koefficienten kan till exempel åstadkommas genom att en S-formad slinga fabriceras ovanpå en vågledare (vilken vidare kan inkludera även en helt optisk modulation), så som illustreras i Fig. 10. I Fig. 10 illustreras ett möjligt sätt att skapa en modulation av den magneto-optiska koefficienten, genom användande av en S-formad slinga ovanpå ett substrat med en optisk vågledare. Över den S-formade slingans ändar påläggs en elektrisk potentialskillnad, varvid ett spatialt modulerat magnetfält riktat längs vågledarens axel induceras.

I ett system-perspektiv reflekterar den föreslagna komponenten generellt det polarisationstillstånd som är ortogonalt mot det som blockeras i transmission. Som ett exempel, betrakta en VCP stråle infallande mot komponenten i AV-tillstånd (med komponenten vald som svarande mot den karakteristiska transmission som visas i Fig. 9, vid låg optisk signal-intensitet, eller med en andra intensiv optisk stråle ej påslagen). För denna konfiguration, som schematiskt är illustrerad i Fig. 11 (Fall I), är VCP-strålen transmitterad, och det transmitterade polarisationstillståndet förblir detsamma som det hos den infallande strålen, det vill säga VCP. Genom att öka den optiska intensiteten hos signalen (eller med en andra intensiv stråle påslagen) kommer komponenten att switchas till PÅ-tillståndet, i vilket den infallande VCP-strålen istället kommer att reflekteras, så som schematiskt illustrerat i Fig. 11 (Fall II). Denna reflektion kommer dock att transformera det infallande VCP-tillståndet till ett reflekterat HCP-tillstånd för strålen propagerande i motsatt riktning. Möjligheten att utnyttja denna komponent i ett system för att fullt utnyttja polarisationstillstånds-switchningen visas i Fig. 12.

Fig. 11 visar operation i transmission och reflektion för en komponent med transmissions-karakteristiken som visas i Fig. 9, för VCP såväl som HCP för den infallande strålen. Då riktningen hos det pålagda statiska magnetfältet vänds, byts responsen för VCP mot den för HCP och vice versa.

Fig. 12 visar en möjlig implementering av ett system (schematiskt inneslutet i en streckad låda) som genomför switchning mellan vänster- och högercirkulärpolariserade tillstånd (VCP och HCP, respektive), givet att det infallande ljuset är vänstercirkulärpolariserat, utnyttjande komponenten i uppfinningen som det grundläggande elementet för switchningen. För en vänstercirkulärpolariserad infallande stråle motsvarar PÅ-tillståndet transmission av ett högercirkulärpolariserat tillstånd. Komponenten är här inte

nödvändigtvis switchad av signalstrålen, utan kan företrädesvis istället switchas av en andra, externt pålagd intensiv stråle.

Fig. 13 visar schematiskt en uppställning med associerade kontrollparametrar för användande av den switchande komponenten som ett system för transmission av information. I detta fall används en lineärt polariserad intensiv och pulserande ljuskälla (A) för att modulera polarisationstillståndet hos en svagare ljusstråle (B), den senare till exempel i form av en lineärt eller cirkulärt polariserad kontinuerlig laser. I detta fall är den typiska metoden för modulation med komponenten illustrerad i Fig. 4. I fall då komponenten istället skall användas i en själv-modulerande konfiguration kan ljuskällan för den svagare strålen helt tas bort varvid funktionen helt bestäms av den intensiva pulserande ljusstrålen.

De fysikaliska kontrollparametrarna för komponenten är, tagna var för sig eller i kombination,

- Det pålagda statiska magnetfältet $\mathbf{B}_0$,
- Topp-intensiteten $I_{peak}$ för det intensiva optiska pulståget,
- Pulsbredden $\Delta t$ i tiden hos de individuella pulserna i nämnda pulståg. Denna parameter mäts vanligen som halvvärdesbredden i tid mellan flankerna hos pulserna,
- Repetitionsfrekvensen för pulserna (den karakteristiska löptiden mellan maxima för två på varandra följande pulser),
- Polarisationstillståndet för det infallande intensiva optiska pulståget.

I en konfiguration där växelverkan inte sker i den självmodulerande principen som visas i Fig. 3, utan istället i form av en extern modulation av en svag kontinuerlig ljusstråle, illustrerad i Fig. 4, tillkommer följande fysikaliska kontrollparametrar:

- Polarisationstillståndet hos signal-strålen.

