

Üçgen Biçimli Sinyallerle Modüle Edilmiş Lazer Işımasının İstatistiksel Özelliklerinin İncelenmesi

***Gülçin BİLGİCİ CENGİZ, Rafe ABDULLAYEV, Hüseyin ERTAP**

Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Kars, Türkiye

Makale Kodu (ArticleCode): 10-03A

Özet: Optik sinyallerle bilgi iletilmesi sürecinde radyasyonun, bilgi içeren sinyallerle modüle edilmesi gerekir. Fakat optik frekanslarda modülasyon, sinyalinin biçimi ile beraber onun istatistiksel karakteristiklerini de değiştirdiğinden optik iletişim sistemlerinin oluşturulmasında bu gerçeğin dikkate alınması gerekir.

Bu amaçla, optik ışımının modülasyonu için üçgen biçimli sinyaller kullanılarak optik ışımının istatistiksel özelliklerine etkisi ele alınmıştır. Yarı klasik yaklaşımla, modüle edilmiş optik ışımının foto sayı dağılımı için genel ifadeler elde edilmiştir. Işığın belirli zaman aralığında ışığa duyarlı yüzeyden kopardığı foto elektronların sayılmasına dayanan foto sayı yöntemi ve bu yöntemin kullanılmasına yönelik deney düzeneğinin yapısı açıklanmıştır. İlk olarak modüle edici sinyalin frekansının, lazer ışımının foto sayı dağılımının üzerindeki etkileri incelenmiştir. Modüle edici sinyalin frekansının 100 Hz, 900 Hz ve 10 kHz değerleri için foto sayı dağılımlarının, modülasyona uğramamış ışımının foto sayı dağılımlarına göre daha genişlemiş olduğu ancak foto sayı dağılımının modüle edici sinyalin frekansından etkilenmediği tespit edilmiştir. Modülasyon katsayısı ile foto sayı dağılımları arasındaki ilişki incelendiğinde ise, modülasyon katsayısının artışı ile foto sayı dağılımlarının varyansının arttığı saptanmıştır. Deneysel sonuçların teorik sonuçlarla karşılaştırılarak uyum içinde oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Foto-sayı dağılımı, üçgensel modülasyon, modülasyon katsayısı

Investigation of Statistical Properties of Laser Radiation Modulated with Triangular Shaped Signals

Abstract: In the process of information transmission with optical signals, the radiation must be modulated with information containing signals. However, the optical frequency modulation changes both the form and statistical characteristics of the signal, and this fact should be taken into consideration in the development of the optical communication systems. For this reason, triangle-shaped signal was used for the modulation of optical radiation and its effects on the statistical properties of radiation were studied. General expressions were obtained for the photo-count distribution of modulated optic radiation by semi-classical approach. The photo-count method, which is based on counting the photoelectrons knocked out of the photosensitive surface by radiation in certain time intervals, was explained and the experimental set up of this method for the

application was described. First, the effects of the modulating signal frequency on the photo-count distribution of laser light were investigated. The widths of the photo-count distributions calculated for modulating frequencies of 100 Hz, 900 Hz and 10kHz were found to increase compared to unmodulated radiation for each frequency value while the photo-count distribution was not affected by the frequency of the modulating signal. From the investigation of the relationship between the modulating coefficient and photo-count distribution, it was found that the variance of photo-count distribution increased with the increase of modulating coefficient. Comparison of theoretical and experimental results showed that the theoretical results were in good agreement with experiments.

Key Words: Photo count distribution, triangular modulation, modulation coefficient

