

T.C.
KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

ÜÇGEN PULSLARLA MODÜLE EDİLMİŞ LAZER IŞINIMININ
İSTATİSTİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER KAYA

DANIŞMAN
Prof. Dr. Refik ABDULLA

EYLÜL – 2011
KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ömer KAYA'nın Prof. Dr. Refik ABDULLA'nın danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Üçgen pulslarla modüle edilmiş lazer ışınımının istatistiksel karakteristiklerinin incelenmesi” adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek **oy birliği** ile kabul edilmiştir.

19 / 09 / 2011

Adı ve Soyadı

İmza

Başkan : Prof. Dr. Refik ABDULLA

Üye : Prof. Dr. Hasan MAMMADOV

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nigar Y. AKSOY



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../..... gün ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü V.
Doç. Dr. Muzaffer ALKAN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Moleküler Bilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, fotoelektrik dağılımların istatistiksel özellikleri, modülasyon, modüle edilmiş lazer ışınımının istatistiksel özellikleri ve üçgen pulslarla modüle edilmiş lazer ışınımının istatistiksel karakteristiklerinin incelenmiştir.

Öncelikle çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Refik ABDULLA'ya teşekkür ederim.

Kars, Eylül 2011

Ömer KAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. FOTOELEKTRİK DAĞILIMLARIN İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ	7
3.1 Sabit Şiddetler	8
3.2 Poisson Dağılımı	8
3.3 Rastgele Şiddetler.....	11
3.4 Küçük Zaman Aralıkları için Foto sayı Dağılımları	14
3.5 Işımanın Foto Sayı Dağılımlarından Şiddetin ve Enerjinin Dağılım Fonksiyonlarının Bulunması	15
4. MODÜLASYON	20
4.1 Modülasyon oranı	21
4.2 Modülasyona Neden İhtiyaç Duyulur	22
4.3 Modülasyon Çeşitleri	23
4.3.1 Genlik Modülasyonu.....	24
4.3.1.1 Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu.....	26
4.3.1.2 Çift Yan Band Modülasyonu	27
4.3.1.3 Genlik Modülasyonunun Özellikleri.....	27

4.3.2 Frekans Modülasyonu	27
4.3.2.1 Frekans Modülasyonunun Özellikleri	28
4.3.3 Faz Modülasyonu	29
5.MODÜLE EDİLMİŞ LAZER IŞINIMININ İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	32
5.1 Üçgen pulslarla modüle edilmiş lazer ışınımının istatistiksel karakteristiklerinin incelenmesi.....	33
5.2 Üçgen modülasyonunun deneysel incelenmesi için kullanılan düzenek	37
5.3 Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırma ve Tartışma	38
6. SONUÇ ve TARTIŞMA	44
KAYNAKLAR	45
EKLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	51

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 ışınımının 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.

2011, 51 Sayfa

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

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 10 kHz 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.

2011, 51 Page

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

SİMGELER DİZİNİ

1. Simgeler

I	Işık şiddeti
c	Işık hızı
λ	Dalga boyu
δ	Nispi varyans
υ	Görünme fonksiyonu
Γ	Koherentlik fonksiyonu
h	Plank sabiti
δ	Dirac Delta fonksiyonu
U	Enerji
ω	Açısal frekans
Ω	Modlar arası açısal frekans farkı
τ_{koh}	Koherentlik süresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Foto Sayı ölçümü için kullanılan dedektör	7
Şekil 4.1 Sinyalin genliğe göre modülasyonu	21
Şekil 4.2 Frekans modülasyonunun blok diyagramı	28
Şekil 4.3 Sinyalin faz ve frekans modülasyonu	30
Şekil 4.4 Faz modüleli sinyalin elde edilmesi	31
Şekil 5.1 Lazer ışınımının 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. Foto çoğaltıcılar, 9. Düzenleyici, 10. Dönüştürücü (sayı-genlik), 11. Çok kanallı analizör, 12. Bilgisayar, 14. Mercek, 16. İnterferometre, 18. Osiloskop, 19. Ayna	37
Şekil 5.2 Modülasyon katsayısına ($m=0.3$) bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınımın foto sayı dağılımı.....	40
Şekil 5.3 Modülasyon katsayısına ($m=0.5$) bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınımın foto sayı dağılımı.....	41
Şekil 5.4 Modülasyon katsayısına ($m=0.6$) bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınımın foto sayı dağılımı.....	42

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 5.1 Modüle edilmiş foto sayı dağılımlarının deneysel sonuçlara göre hesaplanmış ortalama değeri ve varyanslarının frekans ile ilişkisi.....	38
Tablo 5.2 $m=0.3$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.	39
Tablo 5.3 $m=0.5$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.	41
Tablo 5.4 $m=0.6$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.	42
Tablo 5.5 Ölçülmüş foto sayı dağılımlarının deneysel verilere göre hesaplanmış ortalama değerleri ve varyanslarının modülasyon katsayısı m ile ilişkisi.....	43

1.GİRİŞ

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.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu kısımda tez çalışma konumuyla ilgili bazı literatür çalışmalarının kısa özeti sunulmaktadır.

Fotonların istatistiğine ait olan problemler ilk olarak M. Born ve E. Wolf'un "Principles of Optics" adlı kitapta ele alınmıştır[1]. Özellikle, kitabın 10. bölümünde verilen kısmen koherentlik teorisi dikkat çekicidir. Bununla beraber, optikteki "faz problemi" E.Wolf tarafından araştırılmış [2] ve ilk olarak karşılıklı koherentlik fonksiyonu için dalga denklemleri elde edilmiştir[3].

Isı kaynağı radyasyonu için foto sayısı dağılımının ifadesi ilk olarak L. Mandel tarafından çıkarılmıştır [4]. Daha sonra yarı klasik teoriye dayanan bu ifadenin diğer kaynaklar içinde genelleştirmiştir[5] .

Isı ve lazer kaynaklarının ışınımının foto sayı dağılımı deneysel olarak ilk kez F.T. Arecchi tarafından ölçülmüştür[6] .

R. Abdullayev ve arkadaşları üretim eşiğinin altında ve üstünde çalışan lazer için foto elektronların sayısının ortalama değerleri olan $\langle n \rangle$ ' nin küçük olması durumlarında ışınımın şiddetinin dağılım $P(I)$ fonksiyonlarını deneysel $P(n)$ foto sayı dağılımından elde etmişlerdir[7].

Spektrum çizgilerinin Lorentz genişlemesine uğraması durumlarında, rastgele ışık alanları için foto sayı dağılımları 2005 yılı fizikte Nobel ödülünü alan R.Y. Glauber tarafından hesaplanmıştır[8].

Y.R. Klauder ve E.C.G. Sudarshan'ın kuantum mekanik yaklaşımda foto sayı dağılımı için aldıkları sonuçların yarı klasik yaklaşımdaki ifadelerle çok yakın olduğu saptanmıştır[9,10].

Son yıllarda elde edilmiş yöntemsel birikimlerin yardımıyla yeni problemlerin (örneğin çok modlu veya module edilmiş lazer ışınımının istatistiğinin incelenmesi) detaylı araştırılması yapılmaktadır. Örneğin R. Abdullayev ve arkadaşları çok modlu lazerlerin mod yapısının istatistiksel özelliklerine etkisini inceleyerek, mod sayısının artmasına bağlı olarak onun koherentlik derecesinin azaldığını tespit etmişlerdir[11]. Module edilmiş lazer ışığının foto sayı dağılımı için genel bir ifade türetilmiş ve sinüsel modülasyon için uygulanmıştır[12]. Alınan teorik ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğu gözlenmiştir[13].

Sotskii, B.A tarafından yapılan çalışmada optiksel alanlar, Fock durumları ve koherentliğin yoğunluk operatörlerinin istatistiksel özelliklerine göre sınıflandırılmıştır[14].

Virchenko, Yu. P ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kısmen koherent optik alanların fotosayı dağılımında birkaç maksimumun var olabileceği gösterilmiştir. Işınım alanı gaussian olduğu durumda foto sayı olasılığının gözlem süresine göre kayıtları yapılmış ve Mandel formülüne dayanarak hesaplanmıştır. Alınan sonuçların optiksel bilgi iletimi sistemlerinin tasarımında kullanılması için öneriler sunulmuştur[15].

Prataviera, G.A. tarafından yapılan çalışmada ortamın, atomik ve optiksel kuantum istatistiksel özelliklerine olumsuz etkisi tartışılmıştır. Sistemin atom ve optik istatistiksel özelliklerinin yanı sıra atomik-foton bağıntısının da optiksel alan şiddeti ve faz bağımlı olduğu tespit edilmiştir[16].

Egorov, A.A. tarafından yapılan çalışmada laser ışınının bulanık ortamda saçılması sonucunda istatistiksel özelliklerinin değişimi simülasyon yoluyla araştırılmıştır. Bunun yanı sıra ışının istatistiksel özelliklerine additif ve multiplikatif gürültülerin etkisi de incelenmiştir[17].

Pu, Ye. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada holografik görüntüleme yöntemiyle ışığın saçılması araştırılmıştır. Matematiksel modelleme yöntemiyle birinci ve ikinci mertebeden istatistiksel özellikler araştırılmış ve alınan sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır[18].

Arnaud, J. tarafından yapılan çalışmada ışığın hafif dalgalanmaları klasik teori yaklaşımında ele alınmıştır. Genlik ve faz değişimleri için alınan sonuçlar kuantum teorisiyle hesaplanmış sonuçlar ile örtüşmektedir. Bu açıdan belirli durumlarda karmaşık kuantum teorisi yerine basit yarı klasik teorisinin kullanılmasının daha yararlı olduğu öne sürülmüştür[19].

Wei, G. tarafından yapılan çalışmada kaotik optiksel sistemin istatistiksel özelliklerinin incelenmesine sayısal bir yaklaşım önerilmiştir ve bu yaklaşım dışarıdan modüle edilmiş pompalama ile üretilmiş ikinci harmoniğe uygulanmıştır. Sonuçlar kaotik lazer ışığının istatistiğinin Poisson dağılımı ve Bose-Einstein dağılımı arasında “süper-Poisson” olarak adlandırılan ara bir istatistiksel dağılıma sahip olduğunu göstermiştir[20].

