

ერთარხიანი ლაზერული მანძილზომი
ასწავლებელი მაკონცენტრირებული სარკით

თ. ი. ხაჩიძე^{1,2}, დ. გ. ზარდიაშვილი¹, გ. თ. მჭედლიშვილი¹

¹სსიპ ინსტიტუტი „ოპტიკა“

თბილისი, საქართველო

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, საქართველო

txachidze@gmail.com

მიღებულია 2019 წლის 8 მაისს

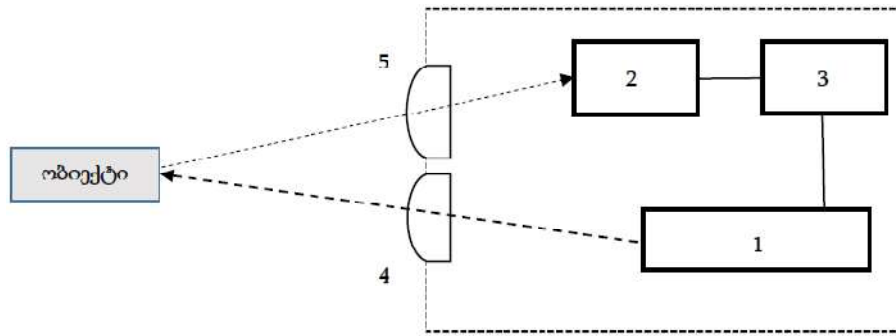
ანოტაცია

ნაშრომი ეხება ლაზერული მანძილზომების პროექტირების საკითხებს. შემოთავაზებულია ერთარხიან ლაზერულ მანძილზომში გამოყენებულ იქნას გახვრეტილი ასფერული სარკე. ასფერულ სარკეში გაკეთებული ნახვრეტი დანაკარგების გარეშე ატარებს ლაზერის სხივს ობიექტივამდე და ამავე დროს ობიექტივით დაფოკუსირებულ ანარეკლ სინათლეს მიმართავს ფოტოდეტექტორისაკენ უმნიშვნელო დანაკარგებით. გარდა ამისა, ასფერული ზედაპირის მქონე სარკე, ბრტყელისაგან განსხვავებით, აფოკუსირებს სინათლეს და ფოტომიმდების ზედაპირზე უფრო მცირე ფოკუსური ლაქის მიღების საშუალებას იძლევა. სარკის ფოკუსური მანძილის ცვლილებით კი შესაძლებელი ხდება ფოტოდეტექტორამდე მანძილის ვარირება ისე, რომ არ შეიცვალოს ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

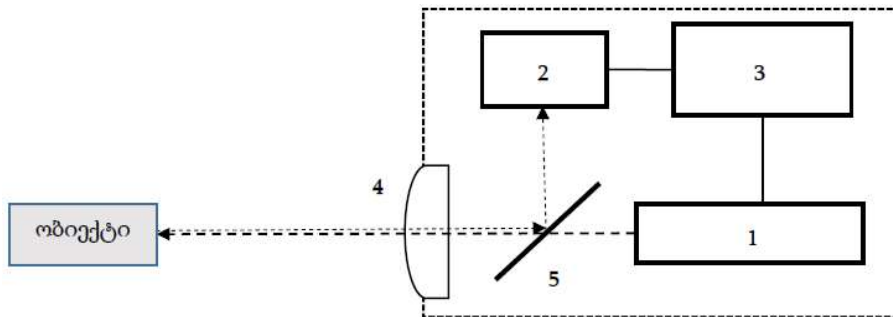
ლაზერული მანძილზომის ოპტიკური სქემა და მისი ელემენტები არ არის დამოკიდებული იმაზე მანძილზომი იმპულსურია, თუ – ფაზური და შეირჩევა მხოლოდ მანძილზომის ტექნიკური მახასიათებლებიდან გამომდინარე. ოპტიკური ელემენტების ძირითადი დანიშნულებაა:

- (1) უზრუნველყოს ლაზერიდან გამოსხივებული სხივის სათანადო კოლიმაცია ანუ ისეთი განშლადობის კუთხით გავრცელება, რომ მანძილის გაზომვის მოცემულ დიაპაზონში მკვეთრად დააფიქსიროს ობიექტი და აირეკლოს მისგან; და
- (2) უზრუნველყოს დაკვირვების ობიექტიდან ანარეკლის მაქსიმალურად ეფექტური ფოკუსირება მანძილზომის ფოტოდეტექტორზე [1].