*E-mail: gibilgici@excite.com

Giriş

Günümüzde lazerler, bilgi iletişim sistemlerinde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Ancak lazerlerin direkt olarak iletişim sistemlerinde kullanılması ve iletişim sistemlerinin pratik örneklerinin hayata geçirebilmesi için ön çalışmalara ihtiyaç vardır. Öncelikle bilginin optik sinyallerle aktarılma sürecinde radyasyonun, bilgi içeren sinyallerle modüle edilmesi gerekir. Radyo frekansından farklı olarak, optik frekanslarda sinyalin biçimi ile beraber onun istatistiksel karakteristikleri de değişir. Optik iletişim sistemlerinin oluşturulmasında bu özelliğin dikkate alınması gerekir. Lazerlerin iletişim sistemlerinde kullanılmasını sınırlayan bir diğer neden ise, modüle edilmiş optik sinyallerin yayılması ve alınması sırasında optik iletişim kanalının öğeleri ile etkileşmesi hakkındaki bilgilerin tam olarak bilinmemesidir. Örneğin, optik frekanslarda daha etkili olan modüle edici (multiplikatif) gürültüler problemi tam anlamıyla çözülememiştir. Diğer yandan; çoğu durumlarda alıcı düzeneğin girişine gelen faydalı fotonların sayısı az olduğundan, bu sistemlerin incelenmesinde kuantum yaklaşımının kullanılması uygun olur.

Optik iletişimde; optik alanların ifade edilmesi için istatistiksel yöntemlerin kullanılma gereksinimi, alıcı düzeneğe gelen optik sinyallerin türbülans ortamında (örneğin atmosfer) yayılırken bozulmasına bağlı olarak rastgele değişmesinden ortaya çıkar. Bununla beraber, optik alanların istatistiksel karakterleri, sinyallerin durumlarının dalga fonksiyonları ile ifade edilmesinden de kaynaklanır. Sistemin herhangi bir durumda bulunma olasılığı, bulunduğu durumun dalga fonksiyonunun modülünün karesine eşit olan olasılıkla verilir. Klasik radyo iletişim sistemlerinde; optik sinyallerdekine benzer rastgele değişimler olmadığından optik sinyaller kullanan iletişim sistemlerinde optik alanların istatistiksel özelliklerinin bulunması ve iletişim sistemlerinin karakteristiklerinin incelenmesi gibi problemler yeniden ele alınarak çözülmesi gerekmektedir. Optik sinyal alıcılarının etkin çalışması, klasik radyo iletişim frekanslarındaki gibi sadece iç ve dış gürültülerin varlığı ile değil aynı zamanda sinyallerin kendilerinin kuantumlu doğaya sahip olması ile sınırlanır. Çünkü kuantum etkiler, sinyalin bulunma ve alınma süreçlerine bir de istatistiksel belirsizlik yükü getirir. Çelişkili görünse de, iç ve dış gürültüler olmadığında bile optik iletişim

sisteminin bilgi sembolünün yanlış kabul olasılığının sıfıra eşit olmaması buna bir örnek olarak gösterilebilir (Sheremetyev ve ark. 1971).

Sunulan bu çalışmada, üçgen (testere) pulslarla modüle edilen optik alanların istatistiksel özellikleri incelenmiştir. Burada, optik ışımının foton doğası ve ışığın kayıt edildiği foto dedektörle etkileşmesinin kuantum karakteri göz önünde tutulmuştur. Gözlenen sinyaller, ışığın etkisiyle oluşan sistemin kuantum geçişleri dizisidir. Yani asıl karakteristiği, belirli bir sabit zaman (T) aralığındaki foto elektronların n sayısının, P(n) olasılık dağılımı olan foto elektronlar dizisidir. Bu yöntem, foto sayı yöntemi olarak adlandırılır. Foto dedektöre gelen ışığın ($q\omega_0$) enerji dağılımı ile foto katodtan koparılan n tane foto elektronların sayısının P(n,T) dağılım fonksiyonu arasındaki bağıntı;

$$P(n, T) = \int_0^\infty \frac{(\eta\omega_0)^n}{n!} e^{-\eta\omega_0} q(\omega_0) d\omega_0 \quad (1)$$

ifadesi ile verilir[2]. Burada; n, foto katodun kuantum etkinliği ve I(t) ışık şiddetinin ani değeri olmak üzere, $q(\omega_0) = \int_{t_i}^{t_i+T} I(t) dt$ ışık alanının ω_0 enerjisinin [t_i , t_i+T] aralığındaki dağılım fonksiyonudur. Ayrıca τ_K ışığın koherentlik süresi olup ve $T \ll \tau_K$ şartında, $W=I.T$ olarak yazabiliriz. Işığın modüle edildiği T zaman aralığındaki foto sayı dağılımını;

