

Работы по созданию подобных систем в настоящее время ведутся на предприятии НВК «Фотоприлад». Перспективы разработок состоят в дальнейших исследованиях и создании новых схем и способов согласования линии наблюдения (прицеливания) и оси излучающих каналов лазерных дальномеров.

### Выводы

1. В приборах с лазерными дальномерами за счет конструктивных мер может быть обеспечена погрешность согласования не более 1 угл.мин.

2. Для повышения точности целесообразно использовать встроенные системы контроля, которые позволяют обеспечить согласование визирного канала и канала излучения дальномера с погрешностью не более 0,15 т.д. (30 угл.с) в НКУ, а при механо – климатических воздействиях – до 0,2 т.д. (40 угл.с).

### Литература

1. Каталог «Оптические и оптико-электронные приборы для вооруженных сил». –М.: 2001

Соловьев Г.Я., Гордиенко В.И., Мазурин И.В., Замосенчук В.Н., Сухомлинов П.А. Системи узгодження каналів спостереження лазерних дальномерів в комплексованих приладах спостереження та прицеливання. Розглянуто засоби узгодження лінії спостереження (прицілювання) і осі каналів лазерних далекомірів, що випромінюють, а також методи контролю неузгодженості. Запропоновано систему вбудованого контролю і вивірювання осей. Розглянуто особливості узгодження осей у приладах із тепло-візійними каналами спостереження.	Solovjov G.J., Gordienko V.I., Mazurin I.V., Zamosenchuk V.N., Suhomlinov P.A. <b>Systems of the observation channels of laser range finders in the complexes observation and aiming instruments</b> The alignment ways of observation (aiming) line and emitting channels axis of laser range finders, and also the methods of alignment control are viewed. The system of built-in control and axes adjustment is proposed. The specifications of axes alignment in the articles with infrared imager observation channels were viewed.
--	--

Надійшла до редакції  
4 травня 2004 року

УДК 535.5:621.38

## ЗАСОБИ МОДУЛЯЦІЇ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА В АСТРОНОМІЧНІЙ АПАРАТУРІ

<sup>1)</sup>Відьмаченко А.П., <sup>2)</sup>Гераймчук М.Д., <sup>2)</sup>Дубінець В.І., <sup>1)</sup>Неводовський Є.П., Недоводський П.В.,  
<sup>2)</sup>Петренко С.Ф. <sup>1)</sup>Головна астрономічна обсерваторія НАН України м. Київ, Україна;  
<sup>2)</sup>Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”  
м. Київ, Україна

В статті наводяться основні методи і засоби модуляції поляризованого світла. Увагу зосереджено на модуляторах, побудованих на базі двигунів з порожнинним ротором

### Вступ

В астрономічній практиці основними традиційними методами досліджень

небесних тіл в оптичному діапазоні є фотометрія, спектрометрія та поляриметрія. Приклади астрономічної апаратури, необхідної для таких досліджень, розглянуті в [1, 2].

Поляризаційний метод серед них є найбільш інформативним, але й найскладнішим. При проходженні світла через досліджуване середовище стан його поляризації змінюється. Для опису цього процесу існує ціла низка математичних методів: Джонсона, Мюллера, Стокса, сфери Пуанкаре. Ці методи покладено в основу приладів, які визначають поляризаційну складову досліджуваного середовища. Крім того, сукупність жорстких вимог, які висуваються до більшості астрономічних приладів (малі габарити та вага, важкі кліматичні умови, точність визначення параметрів тощо) дозволяють віднести такі прилади до складу унікальних.

### **Постановка задачі**

Приймачі світла в оптичному діапазоні чутливі лише до змін інтенсивності досліджуваного потоку світла і не реагують на стан його поляризації [3]. З іншого боку стан поляризації потоку світла повністю описується набором чотирьох дійсних величин – параметрів Стокса, які залежать від інтенсивності світлового потоку [4]. Тому поляриметри базуються на перетворенні вектора Стокса в інтенсивність (квадрат амплітуди). Такі перетворення можуть виконуватись статичним і модуляційним способами [5]. Статичний спосіб базується на одночасному вимірюванні інтенсивності випромінювання від двох розділених компонент з перпендикулярною поляризацією. Модуляційний метод базується на вимірюванні інтенсивності поляризаційного випромінювання, яке примусово модулюється поляризаційним елементом з часом. Перший спосіб накладає дуже жорсткі вимоги до ідентичності обох приймачів світла, а другий потребує наявності складного поляризаційного модулятора.

