

DIŞ KAVİTELİ DİYOT LAZERLERİN FREKANS KİLİTLENMESİ

Ramiz Gamidov, Mustafa Çetintaş
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü

ÖZET

Dış kavite diyot lazerlerin (ECDL) frekansı Sezyum (Cs) atomlarının D₂ çizgisindeki Doppler-free rezonanslara Frekans Modülasyon (FM) veya Zeeman Modülasyon (ZM) teknikleri kullanılarak kilitlemiştir. İki adet kararlı ECDL'nin frekans farklarının (beat frequency) ölçülmesiyle, ışık şiddetine bağlı frekans kayması gözlenmiştir. Her iki kilitleme tekniğiyle de 1 saniyeden 300 saniyeye kadar ortalama zaman için en uygun şartlarda frekans kararlılığının 10⁻¹² den daha iyi değerleri ölçülmüştür.

1. TANITIM

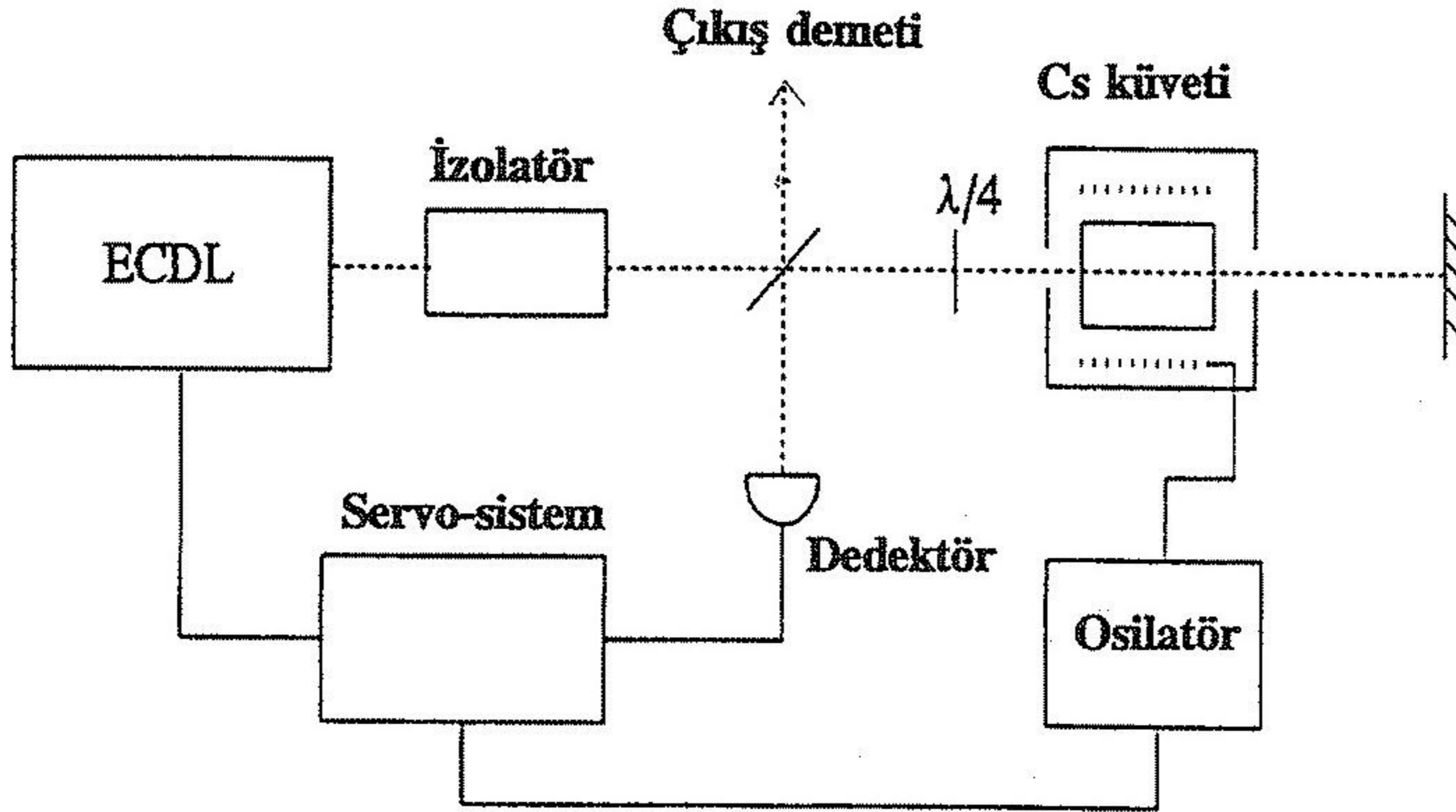
Optik pompalanmış ve soğutulmuş Cs atomları temeline dayanan yeni bir atomik saat üretimi için yüksek frekans kararlılığına sahip lazer sistemine ihtiyaç vardır [1]. Bu amaçla değişik lazer frekans kilitleme teknikleri kullanılabilir. FM [2,3] ve ZM [4,5] teknikleri optik ve elektronik parçaların maliyetleri bakımından diğer modülasyon teknikleriyle karşılaştırıldıklarında daha basit ve daha avantajlıdır. Zeeman modülasyon tekniği kullanılarak frekansı modüle edilmemiş kararlı lazer yapılabilir ve bu lazerin frekansı dc manyetik alan değiştirilerek ayarlanabilir. Frekans kilitlemesi Cs veya Rubidyum (Rb) D₂ seviyesinde her iki tekniğin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. ZM tekniğiyle frekans kararlılığı 2x10⁻¹⁰ olarak ölçülmüştür [4]. Son zamanlarda FM tekniği kullanılarak da 5x10⁻¹³ değerinde frekans kararlılığı elde edilmiştir [3].