$$P(n) = \int_0^\infty Q(I_m) p(n) I_m dI_m \quad (2)$$

$$P\left(\frac{n}{I_m}\right) = \int_0^\infty q(\omega_0) e^{-\eta I_m \omega_0} \frac{(\eta I_m \omega_0)^n}{n!} d\omega_0 \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplayabiliriz (Abdullayev ve ark. 1971). Burada $q(\omega_0)$, modüle edilmemiş optik kaynağın ω_0 enerjisindeki dağılım fonksiyonu, $Q(I_m) = \langle q(t, I_m) \rangle$ modüle edici sinyal seviyesinin olasılığının kayıt süresine göre ortalamasıdır. Optik ışımının üçgen (testere) pulslarla

modülasyonunda modüle edici sinyalin şiddeti;

$$I_m(t) = \frac{b}{\tau_0} t + a \quad (4)$$

olarak değiştiğinden, rastgele seçim ve optik şiddetin modülasyonu durumunda $Q(I_m)$ dağılım fonksiyonu; a şiddetin minimum ve (a+b) ise maksimum değeri olmak üzere, [a, a+b] aralığında düzgün dağılmış olur. Bu durumda modüle edilmiş ışınımı, foto sayı dağılımını (2) ifadesi ile hesaplayabiliriz. Genel olarak eğer kuvvet karakteristikli modülatör kullanılırsa;

$$I_m(t) = [x(t)]^s \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda; s = 1 şiddetin ve s=2 genliğin modülasyonuna karşılık gelir. Eşitlik (4) ve (5) ifadelerini, eşitlik (2)'de yerine yazdığımız zaman foto sayı dağılımı;

$$\begin{aligned} P(n) &= \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} P(n/I_m(t)) dt \\ &= \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} d\tau \int_0^\infty q(\omega_0) e^{-\eta I_m \omega_0} \frac{(\eta I_m \omega_0)^n}{n!} d\omega_0 \end{aligned}$$

$$P(n) = \frac{\eta^n}{n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} I_m^n e^{-\eta I_m \omega_0} dI \right] \quad (6)$$

olur. Burada τ_0 pulsun uzunluğudur. Eşitlik (3) ve (4) ifadelerinde

$$I_m = \left(\frac{b}{\tau_0} \tau + a\right)^s = z$$

yazarak değişken değiştirirsek (6) ifadesinden;

$$P(n) = \frac{\eta^n}{n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\frac{1}{\tau_0} \int_{a^s}^{(a+b)^s} \frac{\tau_0 z^n}{b^s} z^{\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz \right]$$

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b^n n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\int_{a^s}^{(a+b)^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz \right]$$

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b^n n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\int_0^{(a+b)^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-nz\omega_0} dz - \int_0^{a^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-nz\omega_0} dz \right] \quad (7)$$

bulunur. Farklı parametrelerde bulunan integralleri, tam olmayan $\gamma(a, x)$ fonksiyonlarla ifade edersek fotosayı dağılımı;

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left\{ \frac{1}{(\eta \omega_0)^{n+\frac{1}{s}}} [n + 1s; \eta \omega_0 a + bs - \gamma(n+1s; \eta \omega_0 as)] \right\} \quad (8)$$

şeklinde elde ederiz. Bu sonucu sadeleştirirsek, son olarak üçgen pulslarla modüle edilmiş optik ışınımın fotosayı dağılımının genel ifadesini;

$$P(n) = \frac{1}{b \eta^{1/s} s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^{-1/s} d\omega_0 \{ \gamma[n + 1s; \eta \omega_0 a + bs - \gamma(n+1s; \eta \omega_0 as)] \} \quad (9)$$

şeklinde yazabiliriz. Bu ifadeyi tam olmayan $\Gamma(a, x)$ fonksiyonuyla;

$$P(n) = \frac{1}{b \eta^{1/s} s n!} \int_0^\infty \frac{q(\omega_0)}{\omega_0^{1/s}} d\omega_0 \{ \Gamma(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 a^s) - \Gamma(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 (a+b)^s) \} \quad (10)$$

