T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

TEK ÇANAK RADYO TELESKOP KALİBRASYON TEKNİKLERİ

Hazırlayan
Recep BALBAY

Danışman
Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK

Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2017
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

TEK ÇANAK RADYO TELESKOP KALİBRASYON TEKNİKLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Recep BALBAY

Danışman
Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir.
Proje Numarası: FYL-2017-7095

Temmuz 2017
KAYSERİ

Prof.Dr. İbrahim KÜÇÜK danışmanlığında **Recep BALBAY** tarafından hazırlanan **"Tek Çanak Radyo Teleskop Kalibrasyon Teknikleri"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Astronomi ve Uzay Bilimleri** Ana Bilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12 / 07 / 2017

JÜRİ:

Başkan : Prof.Dr. İbrahim KÜÇÜK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hasan AK

Üye : Doç.Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 25.07.2017 tarih ve 2017/31-12 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

25 / 07 / 2017

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince danışmanlığımı yapan, bilgi ve tecrübesi ile yol gösteren, beraber çalışmaktan onur ve gurur duyduğum değerli hocam sayın Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK'e,

Gerek akademik gerekse sosyal hayatta karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımcı olan, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ferhat Fikri ÖZEREN'e ve Yrd. Doç. Dr. Nurten FİLİZ AK'a,

Bu tez çalışmasına maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 113F266 ve Proje No: 115F032) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje No: FYL-2017-7095),

Hayatım boyunca sevgileriyle beni ayakta tutan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Son olarak,

"Hayatta en hakiki mürşit ilimdir, fendir." vecizesiyle bizlere tek doğru yol olan bilimi gösteren ve bizleri bu yola teşvik eden **Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK**'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Recep BALBAY

Kayseri, Temmuz 2017

TEK ÇANAK RADYO TELESKOP KALİBRASYON TEKNİKLERİ

Recep BALBAY
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2017
Danışman: Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK

ÖZET

Bu tez çalışmasında, ERÜ UZAYBİMER UYG-AR Merkezinde bulunan ERT-5 tek çanak radyo teleskopu için akı kalibrasyonu çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için radyo teleskop sisteminde kullanılmak üzere radyo teleskop kontrol kumandası ve radyometre alıcı cihazları tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiştir.

Bu tez çalışması ile ERT-5 tek çanak radyo teleskopu gözlem yapabilme kabiliyetine sahip olmuştur. Tez çalışmasının yürütülmesi üç aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada ölçüm ve kalibrasyon için gerekli donanımların (kumanda ve radyometre) prototipleri yapılmıştır. Ayrıca radyo teleskopun gerekli mekanik bakımları da yapılmıştır. Daha sonra ölçümlere geçilmiştir. Kalibrasyon işlemi için radyo teleskop sistemi bir cisme/yere (Ali Dağı vb.) çevrilmiş ve belirli bir süre zarfında ölçümler alınmıştır. Sonra hedef gök cisimleri (Güneş, Ay vb.) gözlenmiştir. Sinyal-gürültü oranını (SNR) artırmak için gökyüzünde boş alanların gözlenmesi de kalibrasyon sürecinde kullanılmıştır. ERT-5 tek çanak radyo teleskopunun akı kalibrasyonu için kalibrasyon yöntemlerinden radyo teleskop sistemine en uygun olan iki tanesi (temel seviye gürültü modelleme ve pozisyon değiştirme tekniği) uygulanmıştır. Elde edilen bulgular ve sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca tez kapsamında, ERT-5 radyo teleskopuna ait bilinmesi gerekli tüm parametreler hesaplanmış ve bulgular kısmında gösterilmiştir.

Kalibrasyon işlemi kaynaklardan alınan akının hangi voltaj düzeylerine karşılık geldiğinin çok hassas bir şekilde belirlenmesidir. Güneş, Ay, yıldızlar ve diğer gök cisimlerini gözlemek için radyo teleskopa gelen radyo akının kalibre edilmesi gerekir.

Ancak kalibrasyon işlemi bir kere yapılması gereken bir işlem değildir. Her radyo gözlemi için gözleme başlamadan önce ve gözlem sırasında hatta gerekirse gözlem sonunda da yapılması gereken bir işlemdir. Radyo alıcıdan ölçülen değerler göreli ölçümlerdir (1 mikroVolt'a karşılık gelen dB) ve sistemin herhangi bir noktasında olan değişimlere bağlıdır. Bu değişimler aktarım kablolarında, LNB/LNA'larda veya anten yüzeyinde olabilir. Ölçülen değişimler sadece teleskop sistemine bağlı değildir. Atmosfer, radyo frekans girişimi (RFI), kozmik ardalan ışıması (CMB) ve diğer gök cisimleri de ölçülen değerlere etki etmektedirler. Bu değişimleri saptamak için genellikle gözleme başlamadan önce ve gözlem sonunda kalibrasyon verileri elde edilir. Ölçülen voltaj değerlerinin çok iyi belirlenmesi gözlem verilerinin kalite ve hassasiyetini arttıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Kalibrasyon, Tek Çanak, Radyo Teleskop

SINGLE DISH RADIO TELESCOPE CALIBRATION TECHNIQUES

Recep BALBAY
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, July 2017
Supervisor: Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK

ABSTRACT

In this study, flux calibration study was performed for ERT-5 single dish radio telescope at ERU-UZAYBİMER UYG-AR Center. Radio telescope controller and radiometer receiver devices are designed and prototyped to enable the use of the radio telescope system in order to make this study possible.

With this thesis, the ERT-5 single dish radio telescope has the ability to observe. The execution of the thesis work consists of three steps. In the first stage, prototypes of the necessary equipment (controller and radiometer) for measurement and calibration was made. In addition, mechanical maintenance of the radio telescope has been done. Then the measurements was taken. For calibration procedure, the radio telescope system was turned into an object/place (Ali Mountain.) and measurements was taken over a certain period of time. Then the target celestial objects (Sun, Moon, etc.) were observed. In order to increase the signal-to-noise ratio (SNR), the observation of empty areas in the sky was also used in the calibration process. Two of the calibration methods (baseline fitting and position changing technique) most suitable for the radio telescope system was applied to ERT-5 single dish radio telescope. Findings and results are discussed. In addition, all necessary parameters of ERT-5 radio telescope have been calculated and shown in the findings.

The calibration process is to determine very precisely which voltage levels the flow from the sources corresponds to. To observe the Sun, Moon, stars and other celestial objects, the radio flux falling into the radio telescope must be calibrated.

However, the calibration process is not a one time operation and is a procedure that must be performed before and during each observation and even at the end of observation. The values measured from the radio receiver are relative measurements (dB corresponding to 1 microvolt) and are dependent on the changes at any point in the system. These changes may occur on transmission cables, LNB / LNAs, or on the antenna surface. The measured changes do not depend solely on the telescope system. Atmosphere, radio frequency interference (RFI), cosmic microwave background (CMB) and other celestial objects also affect measured values. In order to detect these changes, calibration data is usually obtained before and after observation. The increase in the quality and accuracy of the observation data depends on the very good determination of the measured voltage values.

Keywords: Calibration, Single Dish, Radio Telescope

İÇİNDEKİLER

TEK ÇANAK RADYO TELESKOP KALİBRASYON TEKNİKLERİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI……...……i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI …….....……...ii
KABUL VE ONAY SAYFASI …….....…….iii
TEŞEKKÜR…….iv
ÖZET…….v
ABSTRACT……vii
İÇİNDEKİLER…….ix
KISALTMALAR VE SİMGELER……..xii
TABLOLAR LİSTESİ……...xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ……..xiv

GİRİŞ.....1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tarihçe.....3
1.2. Radyo Astronomide yapılan önemli keşifler.....4
1.3. Radyo Işıma Mekanizmaları.....6
1.3.1. Kara cisim Işıması.....6
1.3.1.1. Wien Yasası.....8
1.3.1.2. Stefan-Boltzman Yasası.....9
1.3.2. Atom ve Moleküllerin Tayfsal Çizgi Işımaları.....10
1.3.3. Sinkrotron (Synchrotron) Işıması.....12
1.3.4. Maser.....13

1.4. Radyo Astronomik Gereksinimler.....15
1.4.1. Başlıca Radyo kaynaklar.....15
1.5. Atmosfer geçirgenliği ve Radyo Spektrum Yönetimi.....17
1.5.1. Radyo Astronomide kullanılan frekans aralıkları.....19
1.6. Radyo Teleskoplar.....21
1.6.1. Tek Çanak Radyo Teleskoplar.....21
1.6.2. Sinyal ve Gürültü.....23
1.6.2.1. Sinyal.....23
1.6.2.2. Gürültü.....24
1.6.2.3. Radyo Frekans Girişimi (RFI).....26
1.6.3. Sinyal-Gürültü Oranı.....27
1.6.4. Radyo Teleskop Çözünürlüğü.....28
1.6.5. Radyo Teleskop Kazancı.....29
1.6.6. Radyo Teleskop Dizgeleri.....29
1.6.6.1. Interferometreler.....29
1.6.6.2. VLBI (Çok Geniş Taban Dizgeler).....30

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Kalibrasyon ve Önemi.....31
2.2. Radyo Teleskop için Hesaplamalar.....32
2.2.1. Ölçülen Voltaj düzeyi ile Akı arasındaki Bağıntı.....32
2.2.2. Anten Etkin Açıklığının Hesaplanması.....33
2.2.3. Sistem Sıcaklığının Hesaplanması.....34
2.2.4. Çözünürlük ve Entegrasyon Süresi.....35
2.3. Kaynak Dışı Gözlemler ile Gürültünün Modellenmesi.....36
2.3.1. Temel seviye eşleştirme.....36
2.3.2. Frekans Değiştirme.....37
2.3.3. Pozisyon Değiştirme.....38
2.4. Radyo Teleskop Teknik Bilgileri.....39
2.5. Prototip Radyometre ve Teknik Bilgileri.....41

3. BÖLÜM
BULGULAR

3.1. Radyo Teleskop Etkin Anten Açıklığının Hesaplanması.....44
3.2. Radyo Teleskop Sistem Sıcaklığının Hesaplanması.....44
3.3. Radyo Teleskop Hassasiyetinin Hesaplanması.....46
3.4. Radyo Teleskop Gözlem Verisi.....46
3.5. Radyo Frekans Girişim Ölçümleri.....47

4. BÖLÜM
TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç.....51
4.2. Öneriler.....54

KAYNAKLAR.....56
EKLER.....59
ÖZGEÇMİŞ.....112

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	**Anlamı**	**Birimi**
A_{eff}	Anten etkin açıklığı	(m^2)
c	Işık hızı	(m/sn)
dBμV	Mikro Volt desibel	(V)
G	Kazanç	(dB)
λ	Dalgaboyu	(m)
S	Tayfsal parlaklık	(W)
SFU	Solar Flux Unit	(J)
T_A	Anten sıcaklığı	(K)
T	Sıcaklık	(K)
v	Frekans	(MHz)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. IEEE radyo frekans isimlendirmesi.....19
Tablo 2.1. Radyo Teleskop Teknik Bilgileri.....40
Tablo 3.1. Güneş gözlemleri değerleri.....44
Tablo 3.2. Radyo Gözlem Verisi (Güneş).....47
Tablo 3.3. Radyo Gözlem Verisi (Ay).....47

ŞEKİLLER LİSTESİ

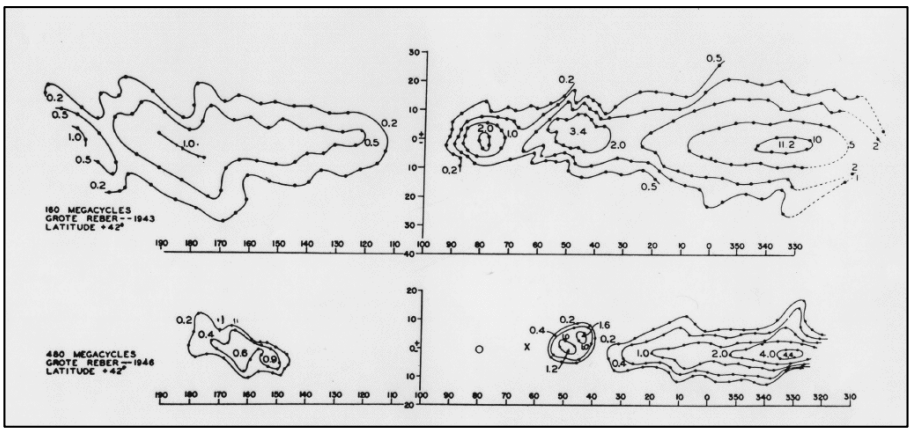
Şekil 1.1. Galaktik Radyo Dalgaları isimli kontur haritası....3
Şekil 1.2. Dalga boylarına karşılık gelen ışıma şiddeti....7
Şekil 1.3. 5 farklı sıcaklıkta kara cisimlerin parlaklık eğrileri....9
Şekil 1.4. 21 cm nötr hidrojen çizgisinin oluşumu....11
Şekil 1.5. Sinkrotron ışımasının oluşumu....12
Şekil 1.6. Uyarılmış ışıma süreci....13
Şekil 1.7. Başlıca radyo kaynakların frekansa karşılık gelen akı değerleri....16
Şekil 1.8. Atmosfer geçirgenliği....18
Şekil 1.9. Türkiye'de uygulanan Radyo Frekans (RF) spektrum yönetimi....20
Şekil 1.10. Tek çanak radyo teleskop genel şeması....21
Şekil 1.11. 32 metrelik tek çanak radyo teleskop....23
Şekil 1.12. Zenit açısına karşılık radyo teleskop sistem sıcaklığı....26
Şekil 1.13. Karl G. Jansky Çok Geniş Anten Dizgesi (VLA)....31
Şekil 1.14. Küresel VLBI – Dizgesi....31
Şekil 2.1. Radyo teleskop sıcaklık ölçümü (ideal durum)....35
Şekil 2.2. Radyo teleskop sıcaklık ölçümü (gerçek durum)....36
Şekil 2.3. Temel seviye çizgisini uygulanabildiği ve uygulanmadığı durum....38
Şekil 2.4. Frekans değiştirme yöntemine örnek ölçüm değerleri....39
Şekil 2.5. ERT-5 Radyo teleskop prototip kumandası....41
Şekil 2.6. Radyo teleskop için geliştirilen prototip radyometre....42
Şekil 2.7. Prototip radyometre iç yapısı....43
Şekil 3.1. ERT – 5 Radyo teleskopu....45
Şekil 3.2. Gözlenen akı değerlerine karşılık gelen sinyal seviyeleri....46
Şekil 3.3. Radyo teleskop ile alınan Güneş gözlem verileri....47
Şekil 3.4. Radyo teleskop ile alınan Ay gözlem verileri....48
Şekil 3.5. 1.2 GHz için RFI ölçümleri....48
Şekil 3.6. 1.44 GHz için RFI ölçümleri....49
Şekil 3.7. 1.5 GHz için RFI ölçümleri....49
Şekil 3.8. 1.65 GHz için RFI ölçümleri....50
Şekil 3.9. 1.79 GHz için RFI ölçümleri....50

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tarihçe

Radyo astronomi, gök cisimlerinin, elektromanyetik tayfın radyo bölgesindeki (3 kHz – 300 GHz) ışınımlarını inceler. 20. yy. başlarında radyo dalgalarının varlığı biliniyordu, ancak radyo dalga boylarında astronomik çalışmalar henüz başlamamıştı. Karl G. Jansky [1] kıtalararası iletişim hatlarındaki gürültüyü araştırmak için görevlendirildiğinde, hatlarda gürültüye sebep olan radyo dalgalarının insan kaynaklı olmadığını farketti ve bu radyo dalgalarının Samanyolunun merkezinden geldiğini keşfetti.

