

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 03.09.2014

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 16.12.2015
(Věstník č. 50/2015)

(21) Číslo dokumentu:

2014-601

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl.:

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/24 (2006.01)

G01M 11/00 (2006.01)

(71) Přihlašovatel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:
doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D., Brno- Medlánky, CZ
Ing. Radko Krkoš, 93405 Levice, SK

(74) Zástupce:
Kania, Sedlák, Smola, Ing. Tomáš Benda,
Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno

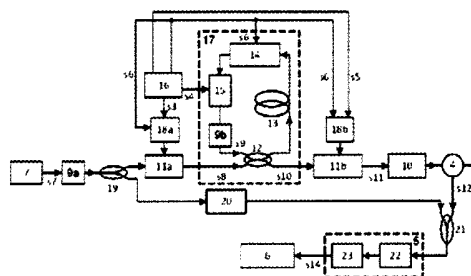
zpracují a vytvoří se jeden soubor informací vhodný pro analýzu možných nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí.

(54) Název přihlášky vynálezu:

Zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů a metoda detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí využívající uvedené zařízení

(57) Anotace:

Zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů obsahující v sérii zapojený zdroj záření (7), izolátor (9a), optický modulátor (11), optický zesilovač (10) a coupler (4), kde do coupleru (4) je rovněž přivedena větev obsahující do série propojený přijímač (5) odezvy a blok (6) pro zpracování signálu, kde mezi izolátorem (9a) a optickým zesilovačem (10) je zapojena optická smyčka (17) řízená řídicím blokem (16), kde optická smyčka (17) obsahuje do série zapojený čtyřramenný coupler (12), zpožďovací optické vlákno (13), modul (14) kmitočtového posuvu a říditelný optický zesilovač (15). Metoda detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí využívající výše uvedené zařízení, kdy se zdrojem generované optické pulzy vysílají do optické trasy vlákna, odkud se vrací odezva prostředím a ta přichází na optický přijímač, přičemž se optické pulzy do optické trasy vlákna vysílají v podobě periodicky se opakujících sledů vzájemně časově posunutých a nepřekrývajících se pulzů s odlišnými nosnými kmitočty, při vzájemném kmitočtovém odstupu $i \cdot \Delta f$ mezi pulzy v rámci jedné periody tak, aby se spektra odezvy nepřekrývala, a po návratu z optické trasy vlákna se dílčí odezvy pomocí metod zpracování signálů v analogové a/nebo digitální oblasti od sebe oddělí a následně se samostatně částečně



Zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů a metoda detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí využívající uvedeného zařízení

Oblast techniky

Vynález se týká zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů, které jsou odděleny jak v čase, tak v rámci jednoho sledu i v kmitočtovém spektru, a metody detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí způsobených výrobní technologií nebo způsobem pokládky optické trasy (v případě vláknové optické trasy) či vnějšími vlivy na optickou trasu stálého či přechodného charakteru, využívající uvedeného zařízení.

Dosavadní stav techniky

Pro diagnostiku optických vláken i celých optovláknových spojů se využívá řada měřicích metod, z nichž jednou z nejpoužívanějších je skupina tzv. reflektometrických metod označovaných zkratkou OTDR, tj. „Optical Time Domain Reflectometry“. Základní princip těchto metod je založen na periodickém vysílání úzkých optických pulzů z optického vysílače do optické trasy vlákna a na snímání a zpracování optického signálu, který se z měřeného vlákna vrací a přichází na optický přijímač. Tento optický signál sestává jednak ze zpětně rozptýleného signálu, tzv. Rayleighova rozptylu, a dále ze zpětně odraženého optického signálu, tzv. Fresnelova odrazu, vznikajícího z důvodu přechodů přes optické spoje tvořené sváry, spojkami, či přerušeními vzniklými případným poškozením optického vlákna. V případě vyšších výkonů optických pulzů se v signálu může objevit i další složka, a to tzv. Brillouinův rozptyl.

Časový odstup určité pozice snímané hodnoty intenzity v přijímaném optickém signálu od okamžiku vyslání pulzu do vlákna, odpovídá určitému místu, přesněji řečeno úseku ve zkoumaném vlákně, kde odezva vznikla. Celková odezva optického vlákna či optické trasy, tj. průběh přijímaného signálu, tak poskytuje obraz o poměrech v optickém vlnovodu a částečně i o blízkém okolí podél trasy, které do určité míry odezvu ovlivňuje. Jeden průběh je však značnou měrou zatížen náhodnými jevy, a tak je nutné pro relevantní posouzení nejdříve získat větší množství průběhů, řádově tisíce i více, a ty pak sofistikovanými matematickými technikami zpracovat, což znamená vygenerovat sled pulzů, které se po té zesílí na

patřičnou výkonovou úroveň, aby se zajistil potřebný dosah měřicího zařízení, avšak ne příliš, aby nedošlo ke vznikům nežádoucích, většinou nelineárních jevů ve vlákně.

Popis měřicího zařízení optických tras známého ze stavu techniky je popsán na obr. 1. Optický vysílač 1 generuje periodický sled optických pulzů s1 o daném výkonu, s danou šířkou a s danou periodou, přičemž tyto parametry souvisí s délkou měřeného optického vlákna 2 a s rozlišovací schopností měření. Tyto optické pulzy s1 jsou vysílány do optické trasy, respektive do vlákna 2, v řadě případů zakončené optickým terminátorem 3 zamezujícím odrazu optického signálu na tomto konci vlákna 2. Pulzy se vysílají nejčastěji přes cirkulátor či coupler 4, který umožňuje průchod optického signálu s1 do optického vlákna 2, avšak zpětný optický signál, tj. odezva s2, odklání do portu, na něhož je připojen přijímač 5 odezvy s2, který po případném optickém zesílení a optické filtraci převádí optickou odezvu s2 na elektrický signál k dalšímu zpracování. Elektrický signál pak může být podle potřeby zesílen a filtrován od nežádoucích kmitočtových složek a poté nejčastěji převeden do číslicové podoby, a dále již číslicově zpracováván v bloku 6 pro zpracování signálu.

Sled optických pulzů pro diagnostiku optických tras lze získat dvěma základními způsoby, a to přímou modulací zdroje záření, nebo pomocí externího modulátoru.