Ponomarenko, S. A. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada istatistiksel olarak sabit bir optik alanında, iki noktadaki hafif dalgalanmaların tam bir uyumluluğu, “istatistiksel benzerlik” diye adlandırılabilen bir özellik olarak, dalgalanmaların ya özdeş ya da birbirlerine orantılı olduğunu göstermişlerdir. Özellikle ışığın tamamen

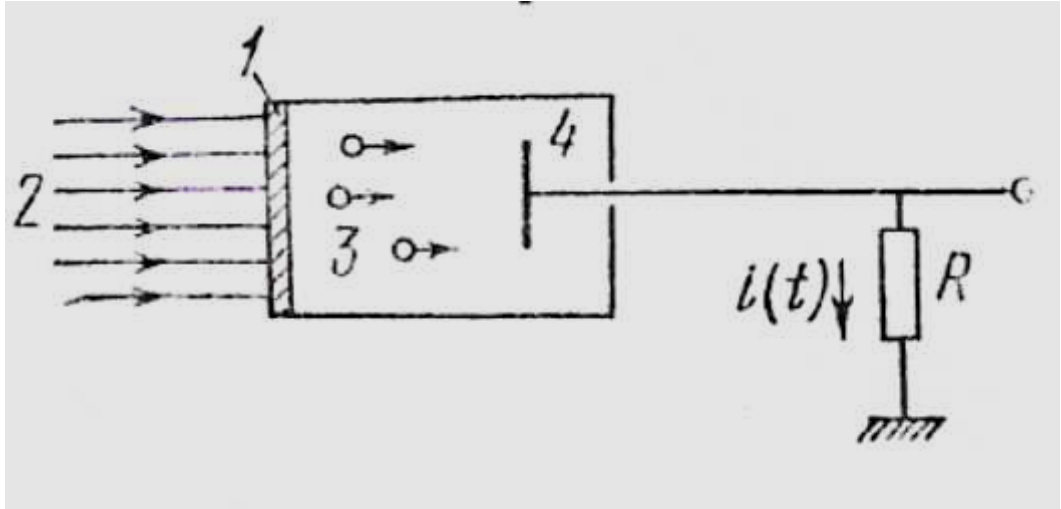
uyumlu olabilmesi için ne onun monokromatik, ne de dalgalanmaların belirleyici olması gerektiği saptanmıştır[21].

Bendjaballah, C. tarafından yapılan çalışmada rastgele kesirli nokta süreçlerinin birkaç modelinin istatistiksel özellikleri sayım ve zaman aralığı açısından araştırılmıştır. Azaltılmış varyans kriteri bağlamında, bu tür süreçlerin klasik olmayan özellikler gösterdiği görülmüştür. Bu süreçler için gerekli şartlar koşullu Poisson süreçleri olarak ele alınarak incelenmiştir[22].

İşanin, G.G. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, istenilen spektral dağılıma sahip olabilen ışık kaynaklarının oluşturulması yöntemleri önerilmiştir. Bununla beraber radyasyonun spektral dağılımının simülasyonu için kullanılan maskelerin hesaplanması yöntemlerini açıklamışlar[23].

3. FOTOELEKTRİK DAĞILIMLARIN İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ

Şimdi kısmi koherent alanın istatistiğini öğrenmek için kullanılan fotoelektrik ölçümleri ele alacağız. Bu amaçla kullanılan düzeneğin basit şeması Şekil 3.1’ de verilmektedir.



Şekil 3.1 Foto sayı ölçümü için kullanılan dedektör [24].

1. Katot (ışığa duyarlı yüzey)
 2. Gelen ışığın radyasyonu
 3. Foto elektronlar
 4. Anot
- $i(t)$: Çıkış akımı, R : Yük direnci

Foto katodun ışık kaynağı ile aydınlatıldığı zaman verilen T zaman aralığında katottan çıkan n foto elektronun oluşturduğu $P(n)$ dağılımının ölçülür. İlerde göreceğimiz gibi bu durumda $P(n)$ foto sayı dağılımı gelen ışığın şiddetinin istatistiğine bağlıdır ve deneysel olarak ölçülen $P(n)$ dağılımlarından ışık demetinin şiddetinin istatistiği bulunabilir. Bu olgu çağdaş istatistiksel optikte geniş olarak kullanılmaktadır[24].

3.1 Sabit Şiddetler

Işığın dedekte olunması için bu ışınımınla maddenin karşılıklı etkileşmesini kullanan birkaç yöntem vardır. Bunlar arasında ışığın fotonlevha ile kaydedilmesi ve ışığa duyarlı yüzeyden koparılan fotoelektronların sayılmasına dayanan fotoelektrik yöntemler de vardır. Önce ışığın uygun fotoelektrik alıcı ile eylemsiz dedekte olmasını ele alalım. İlk önce Einstein'ın gösterdiği gibi fotoelektrik süreç kuantum doğasına sahiptir ve bu olayın açıklanması elektromanyetik alanın parçacık (foton) özelliklerine dayanmaktadır. Bunun sonucunda fotoemisyon süreci istatistiksel kanunlarla açıklanabilir. Yarı klasik yaklaşımdan bilindiği gibi gelen elektromagnetik dalganın şiddeti fotoemisyonu istatistiğini değiştirdiğini düşünebiliriz. Şöyle ki, ışık şiddetinin artması fotoemisyonun ortalama hızının artmasına neden olur. Gelen ışığın şiddetinin fotoemisyon olasılığı ve buna uygun olan fotosayı olasılıklarının foto sayılarla nicel bağıntısı kuantum mekaniğinde bilinen kararlı olmayan Pertürbasyon teorisi ile hesaplanabilir. Fotoelektrik sayaç üzerine $I(t)$ şiddetli ışık gelsin. Bu durumda bir sayımın dt zaman aralığında oluşmasının dp diferansiyel olasılığı

$$dp(t) = aI(t)dt = aV^*(t)V(t)dt \quad (3.1.1.)$$

ile belirlenir. Burada a dedektörün duyarlılığını gösteren bir katsayıdır ve dedektörün yüzölçümüne ve gelen ışığın spektral karakteristiğine bağlıdır. Önce $I(t)$ şiddetinin rastgele değişim ve dalgalamalara uğramadığını farz edelim. Doğal olarak farklı zaman aralıklarındaki sayım olasılıklarının bağımsız olduğunu kabul edelim. Bunları ve (3.1.1)'i dikkate alarak bu durumda verilen zaman aralığı için foto sayıların genel dağılımını türetebiliriz.

3.2 Poisson Dağılımı

t' 'den $t'+dt'$ e kadar zaman aralığında bir sayımın gelme olasılığı $dp(t')$ ise $1 - dp(t')$ bu sayımın olmama olasılığıdır. Bu durumda tüm t' 'den $t'+T'$ 'ye kadar olan zaman

aralığında olayların bağımsız olmasından dolayı hiçbir sayının gerçekleşmemesi olasılığı olasılıkların çarpımı ile belirlenir ve sembolik olarak

$$\prod_t^{t+T} [1 - dp(t')] \rightarrow \exp \left[- \int_t^{t+T} dp(t') \right] \quad (3.2.1)$$

şeklinde gösterilebilir. Soldaki çarpımın kesin değeri ifadenin sağındakilerle belirlenir. Böylece gösterilen zaman aralığında sayının olmama ihtimali

$$P_0(0, T + t, t) = \exp \left[- \alpha \int_t^{t+T} I(t') d(t') \right] \quad (3.2.2)$$

olacağı açıktır. Bu sonucun şiddetin değişmemesi durumunda alındığının altını bir kere daha çizelim. Benzer şekilde $t, t + T$ zaman aralığında bir sayının gerçekleşme olasılığı $P_0(1, T + t, t)$ 'dir ve bunun oluşma olasılığı aşağıdaki formülle

$$\sum_{t''} dp(t'') \prod_t^{t+T} [1 - dp(t')] \rightarrow \int_t^{t+T} dp(t'') \exp \left[- \int_t^{t+T} dp(t') \right] \quad (3.2.3)$$

belirlenir ve buradan söz konusu zaman aralığında bir sayının kaydedilmesi olasılığıdır ve

$$P_0(1, T + t, t) = \alpha \int_t^{t+T} I(t') dt' \exp \left[- \alpha \int_t^{t+T} I(t') d(t') \right] \quad (3.2.4)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer şekilde düşünerek $I(t')$ şiddetin sabit olduğu durumda $t, t + T$ zaman aralığında n sayıda foto elektronların gelme ihtimali

$$P_0(n, T + t, t) = \frac{1}{n!} \left\{ \alpha \int_t^{t+T} I(t') dt' \right\}^n \exp \left[- \alpha \int_t^{t+T} I(t') d(t') \right] \quad (3.2.5)$$

ile verilir. Buna Poisson dağılımı denir. Bu formül sabit şiddetli elektromagnetik alan kaynağının (örneğin ideal lazerin) foto sayı dağılımına uygun gelir.

Eğer

$$\mu = \alpha \int_t^{t+T} I(t') dt' \quad (3.2.6)$$

işaretlersek eşitlik (3.2.5)

$$P_0(n, T + t, t) = P_0(n, \mu) = \frac{\mu^n}{n!} e^{-\mu} \quad (3.2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Son ifadeyi kullanarak Poisson dağılımı'nın bazı klasik özelliklerini gösterebiliriz. Böyle ki,

Sayıların ortalama değeri

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} n P_0(n, \mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mu^n}{(n-1)!} e^{-\mu} = \mu \quad (3.2.8)$$

Sayıların karesinin ortalaması ise

$$\overline{n^2} = \sum_{n=0}^{\infty} n^2 P_0(n, \mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n \mu^n}{(n-1)!} e^{-\mu} = \sum_{n=0}^{\infty} [(n-1) + 1] \frac{\mu^n}{(n-1)!} e^{-\mu} = \mu^2 + \mu \quad (3.2.9)$$

şeklindedir.

Her bir dağılımın önemli karakteristiklerinden birisi onun şeklinde tanımlanan varyansdır ve n fruktasyonlarının ortalama değerinin etrafında nasıl değiştiğini gösterir. Böyle ki yapacağımız deneylerde gelen fotonların sayısı ortalama n den büyük veya küçük olabilir. Bu değer ortalama n değişimlerin ölçümü olamaz.

Ortalama değerinde her zaman pozitif olan niceliği kullanılır.

Poisson dağılım'ı için (3.2.8) ve (3.2.9)'dan

$$\sigma^2 = (\mu^2 + \mu) - \mu^2 = \mu = \bar{n} \quad (3.2.10)$$

elde edilir.

Dağılımın özelliklerini karakteristik fonksiyon aracılığı ile de yazabiliriz. Poisson

dağılımı için bu nicelik aşağıdaki şekildedir:

$$C_0(s, \mu) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} e^{ins} P_0(n, \mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{ins} \mu^n}{n!} e^{-\mu} = \exp [(e^{is} - 1)\mu] \quad (3.2.11)$$

Bu karakteristik fonksiyon P(n) dağılımı hakkındaki tüm bilgileri ihtiva eder.

Örneğin, (3.2.11)' e göre türev alarak ve burada s=0 yazarak dağılımın bütün momentleri bulunabilir.

3.3 Rastgele Şiddetler

Genel olarak ışığın istatistiksel özelliklerinin araştırılmasında V(t) dalga alanını ve bu nedenle de I(t) şiddetini rastgele değişkenler olarak ele almak gerekmektedir. I(t)'nin bu özelliğini dikkate almak için foto sayıların P(n,T+t,t) Poisson Dağılımları'nın uygun olan şiddet dağılımlarına göre ortalamasının (dağılımların) hesaplanması gerekmektedir. Moment ve başka niceliklerinin hesaplanmasında şiddet yalnız bir kombinasyona girer.

Işınımın enerjisini

$$U = \int_t^{t+T} I(t') d(t') \quad (3.3.1)$$

ile işaretleyelim. $I(t')$ rastgele karaktere sahip olduğundan U değerinin kendisi de $p(U)$ dağılımına sahip olan rastgele bir süreç olmasına dikkat edelim. Bu halde foto sayıların genel dağılımı Mandel formülü ile

$$P(n, T + t, t) \equiv \int_0^{\infty} \frac{(\alpha U)^n}{n!} e^{-\alpha U} p(U) dU \quad (3.3.2)$$

belirlenir ve artık Poisson dağılımı'na uygun gelmez.