Yaptığımız çalışmada Cs D₂ enerji geçitlerine kilitlemiş diyot lazerlerin ışık şiddetine ve polarizasyonuna bağlı olarak frekanslarındaki kaymalar araştırıldı. Amacımız Cs atomları kapalı geçişlerinde kilitli lazer frekans kararlılığı için en uygun şartları tanımlamaktır.

2. DENEYSEL SONUÇLAR

Deney düzeneği şekil-1'de gösterilmiştir. Lazer frekans kaymasını ve frekans kararlılığını incelemek için iki adet kararlı ECDL arasındaki frekans farkı ölçüldü. ECDL'ler bir adet diyot lazer (AC-SDL-5410) ve bir düzlem kırınım ağı (1200 1/mm) kullanılarak Littrow uyarlamasına göre düzenlendi. Lazer çıkışı (yaklaşık 20 mW) olarak kırınım ağından yansıyan sıfırıncı ışık demeti kullanıldı. Kırınım ağı kullanılarak hem lazer frekansının bant genişliği azaltılmış hemde lazerin frekansı değiştirilerek bu lazer ışığının Cs atomlarıncı soğurumu gerçekleştirilmiştir. FM'deki ince ayar ise dış kavite uzunluğunun PZT üzerine uygulanan gerilimin değiştirilmesiyle sağlandı. Parametreleri değiştirilebilecek lazer demeti (demet çapı 0.6 cm), atomları pompalamak için Cs hücresine (uzunluk 3

cm, sıcaklık 21°C) gönderildi. Aynadan geri yansıyan pompalayıcı demet azaltıcıdan (attenuator) da geçirilerek prob demeti olarak kullanıldı.