şeklinde gösterebiliriz. Bu farklı kaynakların, farklı parametrelerinin (genlik, şiddet v.b) modüle edilme durumlarına uygulanabilen genel bir ifadedir. Çoğu hallerde alıcı düzenekler, ışığın enerjisine duyarlı olduğundan eşitlik (9) veya (10)'u ışığın şiddetinin modülasyonu durumuna uygulayalım. Burada $s=1$ yazarsak eşitlik (9)'dan;

$$P(n) = \frac{1}{b \eta n!} \int_0^\infty \frac{q(\omega_0)}{\omega_0} d\omega_0 \{ \gamma[n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 (a+b)] - \gamma(n+1s; \eta \omega_0 a) \} \quad (11)$$

elde ederiz. Eşitlik (11) ifadesi $q(\omega_0)$ enerji dağılımı istenilen ışık kaynağının şiddetinin, üçgen pulslarla modüle edilmesi halinde foto sayı dağılımının hesaplanmasına olanak sağlar.

Bu çalışmada, sadece bir modlu sabitleştirilmiş lazer ışınımının üçgen pulslarla şiddetinin modüle edilmesi durumunu ele alacağız. Bilindiği gibi kaynağın enerji dağılımı δ -fonksiyonuyla verilir (Deryugin ve ark. 1972).

$$q(\omega_0) = \delta(\omega_0 - \langle \omega_0 \rangle) \quad (12)$$

δ -fonksiyonunun özelliklerini dikkate alarak; eşitlik (12)'yi, eşitlik (11)'de yazarsak foto sayı dağılımını;

$$P(n) = \frac{1}{\eta \langle \omega_0 \rangle b n!} \{ \gamma[n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)] - \gamma(n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle a) \} \quad (13)$$

veya özdeş olan;

$$P(n) = \frac{1}{\eta \langle \omega_0 \rangle b n!} \{ \Gamma[n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle a] - \Gamma(n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)) \} \quad (14)$$

olarak elde edebiliriz. Eşitlik (14)'teki $\Gamma(n+1, x)$ fonksiyonunu serilerle ifade edersek, yani;

$$\Gamma(n+1, x) = n! e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!} \quad (15)$$

olduğunu göz önüne alırsak, eşitlik (14)

$$P(n) = \frac{1}{\eta \langle \omega_0 \rangle b} \left\{ e^{-\eta \langle \omega_0 \rangle a} \sum_{k=0}^n \frac{(\eta \langle \omega_0 \rangle a)^k}{k!} - e^{-\eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)} \sum_{k=0}^n \frac{[\eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)]^k}{k!} \right\} \quad (16)$$

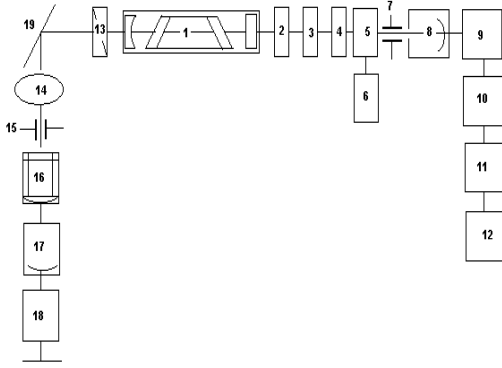
gibi yazılır, kaynağın enerji dağılımı, eşitlik (12) ile verildiğinde, $\eta \langle \omega_0 \rangle = \langle n \rangle$ olduğu görülür. Bu durumda, modülasyon katsayısını (m) ile gösterirsek ele aldığımız durum için foto sayı dağılımını;

$$P(n) = \frac{1}{2m \langle n \rangle} \left\{ e^{-\langle n \rangle (1-m)} \sum_{k=0}^n \frac{[\langle n \rangle (1-m)]^k}{k!} - e^{-\langle n \rangle (1+m)} \sum_{k=0}^n \frac{[\langle n \rangle (1+m)]^k}{k!} \right\} \quad (17)$$