Foto sayıların genelleştirilmiş dağılımının türev fonksiyonu,

$$Q(\lambda, T + t, t) = \sum_{n=0}^{\infty} (1 - \lambda)^n P(n, T + t, t) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \alpha u} p(U) dU \quad (3.3.3)$$

ifadesi ile verilir. Görüldüğü gibi bu fonksiyon $p(U)$ 'ya Laplace dönüşümü ile bağlıdır.

Q fonksiyonunu $\lambda=1$ noktası civarında seriye ayırırsak

$$P(n, T + t, t) = \frac{1}{n!} (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial \lambda^n} Q(\lambda, T + t, t) \Big|_{\lambda=1} \quad (3.3.4)$$

olur. Eğer bu fonksiyon $\lambda=0$ civarında seriye alırsak

$$n(n-1) \dots (n-k) \equiv \sum_0^{\infty} n(n-1) \dots (n-k) P(n, T + t, t) = (-1)^k \frac{\partial^k}{\partial \lambda^k} Q(\lambda, T + t, t) \Big|_{\lambda=0} \quad (3.3.5)$$

olur. Burada k, pozitif tam sayılardır ve (3.3.5) ifadesi "faktöriyel momentler" olarak adlandırılır. Bu durumda foto sayı dağılımının karakteristik fonksiyonu

$$C(s, T + t, t) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} e^{ins} P(n, T + t, t) \quad (3.3.6)$$

olarak tanımlanır.

Foto sayı dağılımlarının kendisi ise Fourier dönüşümü ile (3.3.6)'dan

$$P(n, T + t, t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C(s, T + t, t) ds \quad (3.3.7)$$

olarak bulunur.

Sıfır civarında çoğu sayıda türev alınma işlemi sonucunda merkezi momentler

$$\overline{n^k} \equiv \sum_{n=0}^{\infty} n^k P(n, T + t, t) = \left(-i \frac{\partial}{\partial s} \right)^k C(s, T + t, t) \Big|_{s=0} \quad (3.3.8)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. (3.3.3) ve (3.3.4) ifadeleri basit olmasına rağmen P(U) dağılımı ve U'nun kendisinde türetilmiş niceliklerdir. Kısaca fiziksel anlam U niceliği değil makroskopik hareket denklemlerine değişen dalga alanına sahiptir ve bizi en çok ilgilendiren onun istatistiğinin bulunmasıdır. Eğer T aralıkta yeterince küçükse I(t)'yi sabit alalım Bu durumun ışığın kaynağının doğasına bağlı olduğu açıktır. Örneğin öyle sentezlenmiş ısı kaynakları var ki bunlar için söz konusu yaklaşım $T \leq 10^{-4}$ civarında geçerlidir. Bu durumda I yaklaşık sabittir.

$$U = \int_t^{T+t} I(t) dt = I \cdot T \quad (3.3.9)$$

olur. Böylece U niceliğinin P(U) dağılımı, I niceliğinin P(I) dağılımına uygun olduğu ortaya çıkar. P(I) hakkında daha geniş bilgiye sahip olduğumuzdan bu modeli ilerde ele alacağız.

3.4 Küçük Zaman Aralıkları için Foto sayı Dağılımları

Fotosayı teorisinde şiddetin değişimine bağlı olan etkileri daha acık tanımlamak için ilk önce (3.3.9) ifadesinin kullanabileceği ele alalım. Eğer I şiddeti dağılımı P(I) olan rastgele değişken ise, fotosayı dağılımını

$$P(n, T) = \int_0^{\infty} \frac{(\alpha I T)^n}{n!} e^{-\alpha I T} p(I) dI \quad (3.4.1)$$

şeklinde yazabiliriz. Buradan görüldüğü gibi t'ye olan önemsiz bağıllık bırakılmıştır. P(n,T) genelleştirilmiş dağılımının önemli özelliklerinden birisi varyansın artımına neden olan sayıların gruplaşması olayıdır. Eğer P(I) dağılımı gereken tüm momentumlara sahip ise (ki fiziksel açıdan böyle olduğu açıktır) sayıların ortalama değeri

$$\begin{aligned} \langle \bar{n} \rangle &= \sum_{n=0}^{\infty} n P(n, T) = \int_0^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n(\alpha I T)^n}{n!} e^{-\alpha I T} p(I) dI \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\alpha I T} p(I) d(I) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha I T)^n}{(n-1)!} \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\alpha I T} (\alpha I T) p(I) d(I) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\alpha I T)^{n-1}}{(n-1)!} \\ &= \int_0^{\infty} (\alpha I T) e^{-\alpha I T} p(I) e^{\alpha I T} d(I) \\ &= \alpha T \int_0^{\infty} I p(I) dI = \alpha T \langle I \rangle \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

olarak bulunabilir.

Şiddetin istenilen değerlerde momentleri ise

$$\langle I^n \rangle \equiv \int_0^\infty I^n p(I) d(I) \quad (3.4.3)$$

olarak bulunur. Benzer şekilde n sayısının karesinin ortalaması

$$\overline{n^2} = \sum_0^\infty n^2 P(n, T) = \int_0^\infty [\alpha^2 T^2 + \alpha T I] p(I) dI = \alpha^2 T^2 \langle I^2 \rangle + \alpha T \langle I \rangle \quad (3.4.4)$$

yazabiliriz. Burada varyansın değeri;

$$\sigma^2 = \overline{n^2} - (\overline{n})^2 = \alpha T \langle I \rangle + \alpha^2 T^2 [\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2] \quad (3.4.5)$$

olarak bulabiliriz. Buradan görüldüğü gibi eğer, P(I) dağılımı Dirac δ -Fonksiyon'u değil ise varyans her zaman n ortalamadan büyük olacaktır.

3.5 Işımanın Foto Sayı Dağılımlarından Şiddetin ve Enerjinin Dağılım Fonksiyonlarının Bulunması

Fotosayı dağılımları P(n,T)' nin ölçülebildiği durumlarda kaynağın enerji, ışık şiddeti ve dalga alanının dağılımlarını bulmak fiziksel açıdan çok daha ilgi çekicidir. Bunu göstermek için aşağıdaki integrali ele alalım

$$F(x) = \int_0^\infty e^{ixU} P(U) e^{-\alpha U} dU \quad (3.5.1)$$

$F(x)$ fonksiyonu karakteristik fonksiyonumuzdur. Yukarıdaki integralin Fourier Dönüşümü

$$P(U) = \frac{e^{\alpha U}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(x) e^{-ixU} dx \quad (3.5.2)$$

dir. Eşitlik (3.5.1)'den üstel e^{ixU} fonksiyonunu seriye ayırıp işlemi devam ettirirsek

$$F(x) = \int_0^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{ixU}{n!}\right)^n p(U) e^{-\alpha U} dU \quad (3.5.3)$$

$$F(x) = \sum_0^{\infty} (ix)^n \int_0^{\infty} \frac{(\alpha U)^n}{n!} P(U) e^{-\alpha U} d(U) \quad (3.5.4)$$

eşitlikleri elde edilir. Eşitlik (3.5.1) ve (3.5.4) birleştirildiğinde

$$F(x) = \sum_0^{\infty} \left(\frac{ix}{\alpha}\right)^n P(n, T) \quad (3.5.5)$$

elde edilir. Eşitlik (2.5.5) deneysel olarak ölçülebilen $P(n, T)$ foto sayı dağılımlarından kaynağın U enerjisine bağlı $P(U)$ dağılım fonksiyonu hesaplanır. Hesaplamalar yoluyla kaynağın rastgele değişen I şiddetinin $P(I)$ dağılım fonksiyonunu da elde edebiliriz. Sayım zaman aralığı (T), koherentlik zamanı x_K ' dan küçük değerlerinde ışık şiddetini sabit kabul edersek ($T \ll x_K$),

$$U = I.T \quad (3.5.6)$$

olarak yazıldığında, $P(U)$ enerji dağılımı ile $P(I)$ şiddet dağılımı uyumlu olacaktır. Enerji (U) ve ışık şiddeti (I) dağılım fonksiyonlarının, $P(U)$ ve $P(I)$ türev fonksiyonları olduklarından bir başka fiziksel anlama sahip olan $V^{(t)}(t)$ dalga alanının istatistiği, hesaplamalarımız için daha önemlidir. Kompleks analitik sinyal $V(t)$ kavramının kullanarak alıcı düzeneklerin ölçtükleri ışığın ortalama şiddeti $I(t)$, aşağıdaki gibi yazılır.

$$I(t) = V^*(t)V(t) \quad (3.5.7)$$

Kararlı haldeki monokromatik ışın $\Delta v \ll v_0$ için $V(t)$ sinyalinin fazlarının bağımsız olması halinde,

$$P(V^{(r)}, V^{(i)}) = P(I) \quad (3.5.8)$$

olduğu bilinir.

Buradan $I = (V^{(r)})^2 + (V^{(i)})^2$ olduğu dikkate alınarak $P(V^{(r)})$ olasılık yoğunluğu

$$P(V^{(r)}) = \frac{1}{\pi} \int_{V^{(r)}}^{\infty} \frac{P(I) dI}{(I - V^{(r)2})^{1/2}} \quad (3.5.9)$$

olduğundan integral alma yöntemiyle hesaplanır. Ele aldığımız $F(x)$ fonksiyonunun $P(U)$ dağılımının karakteristik fonksiyonuna bağlı bir fonksiyon olduğu da açıkça görülmektedir. Örnek olarak, sık sık gözlenen ve yukarıda da ele aldığımız bazı $P(n, T)$ foto sayı dağılımlarına göre T (T_K şartında ışığın $P(U)$, $P(I)$ ve $P(V^{(r)})$ dağılımlarını hesaplayalım. Deneylerde sık sık rastlanılan $P(n, T)$ foto sayı dağılımının Bose-Einstein istatistiğine uygun değişmesi halinde,

$$P(n, T) = \frac{\langle n \rangle^n}{(\langle n \rangle + 1)^{n+1}} \quad (3.5.10)$$

olur. Eşitlik (3.5.10)'u eşitlik (3.5.5)' de yerine yazarsak

$$\begin{aligned} F(x) &= \sum_0^{\infty} \left(\frac{ix}{\alpha}\right)^n \frac{\langle n \rangle^n}{(\langle n \rangle + 1)^{n+1}} = \frac{1}{\langle n \rangle + 1} \sum \left(\frac{ix \langle n \rangle}{\alpha(\langle n \rangle + 1)}\right)^n \\ &= \frac{1}{\langle n \rangle + 1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{ix \langle n \rangle}{\alpha(\langle n \rangle + 1)}} = \left(\langle n \rangle + 1 - \frac{ix \langle n \rangle}{\alpha}\right)^{-1} \end{aligned} \quad (3.5.11)$$

olarak hesaplanır. Bu sonucu eşitlik (3.5.2)' de yerine yazdığımızda,

$$P(U) = \frac{1}{\langle U \rangle} \exp\left(-\frac{U}{\langle U \rangle}\right) \quad (3.5.12)$$

ifadesine ulaşılır.