- Vinkelseparationen mellan det infallande intensiva pulståget och signalstrålen (i fallet med spatialt separerade riktningar hos strålarna).
- Den spektrala separationen mellan vacuum-våglängderna hos den intensiva pulserande strålen och den kontinuerliga signalstrålen (i fallet med spektralt separerade strålar).

I de flesta fall är det av vikt att reglera den totala optiska energin som passerar genom komponenten. I detta avseende kan puls-energin sägas vara en parameter som är härledd från den integrerade puls-intensiteten, pulsens spatiala utbredning och puls-bredden i tiden. Energin per puls är

$$E_{\text{pulse}} = \int_{-\infty}^{\infty} \iint_{A_{\text{pulse}}} I_{\text{pulse}}(t)\, dA\, dt\,,$$

i vilken den spatiala integrationen sker över pulsens totala transversala utbredning $A_{\text{pulse}}$. Om pulsen är Gaussisk i tiden, av formen

$$I_{\text{pulse}}(t) = I_{\text{peak}} \exp[-(t/\Delta t)4\ln 2],$$

där topp-intensiteten $I_{\text{peak}}$ mäts i Watt per kvadratmeter (W/m$^2$) och där tiden $t$ mäts i sekunder (s), blir puls-energin uttryckt i Joule (J)

$$E_{\text{pulse}} = I_{\text{peak}} A_{\text{peak}} \frac{\Delta t}{2}\sqrt{\frac{\pi}{\ln 2}}\,,$$

där $A_{\text{peak}}$ är den effektiva arean som exponeras av strålen.

Möjliga tillämpningar av komponenten i uppfinningen är:

- Introduktion av polarisationstillstånds-diversitet och scrambling i optiska länkar.
- Polarisationstillstånds-diversitet och scrambling i optiska målsökningssystem.
- Dynamisk polarisationstillstånds-filtrering och modulering.
- Dynamiskt urval av fotoner meed positivt eller negativt spin, med tillämpningar inom kvant-kryptografi och relaterade områden.

Uppfinningen är inte begränsad till ovan beskrivna utföranden, utan kan variera i konstruktion och detalj.

Patentkrav

1. En metod för reglering av intensiteten och polarisationstillståndet hos en optisk signalstråle propagerande genom ett ickelineärt magneto-optiskt Bragg-gitter i vilket minst ett defekt skikt öppnar upp ett spektralt smalt transmissionsband inom den i övrigt högreflekterande spektrala regionen given av Bragg-resonansvillkoret för gittret, där nämnda metod innefattar följande steg:

applicerandet av ett magnetfält i riktningen för brytningsindexmodulationen i Bragg-gittret, för att lyfta polarisationstillstånds-degenereringen hos nämnda smala transmissionsband genom Faraday-effekt, skiftandes de smala transmissionsbanden för respektive ortogonala cirkulärpolariserade tillstånd i motsatta riktningar i spektrum, skapandes ett första och ett andra smalt transmissionsband, respektive svarande mot ortogonala cirkulärpolariserade transmitterade tillstånd;

justering av styrkan av nämnda magnetfält så att det nämnda första och det nämnda andra smala transmissionsbandet separeras distinkt från varann;

in i nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter riktande nämnda optiska signalstråle, så att denna är riktad längs med nämnda magnetfält och av en optisk frekvens som vid en svag optisk intensitet motsvarar den optiska frekvensen vid vilken nämnda första smala transmissionsbandet har ett maximum, medförande att nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter vid en svag optisk intensitet transmitterar endast en av de cirkulärpolariserade komponenterna hos nämnda signalstråle;

i en spektral riktning skiftande nämnda första och andra smala transmissionsband genom ett intensitets-beroende brytningsindex under exponering från ett intensivt optiskt fält, för att få gittret att växla mellan

transmission och reflektion av ortogonala cirkulära polarisationstillstånd hos nämnda optiska signalstråle.

2. En metod enligt kravet 1, vidare innefattande följande steg:

in i nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter riktande en andra intensiv optisk stråle med dess transversala utsträckning helt täckande utsträckningen hos nämnda optiska signalstråle, så att nämnda första och andra smala transmissionsband i en spektral riktning skiftas genom ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt); samt

justering av intensiteten hos nämnda andra intensiva optiska stråle så att istället nämnda andra smala transmissionsbandet positioneras vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstråle, för att växla till transmission av det cirkulära polarisationstillstånd som är ortogonalt mot det som transmitteras vid en låg optisk intensitet.

3. En metod enligt kravet 2, i vilken nämnda andra intensiva optiska stråle är pulserande i tiden, därmed verkande på nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter så att detta dynamiskt växlar mellan transmission för ortogonala cirkulära polarisationstillstånd vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstråle.