შემოთ აღნიშნული მოთხოვნის დაკმაყოფილება შეიძლება, როგორც ორარხიანი სისტემით, როდესაც ლაზერისთვის და ფოტომიმდებისათვის ინდივიდუალური ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ოპტიკური სისტემები უზრუნველყოფენ მათ ფუნქციონირებას (სურათი 1), ასევე ერთარხიანით, როდესაც ერთი ოპტიკური სისტემა უზრუნველყოფს როგორც ლაზერის სხივის კოლიმირებას, ასევე – ობიექტიდან ანარეკლის ფოკუსირებას ფოტოდეტექტორზე (სურათი 2).



სურათი 1. ორარხიანი ლაზერული მანძილზომის გამარტივებული ბლოკ-სქემა: 1 – ლაზერი, 2 – ფოტოდეტექტორი, 3 – ელექტრული ბლოკი, 4 – ლაზერის სხივის კოლიმირების ოპტიკური სისტემა და 5 – ობიექტიდან არეკვლილი სხივის ფოტოდეტექტორზე მაფოკუსირებელი ოპტიკური სისტემა.



სურათი 2. ერთარხიანი ლაზერული მანძილზომის გამარტივებული ბლოკ-სქემა: 1 – ლაზერი, 2 – ფოტოდეტექტორი, 3 – ელექტრული ბლოკი, 4 – ლაზერის სხივის კოლიმირების და ფოტოდეტექტორზე მაფოკუსირებელი ოპტიკური სისტემა (ობიექტივი), 5-ობიექტიდან არეკვლილი სხივის ფოტოდეტექტორზე მიმმართველი სარკე.

ლაზერიდან გამოსხივებული სხივის კოლიმირების ოპტიკური სისტემის ობიექტივს არ მოეთხოვება დიდი დიამეტრი (რადგან სხივური ენერგიის წყაროა ლაზერი, რომელიც წერტილოვნად ითვლება). საკმარისია კოლიმირების ოპტიკური სისტემის ობიექტივის დიამეტრი ოდნავ აღემატებოდეს მასზე დაცემული ლაზერის სხივის დიამეტრს. რაც შეეხება ობიექტიდან ანარეკლის ფოტოდეტექტორზე მაფოკუსირებელ ოპტიკას, მის დიამეტრზე ბევრად არის დამოკიდებული დაფოკუსირებული სხივური ენერგიის სიდიდე, რადგან რაც მეტია ოპტიკური სისტემის დიამეტრი და, შესაბამისად, ფართობი, მით მეტი სხივური ენერგიის კონცენტრირება შეუძლია მას.

ფოტომიმდებზე დაცემული მინიმალური სხივური ენერგია, რომლითაც შესაძლებელია მაქსიმალურ მანძილის გაზომვა, გამოითვლება ფორმულით [2]:

$$E_{\text{მინ.}} = 3.3 \cdot E_{\text{რეგ.მინ.}} \cdot \frac{L_{\text{მაქს.}}^4 \cdot \gamma_{0.5}^2}{\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot D_{\text{მიმდ.}}^2 \cdot S_{\text{კვკ.}}} \cdot e^{2\alpha L_{\text{მაქს.}}},$$

სადაც, $E_{\text{რეგ.მინ.}}$ ფოტომიმდებზე დარეგისტრირებული იმპულსის მინიმალური ენერგიაა, $L_{\text{მაქს.}}$ – გაზომვის მაქსიმალური მანძილი, $\gamma_{0.5}$ – გამოსხივებული კონის გაშლის კუთხე გამოსხივებული ენერგიის 0.5 დონეზე, τ_1 – გამომსხივებელი ელემენტის ოპტიკური

სისტემის გატარების კოეფიციენტი, τ_2 – მიმღები ელემენტის ოპტიკური სისტემის გატარების კოეფიციენტი, $D_{\text{მიმღ.}}$ – მიმღები ოპტიკური სისტემის ფართობი, $S_{\text{გვ.}}$ – ობიექტის ამრეკლი ზედაპირის ექვივალენტური ფართობი, როდესაც არეკვლის კოეფიციენტი ერთის ტოლია, ხოლო α – ატმოსფეროში ლაზერული გამოსხივების შთანთქმის კოეფიციენტი.