Vysílač 1 optických pulzů představený na obr. 2 je představitelem vysílačů s přímou modulací. Základem vysílače 1 je generátor optického záření, kterým je typicky laser 7. Laser 7 je nejčastěji polovodičový, pracující v různých pásmech od ultrafialového spektra přes viditelnou oblast spektra až po blízké infračervené spektrum. Optický tok z laseru 7, respektive výkon laseru, je přímo modulován generátorem 8 elektrických pulzů s potřebnou třídou a periodou. Za laserem 7 je umístěn optický izolátor 9, který zabraňuje případným optickým odrazům vstupu zpět do laseru 7, což by mohlo mít na jeho činnost nepříznivý až destrukční vliv. Za izolátorem 9 následuje optický zesilovač 10, jenž zesílí optický signál na úroveň desítek až stovek mW, což umožňuje dostatečný dosah měřicího zařízení.

Vysílač 1 optických pulzů s externí modulací je představen na obr. 3. V případě externí modulace, laser 7 produkuje kontinuální optický signál vstupující do izolátoru 9, z něhož světelný tok přechází do optického modulátoru 11, elektrooptického či akustooptického typu, kde je kontinuální světelný tok modulován do podoby optických pulzů pomocí modulačního signálu z generátoru 8 elektrických pulzů. Pulzy mají formu velmi úzkých optických pulzů, o trvání několika stovek ns až

jednotek μs , které jsou následně zesíleny optickým zesilovačem 10 a přes nezobrazený cirkulátor či coupler vyslány do optického vlákna.

Průběh útlumu podél měřené optické trasy v dopředném směru, což měříme nejčastěji, je silně korelován s průběhem odezvy trasy ve zpětném směru, a tak lze průběh útlumu podél měřené optické trasy v dopředném směru získat na základě zpracování většího počtu odezev. Typické průběhy optických výkonů měřicího signálu s1 a signálu odezvy s2 jsou zobrazené na obr. 4. Měřicí optický signál s1 je kromě výkonu P_p dále charakterizován periodou T_p a šířkou pulzů τ , signál odezvy s2 průběhem výkonu P_o a pak také dobou T_o trvání odezvy optické trasy na jeden měřicí pulz.

Prostorově časová projekce pohybu optických pulzů po vlákně je zachycena na obr. 5. Do vlákna 2 periodicky vstupují vstupní pulzy s1 s periodou T_p , které se po vlákně 2 šíří skupinovou rychlostí v_g a interakcí s optickým prostředím vlákna 2 generují odezvu s2 s dobou trvání T_o na jeden pulz. Prostorově časová projekce na obr. 5, konkrétně střední část obrázku ukazující, z jakého místa vlákna pochází vzorek odezvy s2 přijímané v daném čase t , zachycuje také případný zájmový bod x_0 se znázorněním četnosti získání vzorků z daného zájmového bodu x_0 .

Základním požadavkem na parametry sledu vyslaných vstupních pulzů s1 je jednak šířka pulzu τ , a jednak perioda opakování pulzů T_p . Šířka τ vstupních pulzů s1 určuje na jedné straně prostorovou rozlišovací schopnost měření Δx dle níže uvedeného vzorce (1) a na druhé straně spolu s výkonovou úrovní pulzů i maximální dosah měřicího zařízení ohledně maximálních délek optických tras, které lze měřit, protože se snižující šířkou τ vstupních pulzů s1 při neměnném vysílacím výkonu se snižuje množství energie jím nesené, a tedy i výsledný výkon zpětné odezvy vlákna, jejíž signál vstupuje do optického přijímače vyznačujícího se určitou citlivostí.

Rozlišovací schopnost metody je dána vzorcem (1):

$$\Delta x = \frac{1}{2} \tau v_g \quad (1)$$

kde:

v_g je skupinová rychlost šíření optického signálu optickým vláknem,

τ je šířka pulzu.

Perioda vysílání, tedy perioda opakování pulzů T_P musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k překrývání odezev na jednotlivé pulzy z optické trasy, což by znehodnotilo výsledky měření.

Délka odezvy T_o optické trasy na jeden pulz je vypočtena podle níže uvedeného vzorce (2), a je závislá na její optické délce L , rychlosti šíření v_g optického signálu vláknem a šířce pulzu τ :

$$T_o = \tau + \frac{2L}{v_g} \quad (2)$$

kde:

τ je šířka pulzu,

L je délka vlákna, respektive optické trasy,

v_g je skupinová rychlost šíření optického signálu optickým vláknem.

Důležité je splnění podmínky $T_P > T_o$. Pro délky tras o desítkách km činí délka odezvy T_o optické trasy i stovky μs . Například pro trasu o délce 50 km a uvažování rychlosti šíření optického signálu vláknem cca 200 000 km/s je délka odezvy T_o optické trasy 500 μs . Při potřebě mnoha tisíců měření pro získání relevantních výsledků, které jsou zbaveny náhodných rušivých vlivů, je celková potřebná doba měření trasy jednoho vlákna v rozsahu minimálně jednotek až desítek sekund.

Při použití zdroje záření s velmi úzkým spektrem, řádově stovky Hz až desítky kHz, a s dlouhodobou stabilitou, lze zvýšit citlivost metody pomocí koherentního směšování optických signálů odezvy optické trasy a tzv. lokálního oscilátoru a heterodynního příjmu.

Výše uvedeného principu se také využívá pro funkci distribuovaného senzoru vibrací podél optické trasy. V současnosti je jednou z nejpoužívanějších metod fázová OTDR. Využití distribuovaného senzoru vibrací je široké, a to především v oblasti průmyslu pro dohled nad tzv. produktovody, tj. vodovody, plynovody, ropovody aj., či v ostraze objektů nebo státních hranic. Problémem spolehlivého dohledu je i klasifikace zdroje vibrací tak, aby nebyl zbytečně dohledovým zařízením

vygenerován alarm pro nepodstatné či běžně přítomné zdroje vibrací. Klasifikaci však nelze spolehlivě zajistit, pokud není dostatek informací z jednoho místa podél vlákna, kde je rušení detekováno, tj. když není k dispozici dostatek vzorků za jednotku času z daného místa vlákna, zachycujících působení vibrací na zpětně rozptýlený signál. V případě standardního způsobu měření, tj. při použití jedné nosné frekvence, o délce trasy 50 km a rychlosti šíření optického signálu vláknem cca 200 000 km/s, vychází maximální četnost získání vzorků z jednoho místa vlákna 2 000 vzorků/s, viz výše uvedená doba odezvy 500 μ s na jeden pulz, což neumožňuje správnou identifikaci zdrojů vibrací, jejichž spektrální rozsah může být až do desítek kHz. Existuje sice řešení pro zajištění vyšší četnosti vzorků, a to pomocí více pulzů na různých vlnových délkách a skládaných pomocí vlnového multiplexu, jejichž získání, vyslání do vlákna i zpracování odezev je však značně komplikované, a tedy i nákladné.