Önceki eşitlikte $\langle U \rangle$ olduğu açıkça görülür. T için ise eşitlik (3.5.7) yeniden düzenlenerek,

$$P(I) = \frac{1}{\langle I \rangle} \exp\left(-\frac{I}{\langle I \rangle}\right) \quad (3.5.13)$$

olduğu görülür. Buradan;

$$\langle I \rangle = \frac{\langle U \rangle}{T} = \frac{\langle n \rangle}{\alpha T} \quad (3.5.14)$$

olur. Eğer ışık lineer kutuplanmışsa, eşitlik (3.5.9) ve (3.5.13) ifadelerinden ışık alanının dağılımı,

$$P(V)^{(r)} = \left(\pi \langle I \rangle^{-1/2}\right) \exp\left(-\frac{V^{(r)2}}{\langle I \rangle}\right) \quad (3.5.15)$$

olarak bulunur. Eşitlik (3.5.15) ifadesi gösterir ki, $V^{(r)}$ niceliğinin olasılık dağılımının yoğunluğu orta değeri sıfır ve varyansı $1/2 \langle I \rangle$ olan Gaussian Dağılımı'dır.

$P(n, T)$ foto sayı dağılımının aşağıdaki gibi Poisson Dağılımı'na uygun olarak değiştiği durumu ele alalım.

$$P(n, T) = \frac{\langle n \rangle^n}{n!} e^{-\langle n \rangle} \quad (3.5.16)$$

Eşitlik (3.5.16) ifadesini eşitlik (3.5.5)'te yerine yazarsak,

$$F(x) = \exp \left[-\langle n \rangle \left(\frac{ix}{\alpha} - 1 \right) \right] \quad (3.5.17)$$

olduğunu buluruz. Genliği sabitleştirilmiş bir modlu lazer ışınımı için eşitlik (3.5.16) ve (3.5.5) kullanılarak P(U) dağılım fonksiyonu

$$P(U) = \delta(U - \langle U \rangle) \quad (3.5.18)$$

olarak hesaplanır. Burada δ : Dirac Fonksiyonu'dur. Işınım şiddetinin P(I) dağılım fonksiyonu da yine $T(T_k)$ ve sabitleştirilmiş bir modlu lazer ışınımı için benzer şekilde

$$P(U) = \delta(I - \langle I \rangle) \quad (3.5.19)$$

olduğu görülür. Eğer ışınım alanı lineer kutuplanmış ise eşitlik (3.5.19) ve (3.5.9) ifadelerine göre

$$P(V^{(r)}) = \begin{cases} \pi^{-1} (\langle I \rangle - V^{(r)2})^{-\frac{1}{2}} & |V^r|^2 < (\langle I \rangle) \text{ ise} \\ 0 & |V^r|^2 > (\langle I \rangle) \end{cases} \quad (3.5.20)$$

olur.

Ele aldığımız örneklerde deneysel olarak ölçülebilen P(n,T) foto sayı dağılımlarına göre optik ışınımın P(U), P(I) ve P(V^(r)) dağılımlarının nasıl bulunabileceği gösterildi[25].

4. MODÜLASYON

İnsanlar, ilk çağlardan beri bilgiyi iletmenin yollarını araştırmışlardır. Kızılderililerin dumanla, gemicilerin bayrakla haberleşmeleri buna örnektir.

Uzaktan haberleşmeye Telekomünikasyon adı verilir. Enerjinin elektriksel olarak uzak mesafelere gönderilmesi işlemidir. Bilgi; hedefe ya iletim hatları ile ya da tel kullanmadan atmosfer içinde bir radyo hattı ile gönderilir.

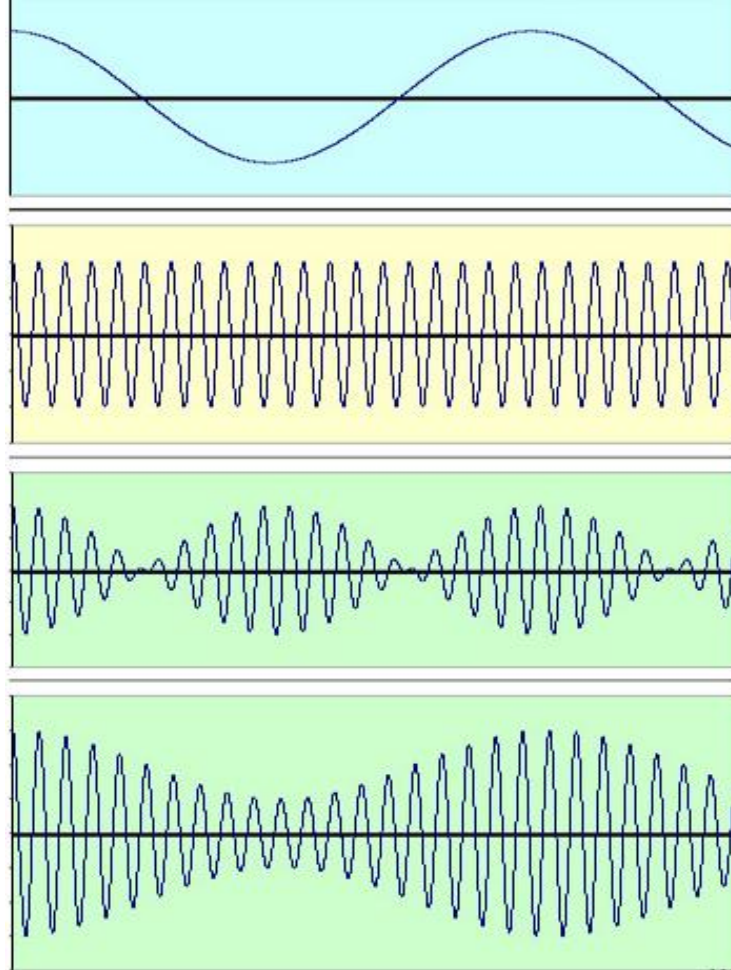
Haberleşmede; bilgi, elektrik enerjisine dönüştürülür ve böylece uzak mesafelere gönderilir. Hedefte, elektrik enerjisi yeniden orijinal haline dönüştürülür. Burada bilgi; ses, müzik, görünen hareketli manzaralar, hareketli veya hareketsiz resimlerdir. Alçak frekanslı bilgi sinyallerinin, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaller üzerine bindirilip uzak mesafelere gönderilmesi işlemine modülasyon denir. Alçak frekanslı bilgi sinyalleri tek başına uzak mesafelere gidemezler. Yüksek frekanslı sinyaller ise az bir güçle uzak mesafelere gidebilirler. Bu nedenle, taşıyıcı sinyaller hamal olarak kullanılırlar ve alçak frekanslı bilgi sinyalleri vericide modülasyon işlemine tabi tutularak, taşıyıcı üzerine bindirilir. Modülasyon işlemi gerçekleştirilmek için iki sinyale ihtiyaç vardır: bilgi sinyali ve taşıyıcı sinyali 'dir.

Alçak frekanslı bilgi sinyaline, modüle eden, modüle edici, modülasyon sinyali, gönderilecek sinyal, alçak frekanslı (AF) sinyal adı da verilir. Yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaline, modüle edilen, RF (Radyo Frekans) sinyali, hamal sinyal de denilebilir. Modülasyon işleminde modüle eden sinyal bilgi sinyali, modülasyona uğrayan veya modüle edilen sinyal ise taşıyıcı sinyalidir.

4.1 Modülasyon oranı

Klasik genlik modülasyonunda, bilginin taşıyıcıyı ne oranda modüle ettiği önemlidir. Bu orana modülasyon oranı veya modülasyon indeksi denilir. Oran m harfiyle gösterilir ve % cinsinden verilir.

Bu oran bilgi sinyali maksimum genliğinin sabit genlikli sinyale olan oranıdır. Oran maksimum % 100 olabilir. Daha yüksek bir oran hem vericinin aşırı yüklenmesine, hem de bilgi sinyalinin bozulmasına (Halk arasında ses çatlaması denilen bozukluğa) yol açar.



Şekil 4.1 Sinyalin genliğe göre modülasyonu [25].

Üstten itibaren 1.Bilgi sinyali, 2.Taşıyıcı sinyal, 3. Çift yan bant modüleli sinyal, 4. Klasik (taşıyıcısı bastırılmamış) genlik modüleli sinyal. Yukarıdaki şekilde, genlik modülasyonunda dalga şekilleri gösterilmiştir. Bu dalga şekilleri uygun bir osiloskopta görülebilir.

En üst dalga şekli bilgi sinyaline aittir. Bu örnekte, bilgi sinyali olarak tek frekanslı bir sinyal gösterilmiştir. Gerçi bilgi sinyali tek frekanslı olmaz. Ama bu sinyaller bir dizi trigonometrik dalga ile ifade edilebilirler.

İkinci dalga şekli taşıyıcıya aittir. Taşıyıcı vericideki bir osilatörde üretilir. Bu örnekte, taşıyıcı sinyalin frekansı bilgi sinyali frekansının yirmi misli seçilmiştir.

Üçüncü dalga şekli çift yan bant modülatörü çıkışına aittir.

Dördüncü dalga şekli ise genlik modülatörü çıkışını göstermektedir. Bu örnekte modülasyon oranı % 50 seçilmiştir. Nitekim, bilgi sinyali minimum değerdeyken bile, dalga şeklinde taşıyıcının devam ettiği görülmektedir.

Çift yan bant ve klasik genlik modülasyon dalga şekli karşılaştırılırken, her iki dalga şeklinde de aynı zaman ekseninin kullanıldığına dikkat edilmelidir.

4.2 Modülasyona Neden İhtiyaç Duyulur

Alçak frekanslı sinyaller doğrudan doğruya elektromanyetik dalgalar şeklinde yayınlanmazlar. Aşağıda sıralanan maddelerden dolayı alçak frekanslı sinyaller, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaller üzerine bindirilir.

1. Alçak frekanslı bilgi sinyallerinin enerjileri uzak mesafelere gidecek kadar fazla değildir. Haberleşme için gerekli yayın mesafesini sağlamak için bilgi sinyali, taşıyıcı üzerine bindirilir.

2. Eğer bir vericide modülasyon işlemleri gerçekleştirilmeseydi yani bilgi sinyali, taşıyıcı üzerine bindirilmeseydi bu vericinin kullanacağı anten boyu çok uzun olurdu. 20 Hz - 20 KHz ses frekans bandında çalışan bir verici anteninin fiziki uzunluğu çok büyük olurdu.

Örneğin; 3 KHz 'de yayın yapan bir vericinin kullanacağı anten boyunu bulalım.

$$\begin{aligned} \text{Anten Boyu,} &= \text{Elektromanyetik dalganın boşlukta yayılma hızı} / f = 300000 / f (\text{KHz}) \\ &= 300000 / 3 = 100000 \text{ metre} \end{aligned}$$

Eğer vericide yarım dalga boyu anten kullanılıyorsa $100.000 / 2 = 50.000$ m 'dir. Bulunan 50 km 'lik uzunluk antenin elektriki uzunluğu olup fiziki uzunluk bundan % 5 daha kısadır. O halde antenin elektriki uzunluğu 50.000 m. % 95 = 47.500 metredir. Buradan anlaşılacağı gibi bu kadar büyük bir antenin kurulması mümkün değildir. Vericinin anten boyunu kısaltmak için modülasyon işlemi gerçekleştirilir yani bilgi sinyalleri taşıyıcı üzerine bindirilerek uzak mesafelere gönderilir.