როგორც ვხედავთ, ეს ენერგია ფოტომიმღების ობიექტივის დიამეტრის კვადრატის უკუპროპორციულია. ე.ი. რაც უფრო დიდი დიამეტრის ობიექტივს გამოვიყენებთ, მანძილმზომით უფრო დიდი მანძილების გაზომვაა შესაძლებელი. ფოტოდეტექტორისათვის დიდი დიამეტრის ობიექტივის გამოყენების შემთხვევაში მანძილმზომის გაზომვები ძალიან რთულია, რომ არ გაიზარდოს, მიზანშეწონილია იგივე ობიექტივი გამოყენებულ იქნას ლაზერის სხივის კოლიმირებისათვისაც. რასაც თავისთავად ერთარხიანი ოპტიკური სისტემის შექმნამდე მივყავართ.

იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ ერთარხიან მანძილმზომებს გამოსხივებული და ანარეკლი სხივისთვის ერთი ოპტიკური სისტემა აქვთ, ოპტიკური ღერძების პარალელობის რეგულირების საჭიროება არ არის. შეიძლება დავასკვნათ, რომ ერთარხიანი მანძილმზომი დიდი დიამეტრის ობიექტივით გარკვეულ პირობებში უპირატესი იქნება ორარხიანთან შედარებით. თუმცა ერთარხიან მანძილმზომებსაც აქვთ თავისი ნაკლოვანებები. ერთ-ერთი მათგანია კონსტრუქციაში ნახევრადგამჭვირველ სარკის არსებობა [3] (სურათი 2). ნახევრადგამჭვირვალე სარკის არსებობის გამო დაბრუნებული ენერგიის დიდი ნაწილი იკარგება (დაახლოებით 50 % გასხივების და ანარეკლის 50 %). ასეთი დიდი დანაკარგის შესამცირებლად შემოთავაზებულია ნახევრადგამჭვირვალე სარკის ნაცვლად გამოყენებულ იქნას გახვრეტილი ბრტყელი სარკე [4]. აღნიშნული სარკე ისევე, როგორც ერთარხიან მანძილმზომებში (სურათი 2) მაგრდება დახრით ძირითადი ოპტიკური სისტემის ობიექტივის უკან და უზრუნველყოფს გამოსხივებული და მიღებული სხივების გაყოფას. სარკის ნახვრეტის ცენტრი ობიექტივის ოპტიკურ ღერძზე მდებარეობს და უზრუნველყოფს ლაზერის სხივის ობიექტივის ცენტრალურ ზონაში მოხვედრას. ლაზერი განთავსებულია ობიექტივის ცენტრალური ზონის ფოკალურ სიბრტყეში. იმის გამო, რომ სარკე დახრილია, წრიული ნახვრეტი მთავარი ოპტიკური ღერძის მიმართ იღებს ელიფსის ფორმას. წრიული ნახვრეტი გამართლებულია ნახევარგამტარული ლაზერის შემთხვევაში, რომლის გამოსხივების ინტენსივობაც ელიფსურადაა განაწილებული. ამ შემთხვევაში გასათვალისწინებელია, რომ ელიფსური გამოსხივების ღერძები უნდა ემთხვეოდეს ნახვრეტის ელიფსური პროექციის ღერძებს, ხოლო ლაზერის გამოსხივების ინტენსივობის მაქსიმალური განაწილება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში უნდა მოექცეს ელიფსის დიდი დიამეტრის გასწვრივ. სარკის ნახვრეტის დიამეტრის საანგარიშო მნიშვნელობაც $D_{\text{ნახვ.}}$ ეს იქნება და იგი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას.

$$D_{\text{ნახვ.}} \geq D_{\text{გვ.}} \cdot t/f,$$

სადაც $D_{\text{გვ.}}$ ობიექტივის ცენტრალური ზონის დიამეტრია, t – მანძილი სარკესა და გამომასხივებელს შორის, ხოლო f – ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

თუ გამომსხივებელი ლაზერი მყარსხეულოვანია, მაშინ გამოსხივების განაწილება წრიულია და, შესაბამისად, ნახვრეტის პროექციაც ოპტიკური ღერძის გასწვრივ უნდა იყოს წრე, რომლის დიამეტრიც ამ ფორმულით იანგარიშება. თვით ნახვრეტი სარკეში კი იქნება ელიფსი, რომლის მცირე დიამეტრიც ჰორიზონტალურ

სიბრტყეში ძევს და ზომით ემთხვევა საანგარიშო მნიშვნელობას. ნახვრეტის დიდი დიამეტრი ვერტიკალურ სიბრტყეშია და დამოკიდებულია დახრის კუთხეზე. ელიფსის დიდი დიამეტრი გამოითვლება მცირე დიამეტრის შეფარდებით დახრის კუთხის კოსინუსთან.