Jansky'nin çalışmalarını takip eden Grote Reber [2] bir parabolik anten inşa etti. Reber, 160 MHz ve 480 MHz'de gözlemler yaptı ve Samanyolunun merkezinden gelen radyo dalgalarını tespit etti. Reber, Şekil 1.1'deki en parlak bölgelerin Galaksi merkezine karşılık geldiğini gözlemledi. Şekil 1.1 de, Reber'in 1949 yılında yayınladığı "Galaktik Radyo Dalgaları" [3] çalışmasına ait gökyüzü (kontur) haritası görülmektedir.



Şekil 1.1. "Galaktik Radyo Dalgaları" isimli kontur haritası [1].

Jansky ve Reber'in yaptığı çalışmalar ile başlayan radyo astronomi gözlemleri, günümüzde yer yüzünün farklı kıtalarında kurulu olan radyo teleskoplar ile aralıksız devam etmektedir.

1.2. Radyo Astronomide yapılan önemli keşifler

Evren hakkında bilinenlerin önemli bir kısmı, radyo bölgede yapılan gözlemlerden elde edilmiştir ve bugüne kadar radyo bölgede birçok keşif yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

İkinci Dünya Savaşından önceki yıllarda, radar (radyo dalgaları ile tespit etme ve mesafe tayini) teknolojisinin geliştirilip kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, radarlara etki eden parazitlerin araştırılması gerekti. Southworth [4] yaptığı araştırmalar ile radarlardaki parazitlerin (istenmeyen gürültülerin) kaynağının Güneş aktivitesi olduğunu keşfetti. Daha sonra, Güneşi radyo bölgede inceleyen araştırmacılar, üç önemli keşif yaptılar. Bunlardan ilki, güneş koronasının yaklaşık bir milyon derece sıcaklıkta olduğu, ikincisi güneşten gelen radyo salınımlarının güneş yüzeyinde bulunan lekelerle ilgili olduğu ve üçüncüsü de güneşteki parlamalar (flare) sonucunda şiddetli radyo dalgaların yayınladığıdır [5]. Güneş çalışmaları için özel ekipmanların geliştirilmesiyle birlikte güneşteki patlamaların sınıflandırılması yapılmıştır.

Radyo galaksiler, radyo bölgede şiddetli ışımalar yapan aktif galaksilerdir [6]. 1945 yılında Hey ve arkadaşları [7] Kuğu (Cygnus) takımyıldızından gelen radyo gürültüyü keşfettiler. Ancak teleskoplarının çözünürlüğü yeterli değildi.
Daha sonra Baade ve Minkowski [8] gök yüzünün bu noktasını optik teleskoplar ile incelediler ve bu cismin o zamana kadar bilinen en uzak cisimden bile daha da uzak olduğu (~1 milyar ışık yılı) sonucuna vardılar. 1950'li yıllara gelindiğinde artık araştırmacılar yaklaşık 50 ayrık radyo kaynağı tespit etmişti. Daha sonra Laing ve Riley [9] radyo teleskop dizgesi kurarak 250'den fazla radyo kaynağı gözlemlediler. Bu gözlemler, günümüzde yaygın olarak kullanılan 3C kataloğunun (Third Cambridge Catalogue of Radio Sources) temelini oluşturmaktadır.

Büyük patlama modeli, evrenin çok küçük ve aşırı enerjik bir noktadan oluştuğunu varsayar. Alan Guth'un önerdiği [10] şişme teorisine göre Büyük Patlamadan hemen sonra evren çok hızlı bir biçimde genişledi. Büyük patlama modelinde, protonlar, elektronlar ve nötronlardan oluşan evren, 0,1 saniyeden 100 saniye gibi kısa bir sürede soğur. Ayrıca model, hidrojen (~%76), helyum (~%24) ve diğer elementlerin bolluğunu ve evrendeki baryonik madde oranını öngörmektedir. Büyük patlama modeli, evrenin ilk oluştuğu anlarda, parçacıkların yok olmasıyla açığa çıkan çok büyük foton yoğunluğu olması gerektiğini öne sürmektedir. Eğer model doğruysa, evren bir çeşit radyasyonla dolu olmalıydı. 1965 yılında, Penzias ve Wilson [11] karacisim sıcaklığı ~3 K dereceye karşılık, gökyüzünün tümünden gelen bir ışımayı tesadüf eseri keşfettiler. Bu ışımaya, Kozmik Arka Plan ışıması (CMB) denmektedir. CMB'nin keşfedilmesi, Büyük Patlama Modeline çok güçlü kanıtlar sunmuştur. Daha sonraları, bu ışımayı çok detaylı bir biçimde araştırmak amacıyla tasarlanan COBE (Cosmic Background Explorer) uydusu, CMB ışımasının tam olarak 2.7 K derecelik karacisim ışımasına geldiğini keşfetti. CMB'ın keşifleri Penzias ve Wilson'a 1978 yılında ve COBE uydusu tasarımcılarına, John C. Mather ve George F. Smoot, 2006 yılında Nobel ödülünü getirdi.

21 cm (1420 MHz) Nötr Hidrojen (HI) çizgisi salınımının tahminini yapan kişi Hendrik Van de Hulst'tır [12]. 21 cm çizgisinin gözlemlenmesi, radyo bölgede de tayfsal çizgi gözlemlerinin yapılabileceğini göstermiştir. 21 cm çizgisi, 1951 yılında, Harold Ewen ve Edward M. Purcell tarafından gözlenmiştir [13]. Hidrojen, yıldızların ve galaksilerin temel elementi olmasından dolayı, 21 cm çizgisinin gözlenmesi, bu yapıların oluşumu ve evrimleri hakkında bilgi verir. 21 cm çizgisinin yüksek çözünürlüklü gözlemlerinin yapılması ile birlikte, Samanyolunun spiral yapısı ilk kez gözlenmiştir.

Ayrıca hidrojenin galaksinin her tarafında eşit dağıldığı var sayılarak, Doppler kaymasından etkilenen 21 cm çizgileri tespit edebilir ve galaksi kollarının dönüş hızları bulunabilir. Bu yöntem kullanılarak Samanyolunun dönüş eğrileri hesaplanmıştır [14].
1967 yılında, Antony Hewish ve öğrencisi Jocelyn Bell, şans eseri, 1919+21 koordinatında oldukça düzenli bir radyo sinyali keşfettiler [15]. Bu yeni türe, Atımlı Radyo Kaynaklar (Pulsating Radio Sources) yani Pulsar adını verdiler. Pulsarları keşfettiği için Antony Hewish ile açıklık sentezi (aperture synthesis) tekniğini geliştirip [16] önemli gözlemsel çalışmalar yaptığı için de Martin Ryle'ye, 1974 yılında Nobel

Ödülü verildi. Son derece düzenli olan “atımları” nedeniyle, Thomas Gold, pulsarların nötrön yıldızları olduklarını ileri sürdü [17]. Gold’un açıkladığı gibi, Pulsarlar, manyetize olmuş ve kendi etraflarında yüksek hızlarda dönen nötron yıldızlarıdır. Nötrön yıldızının kutuplarından uzaya doğru elektromanyetik ışın demeti yayılır. Bu ışın demetinin, yayılımı dünyaya doğruysa, nötron yıldızının, düzenli aralıklarla yanıp sönme efekti gösterdiğini gözleriz. Nötron yıldızları, 1934 yılında, Baade ve Zwicky [18] tarafından öne sürülen, süpernova patlamasının ardından kalan küçük çaplardaki yoğun cisimlerdir. Bugüne kadar yaklaşık olarak 2600 tane pulsar kataloglanmıştır [19].

1963 yılında, Weinreb ve arkadaşları [20] 1665 MHz ve 1667 MHz frekanslarında, yıldızlararası moleküler OH (hidroksil) soğurma çizgilerini keşfetti. 1968 yılında, Cheung ve arkadaşları [21] yıldızlararası ortamda NH_3 (amonyak) moleküllerini keşfetti. Bu keşiflere benzer şekilde, Samanyolu galaksisinde ve yıldızlararası ortamda, yaklaşık 150 molekül keşfedildi. Ayrıca karbon monoksit (CO) molekülü, yakın ve uzak galaksiler ve çok uzak kuazarlarda da keşfedildi [22]. 1982 yılında, ilk kez hidroksil (OH) molekül megamaserı (normal maserlardan ~10^6 kat daha parlak) en yakın aşırı parlak kızıl öte galaksilerde gözlendi [23]. Galaksilerden gelen bu ışınım, galaktik merkeze yakın bölgelerden gelmektedir. Bu moleküllerin gözlenmesi ile galaktik merkezdeki karadeliğin kütlesi hakkında tahminler yapılmaktadır.

1.3. Radyo Işıma Mekanizmaları

1.3.1. Kara cisim Işıması

Tüm cisimler, mutlak sıfırın üzerinde elektromanyetik dalga biçiminde ışıma yaparlar [24]. Cisimler sadece ışıma yapmakla kalmaz, aynı zamanda üzerine düşen tüm elektromanyetik enerjiyi soğurur. Böyle mükemmel bir soğurma ve ışıma yapan cisme “kara cisim” denir. Kara cisim, çevresiyle hiçbir ısı alışverişi olmayan, küçücük bir deliği olan bir kovuk olarak düşünülür. Yıldızların iç bölgelerindeki gazlar tüm dalga boylarındaki ışımalara karşı opaktır. Bu sebeple yıldızları kabaca birer kara cisim olarak düşünürüz. Kara cisimin yaptığı ışıma, onun sıcaklığına ve dalga boyuna bağlıdır.

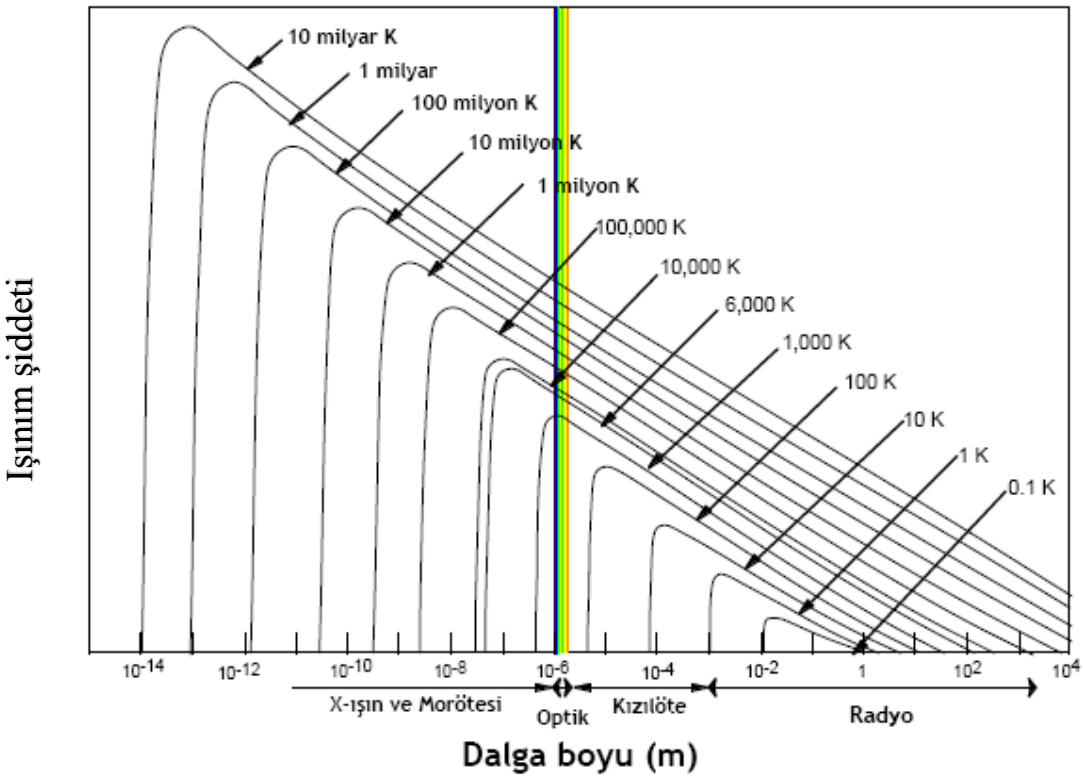
Kara cisim ışımasının parlaklığını, *Planck yasası* belirler. Max Planck [25] 1900 yılında bir kara cismin, T sıcaklığında yaptığı ışımayı

$$B_v(T) = \frac{2hv^3}{c^2}\frac{1}{e^{\frac{hv}{kT}}-1} \tag{1.1}$$

şeklinde tanımlamıştır. Bağıntıda, B parlaklık $(watt/m^2\,Hz\,rad^2)$, h Planck sabiti $(6.63\,x\,10^{-34}\,J\,sn)$, $v\ frekans\ (Hz)$, c ışık hızı $(3\,x\,10^8 m/sn)$, k Boltzmann sabiti $(1.38\,x\,10^{-23}\,J/K)$ ve T sıcaklıktır $(Kelvin)$. Elektromanyetik ışımada $frekans\ (v)\ ile\ dalga\ boyu\ (\lambda)$ arasında, $\lambda = cv^{-1}$ bağıntısı kullanılarak Planck denklemi dalga boyuna göre de yazılabilir.

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1} \tag{1.2}$$

Planck denklemi sıcaklığa bağlıdır. Denklem, sıcaklık artıkça, parlaklığın en fazla olduğu noktanın yüksek frekanslara doğru, ya da sıcaklık azaldıkça daha düşük frekanslara doğru kayacağını söyler (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Dalga boylarına karşılık gelen ışınım şiddetleri.

Planck denklemine basit yaklaşımlar yaparak elektromanyetik tayfın uzun ve kısa dalgaboyu tarafları için oldukça kullanışlı denklemler elde edilir.

$hv \gg kT$ için;

$$B_v(T) = \frac{2hv^3}{c^2} e^{-\frac{hv}{kt}} \tag{1.3}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{\lambda kt}} \tag{1.4}$$

denklemleri elde edilir. Bu yaklaşımlar, sıcaklığın yüksek (yüksek frekans ve kısa dalga boylarında) olduğu durumda geçerlidir. Bu bağıntılara *Wien Dağılımı* denir.