Şekil-1. Deney düzeneği blok şeması

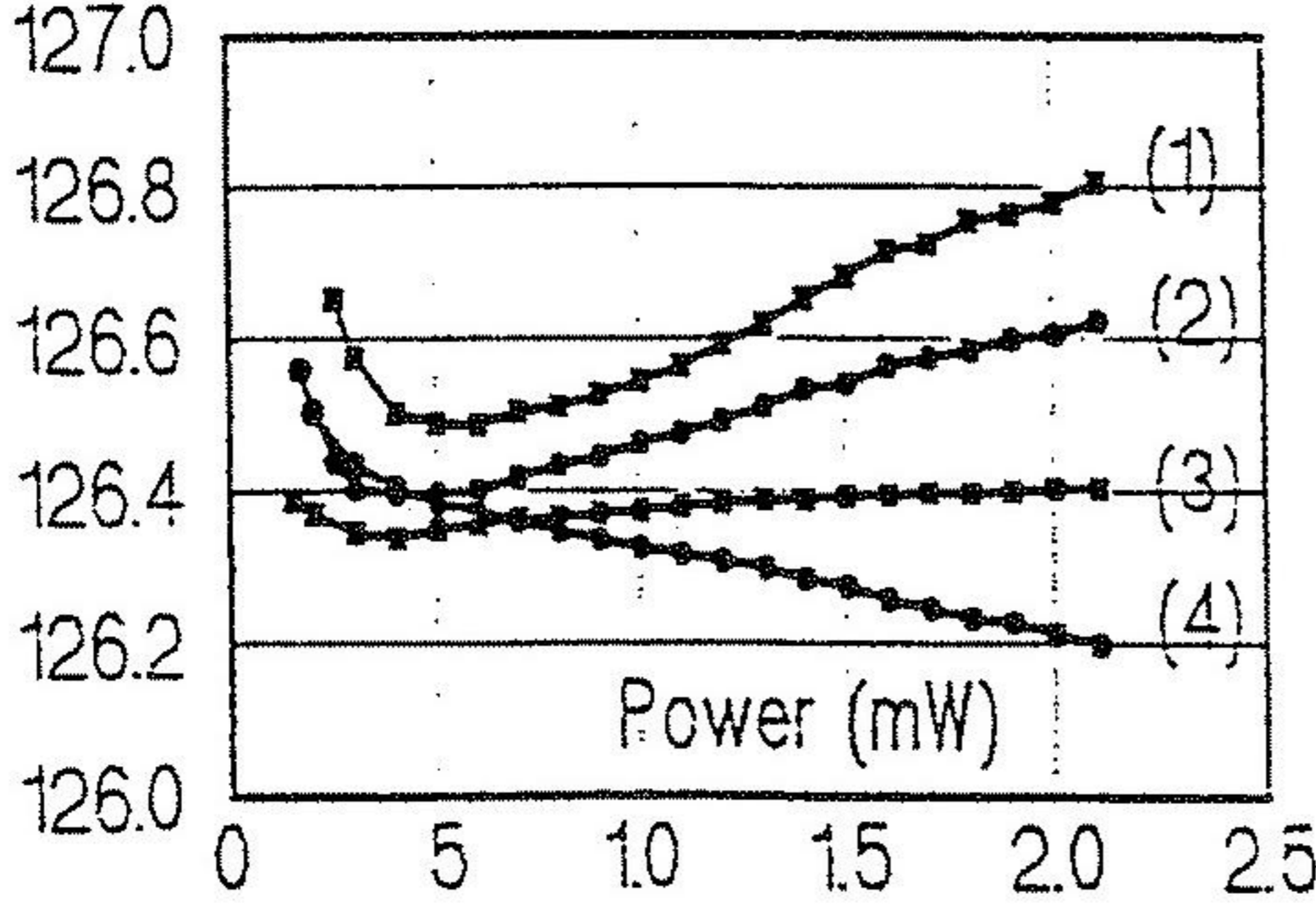
Kullanılan lazer demetinin saçılması ve ters yönde ilerleyen demetler arasındaki açı 10^{-3} radyandan daha azdı. Laboratuvar ortamındaki manyetik alanın değişiminden dolayı atomik enerji seviyeleri arasındaki kontrolsüz frekans değişikliğini engellemek amacıyla Cs hücresi manyetik koruyucuyla kapatılmıştır. ZM ve referans rezonans frekans kayması için kullanılan ac ve dc manyetik alanları selonit kullanılarak elde edildi.

Deneyde ZM tekniği kullanıldığında lazer frekansı modüle edilmedi. Sadece referans Doppler-free rezonansı, ac boyuna manyetik alanı (0.7 Gauss, 10 kHz) tarafından modüle edildi. FM tekniğinde ise lazer frekansı 20 kHz'de modüle edildi. Her iki teknikte de geri besleme amaçlı aynı elektronik servo sistem kullanıldı. Fotodiyotta algılanan sinyal eş zamanlı olarak "lock-in" yükseltici tarafından demodüle edildi. Lock-in yükselticiden alınan hata sinyali sırasıyla integral alıcıyı ve PZT'yi besledi.

Her iki teknikte de lazerlerden biri Cs kapalı enerji geçişi $F=4 - F'=5$ 'e kilitlendi. İkincisi ise $F=4 - F'=5$ ve $F=4 - F'=4$ geçişleri arasındaki cross-over rezonansına kilitlendi. Lazerlerden çıkan demetler hızlı bir fotodiyot üzerinde süperpoze edildiler. Detektördeki 126 MHz'lik fark frekans sinyalinin analizi rf spektrum analizör ve frekans sayıcıyla yapıldı. Lazerlerin frekans kararlılığı bilgisayar kontrollü sayıcı vasıtasıyla Allan Varians istatistiği kullanılarak ölçüldü.

Bu çalışmada kapalı geçişlere kilitlenmiş lazer frekansının ışık gücüne bağımlılığı, lazer demet parametrelerini değiştirmek koşuluyla incelendi. Lazer frekans kaymasının ışık şiddetine göre bağımlılığının minimum eğimli olması lazer frekans kararlılığı için en uygun koşul olarak görülmektedir. Deneyde, prob lazer ışığı gücünün pompalama lazer ışığı gücüne olan oranı R ve demet polarizasyonları değiştirilerek uygun koşul arandı.