şeklinde de yazabiliriz. Eşitlik (17)'de elde edilen foto sayı dağılımı, üçgen pulslarla modüle edilmiş bir modlu sabitleştirilmiş lazerin özel bir durum için P. Diament ve M. C. Teich tarafından hesaplanmış ifadenin aynısıdır (Diament ve ark. 1970). Bununla beraber; eşitlik (17)'de verilen foto sayı dağılımı, eşitlik (2)'de istenilen ışık kaynağı ve istenilen modülasyon türü için uygulanabilen ve bunun üçgen pulslarla modülasyonu için gerekli olan eşitlik (9) ve (10) dağılımlarından elde edildiğinden daha genel bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Eşitlik (17) ifadesini, deneysel olarak doğrulamak için Kiev Devlet Üniversitesinde yapılan deneylerde R. Abdullayev tarafından kurulan Şekil 1'deki deney düzeneği kullanılmıştır (Deryugin ve ark. 1972).

Materyal ve Metot

Üçgen pulslarla lazer ışınının modüle edilmesi sürecinin incelenmesi için kullanılan foto sayı yöntemine dayanan düzeneğin yapısı Şekil 1’de açıklanmıştır.



Şekil 1: Lazer ışınının istatistiksel özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deneysel düzeneğin blok şeması ve kullanılan cihazlar verilen numaraya göre; 1.He-Ne lazer, 2.Girişim filtresi, 3.Attenuator, 4,13 Polarizörler, 5.Elektrooptik modülatör, 6.Fonksiyon üreticisi, 7.,15. Silitler, 8.,17. Fotoçoğaltıcılar, 9. Düzenleyici, 10. Dönüştürücü (sayı-genlik), 11. Çok kanallı analizör, 12. Bilgisayar, 14. Mercek, 16. İnterferometre, 18. Osiloskop, 19. Ayna

Işık kaynağı olarak, He-Ne lazeri kullanılmıştır. Lazerin mod yapısı, tarayıcı interferometre ile kontrol edilebilir. Etkin koherentlik süresi $\sim 2.10^{-7}$ s düzeyinde olduğundan radyasyonun enerji dağılımını, δ -fonksiyonu ve fotosayı dağılımı ise Poisson dağılımı olarak kabul edilir. Fotosayımı dedekte etmek için, uygun spektral duyarlılığı ayırt etme hassasiyeti olan fotoçoğaltıcılar seçilmiştir. Fotoçoğaltıcılar saniyede 2.10^6 tane fotoelektrondan daha fazla yüklenemediklerinden, seçim süreci $t = 10^{-6}$ saniye seçilerek alıcının küçük sayıda (n tane) fotoelektron kaydetmesi sağlanır. Olasılık dağılımlarını ölçmek için; τ süresinde ki kayıt sayıları, pulsların

genliğine dönüştürülerek 256 kanallı puls analizörüne verilmiştir. Böylece; genliği ölçüm süresince gelen fotoelektronların n sayısına orantılı olan pulslar, çok kanallı analizörün belirli kanallarında toplanırlar. Seçim süresi ve sayısı, puls jeneratörü ile belirlenecek deney süresince sırası ile yaklaşık 10^{-6} s^{-1} ve 5.10^3 s^{-1} olarak eşit aralıklar seçilmiştir. Seçim süresinin kısa olmasına (yaklaşık 1 dakika) rağmen iyi bir istatistik elde edilme olanağı sağlanmış olur ($\sim 3.10^5$ sayı). Deney süresinin kısa olması lazer kaynağı dışında, diğer cihazların sabitleştirilmesi için özel tedbirlerin alınması gerektirmez.

Modülasyon sürecinde ışık kaynağı (lazer) ile foto dedektör arasında, sanayide üretilen standart elektro optik modülatör yerleştirilir. Modülatöre; üçgen pulslar, alçak frekans jeneratöründen verilir ve bunların frekansı, genliği ve modülasyon katsayısı çalışma süresince değiştirilebilir.