$hv \ll kT$ için;

$$B_v(T) = \frac{2hv^2 kT}{c^2} \tag{1.5}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^2} \tag{1.6}$$

denklemleri elde edilir. Bu yaklaşımlar, sıcaklığın düşük (düşük frekans ve uzun dalga boylarında) olduğu durumda geçerlidir. Bu bağıntılara *Rayleigh-Jeans dağılımı* denir.

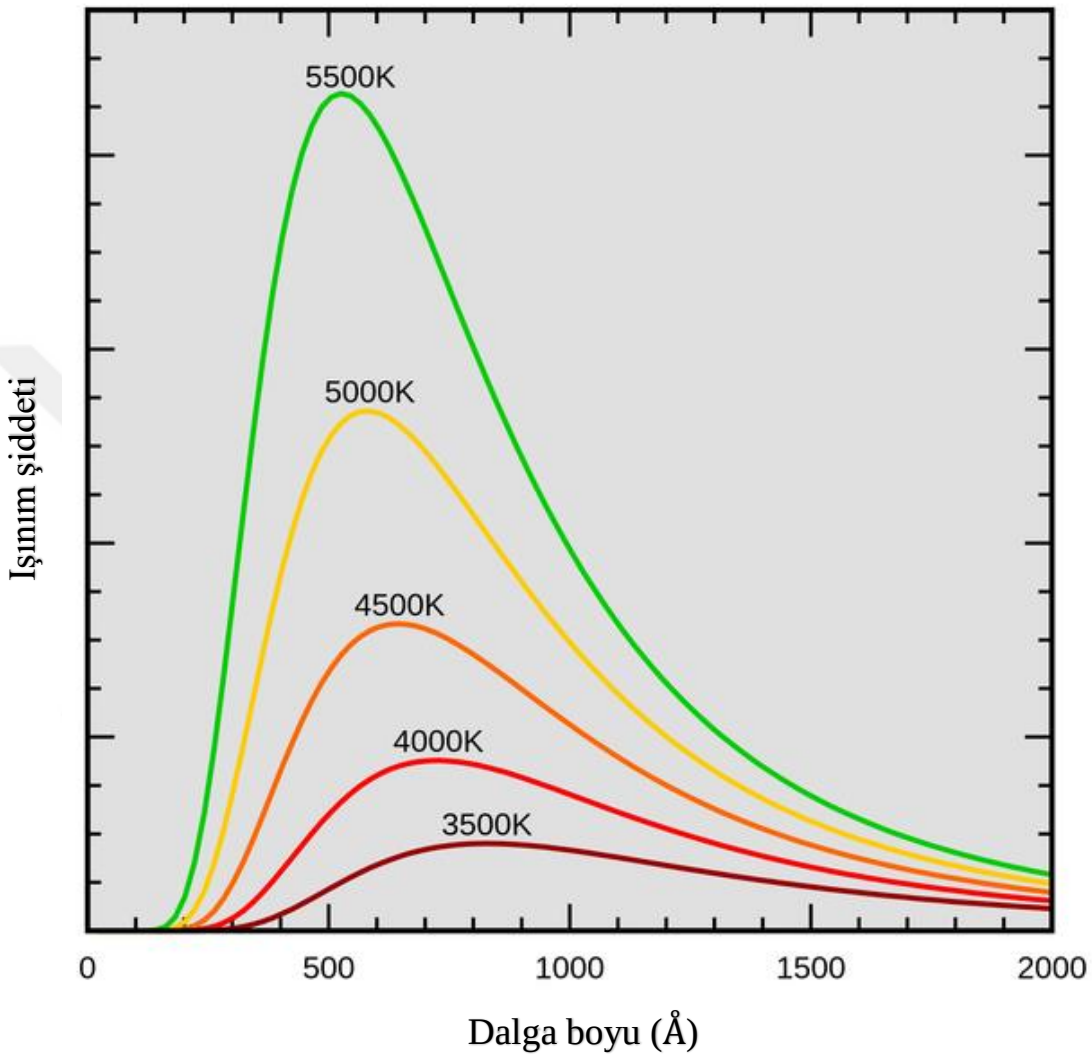
1.3.1.1. Wien Yasası

Wien [26] bir kara cismin yaydığı ışınımın en yüksek noktasına (zirvesine) karşılık gelen dalga boyunu veren denklemi buldu. Tepe noktasına karşılık gelen dalga boyu bağıntısına, *Wien Kayma Yasası* denir.

$$\lambda_{max} = \frac{2.898\ x\ 10^{-3}}{T} \tag{1.7}$$

Denklemde, T sıcaklık (K) ve λ $(lambda)$ metre birimindedir. Güneşi, bir karacisim olarak kabul edip, yaptığı ışımanının tepe noktasının yaklaşık olarak 5000 Å (Angström)'e karşılık geldiğini görürüz. Bu bilgileri, denklemde yerine koyarsak, Güneşin yüzey sıcaklığının yaklaşık olarak ~5800 K derece olduğu ortaya çıkar. Teorik olarak bulduğumuz bu değer, günümüzde ki hassas ölçümlere oldukça yakındır [27].

Şekil 1.3'te 5 farklı kara cisim sıcaklıkları için dalga boyuna karşılık parlaklık grafiği gösterilmektedir.



Şekil 1.3. 5 farklı sıcaklıktaki kara cisimlerin parlaklık eğrileri.

1.3.1.2. Stefan-Boltzman Yasası

Planck eğrisinin altındaki alan, toplam enerji akısını (Total Flux) verir. Toplam akı ya da kısaca F, tüm dalga boylarında tüm katı açılar üzerinden kara cisim ışınımıdır.

$$F\ (T) = \ \sigma\, T^4 \tag{1.8}$$

Denklemde σ (sigma) Stefan-Boltzmann sabitidir. Sabitin değeri:

$$\sigma = 5.669\ x\ 10^{-8}\ W/m^2K^4\ d\ddot{u}r.$$

Işınım akısının (F) sıcaklığa olan bağlılığı, John Tyndall'ın yaptığı deneysel çalışmalara dayanarak Josef Stefan tarafından keşfedildi ve termodinamik denklemleri kullanılarak Ludwig Boltzmann tarafından bağıntıya dönüştürüldü.

Stefan-Boltzmann yasasına göre, bir kara cismin parlaklığı, sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle orantılıdır. Yıldızları kara cisim ve R yarıçaplı bir küre olarak kabul edersek, yıldızların toplam ışıma gücü L ($l\ddot{u}minosite$):

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \tag{1.9}$$

olarak bulunur. Yıldızlar birer küre olarak kabul edilir ve $4\pi R^2$ ifadesi, R yarı çaplı kürenin yüzey alanıdır. Toplam ışıma gücünün (L) birimi Watt (J/sn)'tır.

Kara cisim kareteristiğini dört cümlede özetlersek:

1. Mutlak sıfırın (-273 K) üzerindeki sıcaklıklara sahip tüm cisimler, tüm dalga boylarında, elektromanyetik enerji yayarlar.
2. Sıcak bir kara cisim, soğuk bir kara cisme göre, birim alanda ve bir zamanda, tüm dalga boylarında, daha çok enerji yayar.
3. Sıcak bir kara cismin, soğuk bir kara cisme göre yaydığı enerjinin büyük bir kısmı, elektromanyetik tayfın daha yüksek enerjili (frekanslı) bölgelerindedir.
4. Bir kara cismin, birim yüzeyinden birim zamanda yayılan toplam akı (F), onun sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle orantılıdır.

1.3.2. Atom ve Moleküllerin Tayfsal Çizgi Işımaları

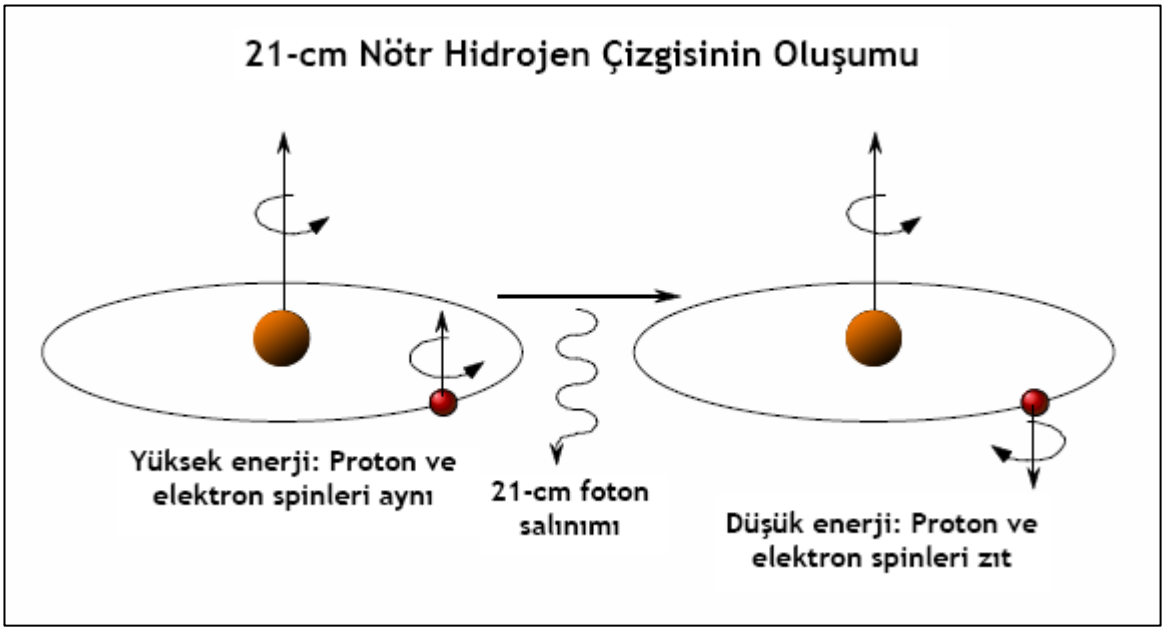
Tayfsal ışımaların arkasındaki temel mekanizma, elektronların enerji seviyeleri (yörüngeler) arasında yer değiştirirken soğurduğu veya saldığı fotonlardır. Salınan fotonlar, tayfta salma çizgilerini oluştururken, soğrulan fotonlar da tayfta karanlık çizgileri yani soğurma çizgilerini oluştururlar. Nötr hidrojen (H I) atomunda ise durum

biraz farklıdır. Hidrojenin düşük enerjili (taban) seviyesinde, proton ve elektron ters spinlerde döner.

Hidrojen atomu, başka bir atom veya elektron ile çarpışarak az miktarda enerji elde ettiğinde, proton ve elektron dönüşleri aynı yönde hizalanır ve atom uyarılmış duruma gelir. Bir üst uyarılmış durumdaki enerji (E_2), taban seviyedeki enerjiden (E_1) daha büyüktür. Aradaki enerji farkı $\Delta E = E_2 - E_1$, $5.87\ x\ 10^{-6} eV$'tur. Atomun doğası gereği taban seviyeye dönmesi için bu enerji farkına karşılık gelen frekansta $(\Delta E = hv)$ yani 1420.4 MHz'de (21 cm) bir foton yayması gerekir.

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} = \frac{4.13\ x\ 10^{-15}\ eV\ sn\ x\ 2.99\ x\ 10^{8}\ m\ sn^{-1}}{5.87\ x\ 10^{-6}\ eV} \cong 21.1\ cm \cong 1420.4\ MHz$$

Şekil 1.4'te soldaki durumda hidrojen atomu yüksek enerji seviyesindedir. Hidrojen atomu doğal durumuna 21 cm dalga boyunda bir foton yayarak döner. Sağdaki durum düşük enerjili (doğal) durumdur.

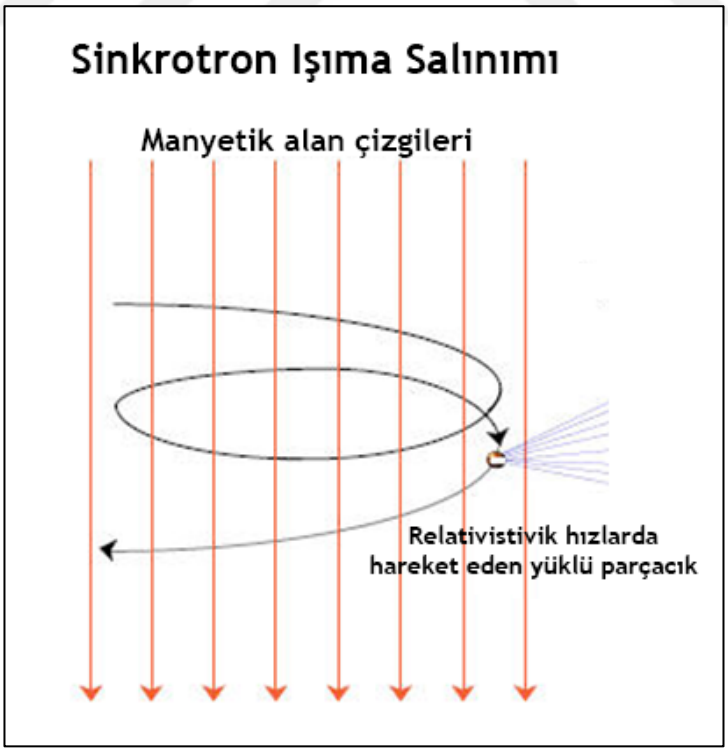


Şekil 1.4. 21 cm nötr hidrojen çizgisinin oluşumu. Hidrojen atomu, başka bir atom veya elektron ile çarpışarak az miktarda enerji elde ettiğinde, proton ve elektron dönüşleri aynı yönde hizalanır ve atom uyarılmış duruma gelir.

Hidrojen, evrende en bol bulunan elementtir. Yıldızların ve galaksilerin temel bileşini olmasından dolayı, 21 cm çizgisinin gözlenmesi, bu tür yapıların oluşumu ve evrimleri hakkında önemli bilgiler verir. Hidrojen, yıldızlararası ortamın en temel bileşeni olduğu için bu bölgeler, hidrojen nötr (H) ya da bir kere iyonlaşmış (H I) bölgeleri olarak adlandırılır.