3. 20 Hz - 20 KHz 'lik ses frekans bandının dar oluşu sebebiyle bu frekans bandına yerleştirilecek istasyon adedi sınırlıdır. Bu frekans bandında çalıştırılacak herhangi bir vericinin band genişliği 5-10 KHz arasında olacağı için, ses frekans bandında birbirini etkilemeden çalışacak verici istasyon adedi birkaç taneyi geçmeyecektir.

Bu anlatılan sakıncalar nedeniyle modülasyon işlemi gerçekleştirilir. Bilgi sinyallerinin, taşıyıcı sinyal üzerine bindirilmesiyle; bilgi sinyalleri uzak mesafelere gönderilebilir, vericilerin kullanıldığı anten boyları kısalmır, RF (radyo frekans) bandı içine çok sayıda verici istasyonu birbirini etkilemeden uzak mesafe ile telsiz haberleşmesi sağlanır. Radyo frekans bandı 20 KHz. 'den 30000 MHz. 'e kadar olan frekansları kapsar.

4.3 Modülasyon Çeşitleri

Modülasyon işlemi sonunda taşıyıcı sinyalinin genliği, frekansı ve fazı değişikliğe uğrar. Genel anlamda 3 çeşit modülasyon mevcuttur.

a) Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation, A-M, G-M): Taşıyıcı sinyal genliğinin bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir.

b) Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation, F-M): Taşıyıcı sinyal frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir.

c) Faz Modülasyonu (Phase Modulation, P-M): Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir. Endirekt F-M olarakta bilinir.

4.3.1 Genlik Modülasyonu

Modülasyon bildiri işaretini iletme daha uygun bir biçime sokmak için yapılır. Modülasyon yönteminin amacı, sesleri varolan bir haberleşme kanalına uydurmaktır. Bu yüzden modülasyon türü; mevcut gürültü, bant genişliği ve verici gücüne bağlı olarak seçilir. Periyodik bir işaretin (taşıyıcı), herhangi bir özelliği bildiri işaretin (modülasyon işareti) bağlı olarak değiştirilir. Elde edilen işarete “modülasyonlu işaret” denir.

Genlik modülasyonu (GM), bilgi işaretine bağlı olarak taşıyıcı işaretin genliğinin değiştirilmesidir. Genlik modülasyon tür olarak doğrusal (lineer) bir modülasyondur. Genliği modüle edilmiş dalga biçiminin genel şekli aşağıdaki gibidir.

$$C(t) = A(t) \cdot \cos (w_0 \cdot t + \varphi)$$

A(t) genliği ile modüle edilen f(t) bilgi işareti arasındaki ilişkiye bağlı olarak genlik modülasyonunun değişik biçimleri elde edilir. Burada, f(t) modüle eden işaret (bilgi işareti), w_0 ise taşıyıcı frekansını belirtir. Genlik modülasyonun üç türü vardır. Bunlar;

- Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu (TGM)
- Çift Yan Bantlı Modülasyon (ÇYB)
- Taşıyıcısı Bastırılmış Tek Yan Bantlı Modülasyon (TYB)

Genlik modülasyonu, ses ve görüntü iletiminde diğer modülasyon türlerine göre daha ucuz ve basittir. Genlik modülasyonu dünyada uzun dalga, orta dalga vericilerinde kullanılmaktadır. Ayrıca televizyon yayıncılığında video işareti negatif genlik modülasyonuna tabi tutulmaktadır.

Bilgi işaretinin frekansı, taşıyıcı işaretin frekansından daha düşüktür. Genlik modülasyonunun uygulama alanlarından biri yüksek güçlü orta dalga ve uzun dalga radyo vericileridir. Son yıllarda üretilen orta ve uzun dalga vericilerinde uygulanan genlik modülasyonu uygulaması ile vericinin verimi %85' in üzerine çıkarılabilmektedir.

Genlik modülasyonu sonucunda iki yeni frekans oluşur. Taşıyıcı frekansının altında ve üstünde meydana gelen bu iki yeni frekansa yan bant (kenar bant) ismi verilir. Bu yan bantlardan $f_c + f_m$ frekansına *üst yan bant* denir ve ÜYB ile gösterilir. $f_c - f_m$ frekansına *alt yan bant* denir ve AYB ile gösterilir.

Modüleli işaretin frekans spektrumunda kapladığı alana *bant genişliği* (BG) denir. Bant genişliği Denklem (4.3.1.1)' de gösterilmiştir

$$BG = f_{ÜYB} - f_{AYB} = 2.f_m \quad (4.3.1.1)$$

Modülasyon işlemi sonucunda, taşıyıcı işaretin genliğinde meydana gelen değişim miktarına *modülasyon indeksi* denir . Modülasyon indeksi m ile gösterilir. Modülasyon indeksi, bilgi işaretinin genliğinin (E_m), taşıyıcı işaretin genliğine (E_c) oranıdır.

$$m = E_m / E_c \quad (4.3.1.2)$$

4.3.1.1 Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu

Bu genlik modülasyonu türünde modüle edilmiş dalga biçimi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$A(t) = [1 + m \cdot f(t)] C(t) \quad A \cdot [1 + m \cdot f(t)] \cdot \cos(w_0 t) \quad (4.3.1.1.1)$$

Burada; $f(t)$ modüle eden işaret (bilgi işareti), w_0 ise taşıyıcı frekansını belirtir. m ve A değişmez sabitler olup, m modülasyon derecesidir. Normal şartlar altında bu parametrelerin aşağıda açıklanan bazı şartları sağlamaları gerekir:

1. w_0 taşıyıcı frekansı $f(t)$ ' nin en büyük frekans bileşeni w_m ' den çok daha büyüktür. Eğer bu şart sağlanmaz ise, yani $w_0 \gg w_m$ değilse, modüle edilmiş dalga biçimi $C(t)$ ' nin zarfı tam olarak saptanamaz. Oysa zarf kavramı özellikle bu modülasyon türünde çok önemlidir. En yaygın ve en kolay demodülasyon yöntemleri $C(t)$ ' nin zarfının $f(t)$ ye benzediği gerçeğini kullanırlar.

- $A[1 + mf(t)]$ içindeki 1 terimi taşıyıcıyı gösterir. A sabiti bu taşıyıcının genliğidir ve değeri üzerinde herhangi bir kısıtlama yoktur.
- $j = 0$ kabulü, zaman başlangıcı istenildiği gibi alınabileceğinden bu varsayım herhangi bir sorun çıkarmaz.

2. m sabiti ise; modülasyon derecesi (indeksi, yüzdesi) olup, üzerinde su kısıtlamalar vardır:

Taşıyıcılı genlik modülasyonunda en önemli kısıtlama bütün t değerleri için, $[1 + mf(t)]$ 0 (veya $mf(t) - 1$) olmasıdır. Bu şart sağlandığında modüle edilmiş işaretin zarfı, modüle eden $f(t)$ işaretine benzer. Yalnız büyüklüğü farklıdır.

- $0 < m \leq 1$
- $m > 1$ ise aşırı modülasyon yapılıdır.

4.3.1.2 Çift Yan Band Modülasyonu

Bu modülasyon türünde modüle edilmiş işaretle taşıyıcı dalga bulunmaz. Taşıyıcı dalga olmadığı için bilgi işareti eksiye de düşebilir. Taşıyıcı kullanılmayarak güçten büyük oranda tasarruf sağlanır. Bilgi işareti yan bantlarda taşınır. Bu modülasyon türü $C(t) = f(t) \cdot \cos \omega_0 t$ şeklinde bir dalga biçimine sahiptir

4.3.1.3 Genlik Modülasyonunun Özellikleri

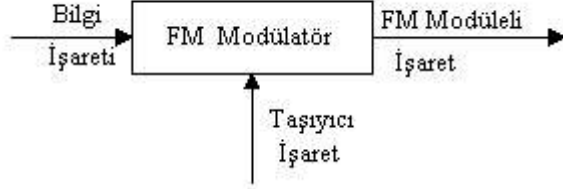
Genlik modülasyonunun özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1- Modülasyon anında taşıyıcının genliği değişir, frekansı ise sabittir.
- 2- Modülasyon anında, taşıyıcının altında ve üstünde olmak üzere iki adet kenar band oluşur.
- 3- BW, modüle eden sinyal frekansının iki katına eşittir.
- 4- A-M vericiler, güçlü vericilerdir.
- 5- A-M 'de önemli olan sinyalin uzak mesafelerde dinlenmesidir. Bu yüzden ses kalitesi düşüktür.
- 6- A-M yayınlanmak için ayrıca bir antene gerek yoktur.
- 7- A-M alıcıların ara frekansı 455 KHz. dir.
- 8- % 100 modülasyonda modülasyon faktörü 1'e eşittir.
- 9- Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok hızlı değişmesine neden olur.
- 10- Modülasyon sinyal genliğinin yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok yükselmesine neden olur.

4.3.2 Frekans Modülasyonu

Frekans modülasyonu, bilgi işaretinin genlik değişmelerine bağlı olarak taşıyıcı işaret frekansının değiştirilmesiyle elde edilir. Atmosferden ve çevredeki elektrik tesis ve

sistemlerinden gelen gürültüler genlik üzerine bindiği için frekans modülasyonu ile kablolu taşıma ve radyo ile iletimde gürültüden etkilenme az olmaktadır. Şekil 'de frekans modülasyonunun blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Frekans modülasyonunun blok diyagramı [25].

Frekans modülasyonunda, bilgi işaretinin genliğine bağlı olarak taşıyıcı merkez frekansının altında ve üstünde frekans değişimleri oluşmaktadır. Taşıyıcı frekansının, modüle eden bilgi işaretinin pozitif ve negatif maksimum tepe değerlerine bağlı olarak frekans değişim miktarına frekans sapması denir. Frekans sapması Δf ile gösterilir.

Frekans modülasyonunun sivil amaçlı vericilerin frekans sapması $\pm 75\text{kHz}$, askeri amaçlı vericilerin frekans sapması $\pm 40\text{ kHz}$ dir. Bilgi işareti $f(t)$, taşıyıcının frekansı ω_0 , modüle edilmiş FM işaretin dalga biçimi $C(t)$ ile gösterilmektedir.

4.3.2.1 Frekans Modülasyonunun Özellikleri

Frekans modülasyonunun özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1. Modülasyon anında, taşıyıcının frekansı değişir, genliği ise sabittir.
2. Modülasyon anında çok sayıda kenar bandları oluşur.
3. BW, modülasyon faktörüyle değişir.
4. F-M vericiler, A-M vericiler gibi çok güçlü değildir.
- 5- F-M 'de önemli olan sesin bozulmadan en uzak mesafelere gönderilmesidir. Sesin

kalitesi yüksektir, stereo yayın yapılabilir.