FM tekniği kullanılarak kilitlenmiş lazer frekansının pompalama demet gúcüne göre değişimi Şekil-2’de gsterilmiştir. Birinci ve ikinci lazerler iwin FM genlikleri sırasıyla 1.5 MHz ve 4 MHz frekanslardaydı. Diđerleriyle karşılaştırılacak olursa, 3 numaralı eđri (π polarizasyon, $R=1$) optik gúc P ’nin geniş bir aralığında oldukça kucük bir eğime sahiptir. Işık gúcünün, $P=1$ mW, olduğu noktada frekans kararlılığının ortalama ölçüm zamanına göre değişimi Şekil-4’de gsterilmiştir. Bu teknikle elde ettiğimiz en iyi frekans kararlılığı 7×10^{-13} olarak bulunmuştur.

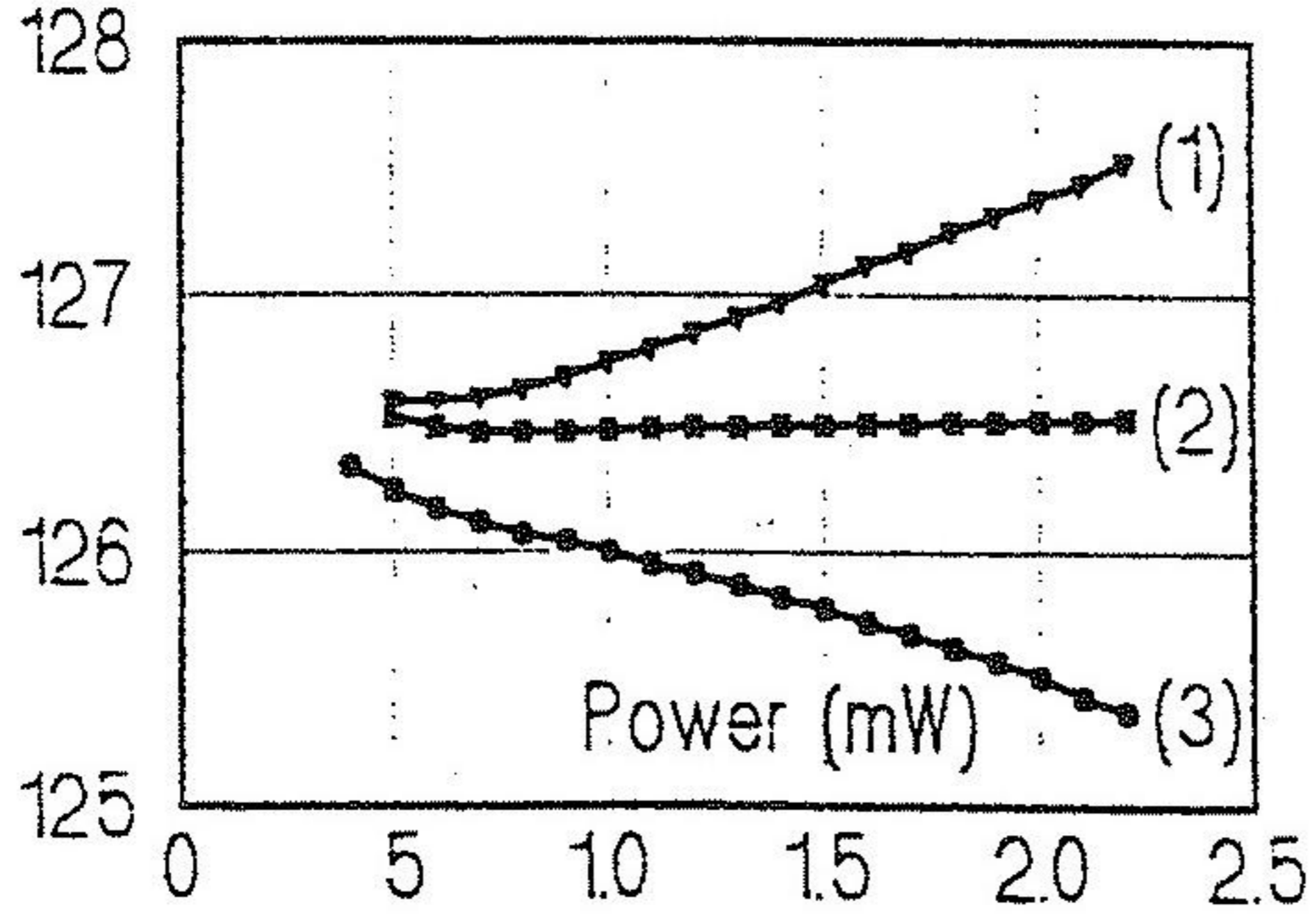


Şekil-2. FM tekniğinde frekans farkının (MHz) pompalayıcı demet gúcüne (mW) göre değişimi: (1)- $R=0.04$, σ polarizasyon, (2)- $R=0.04$, π polarizasyon, (3)- $R=1$, π polarizasyon, (4)- $R=1$, σ polarizasyon