4. En metod enligt kraven 2 eller 3, i vilken nämnda magnetfält riktas inom den dubbel-kon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen för modulationen av brytningsindex hos nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter.

5. En metod enligt något av kraven 1 till 4, i vilken magnetfältet genereras av en spole genom vilken en elektrisk ström leds.

6. En metod enligt något av kraven 1 till 4, i vilken magnetfältet genereras av omvänd Faraday-effekt resulterande från exponering av nämnda ickelineärt

magneto-optiska Bragg-gitter med en tredje intensiv cirkulärpolariserad optisk stråle.

7. En metod enligt något av kraven 2 till 6, i vilken riktningen hos nämnda andra intensiva stråle är separerad från riktningen hos nämnda optiska signalstrålen med en vinkel inte överskridande 30 grader.

8. En metod enligt något av kraven 2 till 7, i vilken frekvensen hos nämnda andra intensiva stråle är separerad från frekvensen hos nämnda optiska signalstråle med minst 5 procent.

9. En metod enligt något av kraven 1 till 8, i vilken nämnda optiska signalstråle är pulserande i tiden och av en intensitet stark nog att via ett intensitetsberoende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) inducera en ändring i brytningsindex stor nog att att positionera nämnda andra smala transmissionsbandet vid den optiska frekvensen hos nämnda optiska signalstrålen, därmed verkande så att dess transmitterade polarisationstillstånd själv-moduleras.

10. En metod enligt något av kraven 1 till 9 i vilken nämnda optiska signalstråle är cirkulärpolariserad, varmed vinsterna i funktion innefattar:

att nämnda optiska signalstråle helt transmitteras då nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter ej exponeras av nämnda andra intensiva optiska stråle, samtidigt som nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter fullkomligt blockerar ortogonalt polariserat infallande ljus vid samma optiska frekvens som hos nämnda optiska signalstråle; samt

att nämnda optiska signalstråle helt reflekteras då nämnda ickelineärt magneto-optiska Bragg-gitter exponeras av nämnda andra intensiva optiska stråle, med den reflekterade optiska strålen i ett polarisationstillstånd som är ortogonalt mot polarisationstillståndet hos nämnda optiska signalstråle, samtidigt som nämnda ickelineärt

magneto-optiska Bragg-gitter fullkomligt transmitterar infallande ljus som är polariserat ortogonalt mot nämnda optiska signalstråle.

11. En optisk komponent för reglering av transmission av intensitet och transmitterat polarisationstillstånd, där nämnda komponent innefattar:

en stack av ickelineärt magneto-optiska skikt med alternerande brytningsindex och/eller magneto-optiska gyrations-koefficienter, av vilka minst ett skikt är ett defekt skikt som avviker i optisk tjocklek från övriga skikt i den i övrigt periodiska strukturen, med nämnda optiska tjocklek hos respektive skikt definierad som skiktets geometriska tjocklek multiplicerad med skiktets brytningsindex, samt

medel för applicering av ett magnetfält genom nämnda stack av magneto-optiska skikt;

att den nämnda stacken av magneto-optiska skikt, exkluderande nämnda defekta skikt, verkar så att hög reflektans uppnås vid en förutbestämd optisk design-våglängd, med nämnda optiska tjocklek hos skikten inte varierande mer än 10 procent från en fjärdedel av nämnda design-våglängd,

att det nämnda defekta skiktet öppnar minst ett smalt transmissionsband för varje cirkulärpolariserat tillstånd hos ljuset, inom den i övrigt högreflekterande spektrala regionen given av den periodiska strukturen hos nämnda stack av magneto-optiska skikt,

att det nämnda applicerade magnetfältet är starkt nog att separera nämnda smala transmissionsband för ortogonala cirkulära polarisations-tillstånd hos ljuset med minst halvvärdes-bredden hos den bredaste av nämnda smala transmissionsband,

att det nämnda applicerade magnetfältet riktas i normalens riktning mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att den nämnda optiska signalstrålen riktas inom den dubbel-kon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att den nämnda andra intensiva strålen riktas inom den dubbelkon som formas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt,

att åtminstone det nämnda defekta skiktet har ett intensitets-beroende brytningsindex (optisk Kerr-effekt) som är stort nog att spektralt skifta nämnda smala transmissionsband hos nämnda stack av magneto-optiska skikt i en riktning med minst halvvärdes-bredden hos den bredaste av nämnda smala transmissionsband, därmed vid en optisk frekvens motsvarande en av nämnda smala transmissionsband möjliggörande en växling mellan ortogonala transmitterade cirkulära polarisations-tillstånd.