1.3.3. Sinkrotron (Synchrotron) Işıması

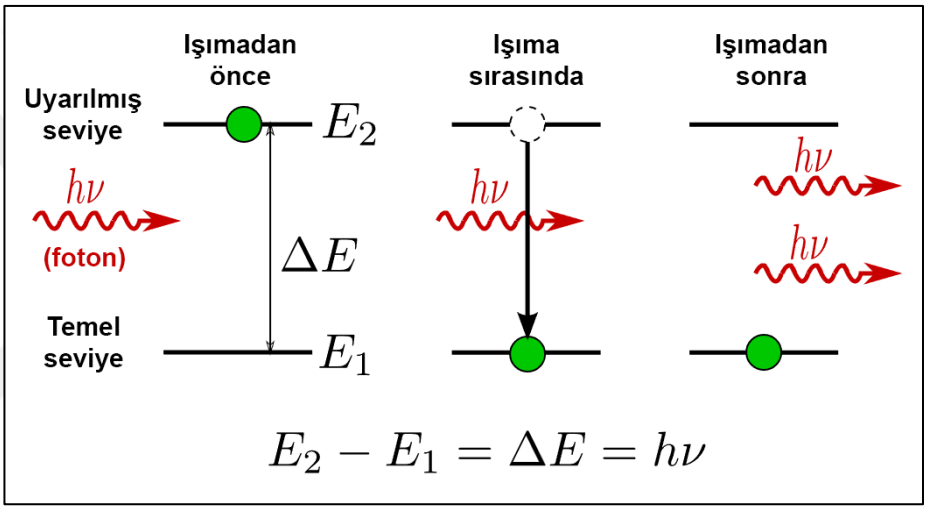
Manyetik alan içerisinde hareket eden yüklü parçacıklar enerji yayar. Sinkrotron ışınım mekanizması, yüklü parçacıkların manyetik alanlarla etkileşime girmesidir. Yüklü bir parçacık manyetik alana girdiğinde, manyetik alan, parçacığı manyetik kuvvet çizgileri etrafında dairesel veya spiral bir yörüngede hareket etmeye zorlar. Böylece parçacık hızlanır ve enerji yaymaya başlar. Parçacıklar relativistik hızlara ulaştıklarında özellikle radyo bölgede çok güçlü ışımalar yapmaya başlarlar. Düşük hızlarda, sinkrotron ışıması görülmez. Şekil 1.5'te sinkrotron ışımasının oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Sinkrotron ışımasının oluşumu. Yüklü bir parçacık manyetik alana girdiğinde, manyetik alan, parçacığı manyetik kuvvet çizgileri etrafında dairesel veya spiral bir yörüngede hareket etmeye zorlar. Böylece parçacık hızlanır ve enerji yaymaya başlar.

1.3.4. Maser

1917 yılında, Einstein, "uyarılmış salınım" teorisini ileri sürdü. Einstein, izole bir ortamdaki uyarılmış bir atomun, foton yayarak daha düşük enerjili temel seviyeye ineceğine önerdi ve bu olaya kendiğilinden olan (spontane) ışıma dedi. Einstein'a göre, uyarılmış atomlar sadece uygun frekanstaki fotonları soğuracak ve bir başka foton (uygun frekansta) uyarılmış atoma doğru geldiğinde, atom temel (doğal) seviyeye inerek bir foton yayacaktır. Şekil 1.6'da uyarılmış ışımanın oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Uyarılmış ışıma süreci

MASER, *Microwave Amplification Stimulated Emission of Radiation* kelimelerinin kısaltmasıdır. Herhangi bir kaynaktan (yıldız vb.) çıkan ışınım, moleküler gazların olduğu ortamdan geçtiğinde, ortamdaki düşük enerji seviyeli parçacıklar uyarılırlar ve kısa bir süre sonra temel enerji seviyelerine geri dönerler. Moleküller bu anda, uyarıldıkları enerjiye karşılık gelecek frekansta bir foton yayarlar ve bu olguya maser denir.

Maser'lar moleküler bulutlarda ve galaksi merkezlerine yakın bölgelerde gözlenirler ve radyo bölgede şiddetli ışımalar yaparlar. Maserler, oluştukları bölgeler hakkında önemli (sıcaklık, ortamdaki gazın hızı, manyetik alan şiddeti vb.) bilgiler verir. Maserler, yıldız oluşum bölgelerinde sıklıkla görüldüğünden dolayı bu bölgelerin işaretidir.

Astrofiziksel yani doğal maserlerdan önce, 1953 yılında, Townes, Gordon ve Zeiger ilk yapay maseri üretti. Bilim insanlarının laboratuvarda üretmek için yıllarca çabaladığını doğanın kendisi zaten yapmaktaydı. 1965 yılında, Weaver, 1665 MHz frekansında, ilk kez doğal olarak gerçekleşen maserı keşfetti. Ancak 1965 yılından önce birçok bilim insanı uzayda moleküllerin olmadığını düşünüyordu. Bundan dolayı, bu salınımı dünya dışı yaşamla ilişkili olabileceğini düşündüler ve adına 'Mysterium' dediler. Bu yapılan keşfin, daha sonra moleküler bulutlardaki OH (hidroksil) moleküllerine ait olduğu anlaşıldı. Devam eden başlıca keşifler sırası ile şunlardır:

- 1969 yılında Su (H_2O) maseri,
- 1970 yılında metanol (CH_3OH) maseri ve
- 1974 yılında silikon monoksit (SiO) maseri.

Yıldızlararası ortam, moleküler türlerinden çok azını içermektedir. Yukarıda bahsedilen moleküllerden farklı olarak $CH,\ H_2CO, NH_3, HNCNH, SiS, SiO\ ve\ HCN$ gibi moleküller verilebilir. Normalde bu moleküllerin azlığından dolayı, onların çizgi salınımlarının gözlemlenmesi çok zor olacaktır.

Astrofiziksel maser yapıları oldukça sıkıdır. Bundan dolayı şekillerini anlamak için VLBI gibi yüksek çözünürlüklerteki radyo teleskop sistemleri kullanılmaktadır. Maser yapılarını sıkı olmaları, oluştukları bölgelerin hızlarının belirlenmesine olanak tanır.

Maser frekansları, yıldızlararası tozdan geçmeye uygundur ve tozu görmemizi sağlar. Ayrıca maserlerin kutuplanması, bu bölgelerdeki manyetik alanların yönü ve şiddeti hakkında bilgiler verir.

Bazı maser ışımaları normal maser ışımalarına göre 10^9 kat daha güçlü olabilmektedir. Bunlara, megamaser denir. Megamaserlar aktif galaksi çekirdeklerinde görülürler. Büyük bir moleküler diskin galaksi merkezindeki kara deliğe doğru düşmesi sonucunda oluşan ışıma çevredeki molekülleri uyarır ve megamaserlar oluşur. En güçlü megamaser ışımaları Su (H_2O) maseri 22.2 GHz ve 76.0 – 116.0 GHz de gözlenir. Megamaserler gözlenerek kara deliklerin kütleleri ve galaksilerin uzaklıkları hakkında bilgiler elde edilebilir.

1.4. Radyo Astronomik Gereksinimler

Radyo astronomide elektromanyetik ışınımın incelenmesi iki durumda ele alınmaktadır. Bunlardan ilki, özel frekanslardaki moleküller ya da atomlardan gelen tayfsal çizgi ışımasıdır. Diğeri ise çok geniş bant aralığındaki fiziksel koşullardan kaynaklanan sürekli ışımadır. Çizgi ışımalarını ve geniş bantlardaki ışımaları gözleyebilmek, yüksek tayfsal çözünürlük, yüksek açısal çözünürlük ve yüksek zamansal çözünürlük ile mümkün olmaktadır. Ayrıca gelişmiş teknolojik enstrümanlar da oldukça önemlidir.

Yüksek tayfsal çözünürlük, radyo kaynakların kinematiklerinin analizinde çok önemli bir yere sahiptir.

Yüksek açısal çözünürlük, radyo kaynakların yapılarının detaylı çalışmalarında önemli bir konudur.

Yüksek zamansal çözünürlük, radyo kaynakların zaman değişimi çalışmalarında oldukça önemlidir. Bu değişimler mikro saniyeler mertebesinde gerçekleşmektedir. Bu tür gözlemlere örnek olarak Pulsarlar verilebilir. Bazı pulsarlar saniyede 650 defa dönebilmektedirler. Bu tür pulsarlara milisaniye pulsar (MSP) adı verilmektedir.

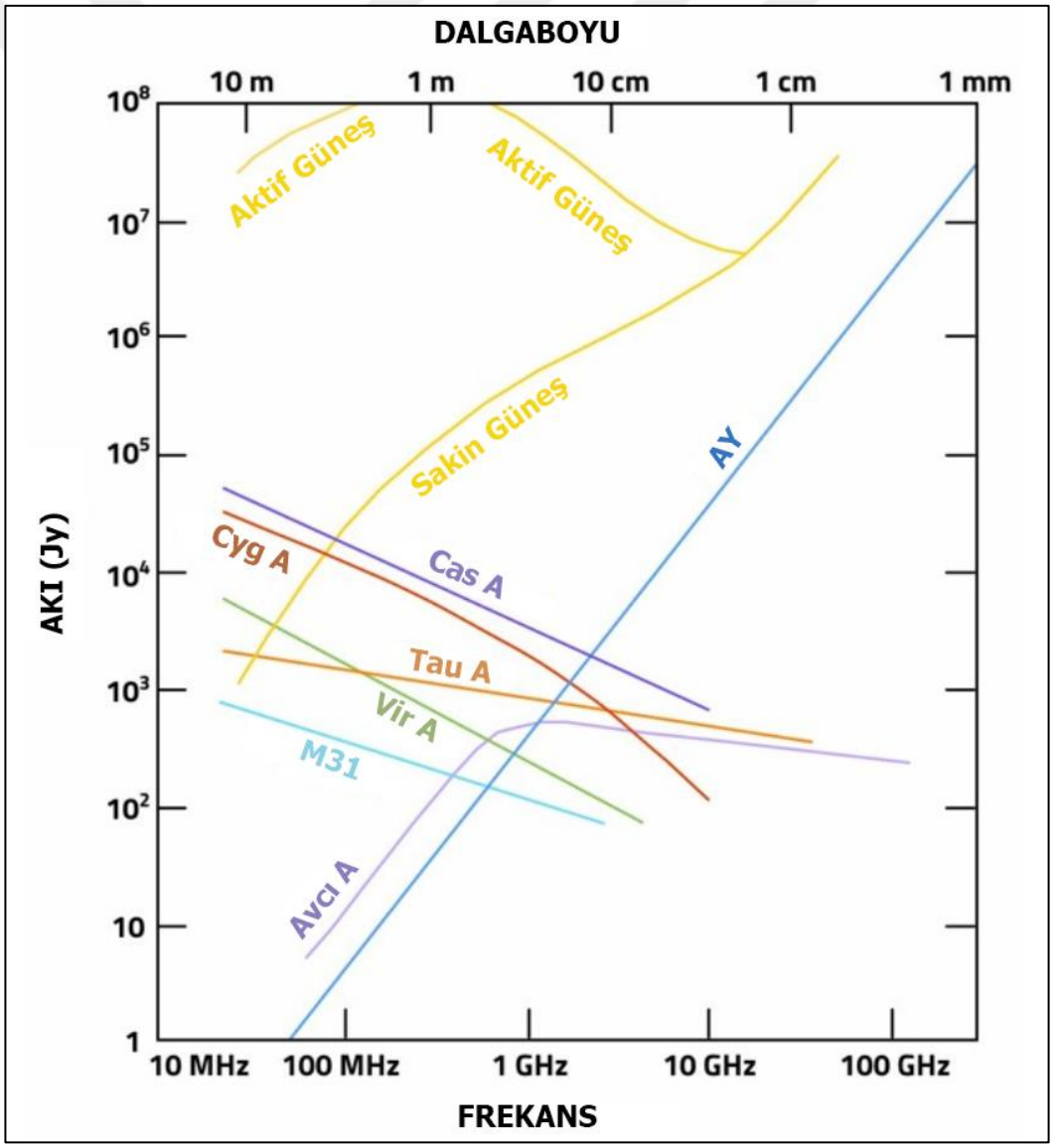
1.4.1. Başlıca Radyo kaynaklar

Son derece yakın olduğumuzdan dolayı bizim için önemli bir yıldız olan Güneş, radyo astronomların her zaman ilgi kaynağı olmuştur. Güneşten gelen yoğun ve hızlı patlamalar, aktif dönemlerde Güneş'te neler olup bittiğini ve bu patlamaların Dünya atmosferi ile iyonosferindeki olayları nasıl etkilediğini daha iyi anlamamızı sağlamaktadır.

Radyo Astronomi, yıldızların yaşamlarının erken ve geç evreleri hakkında, evrim sürecinde önemli olan ancak iyi anlaşılmayan aşamalar hakkında yeni bilgiler sağlamıştır. Hidroksil (OH) ve su (H_2O) moleküllerinin spektral çizgilerindeki güçlü radyasyon, yıldız olma sürecinde görünen cisimlerin (proto-star) kabuklarında bulunur.

Bazı dev moleküler bulutların aslında yeni yıldızların üretildiği yerler oldukları keşfedilmiştir. Bu tür bulutlar yalnızca radyo astronomi gözlemleriyle incelenebilir.

Süpernova kalıntıları üzerine yapılan radyo astronomi çalışmaları, yıldızların yaşamlarının sonunda maddenin evrendeki en şiddetli patlamalar ile dışarıya doğru atıldığını gösterdi. Ayrıca bu tür patlamalar sonrasında eski süpernovanın kalbi sayılabilecek aşırı yoğun ve sıkışık cisimler olan nötron yıldızları radyo astronomi gözlemleri sonucunda keşfedilmiştir.



Şekil 1.7. Başlıca radyo kaynakların frekansa karşılık gelen akı değerleri.

Pulsar adı verilen ve bir nötron yıldızının ekseni etrafında düzenli periyotlarla (saniye ya da milisaniyeler mertebesinde) dönmesi sonucu radyo bölgede adeta deniz feneri gibi ışımalar yapan gök cisimleri de güçlü radyo kaynaklara birer örnektir. Şekil 1.7'de bazı önemli kaynakların frekanslarına (dalga boylarına) karşılık akı değerleri gösterilmektedir.

Ayrıca birçok uzak galaksi radyo bölgede çok şiddetli ışımalar yapmaktadır. Bu "radyo galaksiler" muazzam enerji kaynaklarını ve patlama olaylarını anlamak için yapılan birçok çalışmanın konusu olmuştur. En güçlü radyo kaynakları, şaşırtıcı bir oranda enerji üreten kuazarlardır. Bir kuazarın çok uzakta ve dolayısıyla evrende oluşan ilk galaksilerin çekirdekleri olduğu düşünülmektedir. Kuazarların dışında bazı diğer galaksi çekirdekleri de olağanın dışında aktivite ve alışılmadık enerji üretimi gösterirler. Hatta kendi galaksimiz bile küçük bir ölçekte olsa aktif galaksi örneğidir ve bu durum en iyi radyo astronomik yöntemlerle çalışılmaktadır.

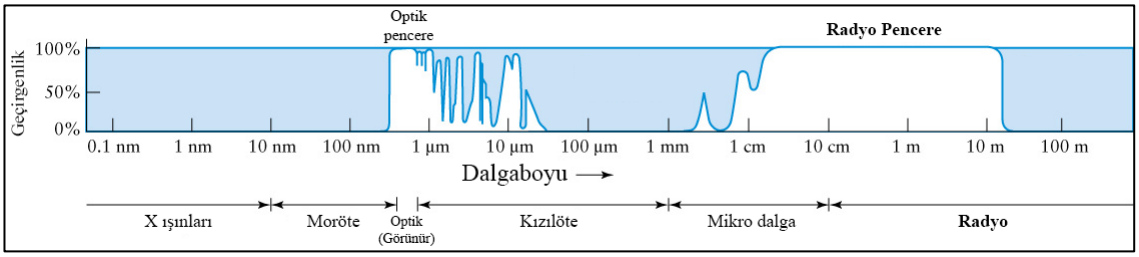
1.5. Atmosfer geçirgenliği ve Radyo Spektrum Yönetimi

Dünya atmosferinin farklı frekanslardaki elektromanyetik dalgaların hangi ölçüde geçmesine izin verdiğini bilinmesi önemlidir. Şekil 1.8'de dalga boyuna karşılık gelen atmosferik geçirgenlik yüzde (%) olarak gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere, uzaydan gelen ışınlar sadece iki aralıktan geçerek yer yüzüne ulaşabilir. Bunlardan ilki, yaklaşık olarak 300 nm – 1000 nm ile aralığında kalan optik bölgedir. Diğeri ise mm dalga boylarından başlayıp metre dalga boylarına kadar uzanan radyo penceredir.