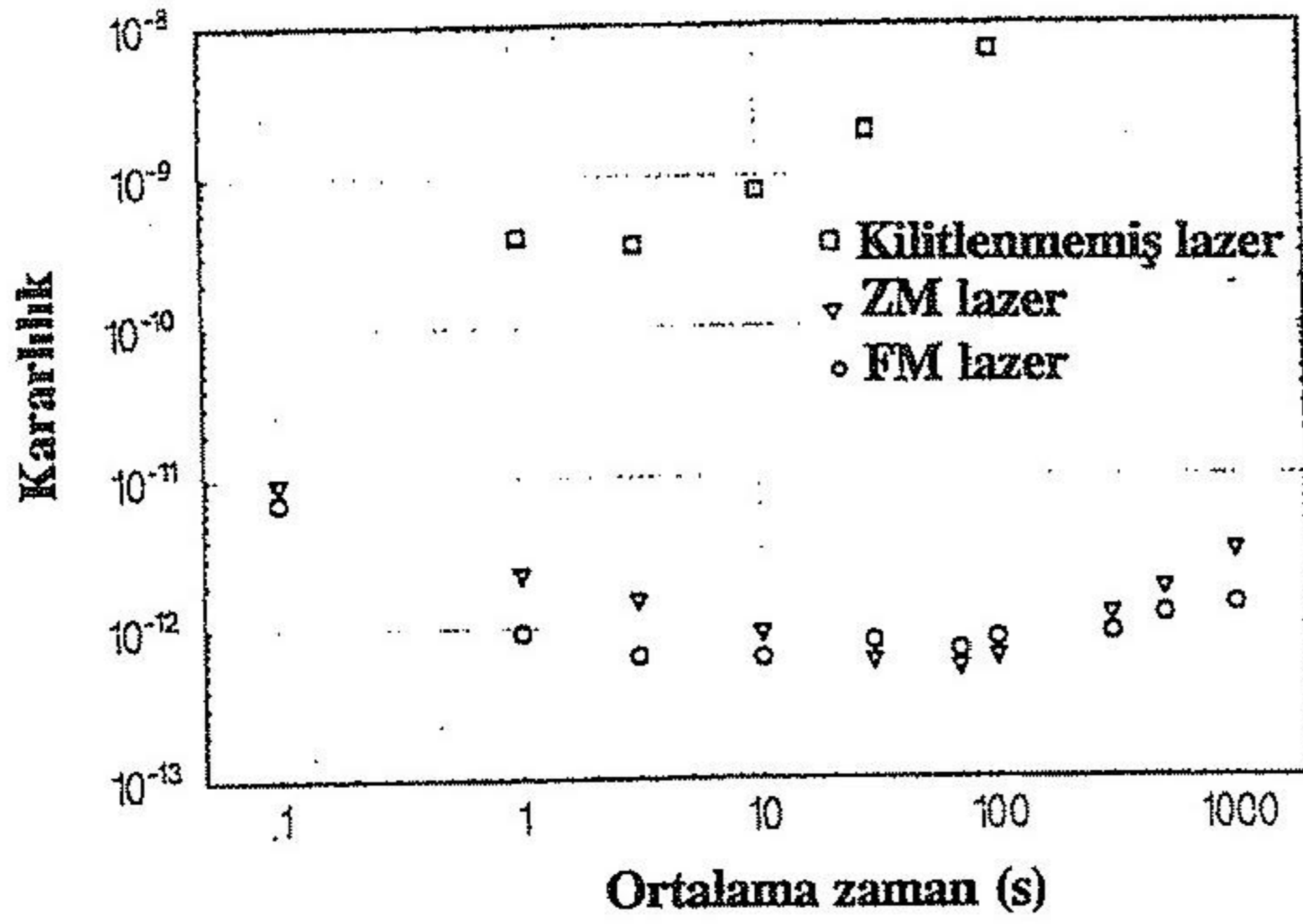
ZM tekniği kullanılarak gzlenn lazer gúcüne bağlı frekans kaymaları ise Şekil-3’de gsterilmiştir. Gúc bağlı frekans kaymasının minimum eğimi $R=0.3$ ’de gzlennmiştir. $R=0.3$ ve $P=1$ mW değerlerinde ölçülen frekans kararlılığının ortalama zamana bağlılığı da Şekil-4’de verilmiştir. Görüldüđu gibi ZM ve FM tekniği ile elde edilmiş frekans kararlılıkları birbirine çok yakındır. Her iki teknik iwin frekans farkı sinyalinin spektrumu Şekil-5’de gsterilmiştir. ZM tekniğindeki bant aralığı (<1 MHz) FM’dekine göre çok daha kucuktur. Bunun sebebi ise ZM kullanımında lazer frekansında herhangi bir modülasyonun olmamasıdır.