12. En optisk komponent enligt kravet 11, i vilken nämnda defekta skikt avviker med minst 30 procent i optisk tjocklek från övriga skikt i den i övrigt periodiska strukturen.

13. En optisk komponent enligt något av kraven 11 eller 12, i vilken nämnda applicerade magnetfält riktas inom den dubbel-kon som bildas med 30 graders vinkel mot riktningen normal mot planet hos nämnda magneto-optiska skikt.

14. En optisk komponent enligt något av kraven 11 till 13, i vilken det applicerade magnetfältet genereras av en extern spole genom vilken en elektrisk ström leds.

15. En optisk komponent enligt något av kraven 11 till 13, i vilken det applicerade magnetfältet genereras på optisk väg genom omvänd Faraday-effekt resulterande från exponering med en cirkulärpolariserad intensiv andra optisk stråle.

16. Ett optiskt system innefattande:

en optisk cirkulator, transmitterande en optisk stråle inkommande till en första port ut via en andra port, samtidigt som ljus inkommande till den andra porten transmitteras vidare ut genom en tredje port utan att nå den första porten;

den nämnda optiska komponenten enligt något av kraven 11 to 15;

en optisk två-till-en-kopplare, adderande ljuset inkommande via en första port till ljuset inkommande via en andra port och transmitterande det superponerade ljuset som en optisk signal ut genom en tredje port, så att ljuset ut från portarna två och tre hos nämnda optiska cirkulator kombineras ihop till en gemensam ut-signal; samt

medel för riktning och ihopkoppling av de optiska strålarna via komponenterna som ingår i systemet.

17. Ett optiskt system enligt krav 16, i vilket nämnda medel för riktning och ihopkoppling innefattar en mångfald av speglar och kollimerande linser.

18. Ett optiskt system enligt något av kraven 16 eller 17, i vilket nämnda medel för riktning och ihopkoppling innefattar en mångfald av optiska fibrer eller optiska vågledare.

19. En metod för reglering av polarisationstillståndet hos ljus under användandet av ett system definierat enligt något av kraven 16 till 18, innefattande följande steg:

riktande av nämnda optiska signalstråle in i nämnda första port hos nämnda optiska cirkulator;

transmission av nämnda optiska signalstråle genom nämnda andra port hos nämnda optiska cirkulator;

riktande av den transmitterande optiska strålen in i nämnda komponent i något av kraven 11 till 15, därmed uppdelande den optiska strålen i en reflekterad och en transmitterad stråle;

riktande av nämnda reflekterade stråle in i nämnda port två hos nämnda optiska cirkulator, extraherande denna stråle via port tre hos nämnda optiska cirkulator, och riktande nämnda extraherade stråle in i nämnda port ett hos nämnda optiska två-till-en-kopplare;

riktande nämnda transmitterade stråle in i nämnda port två hos nämnda optiska två-till-en-kopplare; samt

extraherande av de optiska strålarna superponerade med nämnda optiska två-till-en-kopplare till en resulterande optisk stråle.

20. En metod enligt kravet 19, i vilken nämnda optiska signalstråle är cirkulärt polariserad.

21. En metod enligt kravet 19, i vilken nämnda optiska signalstråle är linjärt polariserad.

22. En metod enligt kravet 19, i vilken nämnda optiska signalstråle är elliptiskt polariserad.

23. Ett system för transmission av information, innefattande:

nämnda system enligt något av kraven 16 till 18,

en ljuskälla för generering av en optisk bärvåg för nämnda optiska signalstråle, inkluderande ett polariserande optiskt element;

en pulserande ljuskälla för optisk modulering av nämnda system, inkluderande ett polariserande optiskt element;

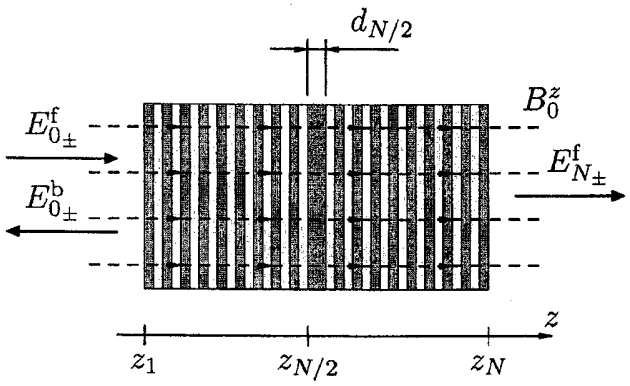
en styrenhet för nämnda pulserande ljuskälla;

en komponent för generering av ett magnetfält;