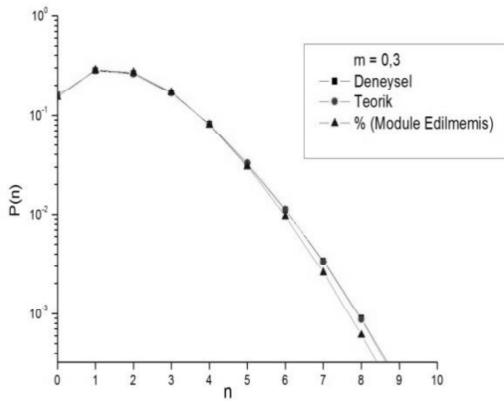
Deneyel Sonuçlarla Karşılaştırma ve Tartışma

İlk olarak modülasyon katsayısının sabit $m=0,5$ değerinde frekansının foto sayı dağılımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla modülatöre, jeneratörden 100 Hz, 900 Hz ve 10 kHz frekanslı pulslar verilmiştir. Her bir durumda foto sayı dağılımı, modüle edilmemiş kaynağın oluşturduğu foto sayı dağılımına göre genişlemiş olmasına rağmen, modüle edilmiş ışınının foto sayı dağılımları birbirinden deneysel hatalar çerçevesinde farklılaşmamıştır. Aslında bu sonuç yapılan teorik hesaplamalar sonucundan da öngörülmektedir. Modüle edilmiş foto sayı dağılımları birbirleri ile çakışıklarından bunların grafikleri sunulmamış ancak bu deneysel sonuçlara göre hesaplanmış varyansları Tablo 1’de verilmiştir.

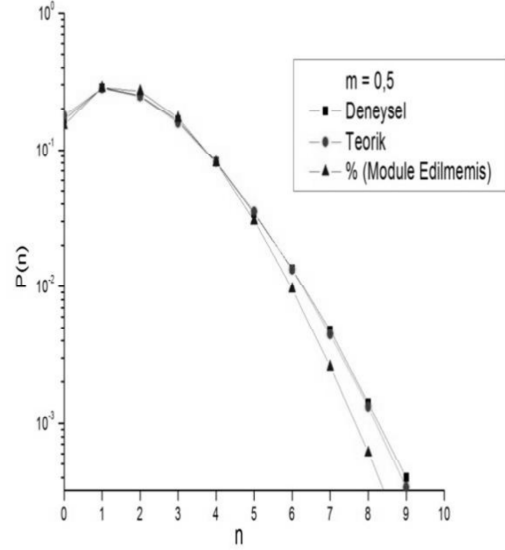
$f_m(\text{kHz})$	$\langle n \rangle$	$\langle \Delta n^2 \rangle$	δ
0	1.8901	1.8905	0.529
0.1	1.9005	2.1419	0.593
0.9	1.9015	2.1434	0.593
10	1.9142	2.1561	0.588

Tablo 1: Modüle edilmiş foto sayı dağılımlarının deneysel sonuçlara göre hesaplanmış ortalama değeri ve varyanslarının frekans ile ilişkisi.

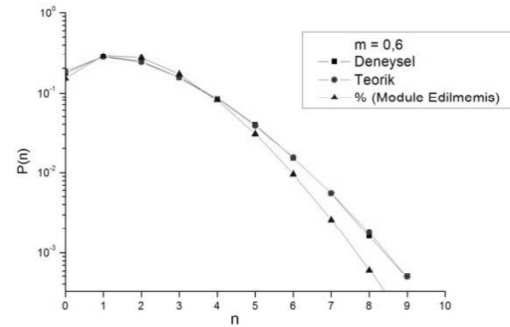
Daha sonra lazer ışınının istatistiğinin üçgen pulslarla modülasyonunun, modülasyon katsayısına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Modülasyon katsayısı, standart yöntemle ölçülmüştür. Deneysel modülasyon katsayısı, $m = 0,3$; $m = 0,5$ ve $m = 0,6$ olarak seçilmiştir. Her bir durumda modülasyon frekansı $f=10$ kHz'e eşit tutulmuştur. Ölçülmüş fotosayı dağılımlarının grafikleri Şekil (2a, 2b ve 2c)'de verilmiştir.



Şekil 2a: Modülasyon katsayısına bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınının foto sayı dağılımı.



Şekil 2b: Modülasyon katsayısına bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınının foto sayı dağılımı.



Şekil 2c: Modülasyon katsayısına bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınının foto sayı dağılımı.