Cílem vynálezu je představit zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů vzájemně časově i kmitočtově separovaných, který by vyřešil problém nedostatečné četnosti vzorků odezvy z jednoho místa vlákna či optické trasy, případně i bezdrátového optického spoje.

Podstata vynálezu

Výše zmíněné nedostatky odstraňuje do značné míry zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů obsahující v sérii zapojený zdroj záření, izolátor, optický modulátor, optický zesilovač a coupler, kde do coupleru je rovněž přivedena větev obsahující do série propojený přijímač odezvy a blok pro zpracování signálu, jehož podstata spočívá v tom, že mezi izolátorem a optickým zesilovačem je zapojena optická smyčka řízená řídicím blokem, kde optická smyčka obsahuje do série zapojený čtyřramenný coupler, zpožďovací optické vlákno, modul kmitočtového posuvu a říditelný optický zesilovač.

Ve výhodném provedení je optický modulátor rozdělený na primární optický modulátor umístěný před optickou smyčkou a sekundární optický modulátor umístěný za optickou smyčkou, přičemž optické modulátory jsou řízeny řídicím blokem.

V jiném výhodném provedení dále obsahuje alespoň jeden budič optického modulátoru.

V jiném výhodném provedení jsou optické modulátory elektro-optické a/nebo akusto-optické.

V jiném výhodném provedení přijímač odezvy obsahuje výkonovým a polarizačním regulátor, dodatečný coupler, optický zesilovač a optoelektrický převodník.

Výše zmíněné nedostatky dále odstraňuje do značné míry metoda detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí využívající zařízení podle některého z uvedených nároků, kdy se zdrojem generované optické pulzy vysílají do optické trasy vlákna, odkud se vrací a přichází na optický přijímač, jehož podstata spočívá v tom, že se optické pulzy do optické trasy vlákna vysílají v podobě periodicky se opakujících sledů vzájemně časově posunutých a nepřekrývajících se pulzů s odlišnými nosnými kmitočty, při vzájemném kmitočtovém odstupu $i \cdot \Delta f$ mezi pulzy v rámci jedné periody tak, aby se spektra odezev nepřekrývala, a po návratu z optické trasy vlákna se dílčí odezvy pomocí metod zpracování signálů v analogové a/nebo digitální oblasti od sebe oddělí a následně se samostatně částečně zpracují a vytvoří se jeden soubor informací vhodný pro analýzu možných nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí.

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude dále přiblížen pomocí obrázků, kde obr. 1 představuje blokové schéma měřicího zařízení optických tras známého ze stavu techniky, obr. 2 představuje blokové schéma vysílače optických pulzů s přímou modulací známého ze stavu techniky, obr. 3 představuje blokové schéma vysílače optických pulzů s externí modulací známého ze stavu techniky, obr. 4 představuje průběhy výkonu budičího optického signálu a průběh výkonu optického signálu odezvy vlákna naměřené na rozhraní vlákna s cirkulátorem, obr. 5 představuje prostorově časovou projekci budičích pulzů a odezev vlákna na vyslané pulzy při buzení vlákna signálem na jednom nosném kmitočtu, obr. 6 představuje funkční schéma zařízení pro generování pulzů podle vynálezu, obr. 7 představuje průběhy úrovní řídících a optických signálů generátoru optických pulzů s vyšší četností podle vynálezu, obr. 8

představuje prostorově časovou projekci kmitočtově posunutých budících pulzů a odezev, a obr. 9 představuje spektra odezev po koherentní detekci.

Příklad provedení vynálezu

Podstatou představeného zařízení pro generování pulzů podle vynálezu, spočívající v řešení problému nedostatečné četnosti vzorků odezvy z jednoho místa vlákna či optické trasy, případně i bezdrátového optického spoje, je zajištění potřebného počtu vzorků z jednoho místa vlákna prostřednictvím generování vyššího počtu vzájemně časově posunutých a nepřekrývajících se pulzů s odlišnými nosnými kmitočty, při vzájemném kmitočtovém odstupu mezi po sobě jdoucími pulzy, řádově desítky MHz tak, aby se spektra odezev dohledovaného či testovaného systému nepřekrývala a šla pomocí metod zpracování signálů v analogové a digitální oblasti od sebe oddělit, samostatně částečně zpracovat a následně vytvořit jeden soubor informací s podstatně vyšším objemem informací, než dovoluje standardně používaný zařízením známý ze stavu techniky při vysílání pulzů na jednom nosném kmitočtu.

Centrální nosné kmitočty po sobě následujících optických pulzů jsou od sebe vzájemně posunuty o předem definovaný kmitočtový krok Δf . S periodou T_P , která musí splňovat podmínku $T_P > T_0$ pro každý jednotlivý nosný kmitočet, se nosný kmitočet obnoví do základní polohy f_0 a celý proces kmitočtových posunů pro další sadu pulzů se opakuje. Na každém dílčím centrálním nosném kmitočtu jsou generovány optické pulzy s šířkou τ a periodou T_P . Pulzy celé sady nosných kmitočtů jsou s časovým rozestupem T_N vysílány do vlákna, kde se šíří směrem k jeho konci a produkují zpětnou odezvu neboli signál šířící se zpět k počátku vlákna. Je doporučeno vlákno zakončit tak, aby vyslaný optický signál na jeho konci zanikl a nedocházelo tak k odrazům měřících pulzů z konce vlákna.

Navrhované zařízení sestává ze stabilního úzkopásmového zdroje, laseru, produkujícího kontinuální optický signál, a z generátoru periodických sledů optických pulzů vzájemně časově i kmitočtově separovaných.

Funkční schéma vynálezu je uvedeno na obr. 6. Jádrem multiplikátoru je optická smyčka 17 obsahující čtyřramenný coupler 12, zpožďovací optické vlákno 13, modul 14 kmitočtového posuvu o Δf , říditelný optický zesilovač 15 a volitelný optický izolátor 9b pro ochranu optického zesilovače 15. Dalšími nezbytnými prvky představeného zařízení jsou primární optický modulátor 11a a řídicí blok 16

ovládající celé zařízení. V případě potřeby může být obvod doplněn o primární budič 18a primárního optického modulátoru 11a. Doplnkovými, a tedy volitelnými částmi jsou pak sekundární optický modulátor 11b s případným sekundárním budičem 18b.

Optické modulátory 11a a/nebo 11b mohou být buď elektro-optické nebo akusto-optické. Vhodnější jsou akusto-optické, protože při tvorbě pulzů generují optický signál s větším poměrem mezi stavy generování pulzu a pauzou mezi pulzy, tzv. „On/Off ratio“ nebo „extinction ratio“, a také zajišťují nezbytný základní kmitočtový posuv nosné optických pulzů, pokud je měřicí zařízení založeno na principu koherentního příjmu. Použití akusto-optického modulátoru pro primární modulátor 11a je nezbytné, nechceme-li či nepotřebujeme-li nasadit sekundární modulátor.