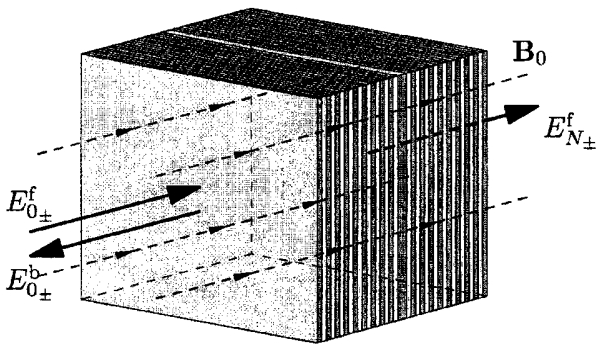
en strömkälla för matning av nämnda komponent för generering av magnetfält;

en optisk detektor; samt

en optisk signal-analysator med återkoppling till nämnda styrenhet för nämnda pulserande ljuskälla.

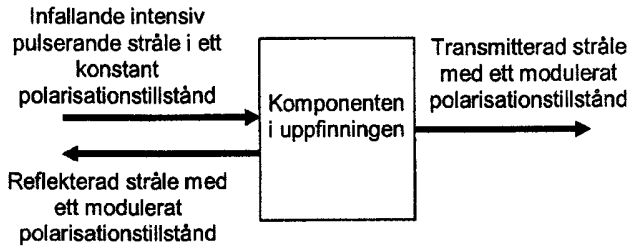



Figur 1



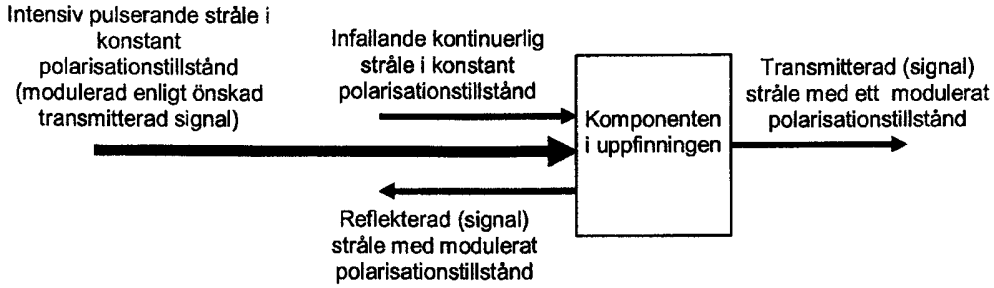

Figur 2

*Själv-modulering av ett intensivt optiskt pulståg*

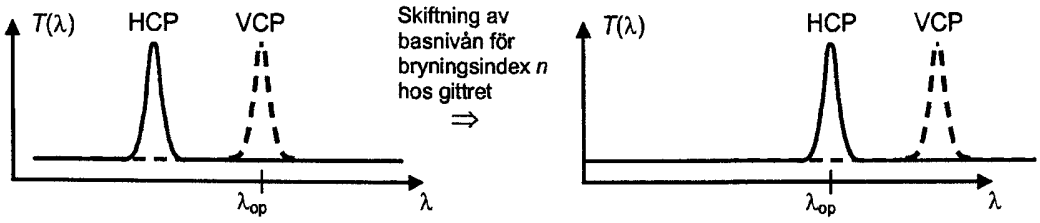



Figur 3

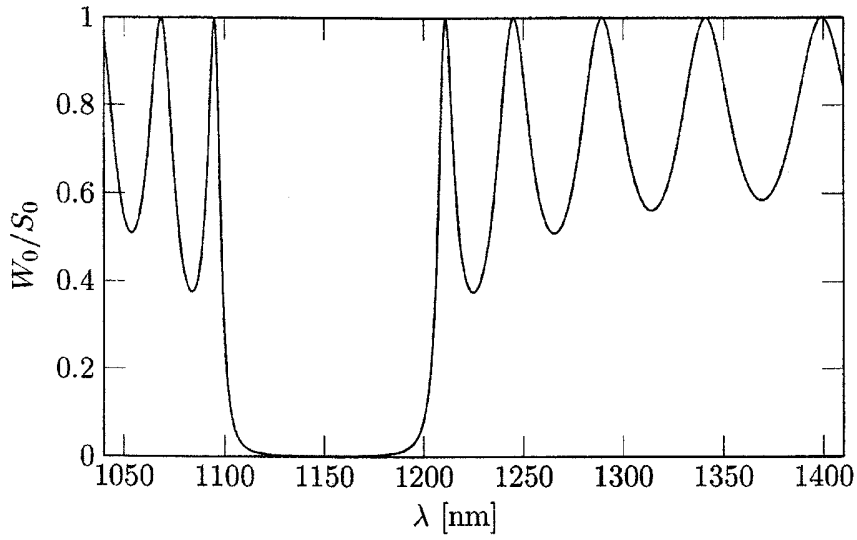
*Extern modulering av en optisk stråle med en andra optisk pulserande stråle*