Radyo pencerenin milimetre kısımlarında geçirgenlik tam değildir. Radyo pencerenin üst limiti, dünyanın troposfer katmanı dolayısıyla sınırlanır. Troposfer katmanına düşen moleküler bantlara ait radyo ışımaları bu bölgenin doğal frekansı ile aynı aralıkta yer alır; yani rezonans etkisi oluşur ve bu ışınımlar troposfer katmanı tarafından soğrularak yok olurlar.

Radyo pencerenin çok daha uzun kısımları da atmosferin iyonosfer katmanı tarafından soğurulur ve atmosfer geçirgenliği biter.

Santimetre ve milimetre dalga boylarında, havadaki su buharı, radyo dalgalarını soğurduğu için bu teleskoplar genelde çöllere ve yüksek yerlere kurulur.



Şekil 1.8. Atmosfer geçirgenliği.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), uluslararası frekans tahsisi ile görevlendirilmiş kurumdur. ITU, radyo spektrumu farklı servisler altında tanımlamıştır. Bu servislere, radyo (am/fm) yayınları, TV yayınları (broadcasting), mobil haberleşme (GSM) gibi servisler örnek olarak verilebilir. Radyo astronomi de bu servislerden biridir. Ancak radyo astronomi pasif bir servistir. Yani radyo astronomi amaçlı yapılan çalışmalarda yayın (transmisyon) yapılmaz. Sadece gök cisimlerinin üretmiş oldukları doğal radyo dalgaları alınır. Doğası gereği radyo astronomi, diğer servislerin aksine insan kontrolünde gerçekleşmez.

Ayrıca bu sinyallerin özellikleri (frekans vb.) doğal olduğu için elektromanyetik spektrumdaki bu özel frekansların korunması yani insan yapımı sinyallerden uzak tutulması gerekmektedir. Dahası evrenin genişlemesinden dolayı bu özel frekansların spektrumdaki konumu daha uzun dalga boylarına doğru kaymaktadır. Gözlenen bu doğal frekanslar aynı zamanda gök cisimlerinin bizden uzaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Radyo spektrum yönetimi anlaşması, ITU'ye üye olan ülkelerin uyguladığı radyo frekansların kullanımına yönelik bir anlaşmadır. Radyo spektrum, iletişim amacıyla kullanılmak üzere çeşitli bölgelere ayrılmıştır. Bantlar sivil ve askeri kullanım olmak üzere sınıflandırılır. Şekil 1.9'da Türkiye için 2003 yılında yayınlanmış frekans tahsis tablosu görülmektedir.

1.5.1. Radyo Astronomide kullanılan frekans aralıkları

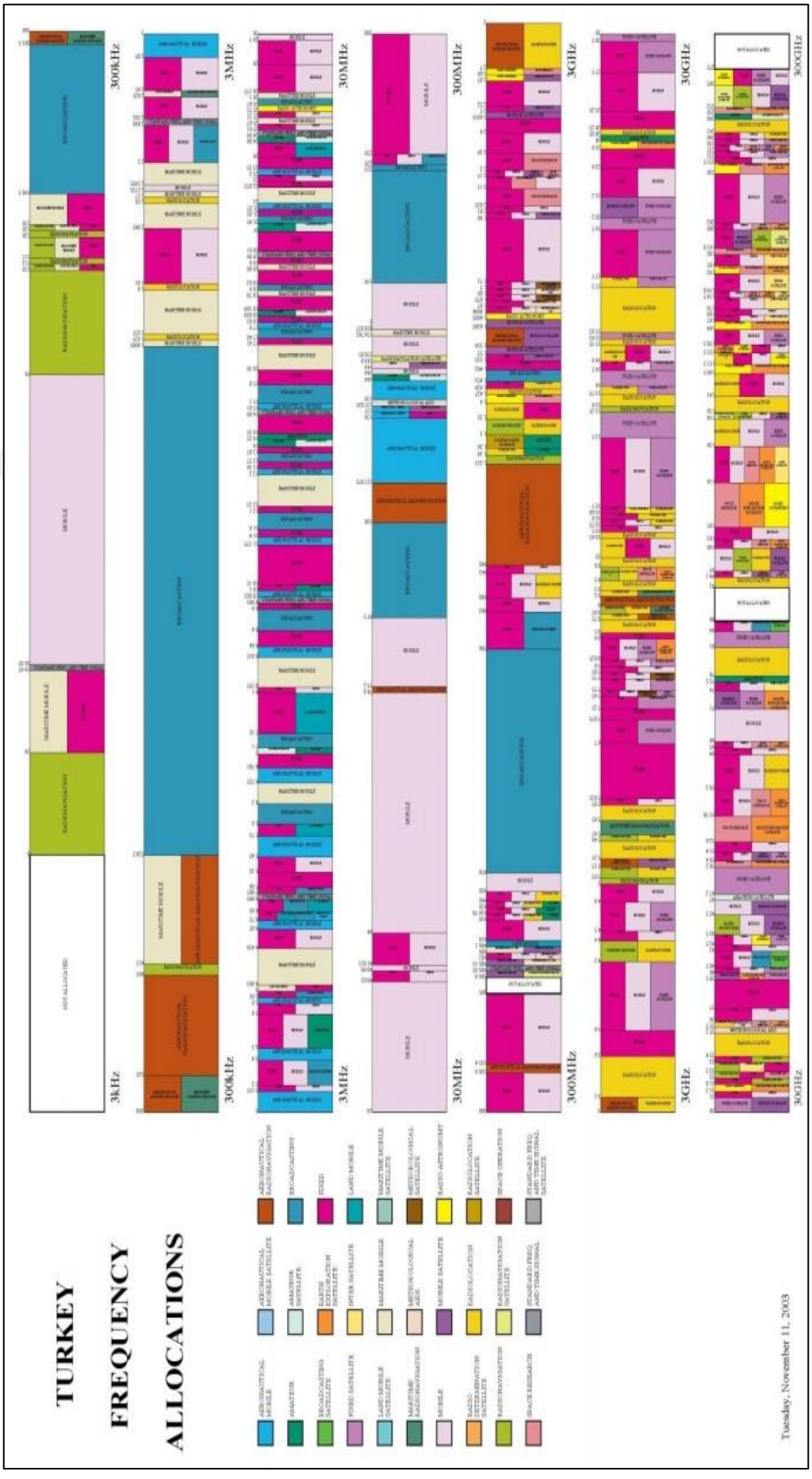
Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) servis isimlendirmesinden farklı olarak, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) radto spektrumu dokuz farklı banda ayırmaktadır. IEEE bant sınıflandırması Tablo 1.1'de gösterilmiştir. Frekans aralığını 1 GHz seviyesinden başlatmış ve 110 GHz aralığına kadar olan aralığı dokuz bölüme ayırmıştır. Radyo astronomi çalışmaları bu bölgelerin tamamında yapılmaktadır. L-band aralığında özellikle 21 cm Hidrojen çizgisine ait gözlemler yapılır. X-band ve K_u-band aralıkları radyo teleskoplar için oldukça verimli aralıktır.

Tablo 1.1. IEEE radyo frekans isimlendirmesi

IEEE İsimlendirmesi	Frekans Aralığı
L-band	1 – 2 GHz
S-band	2 – 4 GHz
C-band	4 – 8 GHz
X-band	8 – 12 GHz
K_u-band	12 – 18 GHz
K-band	18 – 27 GHz
K_a-band	27 – 40 GHz
V-band	40 – 75 GHz
W-band	75 – 110 GHz

Dünyadaki tüm radyo istasyonların, aşağıdaki frekans aralıklarında yayın yapmaları ITU tarafından yasaklanmıştır. Bu frekans bantları radyo astronomi çalışmalarının yapıldığı aralıklardır. Bu frekans aralıklarının korunması astronomi çalışmaları açısından son derece önemlidir.

- 73.0 - 74.6 MHz, 608 - 614 MHz, 1400 - 1427 MHz, 1660.5 - 1668.4 MHz,
- 2690 - 2700 MHz, 4990 - 5000 MHz, 10.68 - 10.7 GHz, 15.35 - 15.4 GHz,
- 23.6 - 24 GHz, 31.3 - 31.8 GHz, 50.2 - 50.4 GHz, 52.6 - 54.25 GHz,
- 86 - 92 GHz, 100 - 102 GHz, 109.5 - 111.8 GHz, 114.25 - 116 GHz,
- 148.5 - 151.5 GHz, 164 - 167 GHz, 182 - 185 GHz, 190 - 191.8 GHz,
- 200 - 209 GHz, 226 - 231.5 GHz ve 250 - 252 GHz.

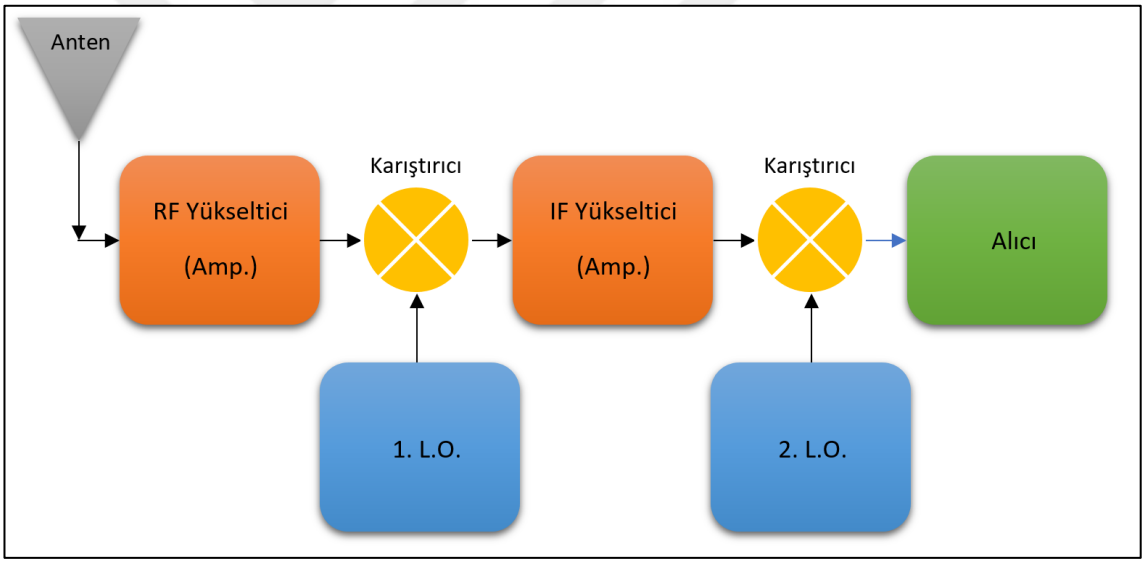


Şekil 1.9. Türkiye'de uygulanan Radyo Frekans (RF) spektrum yönetimi [28].

1.6. Radyo Teleskoplar

1.6.1. Tek Çanak Radyo Teleskoplar

Çok uzun dalga boylarını algılayan radyo teleskoplar, genellikle dipol anten dizileridir (<1 GHz). Radyo bölgenin daha yüksek frekanslarında (>1 GHz) ise radyo teleskoplar genellikle parabolik yansıtıcılar (çanak antenler) dır. Antenlerin yapısındaki farklılığın yanı sıra, radyo ve optik teleskoplar arasındaki temel fark, radyo teleskoplarda yükselteçlerin (amplifikatör) kullanılmasıdır. Şekil 1.10'da tek çanak bir radyo teleskop için genel şema görülmektedir.



Şekil 1.10. Tek çanak radyo teleskop genel şeması.

Kozmik kaynaktan gelen radyo dalgaları anten üzerine düşer ve alıcılarda gerilime (voltaj) sebep olur. Alıcılarda ölçülen bu gerilimin frekansı, kozmik kaynaklardan gelen elektromanyetik dalganın frekansı ile aynıdır. Aynı zamanda bu frekansa Radyo Frekans (RF) denir. Voltaj, ilk olarak RF yükselteç ile yükseltilir. Gelen sinyal çok zayıftır. Bundan dolayı, yükselteçlerin iç gürültüsü (Noise Figure – NF) sinyalden daha düşük olmalıdır yoksa alınan sinyal gürültüde kaybolur.

Güçlendirmeden sonra sinyal, karıştırıcıya (mixer) aktarılır. Karıştırıcı, alınan sinyalin frekansını değiştirir. Karıştırıcının iki adet girişi vardır. Bunlardan biri RF sinyali girişi, diğeri ise sinüs dalgası üreten ayarlanabilir bir yerel osilatör (L.O.) dür.

Karıştırmadan (mix) sonra, RF sinyali artık başka bir frekanstadır ve bu frekansa Ara Frekans (IF) denir. Çoğu radyo teleskop geniş bir RF aralığında gözlem yapmasına rağmen, verilerin işlenmesi tüm teleskoplar için nerdeyse aynıdır. Böylece RF sinyallerini işleyebilecek donanımlar standart bir IF frekansında olması tercih edilir.

Bazen, sistemde RF sinyalini işlemek için birden fazla karıştırıcı bulunur ve bunlardan biri sinyal nakli için en uygun olan bir IF frekansı yaratır, diğeri ise güçlendirme için en uygun olan IF frekansı sağlar. Bu sisteme, 'süper-heterodin alıcı sistemi' denir.

RF sinyalini uzun mesafelere taşımak için koaksiyel kablolar kullanan radyo teleskoplarda, IF frekansı da genellikle kablodaki iletim kaybını en aza indirecek biçimde seçilir.

IF dönüştürmesinden sonra, sinyal bir kez daha güçlendirilir ve daha sonra 0 Hz'e yakın bir frekans aralığında (Base Band) karıştırılır. Hangi alıcının kullanılacağı gözlemlerin doğasına bağlıdır. Ölçülmek istenen telekopun aldığı toplam güç ise, alıcılar birer kare detektör ve buna ek olarak bir toplayıcı olur. Kare detektör kullanılmasının nedeni ise ölçülen gerilimdeki sinyalin genliği, gelen dalgaların elektrik alanları ile orantılıdır. Radyo dalgalarının genliği kare gibi olduğu için ölçülen gerilimin karesi kozmik kaynağın gücünün bir ölçüsüdür. Toplayıcı, sinyal-gürültü oranını artırmak için ölçülen sinyallerin ortalamasını alır.