В залежності від способу перетворення поляризації модулятори світла можна поділити на ті, в яких електричний сигнал змінює оптичні параметри середовища, тобто модулятори “електричний сигнал – світло”, та модулятори “світло – світло”, в яких оптичні параметри змінюються за допомогою механічної переорієнтації поляризаційного елементу. [4]

До перших належать модулятори, принцип дії яких ґрунтується на зміні анізотропії середовища під дією зовнішнього електричного чи магнітного полів (ефекти Керра, Поккерса, Фарадея, Коттон-Мутона). До переваг цих модуляторів слід віднести відсутність механічного приводу та їх безінерційність. Однак ці модулятори на сьогодні ще не дуже надійні і недостатньо ахроматичні.

До других відносяться модулятори, в яких зміна поляризаційних властивостей відбувається завдяки механічному обертанню поляриметричних елементів (поляризуючих призм, поляроїдів, фазових пластин тощо).

Найпростішим та найбільш розповсюдженим є модулятор, який складається з двох поляроїдних елементів, з яких один нерухомий, а інший безперервно обертається відносно першого. Виміри тут проводяться у вибраній з великою

точністю момент часу. Другий варіант роботи такого модулятора - „покроковий”, коли один поляриметричний елемент повертається відносно іншого нерухомого і встановлюється з великою точністю на заздалегідь заданий кут, і тільки після цього відбуваються виміри інтенсивності.

Недоліки цих методів пов'язані з труднощами у забезпеченні високої точності прив'язки по часу у першому випадку, і точності позиційної установки по куту - у другому.

Розрахунки модулятора, який складається з нерухомого поляроїда та фазової пластини, показали, що похибка позиційної зупинки фазової пластинки повинна бути меншою за 1 кутову мінуту, що відповідає точності вимірювання поляризації 0,1 %. Ці розрахунки накладають жорсткі вимоги до точності роботи приводів модулятора.

### **Засоби реалізації поляризаційних модуляторів світла**

Рухомий елемент модулятора (фазова пластинка) може обертатися або завдяки кінематичній передачі, або поляризаційний елемент може бути встановлено безпосередньо у отвір ротора електродвигуна, який просвердлено вдовж осі обертання. Тобто приводами рухомого елемента модулятора можуть бути:

1. Кінематичне з'єднання за допомогою зубчатих коліс. Цей класичний привід є найбільш простим і складається з електричного двигуна постійного струму чи крокового двигуна та редуктора, який передає оберти до поляризаційного елемента. Наявність люфтів, мертвого руху, тертя за досить довгий шлях від двигуна до об'єкта обертання накопичує досить суттєві похибки властиві всім механічним редукторам. Тому в цьому випадку реалізувати зупинку модулятора з точністю менш за 1 кутову хвилину дуже складно.

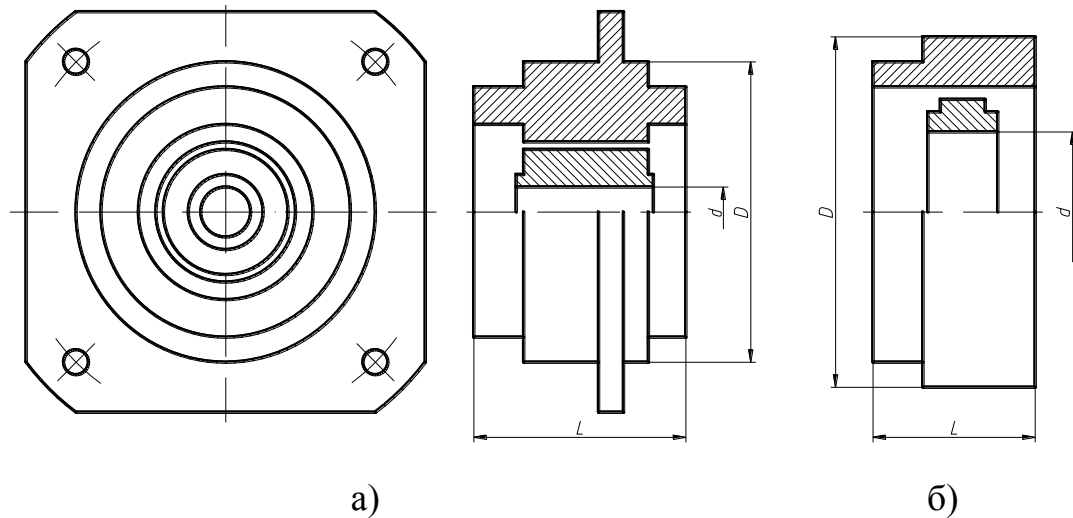
2. Синхронний двигун типу ДМ – 15С. Це дво полюсний синхронний двигун з пустотілим ротором та вмонтованим тахогенератором. Сигнал від тахогенератора використовується для контролю положення фазової платини. Такий привід було реалізовано у астрономічному спектрополяриметрі [3], і він дуже добре себе зарекомендував. Однак розробка і виготовлення такого двигуна була разова, і зараз вони не виготовляються. Також до недоліків цього двигуна слід віднести незмінність роботи його алгоритму.