სარკის მთავარი დანიშნულებაა ობიექტივიდან მასზე დაცემული ანარეკლი სინათლის მიმართვა ფოტოდეტექტორისაკენ. არსებულ კონსტრუქციებში [2] იგულისხმება, რომ ობიექტივიდან ანარეკლი სინათლე ობიექტივით დაფოკუსირების შემდეგ ეცემა ბრტყელ სარკეს, ირეკლება მისგან ფოტოდეტექტორის მიმართულებით, აგრძელებს ფოკუსირებას და კონცენტრირებული ხდება ფოტოდეტექტორის ძალიან მცირე ფართობზე. რეალობაში ყველაფერი გაცილებით რთულია, რადგან საჭირო ხდება ფოტომიმდების კონკრეტული მდებარეობის შერჩევა. გასათვალისწინებელია დაშორება სარკიდან (ის დამოკიდებულია ობიექტივის ფოკუსურ მანძილზე) და კუთხე. ამავე დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული მიმართულებების მიხედვით ფოტომიმდების მგრძნობიარობის დიაგრამა და ზედაპირის ფართობის სიმცირე. აღნიშნული ფაქტორები ართულებენ ამოცანის გადაჭრას. გარდა ამისა, მანძილმზომის კონსტრუქციის პროექტირებაში შეზღუდვებიც (გაბარიტები, ელემენტების განლაგება და სხვა) ჩნდება.

აღნიშნული ფაქტორების მოქმედების შერბილების მიზნით ჩვენ მიერ ბრტყელი სარკე შეცვლილ იქნა ასფერულ (მრუდწირულ) ზედაპირიანი სარკით. ასფერული ზედაპირი უზრუნველყოფს სხივის თითქმის ნებისმიერი (საჭირო) კუთხით მიმართვას და ამავე დროს აფოკუსირებს რა მას, ფოტომიმდების ნებისმიერ მანძილზე განთავსებისას მაქსიმალურად მცირე ფოკუსური ლაქის მიღების საშუალებას იძლევა.

კვლევების ჩატარების მიზნით ასფერული სარკის ზედაპირი გაიჩარხა პროგრამულ ჩარხზე ჩატარებული გამოთვლების საფუძველზე დაწერილი პროგრამით. განხორციელდა წინასწარი ლაბორატორიული კვლევები, რომლითაც **სურათზე 2** მოცემული მანძილმზომის სქემა გამოკვლეულ იქნა როგორც ბრტყელი, ასევე ასფერული ზედაპირის სარკით. წინასწარი კვლევებით გამოიკვეთა, რომ ასფერულ ზედაპირიანი სარკე იძლევა უფრო მცირე ზომის ფოკუსურ ლაქას ფოტოდეტექტორზე, რაც, თავის მხრივ, აისახება ფოტოდეტექტორიდან გამომავალი სიგნალის ზრდით. გარდა ამისა, ნათლად გამოიკვეთა ის გარემოება, რომ ასფერული ზედაპირის ცვლით ჩვენ შეგვიძლია ვცალოთ ფოკუსის მდებარეობა ერთიდაიგივე ობიექტივის პირობებში. ეს კი საკმაოდ გაადვილებს მანძილმზომის კონსტრუქციულ პროექტირებას.

დამოწმბანი

1. В. Б. Бокшанский, Д. А. Бондаренко, М. В. Вязовых, И. В. Животовский, А. А. Сахаров, В. П. Семенов. Лазерные приборы и методы измерения дальности (Учебное пособие), 2012, Москва, Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 92 стр.
2. И. Ф. Балашов. Энергетическая оценка импульсных лазерных дальномеров, 2000, Санкт-Петербург, ГИТМО, 37 стр.
3. А. Медведев, А. Гринкевич, С. Князева. Однозрачковые системы со встроенным лазерным дальномером. Фотоника, 46, 4, 50-60.
4. А. В. Медведев, А. В. Гринкевич. Однозрачковая мультиспектральная оптическая система со встроенным лазерным дальномером. Охранный документ № 0002646436 (05.03.2018).