Postup činnosti navrženého zařízení podle vynálezu je následující:

Úzkopásmový zdroj 7 generuje spojitý optický signál s7 na kmitočtu F_0 , tzv. základní nosný kmitočet. Tento spojitý optický signál s7 prochází izolátorem 9a a dále couplerem 19, který jej v určitém poměru, např. 90%:10%, rozdělí do dvou ramen. Slabší díl signálu laseru, tj. v tomto případě ten o hodnotě 10% celkového signálu, je využit pro koherentní příjem, podrobněji viz níže. Signál v hlavním ramenu, tj. v tomto případě ten o hodnotě 90% celkového signálu, je pak primárním optickým modulátorem 11a tvarován do primárních optických pulzů s8 s periodou T_P a kmitočtem f_0 . Kmitočtový posuv optických pulzů vůči základnímu nosnému kmitočtu laseru 7 potřebný pro případnou koherentní detekci je buď realizován tímto primárním optickým modulátorem 11a, nebo až sekundárním optickým modulátorem 11b na výstupu z bloku. Volba závisí na použití. Nechť je centrální nosný kmitočet optického záření s7 vycházejícího z primárního optického modulátoru 11a tedy f_0 . Optický výkon je couplerem 12 rozdělen v určitém dělicím poměru jednak na výstupní signál s10, a také do smyčky 17, která je tvořena optickým vláknem 13 potřebné délky L_V pro zajištění požadovaného časového odstupu T_N mezi sousedními optickými pulzy, a tedy výsledné četnosti generování pulzů vysílaných do vlákna. Optický signál pak prochází modulem 14 kmitočtové změny realizujícím požadovaný kmitočtový posuv Δf , v desítkách MHz. Tento modul 14 kmitočtové změny je nejčastěji založený na akusto-optickém principu. Útlum vzniklý rozdělením optického signálu s8 či s9 couplerem 12 a průchodem zpožďovacím optickým vláknem 13 i dalšími prvky smyčky 17 je nutné kompenzovat říditelným optickým zesilovačem 15 tak, aby na výstup z coupleru 12 napojený na

sekundární optický modulátor 11b vycházely pulzy shodného výkonu. Po zesílení je optický pulz couplerem 12 opět rozdělen částečně na výstupní signál s10 a částečně zpět na signál procházející opět smyčkou 17. Průchody optického pulzu smyčkou 17 se opakují, dokud se primárním optickým modulátorem 11a nemá vygenerovat další pulz opět na základním kmitočtu f_0 , což je dáno periodou T_P . Před tímto okamžikem je nutné smyčku 17 na konci na určitou dobu rozpojit, čímž je obíhající pulz ze smyčky 17 odstraněn. Tuto funkci realizuje říditelný optický zesilovač 15 nebo-li „shutter“ jehož funkce se krátce přepne z funkce zesilování na funkci rozpojení smyčky 17. Primární optický modulátor 11a tak po době T_P generuje pulz opět s kmitočtem f_0 , který je couplerem 12 opět rozdělen, a celý proces se opakuje. Sekundární optický modulátor 11b může být použit kromě již zmíněného kmitočtového posuvu pro přesné tvarování a časování výstupních pulzů.

Časové průběhy řídicích a optických signálů zařízení podle vynálezu jsou zachycené na obr. 7:

- Řídicí základní signál s3 sloužící k buzení primárního optického modulátoru 11a, a tak ke generování primárních optických pulzů s8 na kmitočtu f_0 .
- Ovládací signál s4 ovládá optický zesilovač 15 a nastavuje ho do maximálního útlumu pro dobu, kdy má být generován primární pulz s8.
- Pulzní signál s5 je pulzním signálem sekundárního budiče 18b volitelného sekundárního optického modulátoru 11b.
- Úroveň stejnosměrného signálu s6 určuje kmitočtový posuv Δf , který je aplikován jak ve smyčce, tak také buď v primárním nebo případně v sekundárním optickém modulátoru, viz výše.
- Kontinuální optický signál s7 je signál generovaný úzkopásmovým zdrojem záření 7.
- Signál s9 je optický signál smyčky 17 nesoucí kmitočtově posunuté optické pulzy, a který vstupuje do coupleru 12.
- Pulzní signál s10 na výstupním ramenu coupleru 12 je signál ve tvaru optických pulzů vzniklých sloučením signálu s8 základního nosného kmitočtu f_0 a signálu s9 obsahujícího všechny další kmitočtově posunuté pulzy generované smyčkou 17.

- Výstupní signál s11 je finální výstupní podoba optických pulzů po případném dalším tvarování sekundárním optickým modulátorem 11b. Tento sled pulzů s11 je dále zesílen optickým zesilovačem 10 a vysílán přes cirkulátor 4 do optického vlákna 2. Jednotlivé pulzy jednotlivých nosných kmitočtů pak ve vlákne 2 generují zpětnou odezvu s12, která se vrací na vstupní rozhraní vlákna 2 a přes cirkulátor 4 prochází do přijímací cesty.

Prostorově časovou projekci šíření pulzů na různých nosných ve vlákne 2 a průběhů odezev s12 vlákna 2 na jednotlivé pulzy s11 různých nosných zachycuje obr. 8. V levé části obrázku jsou znázorněny sledy vysílaných optických pulzů s11 na jednotlivých nosných se vzájemným kmitočtovým odstupem v násobcích Δf a časovým odstupem v násobcích T_N . Hodnotu i -tého nosného kmitočtu lze vyjádřit vztahem (3):

$$f_i = f_0 + (i-1) \cdot \Delta f \quad (3)$$

kde:

i je i -tá nosná,

f_0 je základní kmitočet,

Δf je kmitočtový posuv.

Prostřední část obr. 8 pak zobrazuje prostorově časovou projekci příchodu odezev s12 z jednotlivých bodů vlákna 2 jako reakce na pulzy jednotlivých nosných kmitočtů. V této části je také uveden pro příklad bod zájmu x_0 , kde lze při porovnání prostorově časových projekcí z obr. 5 a obr. 8 jasně vidět na obr. 8 znásobení množství informací za jednotku času, kterou lze zpracováním odezvy vlákna 2 pro danou lokalitu, respektive bod zájmu x_0 , získat.

V pravé části obr. 8 jsou pak rozkresleny časové průběhy dílčích odezev na pulzy jednotlivých nosných kmitočtů po koherentním příjmu i převodu do elektrické podoby a základního pásma.