3. Синхронні двигуни серії ДБМ – це безконтактні синхронні електричні машини з обмотками на статорі та виготовленими з рідкісноземельних елементів постійними магнітами на роторі. Такі електродвигуни виготовляються в Росії і постачаються у вигляді окремих вузлів – статора і порожнинного ротора без валу (Рис. 1). Тобто конструктивно вони начебто створені для того, щоб обертати вмонтовані в ротор поляризаційні елементи.

Ці синхронні електричні машини у порівнянні з іншими видами електродвигунів мають найбільшу кількість функціональних можливостей:

- живлення обмоток статора системою синусоїдальних напруг з фазовим зсувом у часі забезпечує режим синхронного двигуна;

- живлення обмоток статора системою імпульсних напруг забезпечує режим крокового двигуна;
- зворотній зв'язок щодо положення ротора двигуна дає змогу забезпечити так званий режим вентильного двигуна.



а) з пазовим статером, б) з гладким статером

Рисунок 1 – Електродвигуни серії ДБМ

Таким чином, для цих двигунів є можливість змінювати його характеристики в залежності від зміни форми фазових напруг чи завдяки перемиканню обмоток синхронної машини, тобто забезпечувати програмування параметрів.

Перелічимо основні переваги двигунів ДБМ:

- вони не потребують редуктора, і як наслідок, спрощується конструкція приводу, зменшується металево - і трудова ємкість, шум, а також спрацьованість поверхонь тертя;

- підвищується точність відпрацювання механізмів за рахунок відсутності люфтів, зменшення мертвого руху, зниження моменту сухого тертя та ін.;

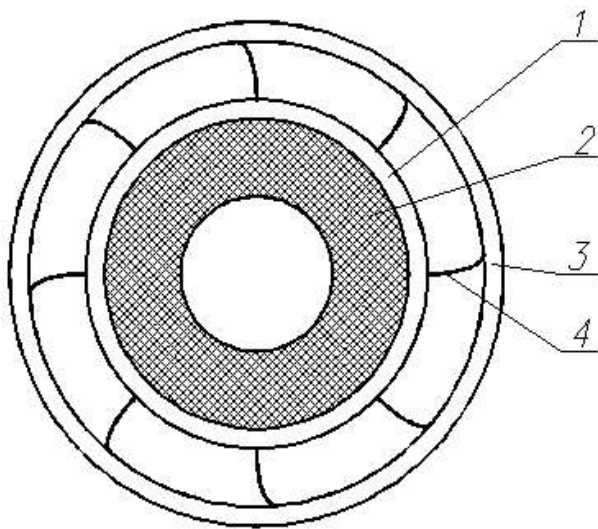
- багатофункціональність розширює коло можливих задач.

До недоліків слід віднести відносно великі маси ротора (стосовно до наших задач), тремтіння ротору відносно статора у моменти спокою (час проведення вимірів).

4. П'єзодвигуни дозволяють застосувати зовсім новий підхід до побудови поляризаційного модулятора. В п'єзодвигунах обертання здійснюється безпосереднім перетворенням електричної енергії в механічну за рахунок зворотного п'єзоелектричного ефекту. П'єзоелемент у вигляді шайби з прорізами з зовнішнього боку під дією електричної енергії здійснює хвильові коливання з частотою десятки кГц, які передаються на пружинні штовхачі, які в свою чергу передають імпульс руху на ротор (рис. 2). Тобто всі перетворення енергій і сили прикладаються до зовнішньої поверхні п'єзошайби. Це дає змогу залишити внутрішню частину шайби порожньою, куди і може бути вмонтований поляризаційний елемент.