Pratik olarak aynı frekans kararlılıklarını FM ve ZM kararlılık tekniklerini kullanarak elde ettik. Büyük olasıkla frekans kararlılığı, cross-over rezonansa kilitlenmiş ikinci lazer frekansının değişimiyle sınırlıdır. Bu rezonans Doppler-rezonans eğimi üzerindedir ve lazerin işık şiddetiyle hücrenin sıcaklığına bağlıdır. Söz konusu frekansın optik gúc bağlılığı Cs kapalı gewişlerindeki Doppler-free rezonansların karmaşık çizgi şekliyle de ilişkilidir.

Cs soğurulma spektrumunu gözlemek iwin deney düzeneği değiştirildi. Lazer, ayarlanabilir konfokal bir kaviteye kilitlendi. Bu durumda lazer frekansı tarandı ve atomik rezonans frekansının türeviyle orantılı olarak “lock-in” yükseltici sinyali, bilgisayar aracılığıyla kaydedildi. Gzlenn bazı rezonanslar Şekil-6’da gsterilmiştir.



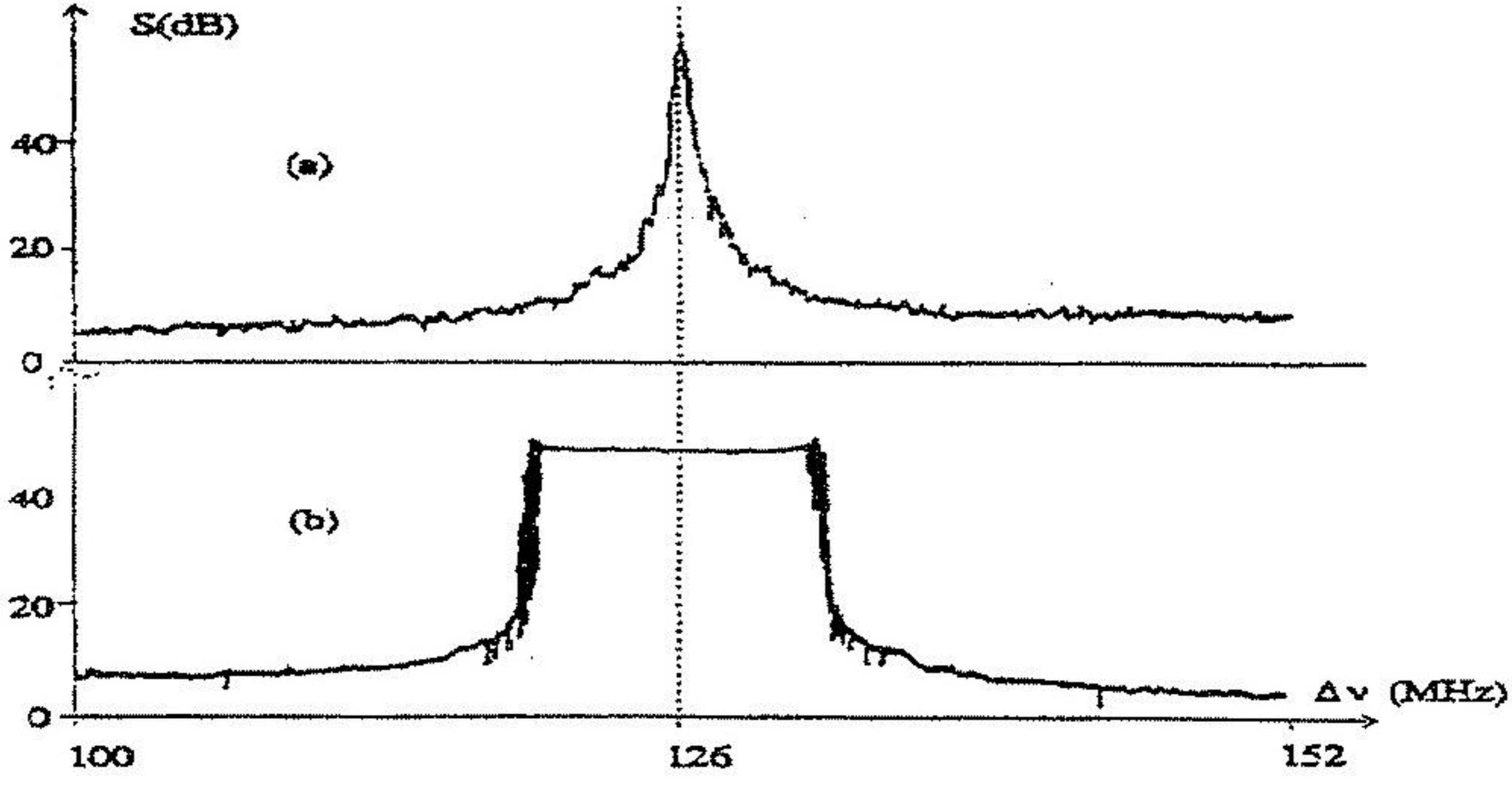
Şekil-3. ZM tekniğinde frekans farkının (MHz) pompalayıcı demet gücüne göre değişimi: (1)- R=0.15, (2)- R=0.3, (3)- R=1