Tayfsal çizgi gözlemlerinde ise, sinyal, bant dedektörü yerine spektrometreden (tayf ölçer) geçirilir. Pulsar gözlemlerinde ise, özel olarak tasarlanmış 'pulsar cihazları' ile ölçümler yapılır. Bu cihazlara genel olarak '*correlator'* denir.

Şekil 1.11'de tek çanak bir radyo teleskop görülmektedir. Yukarıda bahsedilen alıcı sistemleri, genel olarak radyo teleskoplarda ana yansıtıcının hemen arka bölümünde yer alır.



Şekil 1.11. Cambridge İngiltere'de, bulunan 32 metrelik tek çanak radyo teleskop.

1.6.2. Sinyal ve Gürültü

1.6.2.1. Sinyal

Radyo frekansta, kozmik kaynakların güçleri genel olarak Jansky (Jy) biriminde ifade edilir. Eğer gelen enerji, frekans başına bir metre karelik alanda 10^{-26} Wattlık enerjiye karşılık geliyorsa, bu değere 1 Jansky denir. Ayrıca bu birim, akı yoğunluğu ya da tayfsal

ışıma olarak da isimlendirilir. Karl G. Jansky'nin radyo astronomi de yaptığı öncü çalışmalar onuruna birim Jansky olarak isimlendirilmiştir.

$$1\ \text{Jy} = 10^{-26}\frac{W}{m^2\ Hz}$$

Geniş kaynaklar için yön bulunmadığından dolayı, bu tür kaynakların parlaklığı (B), birim saniyede, birim frekanstaki birim katı açıdan birim alana düşen enerjidir. ($Wm^{-2}\ Hz^{-1}sr^{-1}$)

Planck yasası ile yukarıda bahsettiğimiz ifadenin kıyaslanması yani uzun dalga boylarında geçerli olan pratik kara cisim ışıması bizleri Rayleigh-Jeans yasasına götürür. T sıcaklığındaki yaygın kaynağın *parlaklık sıcaklığı*:

$$T_B = \frac{\lambda^2}{2k}\ B(v) \tag{1.10}$$

şeklindedir. $B(v)$ kaynağın parlaklığıdır. Parlaklık sıcaklığının, kaynağın fiziksel sıcaklığı ile bir ilgisi yoktur. Ancak bazı kaynaklarda (Sakin Güneş) optik derinlik yeterince geniş olduğu için gözlenen tayf Rayleigh-Jeans denklemine karşılık gelir. Bu gibi durumlarda, parlaklık sıcaklığı doğrudan doğruya kaynaktan salınan elektronların fiziksel sıcaklığı ile ilgilidir. Sinkrotron ışıması yapan kaynaklar için tayf, kara cisim ışıması değildir. Bu tür tayfalara dik (steep) tayf denir.

1.6.2.2. Gürültü

Bir anten, üzerine düşen radyo dalgalarının enerjisini soğurur. Bu güç genelde sıcaklık biriminde Kelvin derece ile ifade edilir. Bu durumu anlamak için, T sıcaklığında bir direnç düşünelim. Dirençteki elektronlar rastgele ısısal hareket ederler ve bu rasgele hareket dirençte bir akım oluşturur. Bir yönde hareket eden elektronlar olduğu gibi ters yönde de hareket eden elektronlar vardır ve ortalama akım sıfır olacaktır ancak dirençteki güç akımın karesine bağlıdır ve sıfır değildir.

Bu güç, sıcaklığın bir fornksiyonu olarak hesaplanabilir. Radyo bölgede, birim başına düşen güç, *Nyquist formülü* ile bulunur.

$$P = kT \tag{1.11}$$

Denklemde k, Boltzmann sabiti, T sıcaklık (K) ve P ise güçtür. Benzer şekilde, eğer güç (P) elektronik devrelerine geçerse, anten sıcaklığı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$T_A = \frac{P}{k} \tag{1.12}$$

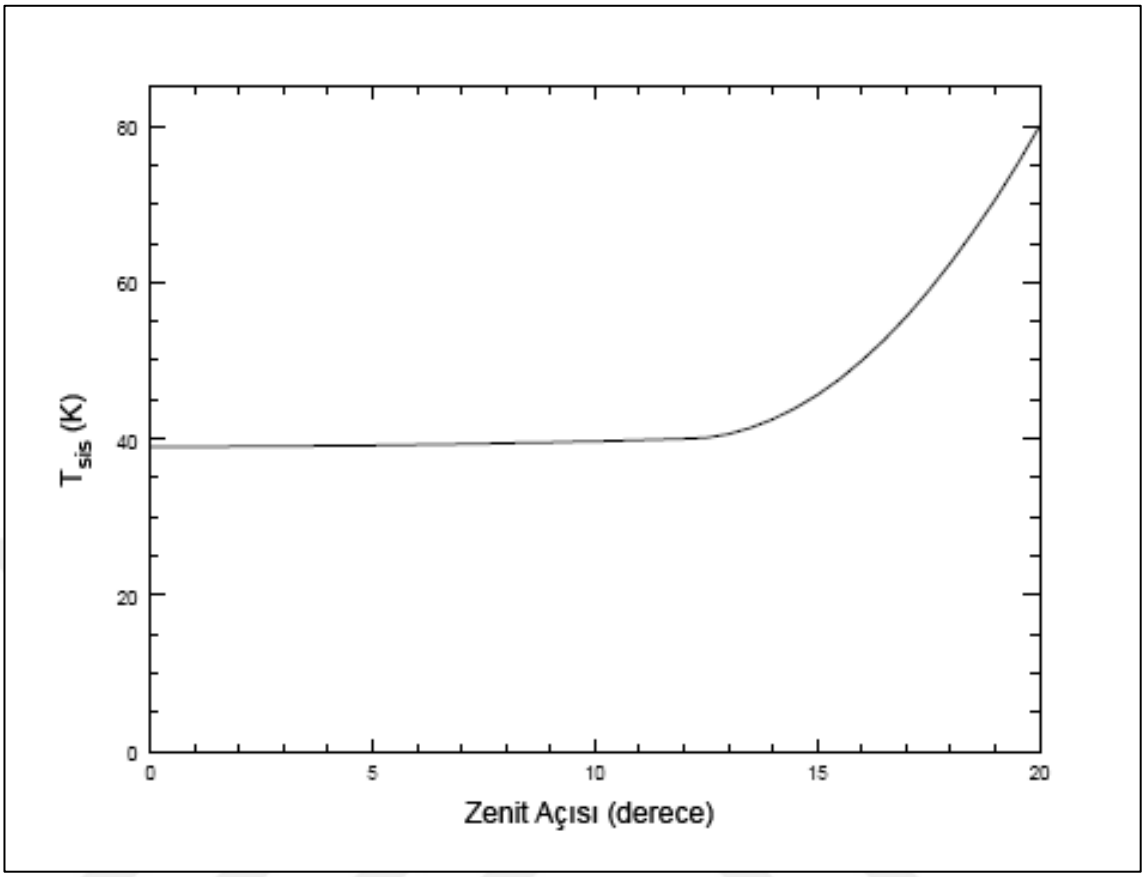
Anten sıcaklığı tanımı antenin fiziksel bir sıcaklığını ifade etmez. Aynı şekilde, radyo teleskop alıcılarındaki toplam güçten sistem sıcaklığına ulaşırız.

$$T_{sis} = \frac{Toplam\ güç}{k} \tag{1.13}$$

Boş bir gök yüzüne baktığımızdaki sistem sıcaklığı sistemin toplam gürültüsüdür ve bu nedenle bu gürültüyü olabildiğince düşük tutmak gerekir. Radyo teleskopun alt sistemlerini oluşturan parçaların ürettiği gürültüler (T_{sis}) birbirlerinden bağımsızdır ve sistem gürültüsünü hesaplamak için tüm parametreler toplanır. Radyo teleskop sistem gürültüsü, genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$T_{sistem} = T_{gök} + T_{yansıma} + T_{kayıp} + T_{alıcı} \tag{1.14}$$

$T_{gök}$ gök yüzünden gelen katkıdır. Örnek olarak, Galaksimiz düşük frekanslarda sistem sıcaklığına katkı yapan önemli bir kaynaktır. Ayrıca gökyüzü, tüm frekanslarda 3K sıcaklıkta (CMB) katkı yapmaktadır. Anten beslemesi, yansıtıcı tarafından odaklanan ışını toplayan sistemdir. Ayrıca anten beslemesine yerden ve yansıtıcının kenarlarından yansıyan (yaklaşık 300K) radyasyon da düşmektedir. Yansıyan bu radyasyon ($T_{yansıma}$) sistem sıcaklığına çok önemli katkı yapmaktadır. Şekil 1.12'de sistem sıcaklığının zenit açısına bağlı olarak nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.12. Zenit açısına karşılık radyo teleskop sistem sıcaklığı

Yüksek zenit açılarında, besleme (feed) ışınımı yansıtıcının kenarlarından yansır ve çevreden yansıyan ışımaların nerdeyse hepsini alarak sistem sıcaklığını 40K den 80K ne çıkarmaktadır. Radyo teleskopun kenarlarına yansıtıcı bir yüzey konursa, sistem sıcaklığına (T_{sistem}) çevreden gelen katkılar azaltılır. Anten sisteminde bulunan neredeyse tüm bileşenler sistem sıcaklığına katkıda bulunur. Yani sistemin doğal gürültüsünü oluşturur. Bundan dolayı başta anten olmak üzere sistemdeki tüm bileşenlerin soğutulması gerekir. Radyo alıcının gürültüsü ($T_{alıcı}$) de sistem gürültüsüne eklenir.

1.6.2.3. Radyo Frekans Girişimi (RFI)

Sistem sıcaklığına önemli bir katkı da radyo spektrumda yer alan diğer servislerden üretilen yapay sinyallerden gelmektedir. Yapay sinyaller radyo gözlemlerinde girişim oluşturarak (interference) sistem sıcaklığını artırmaktadır.

Eğer girişimin bant genişliği tayfsal çözünürlüğe göre büyükse, bu girişim geniş bant olarak adlandırılır. Geniş bant girişim sistem sıcaklığını artırsa da zamanla değişken olmadığı sürece gözlemler için bir sorun oluşturmaz. Ancak, genel olarak girişimler zamanla değişkenlik gösterir ve bu da sistem sıcaklığında dalgalanmaya sebep olur. Bu tür anlık değişim gösteren girişimler gözlemler için çok zararlıdır. Bant genişliğine oranla daha küçük tayfsal çözünürlüğe sahip olan girişime dar bant denir. Dar bant girişimler alıcının sadece bir kanalında (frekans aralığı) etkili olur. Bu kanal gözlemsel açıdan tehlike oluşturmadığı sürece gözlem bilgisi içerisinde işaretlenerek gözlemlere devam edilir. Ancak girişim gözlem verisine etki edecek kadar şiddetliyse alıcı satüre olur ve bu durum birkaç istenmeyen sonuca yol açar. Bunlardan ilki, girişimden dolayı alıcı kendi doğal aralığında olmadığından, anten sıcaklığı daha yüksek olacaktır ve bu durum gök cisimlerinin parlaklık sıcaklığı ölçümlerinde yanlış sonuçlara yol açar. Bu duruma, bastırma denir. Ayrıca, eğer gözlemlerde başka karekteristik özellikler varsa (kaynağa ait tayf çizgisi vb.), sahte sinyaller (frekans değerleri) gerçek sinyalleri etkiler ve hatta bastırır. Bu durumlara da ara modülasyonlar denir.

Düşük frekanslarda giderek artan ve bilimsel gözlemleri tehdit eder duruma gelen girişimlerden kaçınmak için radyo alıcıların oldukça dinamik aralıklara sahip olması gerekir. Özellikle güçlü ve sabit girişim kaynaklarını (baz istasyonları vb.) engellemek için sadece istenen bantları geçiren (bandpass) filtreler kullanılır.

1.6.3. Sinyal-Gürültü Oranı

Radyo teleskopa gelen sinyaller (yapay sinyaller hariç) doğası gereği rastgeledir. Bu yüzden radyo teleskop alıcısının ölçtüğü değerler de rastgele olacaktır. Radyo teleskoplar astrofiziksel kaynakları tespit etmek ve genellikle gözlemlemek için kullanılır. Bunu gerçekleştirebilmek için de radyo teleskop öncellikle gök yüzünde “boş” bir bölgeyi, sonrasında da ilgili kaynağı gözlemler. Alınan güçteki artış veya azalmalar sayesinde radyo teleskopun ilgili gök cismine bakıp bakmadığı anlaşılır. Ancak, gökyüzünde boş bölgelerden ölçülen değerlerdeki dalgalanmaların, gökcisimlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığını anlamak zordur. Bu dalgalanmalara neyin sebep olduğunu bulmak için, ölçümlerin rms değerini bilmek gerekir.

T_{sis} sıcaklığındaki alıcının rms değeri, τ saniye süresince Δv genişliğindeki frekanstaki toplam gücün entegrasyonu olarak ifade edilir. Sistem sıcaklığındaki değişim GS olarak gösterilir. S kaynağın akı yoğunluğudur. G ise kazançdır. Bu durumda sinyal-gürültü oranı:

$$SNR = \frac{GS\sqrt{\Delta v \tau}}{T_{sis}} \tag{1.15}$$

olarak ifade edilir. Bu denklem, tek çanak radyo teleskop hassasiyetinin belirlenmesi için temel bir ifadedir. *SNR* yani sinyal-gürültü oranı yeterince büyükse, kaynağı tespit edilip gözlendiğinden emin oluruz.

Sinyal-gürültü oranı sadece ısısal gürültüyü ifade etmektedir. Bu ısısal gürültü, sistemdeki alıcının, zeminden gelen yansımaların ve gök yüzünden alınan sıcaklıkların toplamıdır. Buna ek olarak gök yüzünün farklı konumlarındaki sıcaklıklar da sistem sıcaklığını etkileyecek ve SNR'de dalgalanmalara sebep olacaktır.

Genel olarak tek çanak radyo teleskoplarda, özellikle düşük frekanslarda yapılan gözlemlerde, kısa zamanlı entegrasyon süreleri gürültüyü artıran bir etmendir. Bu sebeple çok sönük cisimleri tespit edebilmek ve gözlemek için yüksek çözünürlüklü sistemler olan interferometreler gerekmektedir.

1.6.4. Radyo Teleskop Çözünürlüğü

Tek çanak radyo teleskop çözünürlüğü çalışılan frekans ve anten çapına bağlıdır. Bu ifadeyi denklem biçiminde yazarsak;

$$\theta = \frac{1.22\,\lambda}{D} \tag{1.16}$$

Denklemde θ radyo teleskop açısal çözünürlüğü, λ dalga boyunu (m) ve D radyo teleskop çapını (m) ifade eder. Açısal çözünürlük yay derece (°), yay dakika (') ya da yay saniyesi ('') birimindedir.