Pro větší názornost jsou v obr. 8 jednotlivé příspěvky s různými nosnými kmitočty zakresleny odděleně, ve skutečnosti tvoří všechny budící pulzy jeden

kompozitní signál s11 a všechny dílčí odezvy dohromady také jeden kompozitní signál s14.

Princip monitoringu optických vláken pomocí představeného zařízení pro generování pulzů podle vynálezu:

Například, při požadavku na vytvoření alespoň 25 000 vzorků/s z každého jednoho místa vlákna optické trasy dlouhé 50 km musíme zajistit vygenerování alespoň stejného počtu pulzů, což značí přípustnou maximální hodnotu periody T_N pulzů vysílaných do vlákna, o velikosti 40 μ s. Minimální perioda pulzů na stejném nosném kmitočtu pro vlákno dlouhé 50 km je 500 μ s, a je tedy zapotřebí vygenerovat alespoň 12 dalších pulzů na dalších 12 nosných kmitočtů, celkově tedy 13 nosných kmitočtů, aby byl požadavek počtů vzorků i omezení periody splněn. Budeme-li generovat pulzy na dalších nosných s časovým odstupem právě oněch 40 μ s, bude výsledná perioda T_P generování pulzů na jedné nosné 520 μ s, dle vzorce $T_P = 13 \cdot 40 = 520 \mu$ s, což zajistí splnění podmínky $F_P < 2$ kHz, a tedy $T_P > 500 \mu$ s.

Jak je patrné z levé části obr. 8, pulzy optického signálu s11 vyslané do vlákna 2 s různými nosnými kmitočty, s dobou trvání řádově stovek ns a vzájemným časovým rozestupem 40 μ s se časově překrývat nebudou, a tak se také vzájemně nebudou ovlivňovat. Překrývat se však budou odezvy s14 vlákna 2 na několik po sobě jdoucích pulzů, jak je zřejmé z pravé části obr. 8, neboť trvání odezvy s14 vlákna 2 na pulz každého nosného kmitočtu bude pro výše uvedený příklad trvat již zmíněných 500 μ s. Vzhledem k velmi nízkým úrovním rozptýleného signálu však nebude docházet k jejich vzájemnému ovlivňování.

Celkový kmitočtový posuv ΔF N-tého nosného kmitočtu f_N kompozitního signálu odezvy od základního nosného optického signálu F_0 , což je kmitočet zdroje 7 záření, lze v případě shodného prvotního kmitočtového posuvu s dalšími posuvy, tj. když $f_0 - F_0 = \Delta f$, vypočítat dle vztahu (4):

$$\Delta F = N \cdot \Delta f \quad (4)$$

kde:

N je počet centrálních nosných kmitočtů pulzů,

Δf je kmitočtový posuv realizovaný optickou smyčkou 17 navrženého vynálezu.

Spektrum výsledného signálu po koherentním příjmu, tj. po sloučení celkové odezvy s12 vlákna 2 v dodatečném coupleru 21 s tzv. lokálním oscilátorem tvořeným odbočeným kontinuálním signálem z laseru 7 pomocí splitteru 19 a upraveným výkonovým a polarizačním regulátorem 20, a po případné výkonové úpravě pomocí optického zesilovače 22 a následném převodu optoelektrickým převodníkem 23 do podoby elektrického signálu je zobrazeno na obr. 9, kde jednotlivé zvonovité výběžky představují dílčí spektra odezev na sledy pulzů N jednotlivých nosných kmitočtů, složka v základním pásmu je spektrum signálu lokálního oscilátoru, Δf je kmitočtový rozestup mezi sousedními nosnými a BW_O je šířka spektra odezvy na pulzy jednoho nosného kmitočtu. Musí platit, že $BW_O < \Delta f$. Výkonový a polarizační regulátor 20, dodatečný coupler 21, optický zesilovač 22 a optoelektrický převodník 23 tak tvoří přijímač 5 odezvy.

Celková kmitočtová šířka pásma BW_T kompletního zařízení po převodu do elektrické podoby je rozsah kmitočtů od nuly až po poslední uvažovanou kmitočtovou složku spektra odezvy na signál s nejvyšší nosnou, a získáme ji dle níže uvedeného vzorce (5):

$$BW_T = N \cdot \Delta f + BW_O / 2. \quad (5)$$

Kde:

N je počet centrálních nosných kmitočtů pulzů,

Δf je kmitočtový posuv mezi sousedními nosnými kmitočty,

BW_O je šířka spektra odezvy jednoho nosného kmitočtu.

Signál této podoby pak vstupuje do bloku zpracování signálu 6, viz obr. 6, kde jsou jednotlivá dílčí spektra převáděna do základního pásma a poté do digitální podoby k dalšímu zpracování.

Podmínkou správné funkce představeného zařízení podle vynálezu je, aby šířka spektra odezvy BW_O na pulzy jednoho nosného kmitočtu byla menší než Δf , a nedošlo tak k interferenci mezi sousedními kanály a odezvami. Praktická hodnota by

měla být $\Delta f > 1,5 \cdot BW_0$, tj. pro $BW_0 = 40$ MHz je $\Delta f = 60$ MHz. Pro výše uvedený příklad a při předpokladu, že $BW_0 = 40$ MHz, vychází šířka pásma $BW_T = 670$ MHz, dle níže uvedeného vzorce (6) vycházejícího z výše uvedeného vzorce (5):

$$BW_T = N \cdot \Delta f + BW_0/2 = 13 \cdot 50 + 20 = 670 \text{ MHz} \quad (6)$$

Výhody

Na rozdíl od standardních metod bez kmitočtového posuvu, či s jedním posuvem pro koherentní příjem, u kterých platí výše uvedené omezení četnosti vyslaných pulzů, využívá navržená metoda a zařízení podle vynálezu prvku realizujícího kmitočtový posuv Δf optického signálu v optické smyčce 17, a umožňuje tento posuv provést opakovaně, a to tolikrát, kolikrát je třeba navýšit četnost odběru vzorků z jednoho místa vlákna 2.

Teoretické omezení navyšování četnosti je dáno podmínkou, že se budoucí pulzy od žádné nosné nesmí vzájemně překrývat v čase. Praktickým omezením je při dodržení výše uvedené podmínky na odstup mezi sousedními nosnými kmitočty především značný nárůst celkové šířky pásma, kdy narůstají nároky především na část zpracování signálu. Dalším omezením mohou být nedokonalosti samotného multiplikátoru, především optické smyčky 17 tvořící jádro navrženého zařízení podle vynálezu.