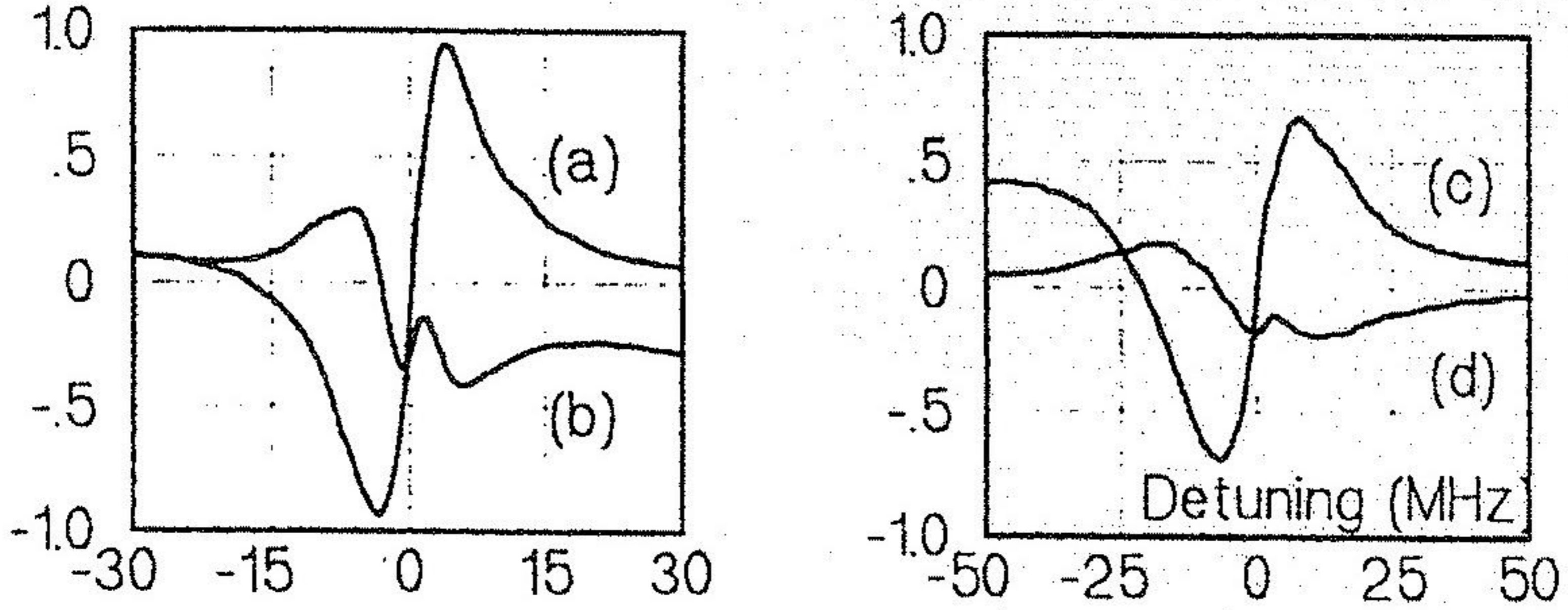
Şekil-4. Frekans kararlılığının ortalama zamana göre değişimi

Kapalı geçişteki doyum resonansının frekans kayması ve çizgi şeklinin daha iyi anlaşılabilmesi için teorik bir modelin geliştirilmesi oldukça yararlı olacaktır.