6- F-M yayınları almak için bir antene ihtiyaç vardır.

7- F-M alıcılarda ara frekans değeri 10,7 MHz. dir.

8- Modülasyon faktörü genellikle 1 'den büyüktür.

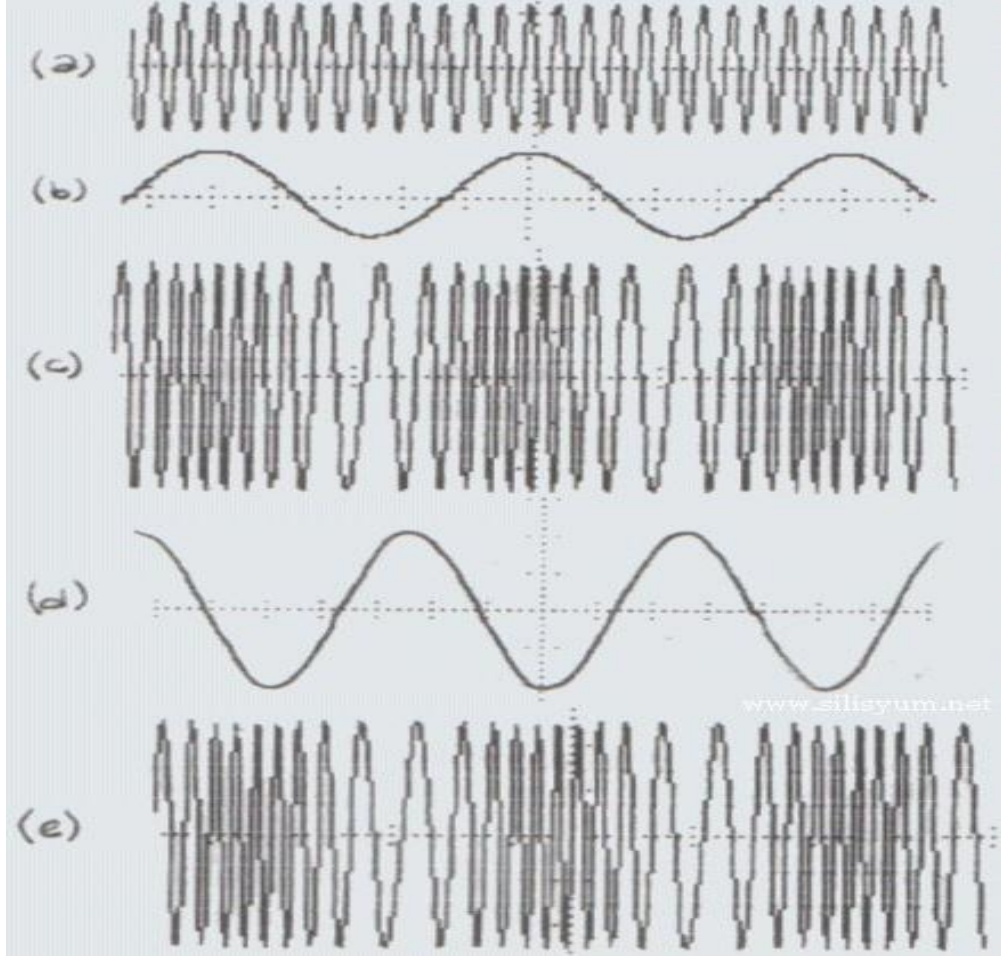
9- Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı frekansının değişme hızını arttırır.

10- Modülasyon sinyal genliğinin büyümesi, taşıyıcının frekans değişme sınırını genişletir.

4.3.3 Faz Modülasyonu

Bu modülasyonun esas özelliği taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyal genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonuna çok benzer. Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer. Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir. Direkt FM, indirekt PM; direkt PM ise indirekt FM 'dir.

Şekil 4.3 'de hem FM, hem de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir, (b) şeklindeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi (d) şeklinde olduğu gibi cosinüs dalgasıdır. Yani, sinüsün türevi cosinüs sinyalidir. Bu sinyal, sinüs sinyalinden 90° ileridedir, (d) şeklindeki türevi alınmış bilgi sinyalinin (-) alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır.



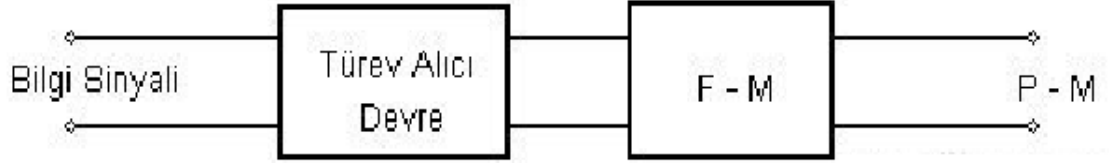
Şekil 4.3 Sinyalin faz ve frekans modülasyonu [25].

a) Taşıyıcı Sinyali b) Bilgi Sinyali c) Frekans Modülasyonlu Sinyal d) Bilgi Sinyalinin Türevi e) Faz Modülasyonlu Sinyal

Özetle;

Bilgi sinyalinin (-) alternansında, taşıyıcının fazı artar. Fazın artması demek, taradığı açı miktarının fazlalaşması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha kısa sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın artmasıdır.

Bilgi sinyalinin (+) alternansında, taşıyıcının fazı azalır. Fazın azalması demek, taradığı açı miktarının azalması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha uzun sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın azalması demektir.



Şekil 4.4 Faz modüledi sinyalin elde edilmesi [25] .

Faz modüledi sinyalin elde edilmesi için Şekil 4.4 'deki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınan ve F-M modülatöre uygulanır. F-M modülatörün çıkışından P-M elde edilir. F-M de frekans sapması söz konusu iken P-M 'de faz sapması söz konusudur.

5.MODÜLE EDİLMİŞ LAZER IŞINIMININ İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Üçgen (testere) pulslarla modüle edilen optik alanların istatistiksel karakteristiklerinin incelenmesi için 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 katottan koparılan n tane foto elektronların sayısının P(n,T) dağılım fonksiyonu arasındaki bağıntı yukarıda

$$P(n, T) = \int_0^{\infty} \frac{(\eta\omega_0)^n}{n!} e^{-\eta\omega_0} q(\omega_0) d\omega_0 \quad (5.1)$$

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;

$$P(n) = \int_0^{\infty} Q(I_m) p(n) I_m dI_m \quad (5.2)$$

$$P\left(\frac{n}{I_m}\right) = \int_0^{\infty} q(\omega_0) e^{-\eta I_m \omega_0} \frac{(\eta I_m \omega_0)^n}{n!} d\omega_0 \quad (5.3)$$

ifadesi ile hesaplayabiliriz[12]. 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.

5.1 Üçgen pulslarla modüle edilmiş lazer ışınının istatistiksel karakteristiklerinin incelenmesi

Optik ışımının üçgen (testere) pulslarla modülasyonunda modüle edici sinyalin şiddeti;

$$I_m(t) = \frac{b}{\tau_0}t + a \quad (5.1.1)$$

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 (5.2) ifadesi ile hesaplayabiliriz. Genel olarak eğer kuvvet karakteristikli modülatör kullanılırsa;

$$I_m(t) = [x(t)]^s \quad (5.1.2)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda; s = 1 şiddetin ve s=2 genliğin modülasyonuna karşılık gelir. Eşitlik (5.1.1) ve (5.1.2) ifadelerini, eşitlik (5.2)' de yerine yazdığımız zaman foto sayı dağılımı;

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

$$P(n) = \frac{\eta^n}{n!} \int_0^{\infty} q(\omega_0) \omega_0^n d\omega \left[\frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} I_m^n e^{-\eta I_m \omega_0} dI \right] \quad (5.1.3)$$

olur. Burada τ_0 pulsun uzunluğudur. Eşitlik (5.3) ve (5.1.1) ifadelerinde

$$I_m = \left(\frac{b}{\tau_0} \tau + a\right)^s = z \quad (5.1.4)$$

yazarak değişken değiştirirsek (5.1.3) ifadesinden;

$$P(n) = \frac{\eta^n}{n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\frac{1}{\tau_0} \int_{a^s}^{(a+b)^s} \frac{\tau_0 z^n}{b^s} z^{\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz \right] \quad (5.1.5)$$

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\int_{a^s}^{(a+b)^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz \right] \quad (5.1.6)$$

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left[\int_0^{(a+b)^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz - \int_0^{a^s} z^{n+\frac{1}{s}-1} e^{-\eta z \omega_0} dz \right] \quad (5.1.7)$$

bulunur[28]. Farklı parametrelerde bulunan integralleri, tam olmayan $\gamma(a, x)$ fonksiyonlarla ifade edersek foto sayı dağılımı;

$$P(n) = \frac{\eta^n}{b s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^n d\omega_0 \left\{ \frac{1}{(\eta \omega_0)^{n+\frac{1}{s}}} \left[n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 (a+b)^s - \gamma\left(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 a^s\right) \right] \right\} \quad (5.1.8)$$

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

$$P(n) = \frac{1}{b \eta^{1/s} s n!} \int_0^\infty q(\omega_0) \omega_0^{-1/s} d\omega_0 \left\{ \gamma\left[n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 (a+b)^s\right] - \gamma\left(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 a^s\right) \right\} \quad (5.1.9)$$

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

$$P(n) = \frac{1}{b \eta^{1/s} s n!} \int_0^\infty \frac{q(\omega_0)}{\omega_0^{1/s}} d\omega_0 \left\{ \Gamma\left(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 a^s\right) - \Gamma\left(n + \frac{1}{s}; \eta \omega_0 (a+b)^s\right) \right\} \quad (5.1.10)$$

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 (5.1.9) veya (5.1.10)'u ışığın şiddetinin modülasyonu durumuna uygulayalım. Burada s=1 yazarsak eşitlik (5.1.9)'dan;

$$P(n) = \frac{1}{b\eta n!} \int_0^{\infty} \frac{q(\omega_0)}{\omega_0} d\omega_0 \{ \gamma[n + \frac{1}{s}; \eta\omega_0(a+b)] - \gamma(n + \frac{1}{s}; \eta\omega_0 a) \} \quad (5.1.11)$$

elde ederiz. Eşitlik (5.1.11) 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.

$$q(\omega_0) = \delta(\omega_0 - \langle \omega_0 \rangle) \quad (5.1.12)$$

δ -fonksiyonunun özelliklerini dikkate alarak; eşitlik (5.1.12)'yi, eşitlik (5.1.11)'de yazarsak foto sayı dağılımını;

$$P(n) = \frac{1}{\eta \langle \omega_0 \rangle b n!} \{ \gamma[n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)] - \gamma(n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle a) \} \quad (5.1.13)$$

veya özdeş olan;

$$P(n) = \frac{1}{\eta \langle \omega_0 \rangle b n!} \{ \Gamma[n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle a] - \Gamma(n + 1; \eta \langle \omega_0 \rangle (a+b)) \} \quad (5.1.14)$$

olarak elde edebiliriz. Eşitlik (5.1.14)'teki $\Gamma(n+1, x)$ fonksiyonunu serilerle ifade edersek, yani;

$$\Gamma(n+1, x) = n!e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!} \quad (5.1.15)$$

olduğunu göz önüne alırsak, eşitlik (5.1.14)

$$P(n) = \frac{1}{\eta < \omega_0 > b} \left\{ e^{-\eta < \omega_0 > a} \sum_{k=0}^n \frac{(\eta < \omega_0 > a)^k}{k!} - e^{-\eta < \omega_0 > (a+b)} \sum_{k=0}^n \frac{[\eta < \omega_0 > (a+b)]^k}{k!} \right\} \quad (5.1.16)$$