Двигуни такого типу мають наступні характеристики [6]:

- наявність ефекту самогальмування валу – 0.1 ... 2.0 Н·м;
- висока кутова роздільна здатність - 0.1 ... 5.0 угл.с;
- високий питомий момент – 0.1 ... 2.0 Н·м;
- швидкість обертів:
- безперервні оберти – 10 ... 80 об/хв;
- покрокові оберти – 1 ... 4000 угл. с/с;
- час на розгін та гальмування – менш ніж 1 мс при швидкості 1.0 об/с.



1 – тонка сталева оболонка; 2 – п'єзоелемент; 3 – ротор; 4 – штовхачі

Рисунок 2 – Схема п'єзодвигуна

Ці характеристики яскраво демонструють переваги п'єзодвигунів над електродвигунами інших типів.

Також до переваг слід віднести відсутність обмоток, простота виготовлення, великий к. к. д., відсутність магнітних полів, наявність п'єзоелектричної заціпки в режимі «старт-стоп», мала вага ротора. До цього слід додати універсальність і багатofункціональність, що забезпечує перспективу їх застосування при розробці поляризаційних модуляторів. До недоліків слід віднести можливість прострибування в зоні контакту осцилятора з ротором, значні коливання вздовж та по колу циліндричної оболонки [7].

### **Висновки**

Поляризаційний модулятор є одним з найскладніших та найважливіших вузлів поляриметру. Від величини нерівномірності його обертання залежить точність вимірювання поляризації. Тому при розробці такої апаратури необхідно приділяти увагу як схемній побудові, так і конструкції цього приладу.

На погляд авторів найбільш придатними як приводи поляризаційного модулятора можуть бути п'єзодвигуни з порожнинним ротором, що зможуть забезпечити потрібні точності, високі значення масо-габаритно-потужностних відношень. Універсальність цих двигунів дасть змогу оперативно змінювати алгоритм роботи всього приладу.

### **Література**

1. Відьмаченко А.П., Неводовський П.В., Бардаш О.М. Астрономічний спектрополяриметр для дистанційного вивчення оптичних та фізичних параметрів тіл Сонячної системи // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія приладобудування. – 2003. - № 25. -С. 12-18.
2. Відьмаченко А.П., Делець О.С., Неводовський П.В., Андрук В.М. Цифровий панорамний поляриметр для дистанційного дослідження оптичних та фізичних параметрів небесних об'єктів // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія приладобудування – 2003. - № 26. -С. 12-18.
3. Бугаенко О.И., Гуральчук А.Л. Астрономический спектрофотополяриметр. I. Основные принципы работы. // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. -К.: Наукова думка, 1985. -С. 160-164.
4. Васильев А.А. Касасент Д., Компанец И.Н., Перфенов А.В. Пространственная модуляция света. - М.: Радио и связь, 1987. - 320 с.
5. Жевандров Н.Д. Применение поляризованного света. --М.: Наука, 1978. -176 с.
6. Петренко С.Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении - К.: Корнійчук, 2002. 96 с.
7. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В.С. Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Энергия, 1980. -112 с.
8. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями, Под общ. ред. М.Г.Чиликина. – М.: Энергия, 1971. -624 с.

Видьмаченко А.П., Гераимчук М.Д., Дубинец В.И., Неводовский С.П., Неводовський П.В., Петренко С.Ф. **Способы модуляции поляризованного света в астрономической аппаратуре.**

В статье приводятся основные методы и способы модуляции поляризованного света. основное внимание сосредоточенно на модуляторах основанных электродвигателях с полым ротором.

Vid'machenko A.P., Geraimchuk M.D., Dubinec V.I., Nevodovskiy E.P., Nevodovskiy P.V., Petrenko S.F. **Ways of the modulation of the polarized light in astronomical device.** The basis methods and ways of modulation of the polarized light are resulted in article. the main attention is given to modulators, which are produced with using of electric motors with hollow rotor.

*Надійшло до редакції  
24 квітня 2004 року*