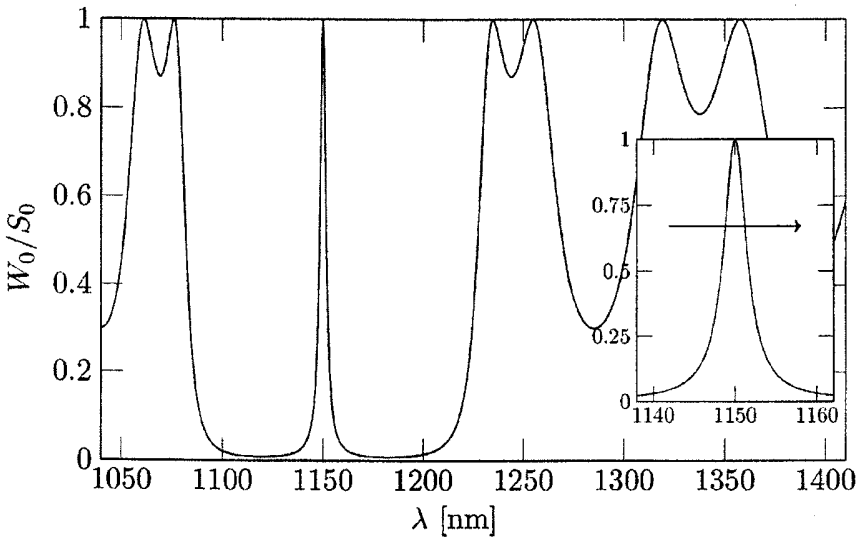

Figur 4



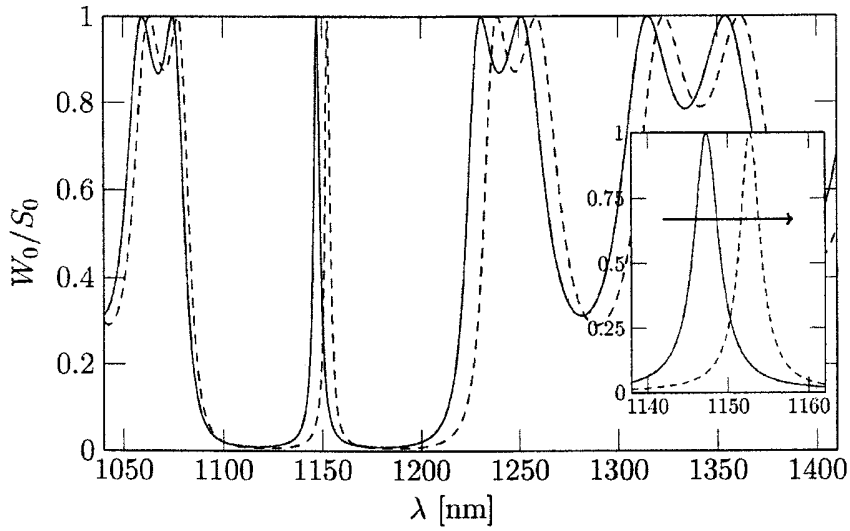

Figur 5



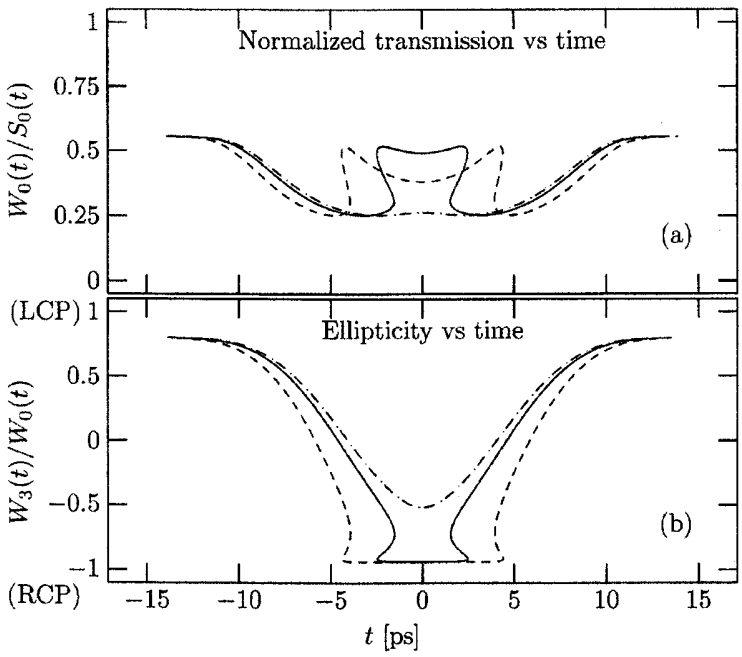

Figur 6



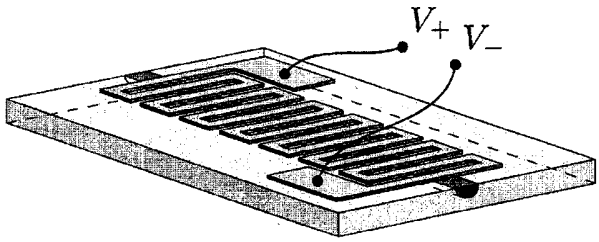

Figur 7



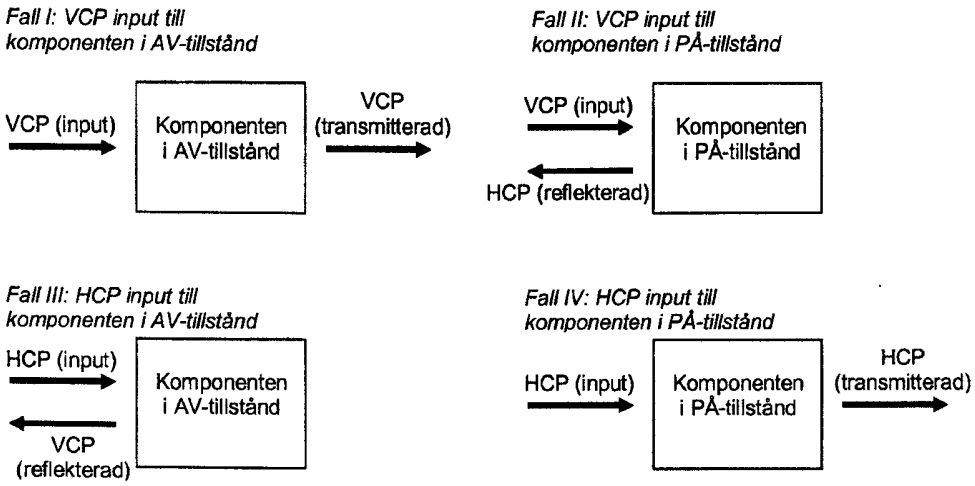

Figur 8



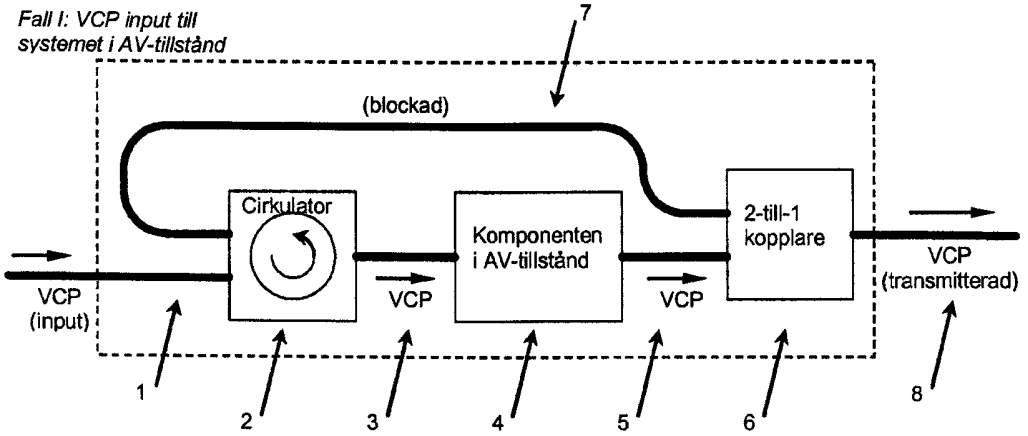