PATENTOVÉ NÁROKY

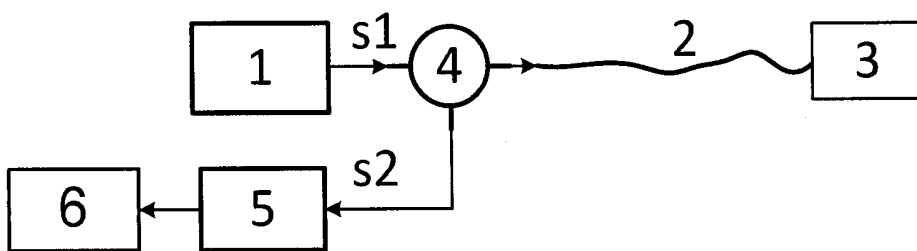
1. Zařízení pro generování periodicky se opakujících sledů optických pulzů obsahující v sérii zapojený zdroj záření (7), izolátor (9a), optický modulátor (11), optický zesilovač (10) a coupler (4), kde do coupleru (4) je rovněž přivedena větev obsahující do série propojený přijímač (5) odezvy a blok (6) pro zpracování signálu, **vyznačující se tím, že** mezi izolátorem (9a) a optickým zesilovačem (10) je zapojena optická smyčka (17) řízená řídicím blokem (16), kde optická smyčka (17) obsahuje do série zapojený čtyřramenný coupler (12), zpožďovací optické vlákno (13), modul (14) kmitočtového posuvu a říditelný optický zesilovač (15).
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** optický modulátor (11) je rozdělen na primární optický modulátor (11a) umístěný před optickou smyčkou (17) a sekundární optický modulátor (11b) umístěný za optickou smyčkou (17), přičemž optické modulátory (11a, 11b) jsou řízeny řídicím blokem (16).
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím, že** dále obsahuje alespoň jeden budič (18a, 18b) optického modulátoru (11a, 11b).
4. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím, že** optické modulátory (11a, 11b) jsou elektro-optické a/nebo akusto-optické.
5. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** přijímač (5) odezvy obsahuje výkonovým a polarizačním regulátor (20), dodatečný coupler (21), optický zesilovač (22) a optoelektrický převodník (23).
6. Metoda detekce nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí využívající zařízení podle některého z výše uvedených nároků, kdy se zdrojem generované optické pulzy vysílají do optické trasy vlákna, odkud se vrací odezva prostředí a ta přichází na optický přijímač, **vyznačující se tím, že** se optické pulzy do optické trasy vlákna vysílají v podobě

periodicky se opakujících sledů vzájemně časově posunutých a nepřekrývajících se pulzů s odlišnými nosnými kmitočty, při vzájemném kmitočtovém odstupu $i \cdot \Delta f$ mezi pulzy v rámci jedné periody tak, aby se spektra odezev nepřekrývala, a po návratu z optické trasy vlákna se dílčí odezvy pomocí metod zpracování signálů v analogové a/nebo digitální oblasti od sebe oddělí a následně se samostatně částečně zpracují a vytvoří se jeden soubor informací vhodný pro analýzu možných nehomogenit či časově proměnných dějů v optických trasách a jejich okolí.