Her bir grafikte; deneysel $\langle n \rangle$ ortalama değerlerine uygun olarak, teorik hesaplanmış dağılımlar ve modüle edilmemiş ışınının fotosayı dağılımı da gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi; her bir durumda modüle edilmiş ışınının fotosayı dağılımı, modüle edilmemiş görece genişlemiştir. Ayrıca, m modülasyon katsayısı arttıkça fotosayı dağılımı daha çok

genişler. Ölçülmüş fotosayı dağılımlarının $\langle n \rangle$ ortalama değerleri ve bunlara uygun olan $\langle \Delta n^2 \rangle$ varyansları hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

m	$\langle n \rangle$	$\langle \Delta n^2 \rangle$	δ
0	1,8901	1,8905	0,529
0,3	1,8916	1,9902	0,556
0,5	1,9015	2,1434	0,593
0,6	1,9142	2,2904	0,625

Tablo 2: Ölçülmüş fotosayı dağılımlarının deneysel verilere göre hesaplanmış ortalama değerleri ve varyanslarının modülasyon katsayısı m ile ilişkisi

Bununla beraber daha önce elde edilen deneysel verilerin, eşitlik (17)’ye göre yapılan teorik hesaplamalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen deneysel sonuçlar, probleme teorik bakışımızın ve hesaplamamızın doğru olduğunu bir daha kanıtlamaktadır. Farklı modülasyon türlerinin optik alanının istatistiksel özelliklerine etkisini anlamak için; aynı $\langle n \rangle$ ortalama değeri ve m modülasyon katsayısı değerinde, ışınının sinüsel sinyal ve üçgen pulslarla modüle edilmesi sonuçları karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda; her iki modülasyon türünde de foto sayı dağılımlarının, modüle edilmemiş duruma göre genişlediği fakat sinüsel foto sayı dağılımının varyansının, üçgen pulslarla modülasyon durumundakine göre, altı kere büyük olduğu saptanmıştır (Abdullayev 2003). Böylece foto sayı dağılımları yönteminin, modüle edilmiş optik alanların istatistiksel özelliklerinin incelenmesi için önemli bir yöntem olduğu görülmektedir. Bununla beraber bu yöntem, optik iletişim kanallarında oluşan modüle edici (multiplikatif) gürültülerin hesaplanması ve ölçülmesinde uygulanabilir (Abdullayev ve ark. 2005). Ayrıca optik kaynakların

modülasyon yöntemini kullanarak, farklı istatistiksel karakteristiklere sahip olabilen ışın kaynaklarının modellenmesinin mümkün olduğu açıkça görülür.

Bu kaynakları elde etmek için, kullanılan kaynakların veya modülasyonların türünü değiştirmek gerekmektedir (Abdullayev 2001).

Kaynaklar

Abdullayev RA, Deryugin IA, Kurashov VN ve Nastichv NV 1971. Stastical Characteristics Of Modulated Optical Field Photodetection. 1.General Relationships. Uçyonıye Zapiski Azerbaycan Devlet Üniversitesi, Fizik-Matematik Ser., N3, p.60.

Abdullayev RA ve Cenik IM 2003. Investigation of statistical properties of the Modulated laser Radiation. Bakü Devlet Üniversitesinin Haberleri, N3, p143.

Abdullayev RA, Yuksek M 2005. Optik Kanallardaki Multiplikatif Gürültülerin Etkisinin Ayırıcı Parametre ile değerlendirilmesi. Fizika, XI, N3, p32.

Abdullayev RA, Cenik IM 2001. İstatistikî karakteristikaları değiştirilebilen optik menbelerin alınma metodu hakkında. Bakü Devlet Üniversitesinin Haberleri, N2, p80.

Deryugin IA, Abdullayev RA, Kurashov VN, Mirzayev AT ve Nastichv NV 1972. Investigation Of Statistical Properties Of The Laser Under Operating Conditions Of Same Axial Vibrations By Photon Count Method. Radioteknika i Elektronika, XVII, p No:8, p1622.

Diament P ve Teich MC 1970. Photoelectron-Counting Distributions for Irradiance-Modulated Radiation. Journal of Optical. Society of America, V60, N5, p682.

Mandel L 1963. Progress in Optics, (ed. E. Worf), V2.

Sheremetyev AG, Svyari M ve Statisticheskaya 1971. Teoriya Lazernoy Svyazi.