Figur 9

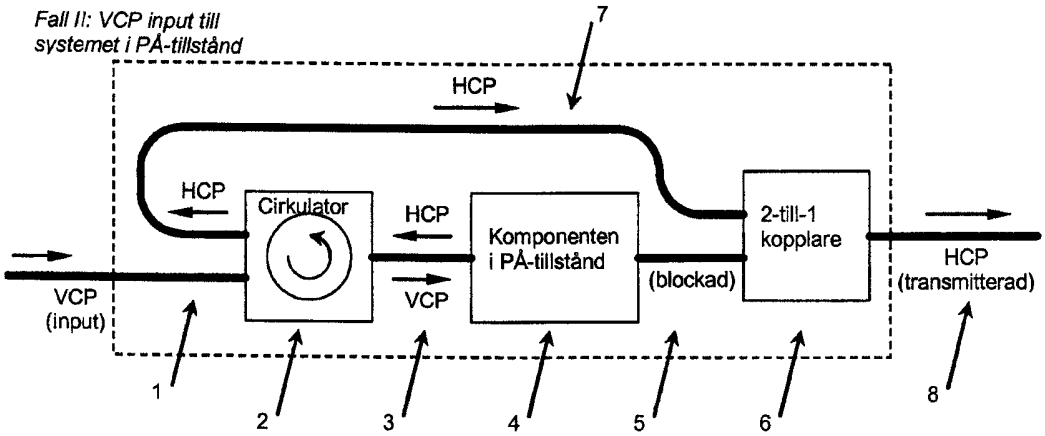



Figur 10




Figur 11


Fall I: VCP input till systemet i AV-tillstånd
7
(blockad)
Cirkulator
Komponenten i AV-tillstånd
2-till-1 kopplare
VCP (input)
VCP
VCP
VCP (transmitterad)
1
2
3
4
5
6
8


Fall II: VCP input till systemet i PÅ-tillstånd
7
HCP