1.6.5. Radyo Teleskop Kazancı

Kazanç kısaca, yönelime ve anten verimliliğine bağlı bir parametredir ve parabol antenin ideal antene kıyasla baktığı yöndeki verimini ifade eder. Anten kazancı üç parametreye bağlıdır. Bunlar sırası ile yansıtıcı panel çapı (m), anten verimi (%) ve çalışma dalga boyu (m). Anten verimi (k), yansıtıcı yüzey hassasiyeti, ışıma verimi gibi çeşitli değerlere bağlıdır ve parabolik yansıtıcılar için %50 - %70 arası değerler alır. Kazanç, bu parametreler doğrultusunda alttaki bağıntıda olduğu gibi hesaplanır. Kazanç G (gain) ile gösterilir ve birimi dB'dir (desibel).

$$G\ (dB) = 10\ x\ log_{10} k \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \tag{1.17}$$

Parabolik reflektör (çanak) antenin santimetre veya milimetre dalgaboylarında kullanılmasının temel sebebi yüksek kazançlı olmasıdır.

1.6.6. Radyo Teleskop Dizgeleri

1.6.6.1. Interferometreler

Radyo astronomide, gök cisimlerinin detaylı yapılarını çalışmak için yüksek açısal çözünürlükler gereklidir. Yüksek açısal çözünürlüğe duyulan ihtiyaç, daha büyük boyutlu ve daha küçük dalga boylarında çalışan sistemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Radyo teleskopların görünüşleri ve boyutları çok büyük (örneğin: GBT 100m) olmasına rağmen, açısal çözünürlükleri 1 m'lik optik teleskopla kıyaslansa bile çok düşüktür. Metre dalga boylarında açısal yüksek çözünürlüklere ulaşabilmek için, çapı yüzlerce kilometreyi bulan radyo teleskoplara ihtiyaç duyulur.

Radyo dalga boylarında, yüksek çözünürlüklere ulaşmanın iki yolu vardır. Bunlardan ilki, radyo teleskop çanak çapını artırmak, diğeri ise çalışılan dalga boyunu cm dalga boylarından mm dalga boylarına düşürmek yani kısaca daha yüksek frekanslarda

çalışmak. Ancak ikinci durum pratik olarak mümkün görülsede, gök cisimlerinin frekansları o cisimlerin fiziksel karekteristiğince belirlenir ve insan kontrolünde değildir.

Bu sebeple düşük frekanslardaki (metre dalga boyları) cisimlerin çalışmasında çanak çaplarını artırmak bir noktadan sonra teknik olarak imkânsız hale gelir. Radyo teleskopların neredeyse tüm bileşenleri (özellikle parabolik yansıtıcı yüzey) metal olduğundan, teleskopun inşa edilmesinden bir süre sonra yer çekiminin etkisiyle metal yapı çökme eğilimi gösterir. Ayrıca ağırlıkları onlarca tonu bulan bu bileşenleri, hareket ettirmek de oldukça zor bir işlemdir.

Bunlar gibi birçok sebepten dolayı, günümüzde yüksek açısal çözünürlüklere ulaşmak için girişim ağı (interferometre) adı verilen bir yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem kısaca, birçok küçük çaplı radyo teleskopun bir araya getirilerek, büyük çaplı tek bir radyo teleskop gibi gözlem yapması fikrine dayanır. Şekil 1.13'te Amerika Birleşik Devletleri, New Mexico Eyaletinin Socorro kentinde bulunan Karl G. Jansky Çok Büyük Dizgesi (Very Large Array) gösterilmektedir. Bu sistemdeki radyo teleskoplar her biri 25 metre çapındadır. Sistemde 27 adet radyo teleskop bulunur. Teleskoplar, şekil olarak Y harfine benzeyen raylar üzerinde hareket edebilmekte ve her 4 ayda bir yeni konfigürasyonda (A, B, C ve D) kullanılmaktadır. VLA açısal çözünürlük olarak, en geniş konfigürasyonda (A), 36 kilometre genişlikte ve en yüksek çalışma frekansında (43 GHz), 0.04'' (yay saniye) açısal çözünürlüğüne ulaşmaktadır.

1.6.6.2. VLBI (Çok Geniş Taban Dizgeler)

Çok büyük anten açıklığı ile gözlem yapmak doğrudan açısal çözünürlüğü artırır ve gök cisimlerinin en ince detayların incelenmesine olanak verir. Interferometre dizgeleri belirli bir alanda kurulmuş radyo teleskop çiftlikleridir. Bu sistemler kendi başlarına yüksek çöznürlüklere ulaşsalar da bazı gözlemler için ulaşılan değerler yeterli olmaz. Radyo astronomi de açısal çözünürlük büyük bir sorun olmuştur. Açısal çözünürlüğü olabildiğince yükseltmek için Interferometre dizgeleri bir araya getirilir. Kıtalararası bir katılım ile radyo teleskop ağları oluşturulur ve bu ağlara VLBI denir. VLBI (Very Long Baseline Interferometer), Şekil 1.14'te Dünyanın farklı bölgelerinde kurulmuş olan VLBI ağı gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) anten dizgesi.

"Küresel VLBI – Dizgesi" olarak adlandırılan radyo teleskop ağı, santimetre dalga boyundan milimetre dalga boyuna kadar değişen aralıklarda, galaktik ve galaksi dışı radyo kaynaklarını düzenli olarak ve eşgüdümlü bir şekilde gözlemlemektedirKırmızı ile daire içerisine alınmış teleskoplar yüksek hassasiyetli dizgeyi (HSA) belirtmektedir [29].



Şekil 1.14. Küresel VLBI – Dizgesi.

2. BÖLÜM
YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Kalibrasyon ve Önemi

Radyo teleskop verilerinin kalibre edilmesi gözlemlerdeki en önemli konudur. Verilerin kalibre edilebilmesi için gerekli olan parametrelerin (anten sıcaklığı, radyo teleskop kazancı vb.) tespit edilmesi ve gözlemlerde karşılaşılan diğer sorunlar üzerinde durulmalıdır. Bir radyo teleskoptan alınan verilerin başka bir teleskoptan alınan verilerle kıyaslanması zordur. Hatta, aynı teleskoptan alınan ölçümler bile zamanla değişkenlik gösterir. Bu değişimlerin sebebi genel olarak sistem sıcaklığı ve atmosferik koşullardır. Radyo teleskop ölçümlerini yıl boyu tekrarladığımızda, bir gün ölçülen değer, mesela 300 sayım, başka bir gün 250 sayıma düşebilmekte ya da 350 sayıma çıkabilmektedir. Bu değişimlerin sebebi, gözlenen gök cisimlerinden mi yoksa radyo teleskop sistemlerinden mi kaynaklandığını anlamak için radyo teleskop sisteminin davranışı çok iyi bilinmeli ve sistem periyodik olarak kalibre edilmelidir.

İki teleskoptan aynı zamanlarda alınmış ya da tek bir teleskoptan farklı zamanlarda alınmış ölçümleri kıyaslayabilmek için evrensel bir ölçüm sistemi kullanmak gerekir. A teleskopundan aldığımız 300 sayımın B teleskopunda X sayım değerine ya da tam tersi olmak üzere ölçümlerin hangi değerlere karşılık geldiğini belirleyebilmemiz gerekir. Bu işlem kısaca kalibrasyon sürecinin kendisidir. Kalibrasyon sürecinde kullanılan yöntemler ve bağıntılar sonraki bölümlerde anlatılmıştır. Kalibrasyon işlemi tek seferlik bir işlem değildir. Her gözlemden önce ve gözlem süresince, kalibrasyon işlemi için gerekli ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümler daha sonra ön indirgeme ve birleştirme süreçlerinden geçmekte ve daha sonra asıl verilerden çıkarılmaktadır. Bu ölçümler ile elde edilen veriler bilimsel nitelik kazanmaktadır.

2.2. Radyo Teleskop için Hesaplamalar

2.2.1. Ölçülen Voltaj düzeyi ile Akı arasındaki Bağıntı

Radyo teleskop yerel bir gürültü (referans) kaynağı olmadan kalibre edilmelidir. Bu işlemden sonra gelen sinyal voltaj seviyesi $dB\mu V$ biriminde görüntülenir. Alınan sinyalin gücü:

$$U[\mu V] = 10^{\frac{U[dB\mu V]}{20}} \tag{2.1}$$

$$P[W] = \frac{U^2}{R} \tag{2.2}$$

olur. Radyo teleskop gök yüzündeki herhangi bir kaynağa yönlendirildiğinde, P gücü ölçülür. Kaynaktan uzaklaştığında, sistemin gürültüsünden kaynaklanan baz güç seviyesi P_0 ölçülür. Kaynak (T_{ON}) ve kaynak dışı (T_{OFF}) arasındaki güç oranı Y faktörü olarak adlandırılır. $dB\mu V$ cinsinden kaynak (UdB) ve kaynak dışı (U_0dB) sinyal seviyesi değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Y = 10^{\frac{UdB - U_0 dB}{10}} \tag{2.3}$$

Y faktörü gözlenen kaynağın antende oluşturduğu sıcaklık, yani anten sıcaklığı, (T_A) ile ilgilidir. Gökyüzü sıcaklığı (T_{SKY}) ve sistem sıcaklığı ($T_{SİS}$) aşağıdaki şekilde Y faktörünü tanımlar.

$$Y = \frac{T_{sis} + T_A}{T_{sis} + T_{sky}} \tag{2.4}$$

Ortam sıcaklığında çalışan teleskopun, sistem sıcaklığının (T_{sis}), soğuk gök yüzünden (T_{sky}) çok daha büyük olduğunu varsayabiliriz. (T_{sky}) ihmal edilirse:

$$Y = \frac{T_{sis} + T_A}{T_{sis}} \tag{2.5}$$

Anten sıcaklığı (T_A), bilinen akı değeri (S) için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_A = \frac{SA_{etk}}{k} \tag{2.6}$$

Denklemdeki A_{etk} ifadesi etkin anten açıklığını veya anten alanını ifade eder. Anten etkin açıklığı antenin geometrik boyutundan dolayı küçüktür. k ise Boltzmann sabitidir. 2.2, 2.4 ve 2.5 bağıntıları kullanılarak ölçülen güç değeri ile kaynağın akı değeri arasındaki ilişki bulunabilir.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T_{sis} + \frac{SA_{etk}}{k}}{T_{sis}} = 1 + S\frac{A_{etk}}{k\,T_{sis}} \tag{2.7}$$

Denklem 2.7, S için çözülürse;

$$S = \left(\frac{P}{P_0} - 1\right)\frac{k\,T_{sis}}{A_{etk}} \tag{2.8}$$

2.6 bağıntısından görüleceği üzere teleskop hassasiyeti etkin açıklığa ve teleskop sistem sıcaklığına bağlıdır. Bu bağlamda teleskop hassasiyetini artırmak için ya teleskop açıklığı yani çapı artırılacaktır ya da teleskop sistem gürültü sıcaklığı düşürülecektir.

Teleskopun hassasiyetini ölçebilmek için anten etkin açıklığını ve sistem gürültü sıcaklığını bilmemiz gerekir. Anten küçük ve sabit olduğu için zamanla etkin anten açılığında bir değişim beklenmez. Sistem gürültü sıcaklığı ise teleskopun bulunduğu ortam sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle, sistem gürültü sıcaklığı, kalibrasyon için yapılan gözlemlerden önce mutlaka ölçülmelidir.

2.2.2. Anten Etkin Açıklığının Hesaplanması

Anten açıklığı ya da etkin anten yüzeyi aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$G = \frac{4\pi A_{etk}}{\lambda^2} \tag{2.9}$$

G, izotropik (ideal) antenin kazancıdır. λ ise çalışılan dalga boyudur. Bu denklemden anten açıklığı:

$$A_{etk} = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \tag{2.10}$$

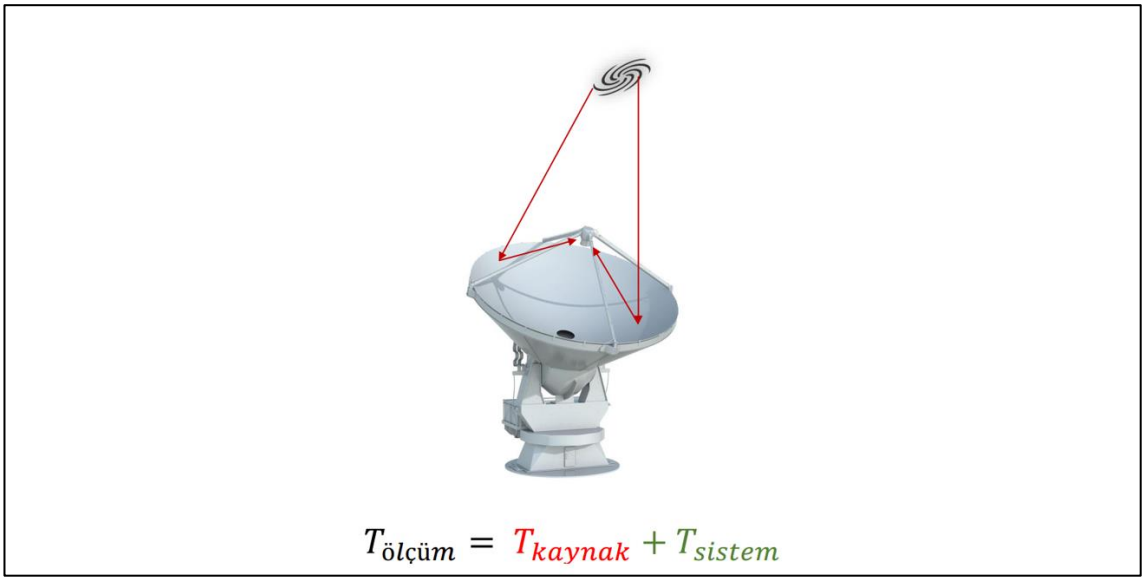
şeklinde bulunur.