Çok seviyeli atomik sistem içinde kapalı geçişteki Doppler-free rezonansların çizgi şeklini göz önüne alırsak aşağıdaki fiziksel etkiler büyük önem taşımaktadırlar [6-10]: a) temel ve üst seviyedeki atom sayısının değişimi (optik geçişin doyurulması), b) temel Zeeman alt seviyelerinin optik pompalanması, c) komşu hf-geçişlerinin etkisi, d) ışık basıncı etkisi.



Şekil-5. Frekans farkının değişim spektrumu (a)- ZM, (b)- FM



Şekil-6. FM tekniğinde (a,b) ve ZM tekniğinde (c,d) değişik pompalayıcı demet gücünde elde edilen doyum rezonansları: (a)- $P=1$ mW, Lock-in hassasiyeti $S=200$ mV, (b)- $P=0.07$ mW, $S=1$ mV, (c)- $P=1$ mW, $S=200$ mV, (d)- $P=0.25$ mW, $S=20$ mV

Kısaca basitleştirilmiş bir Cs kapalı geçiş modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Düşük lazer demeti şiddetlerinde (şekil-6 b,d) kapalı geçiş Doppler-free rezonansı, işaret ve genişlikleri farklı iki rezonansın süperpozisyonudur. Dar rezonans optik geçişin doyumu, geniş olanı ise Zeeman alt seviyelerin optik pompalanmasının sonucudur. Dar rezonanstaki frekans kayması ışık basınç etkisine

bağlanabilir. Cs kapalı geçişlerdeki doyum rezonanslarının spektral özelliklerinden ise daha önceki çalışmalarımızda bahsedilmişti [9,10].

Şekil-6 a,c'den görüldüğü gibi yüksek şiddetteki pompalayıcı lazerle uyarılmış rezonansın eni, genliğin hızlı bir şekilde yükselmesiyle daralmaktadır. Fakat bu durumda komşu hf-geçişlerinin etkisi artar. Yani $F=4$ temel durumundaki atomların bir kısmı temel durumdaki soğutulmayan $F=3$ seviyesine $F=4 - F'=4$ komşu hf-geçişlerinin uyarılmasıyla optiksel olarak pompalanır. Bu optik pompalama, kapalı geçişlerin, ($F=4 - F'=5$), sayısını azaltır. Sonuç olarak Doppler soğutulma spektrumu deforme olur ve ışık basıncının katkısı da azalır.

4. SONUÇ

İki adet ECDL Cs D_2 seviyesine FM ve ZM teknikleri kullanılarak kilitlenmiştir. Bu lazerlerin frekans farkları ölçülerek, bu farkın ışık şiddetine göre değişimi incelenmiş ve 10^{-12} 'den daha iyi bir frekans kararlılığı elde edilmiştir. Zeeman modülasyonlu lazer ile bant genişliği 1 MHz'den küçük spektrum elde edilmiştir. Bu kararlı lazerler atomların optiksel olarak soğutulmalarında ve tuzaklanmalarında kullanılacaklardır.

Çalışmalara katkılarından dolayı Dr. V. Sautenkov, İ. Taşkın ve S. Acak'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. A. Clarion, P. Laurent, G. Santarelli, S. Ghezali, S.N. Lea ve M. Bahoura, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 44 (1995) 128
2. M.W. Hamilton, *Contempr. Phys.*, 30, (1989) 21.
3. G.D. Rovera, G. Santrelli ve A. Clarion, *Rev. Sci. Instrum.*, 65 (1994) 1502
4. T. Ikegami, S. Ohshima ve M. Ohtsu, *Jap. J. Appl. Phys.*, 28 (1989) L1839
5. T. P. Dinneen, C. D. Wallace ve P.L.Gould, *Optics. Comm.*, 92 (1992) 227
6. P.G. Pappas, M.M. Burns, D.D. Hinshelwood, M.S. Feld, D.E. Murnick, *Phys. Rev.*, A21 (1980) 1995
7. D.H. Yang, Y.Q. Wang, *Opt. Commun.*, 74 (1989) 54
8. A.P. Kazanzev, G. I. Surdutovich, V.P. Yakovlev, *JETP Lett.*, 43 (1986) 281
9. R. Gamidov, A. C. Ismailov, H. Ugur, *Optics and Spectr.*, 77 (1994) 7
10. R. Gamidov, İ. Taşkın, V. Sautenkov, *Symp. on Freq. Stand. and Metrolog.*, 245 (1995)