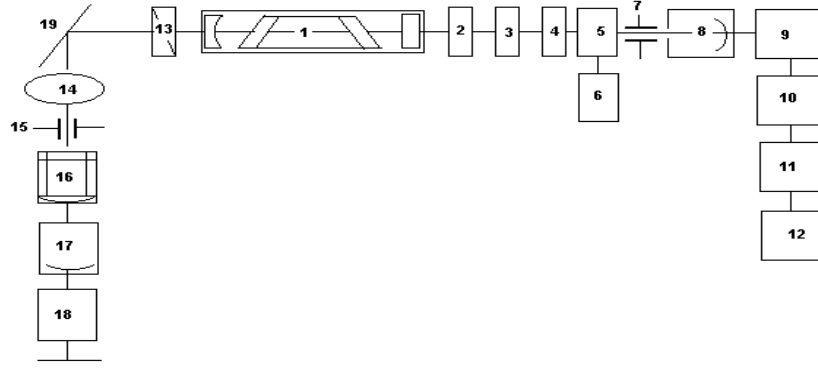
gibi yazılır, kaynağın enerji dağılımı, eşitlik (5.1.12) ile verildiğinde, $\eta < \omega_0 > = < n >$ olduğu görülür. Bu durumda, modülasyon katsayısını (m) ile gösterirsek ele aldığımız durum için foto sayı dağılımını;

$$P(n) = \frac{1}{2m < n >} \left\{ e^{-< n > (1-m)} \sum_{k=0}^n \frac{[< n > (1-m)]^k}{k!} - e^{-< n > (1+m)} \sum_{k=0}^n \frac{[< n > (1+m)]^k}{k!} \right\} \quad (5.1.17)$$

şeklinde de yazabiliriz. Eşitlik 5.1.17'de elde edilen foto sayı dağılımı, üçgen pulslarla modüle edilmiş bir modlu sabitleştirilmiş lazerin özel bir durum için P. Diamant ve M. C. Teich tarafından hesaplanmış ifadenin aynısıdır[29]. Bununla beraber; eşitlik (5.1.17)'de verilen foto sayı dağılımı, eşitlik (5.1.2)'de istenilen ışık kaynağı ve istenilen modülasyon türü için uygulanabilen ve bunun üçgen pulslarla modülasyonu için gerekli olan eşitlik (5.1.9) ve (5.1.10) dağılımlarından elde edildiğinden daha genel bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Eşitlik (5.1.17) ifadesini, deneysel olarak doğrulamak için Kiev Devlet Üniversitesinde yapılan deneylerde R. Abdullayev tarafından kurulan Şekil 5.1'deki deney düzeneği kullanılmıştır[30].

5.2 Üçgen modülasyonunun deneysel incelenmesi için kullanılan düzenek

Üçgen pulslarla lazer ışınının modüle edilmesi sürecinin incelenmesi için kullanılan foto sayı yöntemine dayanan düzeneğin yapısı Şekil 5.1’de açıklanmıştır.



Şekil 5.1 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. Foto çoğaltıcılar, 9. Düzenleyici, 10. Dönüştürücü (sayı-genlik), 11. Çok kanallı analizör, 12. Bilgisayar, 14. Mercek, 16. İnterferometre, 18. Osiloskop, 19. Ayna [27] .

Işık kaynağı olarak, He-Ne lazeri kullanılmıştır. Lazerin mod yapısı, tarayıcı interferometre ile kontrol edilebilir. Etkin koherentlik süresi $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ s düzeyinde olduğundan radyasyonun enerji dağılımını, δ -fonksiyonu ve foto sayı dağılımı ise Poisson dağılımı olarak kabul edilir. Foto sayımı dedekte etmek için, uygun spektral duyarlılığı ayırt etme hassasiyeti olan foto çoğaltıcılar seçilmiştir.

Foto çoğaltıcılar saniyede $2 \cdot 10^6$ tane foto elektrondan daha fazla yüklenemediklerinden, seçim süreci $t = 10^{-6}$ saniye seçilerek alıcının küçük sayıda (n tane) foto elektron 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 arasına, sanayide üretilen standart elektro optik modülatör yerleştirilir. Modülatöre; üçgen pulslar, alçak frekans jeneratöründen verilir ve bunların frekansı, genliği ve modülasyon katsayısı çalışma süresince değiştirilebilir.

5.3 Deneysel 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 5.1’de verilmiştir.

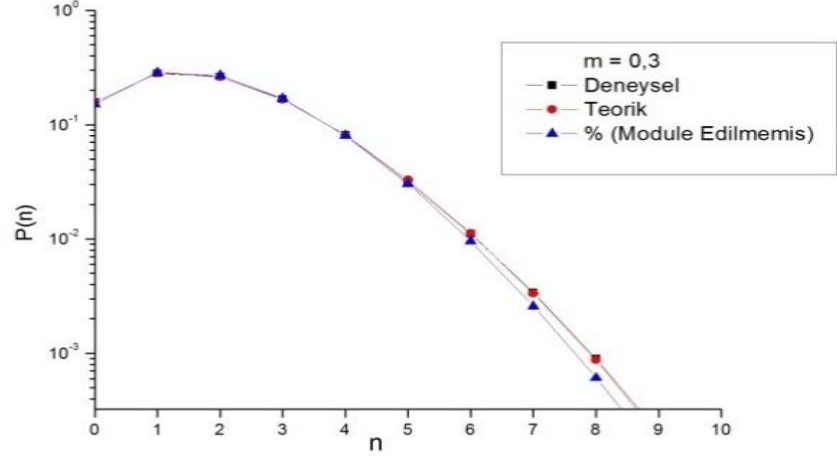
$f_m(\text{kHz})$	$\langle n \rangle$	$\langle \Delta n^2 \rangle$	δ
0	1,8901	1,8905	0,529
0,1	1,9005	2,1419	0,593
0,9	1,9015	2,1434	0,593
10	1,9142	2,1561	0,588

Tablo 5.1 Modüle edilmiş foto sayı dağılımlarının deneysel sonuçlara göre hesaplanmış ortalama değeri ve varyanslarının frekans ile ilişkisi.

Daha sonra lazer ışınının istatistiğinin üçgen pulslarla modülasyonunun, m modülasyon katsayısına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Modülasyon katsayısı, standart yöntemle ölçülmüştür. Deneylede 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. m=0.3 durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları Tablo 5.2' de dördüncü sütunda verilir. Buradan elde edilen $\langle n \rangle = 1.897$ ile gösterime göre (5.1.17) formülü ile hesaplanan fotosayı dağılımlarında aynı tablonun üçüncü sütununda sunulmuştur. Her iki foto sayı dağılımı Şekil 5.2' deki grafik üzerinde çizilmiştir. Ayrıca hesaplamalar Ek 1 'de görülmektedir.

n	n(ort)	P(n) teorik hesap	P(n) deneysel hesap
0	1,897	0,158252	0,1585
1	1,897	0,283473	0,2883
2	1,897	0,261900	0,2625
3	1,897	0,166274	0,1670
4	1,897	0,081460	0,0816
5	1,897	0,032761	0,0315
6	1,897	0,011224	0,0111
7	1,897	0,003349	0,0034
8	1,897	0,000873	0,0009
9	1,897	0,000188	0,0002

Tablo 5.2 m=0.3 durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.

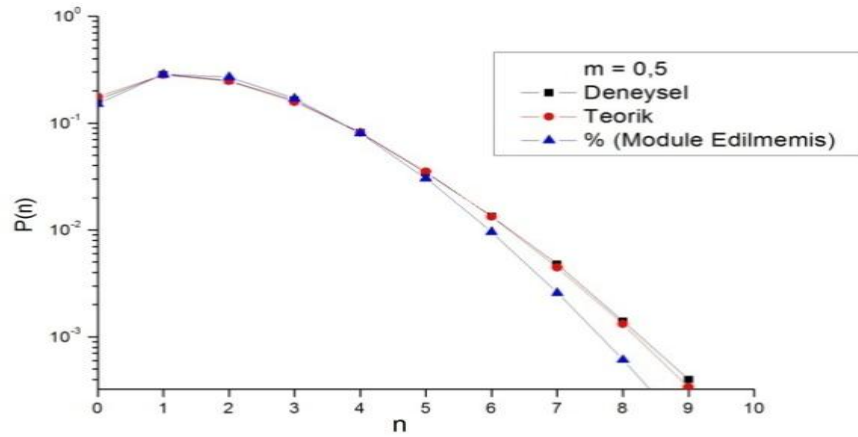


Şekil 5.2 Modülasyon katsayısına ($m=0.3$) bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınının foto sayı dağılımı.

$m=0.5$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları Tablo 5.3' de dördüncü sütunda verilir. Her iki foto sayı dağılımı Şekil 5.3' deki grafik üzerinde çizilmiştir. Ayrıca hesaplamalar Ek 2 'de görülmektedir.

n	n(ort)	P(n) teorik hesap	P(n) deneysel hesap
0	1,8792	0,176199	0,1660
1	1,8792	0,282072	0,2845
2	1,8792	0,247695	0,2495
3	1,8792	0,157892	0,1640
4	1,8792	0,081101	0,0814
5	1,8792	0,035271	0,0342
6	1,8792	0,013342	0,0135
7	1,8792	0,004459	0,0048
8	1,8792	0,001322	0,0014
9	1,8792	0,000339	0,0004

Tablo 5.3 $m=0.5$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.

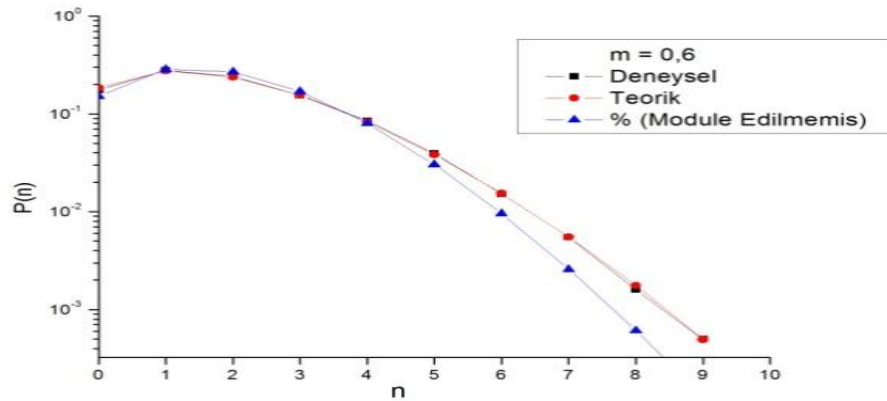


Şekil 5.3 Modülasyon katsayısına ($m=0.5$) bağlı olarak modüle edilmiş ve modüle edilmemiş ışınının foto sayı dağılımı.