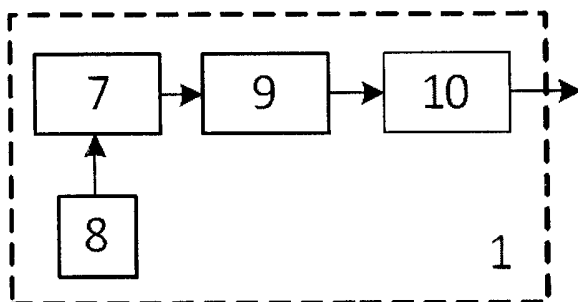
1/5

18*

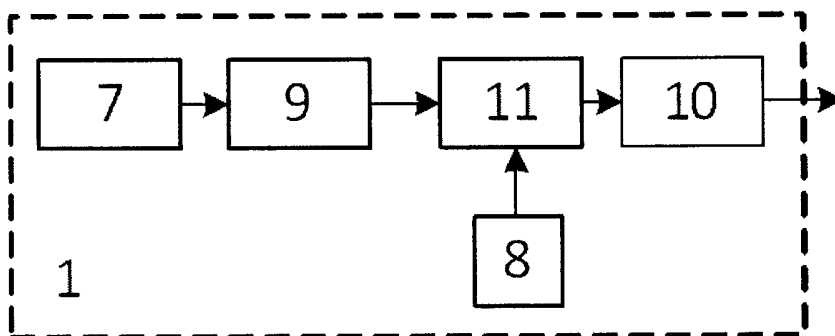
PV 2014-601



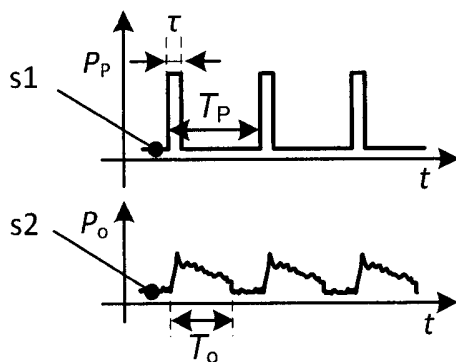
Obr. 1



Obr. 2



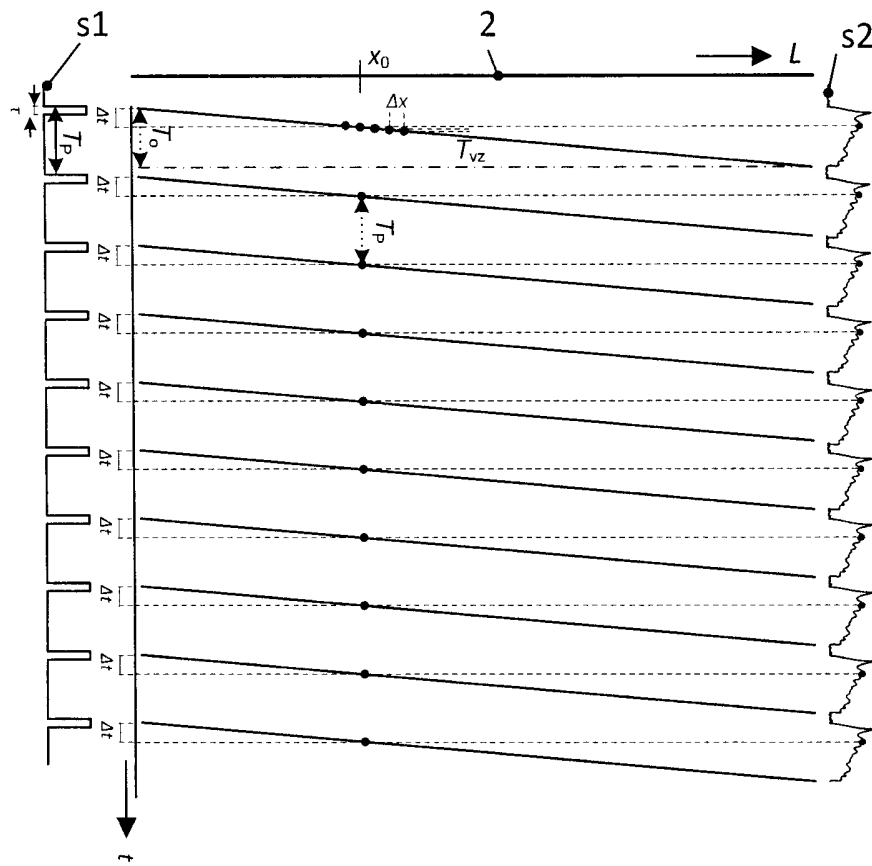
Obr. 3



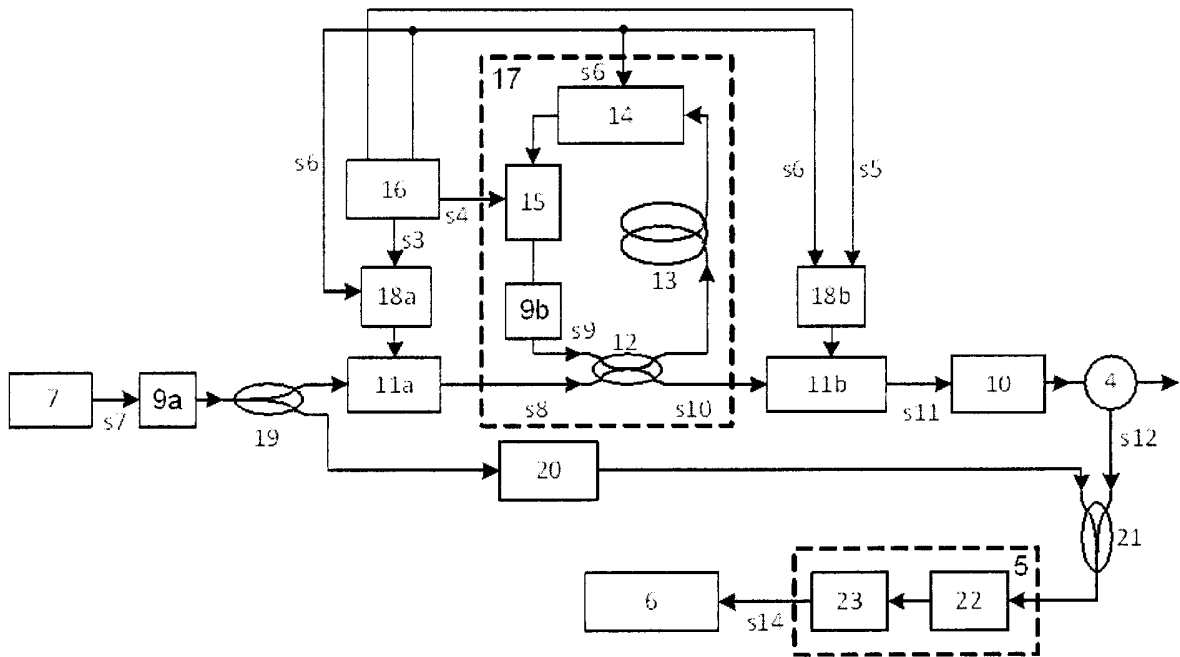