HCP
Cirkulator
HCP
Komponenten i PÅ-tillstånd
2-till-1 kopplare
VCP (input)
VCP
(blockad)
HCP (transmitterad)
1
2
3
4
5
6
8

Figur 12

*Kontrollparametrar för ett system innefattande den ickelineära magneto-optiska polarisationstillstånds-switchen*

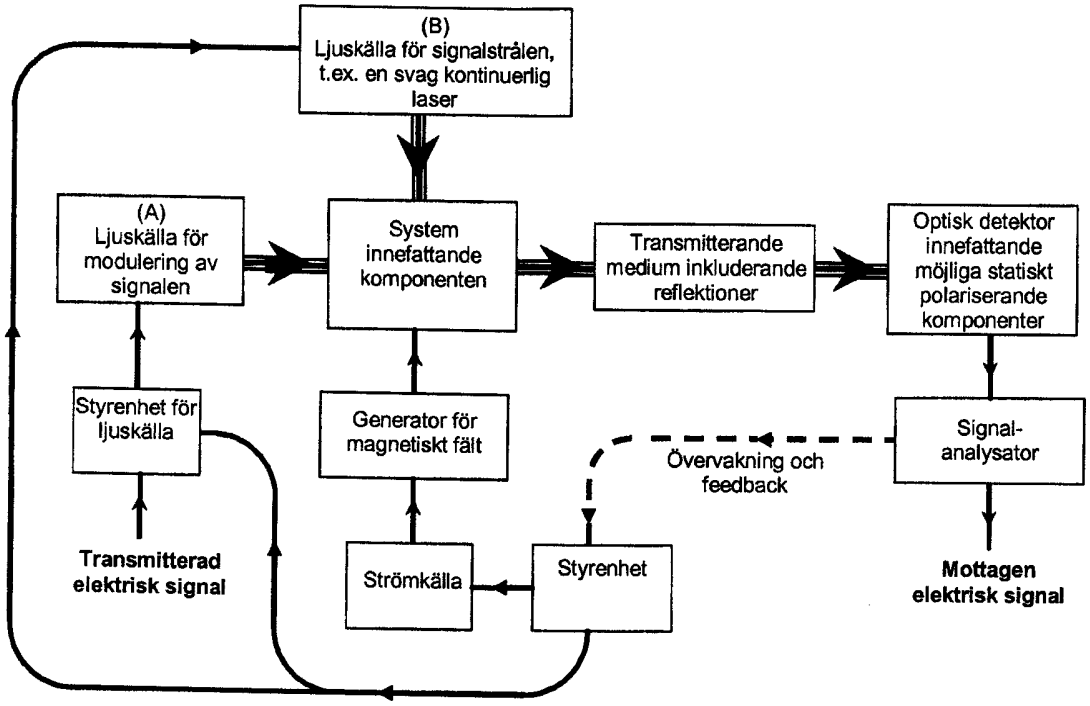



Figure 13