$m=0.6$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları Tablo 5.4' de dördüncü sütünde verilir. Her iki foto sayı dağılımı Şekil 5.4' deki grafik üzerinde çizilmiştir. Ayrıca hesaplamalar Ek 3 'de görülmektedir.

n	n(ort)	P(n) teorik hesap	P(n) deneysel hesap
0	1,8951	0,1797	0,1698
1	1,8951	0,2787	0,2817
2	1,8951	0,2429	0,2476
3	1,8951	0,1516	0,1555
4	1,8951	0,0837	0,0896
5	1,8951	0,0395	0,0409
6	1,8951	0,0143	0,0148
7	1,8951	0,0033	0,0034
8	1,8951	0,0008	0,0009
9	1,8951	0,0001	0,0002

Tablo 5.4 $m=0.6$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının sonuçları.



Şekil 5.4 Modülasyon katsayısına ($m=0.6$) 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 foto sayı dağılımı da gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi; her bir durumda modüle edilmiş ışınının foto sayı dağılımı, modüle edilmemiş göre genişlemiştir. Ayrıca, m modülasyon katsayısı arttıkça foto sayı dağılımı daha çok genişler. Ölçülmüş foto sayı dağılımlarının $\langle n \rangle$ ortalama değerleri ve bunlara uygun olan $\langle \Delta n^2 \rangle$ varyansları hesaplanarak Tablo 5.5’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 5.5 Ölçülmüş foto sayı dağılımlarının deneysel verilere göre hesaplanmış ortalama değerleri ve varyanslarının modülasyon katsayısı m ile ilişkisi.

Tablodaki δ niceliği foto sayı dağılımının nispi varyansı olarak tanımlanır. Çalışmadaki sonuçlar bir sonraki kısımda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Daha önce elde edilen deneysel verilerin, eşitlik (5.1.17)' ye göre yapılan teorik hesaplamalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen deneysel sonuçlar, probleme teorik bakışımızın ve hesaplamalarımızın 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. 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[13]. Ayrıca optik kaynakların modülasyon yöntemini kullanarak, farklı istatistiksel karakteristiklere sahip olabilen ışın kaynaklarının modelleştirilmesinin mümkün olduğu açıkça görülür. Bu kaynakları elde etmek için, kullanılan kaynakların veya modülasyonların türünü değiştirmek gerekmektedir[31].

KAYNAKLAR

- [1] Born M., Wolf E., “Principles of Optics”, Oxford, (2005).
- [2] Wolf ,E. Proc. Phys. Soc. N.80, s1269, (1962).
- [3] Wolf,E. “Unified theory of coherence and polarization of random electromagnetic beams”, Physics Letters A 312, s263–267, (2003).
- [4] Mandel L., Progress in Optics, (ed. E. Worf), V.2, (1963).
- [5] Mandel, L., Wolf, E., “Optical Coherence and Quantum Optics”, Cambridge University Press, s1166 (1995).
- [6] Arecchi, F.T., Phys. Rev.Lett., N.15 s912,(1965).
- [7] Abdullayev R.A. et al Uçyonıye Zapiski ADU, Fizik-matematik Ser. N3, s.60, (1971).
- [8] Glauber, R. J., Quantum Theory of Optical Coherence, Selected Papers and Lectures N-Y ,(2007).
- [9] Klauder, J.R., Sudarshan, E.C.G., “Fundamentals of Quantum Optics”, ed. Sycracuse University, New York, Amsterdam, s233-285, (1968).
- [10] Sudarshan, E. C. G. et al, “Cross polarization in laser beams”, Applied Optics, Vol. 26, Issue 9,s1589-1593 ,(1987).
- [11] Abdullayev, R.A., et al “İnvestigation of Correlation Function for Lazer’s Having Longitudional Modes”, Pow.Eng.Prob., N.5, P.62, (2003).

- [12] Abdullayev R. A. ve Cenik I. M, Bakü Devlet Üniversitesi'nin Haberleri, N3, s143 (2003).
- [13] Abdullayev R. A., Yüksek M., Fizika, XI, N3, s32, (2005).
- [14] Sotskii, B.A “ On statistical classification of optical fields”, Optic and Spectroscopy, V.76 , N.6, s882-883,(1994).
- [15] Vircenko, Yu.P. . Mazmanishvili, A. S. “ Unimodality of the Distribution of the Number of Pulses for Gaussian Optical Fields”, Probl. Peredachi Inf., **31**:1, s84–89, (1995).
- [16] Prativiera, G. A. “ Trap environment effects over quantum statistics and atom-photon correlations in the collective atomic-recoil laser”, Phys. Rev. A **67**,N.4, s45602/1-45602/4, (2003).
- [17] Egorov , A. “Reconstruction of the characteristics and determination of the parameters of a statistical surface roughness from light scattering data in an integrated waveguide in the presence of noise”, Optics and Spectroscopy, V. 95, N. 2, s276-286,(2003).
- [18] Ye Pu and Hui Meng “Intrinsic speckle noise in off-axis particle holography”, JOSA A, Vol. 21, Issue 7, s1221-1230 (2004).
- [19] Arnaud, J. “Classical theory of laser linewidth”, Optical and Quantum Electronics V. 28, N. 11, s1589-1615,(1996).
- [20] Wei Gao “Study on statistical properties of chaotic laser light”, Physics Letters A **331**, s292–297 ,(2004).
- [21] Sergey A. “Ponomarenko et al, “Physical significance of complete spatial coherence of optical fields”, Physics Letters A **345** ,s10–12, (2005)

- [22] C. Bendjaballah “Statistical properties of several models of fractional random point processes”, Commun Nonlinear Sci Numer Simulat 16, s3224–3236 ,(2011).
- [23] İşanin, G.G. et al , “İstenilen spektral dağılımlı kaynakların oluşturulma yöntemleri”, NTV N.5, s.126, (2002).
- [24] Deryugin, İ.A., et al,“Birden Fazla Eksenel Mod Durumunda alışan Lazer Işınımının İstatistiksel zelliklerinin Fotosayı Yöntemiyle İncelenmesi”, Radioteknik&Electronik XVII, 8,1623, Moskova, 1972
- [25] Sarı, H., “Elektro- Optik ” Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ,Fizik Mühendisliği Bölümü ,2008.
- [26] Clack, W.G. et al, J.Opt. Soc. Amer.,N.61, s934, (1971).
- [27] Abdullayev R. A., “foto-sayı yöntemiyle laser ışınımının istatitksel özelliklerinin incelenmesi”, Kafkas Üniv. Fen Bil. Enst. Derg.,V.1 N.2 s23-31. 2008.
- [28] Cengiz,G. et al “gen biçimli sinyallerle Modüle Edilmiş Lazer Işınımının İstatiksel Karakteristiklerinin İncelenmesi” Kafkas Üniv. Fen Bil. Enst. Derg.,V.3 N.1 s13-20, 2010.
- [29] Diament P. ve Teich M. C.. J. Optical. Socetiy of America, N.5, s60, (1970).
- [30] Deryugin, İ.A. et al, “ok Frekanslı Lazer Işınımının İstatistiksel Karakteristikleri”, İzvestiya, AN SSSR Fiz. Ser.XXXVII, 10, 2115, Moskova, (1973).
- [31] Abdullayev R. A., Cenik I. M., Bak Devlet niversitesinin Haberleri, N.2, s80, (2001).

EKLER

Ek. 1 $m=0.3$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının hesap çizelgesi.

e	n	n(ort)	m	2m	k	k!	$e^{n(ort)*(m-1)}$	$e^{-n(ort)*(m+1)}$	P(n)
2,7182	0	1,897	0,3	0,6	0	1	0,26504	0,084922	0,158252
2,7182	1	1,897	0,3	0,6	1	1	0,26504	0,084922	0,283473
2,7182	2	1,897	0,3	0,6	2	2	0,26504	0,084922	0,261900
2,7182	3	1,897	0,3	0,6	3	6	0,26504	0,084922	0,166274
2,7182	4	1,897	0,3	0,6	4	24	0,26504	0,084922	0,081460
2,7182	5	1,897	0,3	0,6	5	120	0,26504	0,084922	0,032761
2,7182	6	1,897	0,3	0,6	6	720	0,26504	0,084922	0,011224
2,7182	7	1,897	0,3	0,6	7	5040	0,26504	0,084922	0,003349
2,7182	8	1,897	0,3	0,6	8	40320	0,26504	0,084922	0,000873
2,7182	9	1,897	0,3	0,6	9	362880	0,26504	0,084922	0,000188

Ek. 2 $m=0.5$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının hesap çizelgesi.

e	n	n (ort)	m	2m	k	k!	$e^{n(ort)*(m-1)}$	$e^{n(ort)*(m+1)}$	P(n)
2,7182	0	1,8792	0,5	1	0	1	0,39080	0,059683	0,176199
2,7182	1	1,8792	0,5	1	1	1	0,39080	0,059683	0,282072
2,7182	2	1,8792	0,5	1	2	2	0,39080	0,059683	0,247695
2,7182	3	1,8792	0,5	1	3	6	0,39080	0,059683	0,157892
2,7182	4	1,8792	0,5	1	4	24	0,39080	0,059683	0,081101
2,7182	5	1,8792	0,5	1	5	120	0,39080	0,059683	0,035271
2,7182	6	1,8792	0,5	1	6	720	0,39080	0,059683	0,013342
2,7182	7	1,8792	0,5	1	7	5040	0,39080	0,059683	0,004459
2,7182	8	1,8792	0,5	1	8	40320	0,39080	0,059683	0,001322
2,7182	9	1,8792	0,5	1	9	362880	0,39080	0,059683	0,000339

Ek. 3 $m=0.6$ durumuna uygun olan foto sayı dağılımlarının hesap çizelgesi.

e	n	n(ort)	m	2m	k	k!	$e^{n(ort)*(m-1)}$	$e^{n(ort)*(m+1)}$	P(n)
2,7182	0	1,8951	0,6	1,2	0	1	0,46859	0,048216	0,184853
2,7182	1	1,8951	0,6	1,2	1	1	0,46859	0,048216	0,276764
2,7182	2	1,8951	0,6	1,2	2	2	0,46859	0,048216	0,238501
2,7182	3	1,8951	0,6	1,2	3	6	0,46859	0,048216	0,154950
2,7182	4	1,8951	0,6	1,2	4	24	0,46859	0,048216	0,083110
2,7182	5	1,8951	0,6	1,2	5	120	0,46859	0,048216	0,038255
2,7182	6	1,8951	0,6	1,2	6	720	0,46859	0,048216	0,015424
2,7182	7	1,8951	0,6	1,2	7	5040	0,46859	0,048216	0,005517
2,7182	8	1,8951	0,6	1,2	8	40320	0,46859	0,048216	0,001760
2,7182	9	1,8951	0,6	1,2	9	362880	0,46859	0,048216	0,000494

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Ömer KAYA
Doğum Yeri	Horasan / ERZURUM
Doğum Tarihi	1985
Medeni Hali	Bekâr
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Cumhuriyet Lisesi - 2002
Lisans	Kafkas Üniversitesi -2008
Yüksek Lisans	Kafkas Üniversitesi -2011