Obr. 4

45

19



Obr. 5

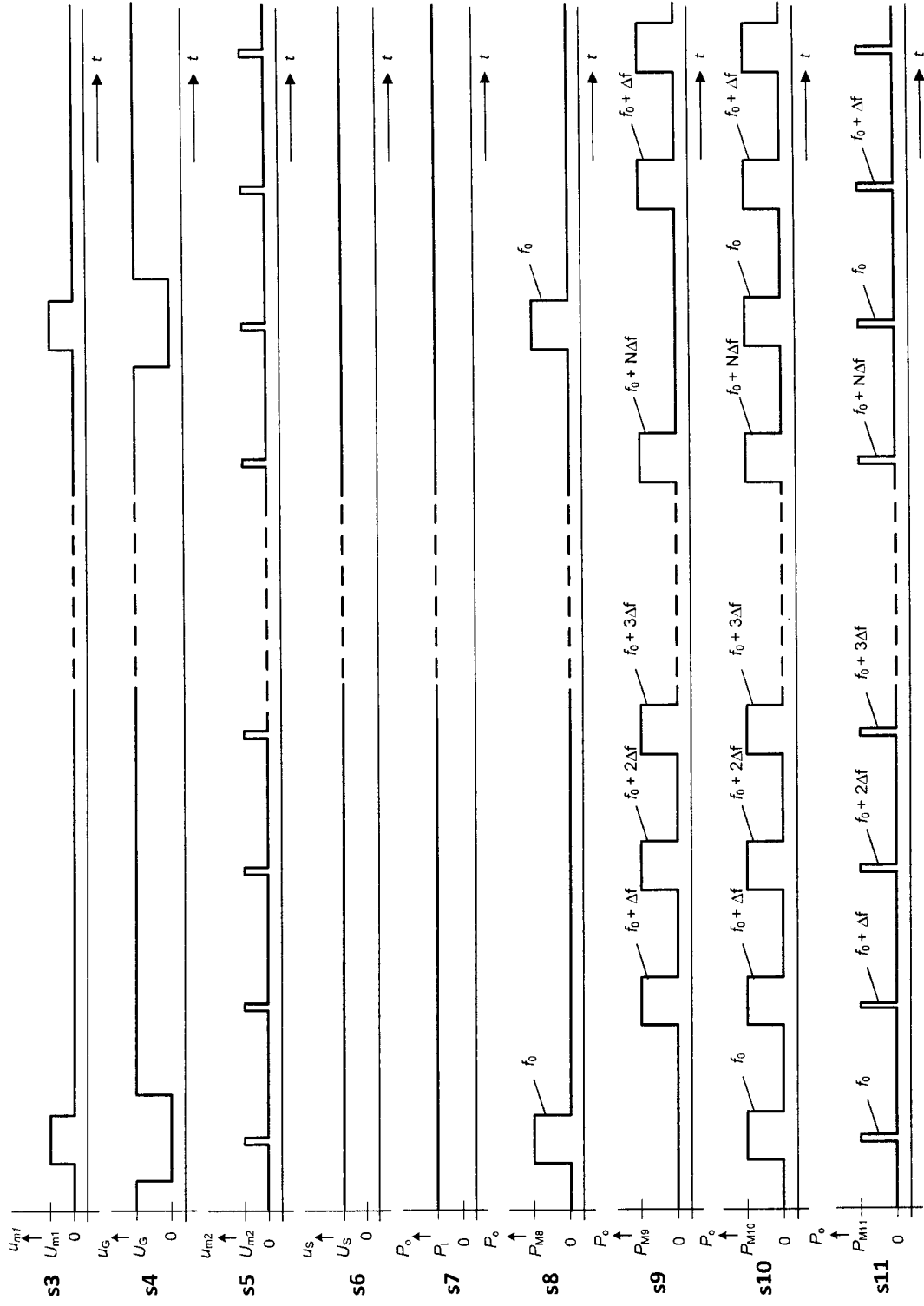


Obr. 6

201-

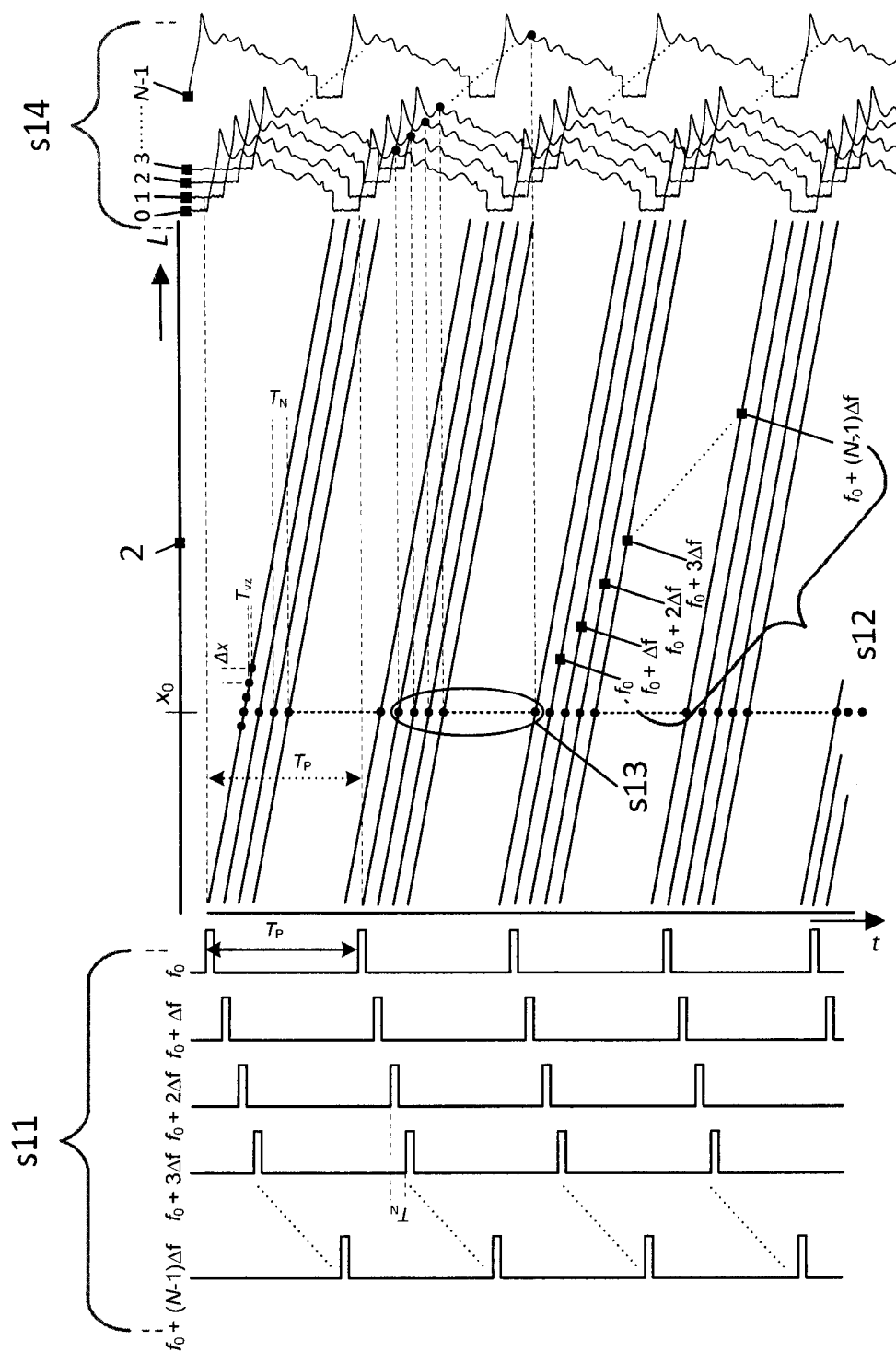
3/5

11.11.11



Obr. 7

415

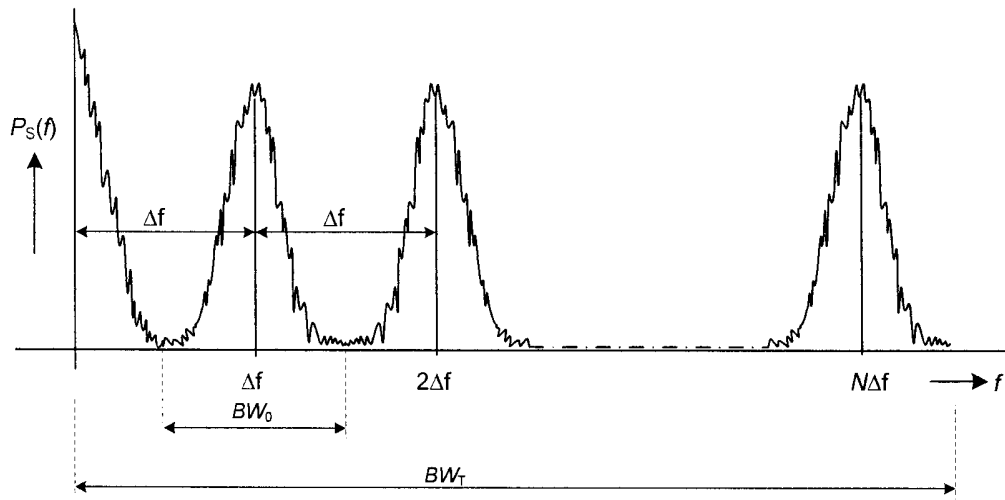


Obr. 8

5/5

22

2020.03.10



Obr. 9