2.2.3. Sistem Sıcaklığının Hesaplanması

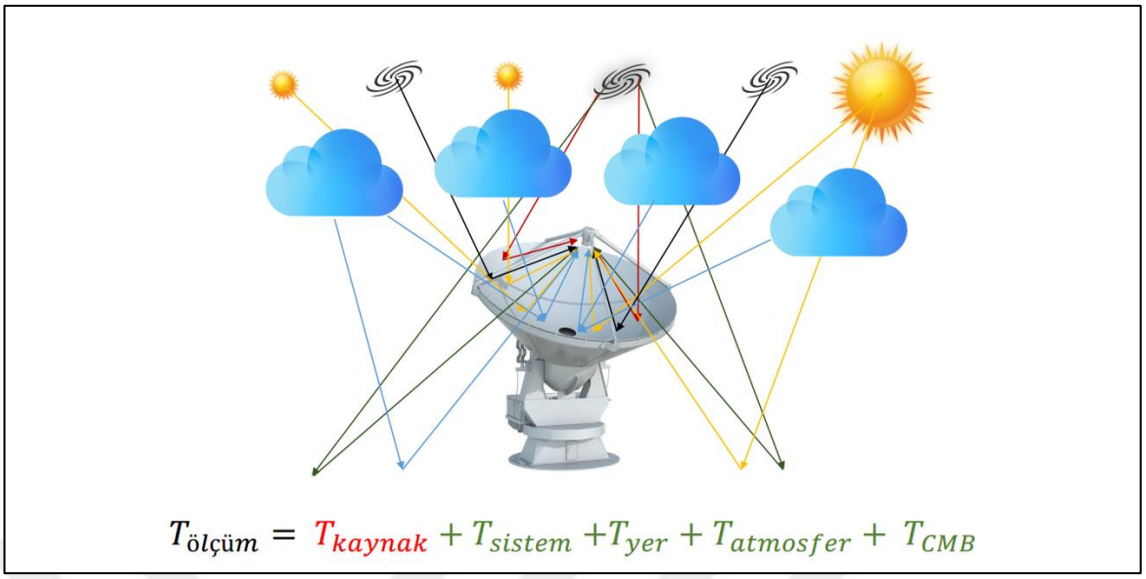
Anten etkin açıklığı (A_{etk}) ve bilinen bir radyo akı kaynağının gözlenmesi ile sistem sıcaklığı hesaplanabilir. Akı değerleri çok kararlı olduğu için *Cassiopeia* gibi bazı iyi bilinen nokta kaynaklar kalibrasyon kaynakları olarak kullanılır. Biz tez çalışmamızda alıcı hassasiyeti sebebiyle Güneş'i kalibrasyon kaynağı olarak kullandık. Sistem sıcaklığı, anten etkin açıklığının aksine zamanla değişir. Bu nedenle hesaplanan değer sadece kısa bir süre için geçerlidir. Sistem sıcaklığını hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$T_{sis} = \frac{\frac{SA_{etk}}{k}}{\frac{P}{P_0}-1} \tag{2.11}$$

Şekil 2.1. ve 2.2.'de radyo teleskop sistem sıcaklıkları (ideal ve gerçek durum) gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Radyo teleskop sıcaklık ölçümü (ideal durum).



Şekil 2.2. Radyo teleskop sıcaklık ölçümü (gerçek durum).

2.2.4. Çözünürlük ve Entegrasyon Süresi

Radyo teleskop çözünürlüğü ya da başka bir deyişle ölçülebilen en düşük sıcaklık değeri "Dicke" denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{B\tau}} \tag{2.13}$$

$$T_{min} = \frac{T_{sis}}{\sqrt{B\tau}} \tag{2.14}$$

Denklemde B, bant genişliğidir ve τ ölçümlerin birleştirilmesi için geçen zaman yani entegrasyon süresidir. Yukarıdaki denklemler doğrultusunda, bant genişliği ve entegrasyon süresi artırılarak radyo teleskop hassasiyeti geliştirilebilir.

Ölçülen güç değerinin doğruluğunu artırmak için birçok ölçüm yapılır ve ortalama değeri alınır. Ölçümleri yapabilmek için gök yüzündeki kaynağı takip etmek gerekir. Zayıf bir kaynağı gözlemleyebilmek için yüksek doğrulukta takip hassasiyeti gerekir. Ölçümleri yapmadan önce teleskopun kaynağa tam odaklandığı ve takip sisteminin çalıştığından emin olunmalıdır.

2.3. Kaynak Dışı Gözlemler ile Gürültünün Modellenmesi

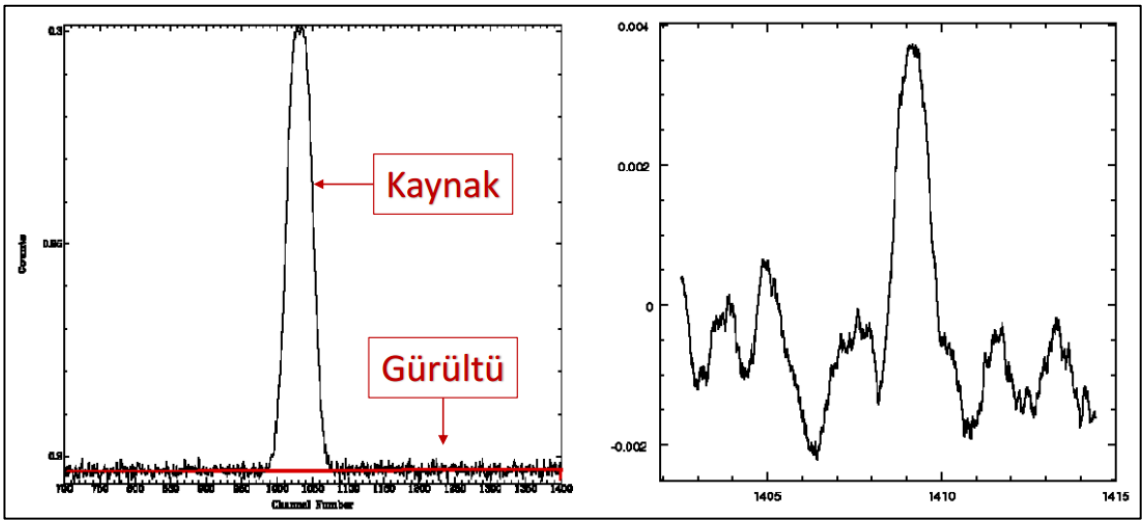
Gök cisimlerinin sıcaklığı sistem sıcaklığını bulmak ve gözlemleri kalibre edebilmek için boş gökyüzü bölgelerinin sistem sıcaklığını ölçmek gerekir. Bir kaynağın sıcaklık değerini bulabilmek için kaynağın kendisi (T_{ON}) ve kaynak dışı (T_{OFF}) gözlemler ölçülür. Bu ölçümleri yaparken aşağıdaki denklemden yararlanılmaktadır.

$$\mathrm{T_{KAYNAK}(K) = T_{ON} - T_{OFF}\ (K)} \tag{2.12}$$

Sistem sıcaklığındaki değişimlerin tespit edilmesi için kullanılan yöntemlerden en uygun olanı, boş gök yüzü ölçümleri ile gök cisimlerinin sıcaklıklarının kıyaslanmasıdır. Boş gök yüzü gözlemleri ile sistem sıcaklığının yani sistem temel gürültü düzeyinin modellenmesi için kullanılan en yaygın üç temel yöntem temel düzey eşleştirme, frekans değiştirme ve pozisyon değiştirme yöntemleridir.

2.3.1. Temel seviye eşleştirme

O'Neil'ın da [30] belirttiği üzere, temel seviye eşleştirme radyo verilerin kalibre edilmesi sürecindeki en basit ve en verimli yöntemdir. Bu yöntemde boş gök yüzünden alınan ölçümler ve bir kaynaktan gelen ölçüm değerleri aynı aralıkta olmalıdır. Böylece sistem gürültüsü temel seviye olarak kabul edilir. Gök cisminden gelen ölçüm değeri ile boş gök yüzü ölçümlerinin güç değerleri (ya da sayımları) belirgin bir biçimde ayrı olmalıdır. Aksi takdirde bu yöntem ile kalibrasyon yapılamaz. Bu kalibrasyon yönteminin çok verimli olmasına karşın bazı sakıncaları bulunmaktadır. Özellikle ilgilenilen tayfsal çizginin çok büyük olduğu ya da temel seviye çizgi çekilmesine uygun olmadığı durumlarda bu yöntem ile kalibrasyon yapılamaz. Benzer şekilde ilgili bant aralığında daha yüksek frekansa sahip durağan RF sinyallerinin var olduğu durumda bu yöntem uygulanamamaktadır. Şekil 2.3.'de temel seviye eşleştirme yönteminin uygulanabildiği (sol) ve bu yöntemin uygulanamadığı (sağ) bir kalibrasyon verisi örneği gösterilmektedir.

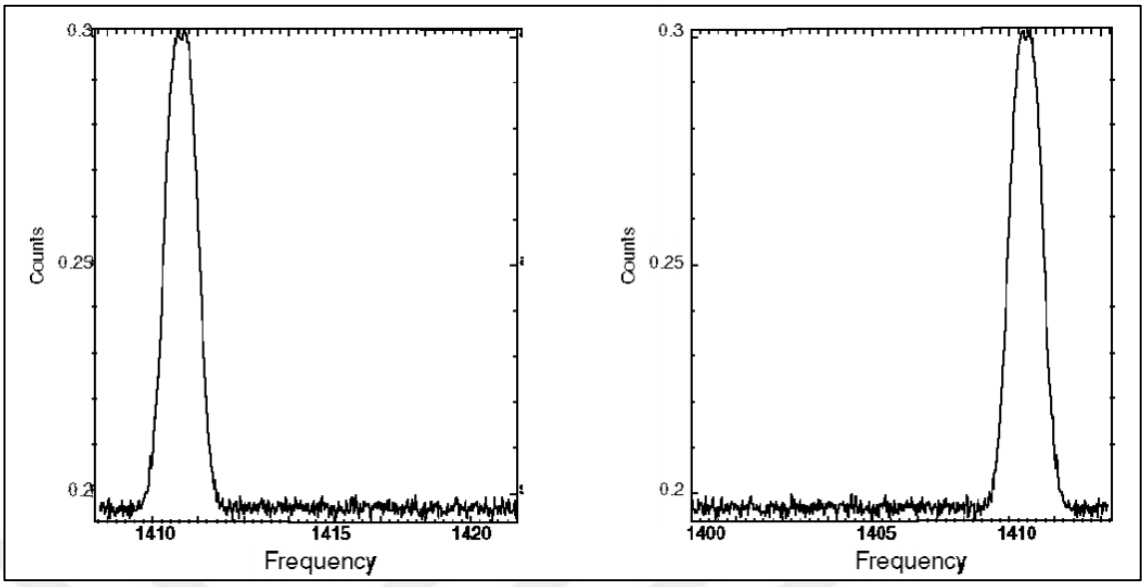


Şekil 2.3. Temel seviye çizgisinin çekilebildiği (sol) ve bu yöntemin uygulanamadığı (sağ) tayfsal çizgilere ait radyo ölçümleri görülmektedir. Her iki ölçümde ilgili gök cisimlerine ait tayfsal çizgilere sahiptir.

2.3.2. Frekans Değiştirme

Frekans değiştirme yönteminde, teleskop ilgili gök cismini takip ederken radyo alıcının (varsa birinci osilatörün) merkez frekansı değiştirilir. Bu gözlem yöntemi teleskopun başka bir hareketini gerektirmediği için, çok hızlı ve çok verimli bir şekilde kalibrasyon ölçümleri yapılabilir. Buna ek olarak, frekans, ilgilenen frekans aralığı bant geçişi içinde kalacak şekilde kaydırılır ve orijinal frekans aralığı ile çakışmazsa, frekans değiştirme yöntemi son derece verimli hale gelir.

Frekans değiştirme yönteminin, temel seviye eşleştirme yöntemine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, frekans değiştirme, ilgilenilen gök cisimlerinin ya da ilgilenilen bölgelerdeki zayıf eşleştirme seviyelerini yok sayarak kalibrasyon ölçümlerindeki hata olasılıklarını azaltır. Bir diğer avantajı ise temel seviye eşleştirmesine göre daha yüksek çözünürlüklü ölçümler verir. Bunun sebebi daha geniş frekans aralığında ölçümlerin yapılmasıdır. Son olarak frekans değiştirme çok hızlı yapılabildiği için sistemdeki diğer gürültülerden kaynaklanan değişimlerin gözlem ve kalibrasyon ölçümlerine katılmasına engel olur. Şekil 2.4.'te frekans değiştirme yöntemine örnek ölçümler görülmektedir.



Şekil 2.4. Frekans değiştirme yöntemine örnek ölçüm değerleri. Değerler rastgele alınmıştır. Frekans değiştirme yönteminde ilgilenilen merkez frekans ölçüm aralığı içerisinde kalmak şartıyla daha düşük ya da daha yüksek frekanslara kaydırılır. Bu sayede temel seviye eşleştirme için gerekli düz gürültü modellemeleri elde edilir.

Uzun dalga boylarında, frekans değiştirme yönteminin dezavantajları ise azdır. Genel olarak karşılaşılan zorluklar ise ilgilenilen gök cisminden gelen frekansın kızıla kaymasından dolayı gerçek frekans değeri bilinmelidir. Teleskop sistemi temel seviye eşleştirme yöntemi için oldukça stabil olmalıdır ve frekans değiştirme yöntemi kullanılırken daha düşük ya da daha yüksek frekans bantları birbirlerine benzer olmalıdır.

2.3.3. Pozisyon Değiştirme

Pozisyon değiştirme yöntemi, ilgili gök cismi ya da gök yüzü bölgesi belirli bir süre gözlendikten sonra, radyo teleskopu çok uzak olmayan boş bir noktaya çevirmek sureti ile gerçekleştirilir. Boş gök yüzü bölgesinden ölçülen değerler ile gözlemi yapılan ilgili cisimlerin ölçümleri daha sonra birbirlerinden çıkarılarak gerçek ölçüm değerlerine ulaşılır. Teleskop zamanı bakımından maliyetli olmasına karşın bu yöntemde frekans değiştirme yönteminin aksine önceden bir bilgi gereksinimi olmaz. Pozisyon değiştirmeyi kullanmaya karar verirken göz önüne alınması gereken birtakım hususlar vardır. Pozisyon değiştirme genel olarak teleskobu tekrar işaretlemeyi gerektirdiğinden, kaynak

gözlemleri ile boş gökyüzü gözlemleri arasında hızlı bir oranda geçiş yapmaya uygun değildir. Bu, teleskop temel seviyeleri için makul bir süre boyunca kararlı kalması gerektiği anlamına gelir. Burada bu süre hem kaynak hem de boş gökyüzü konumlarını gözlemlemek için geçen süredir. Eğer beş dakikalık kaynak ve boş gökyüzü gözlemleri yapılıyorsa, temel seviye çizgileri için en az on dakikalık stabil ölçümler yapılmalıdır. Pozisyona bağlı gözlemler yapılırken göz önüne alınması gereken diğer bir husus çanak antenin parçalı dolmasıdır. Çanağın tümü, kaynak ve boş gök yüzü gözlemlerinde yeterince RF dalgaları ile dolmazsa, taban çizgilerinde büyük farklılıklar olabilir. Bu durumda, farklı gökyüzü konumlarının gözlemleri, çanak antenin farklı alanlarını aydınlatmakla kalmayıp aynı zamanda zeminden ve teleskop yapısından yansımalardan önemli ölçüde katkılarda bulunabilir. Bu yöntem zaman alıcı olmasına karşın temel seviye çizgilerinin daha stabil kalmasını sağlamaktadır.

Pozisyon değiştirmede asıl dikkat edilmesi gereken konu ise gözlenmek istenen gök yüzü bölgelerinin tek çanak çapından daha büyük (galaktik H I vb.) olmasıdır. Bu durumda pozisyon değiştirme yöntemi kullanışsız hale gelir.

2.4. Radyo Teleskop Teknik Bilgileri

ERT – 5 radyo teleskopuna ait teknik bilgiler Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Radyo teleskop, elektrik altyapısı, hareket sistemleri (step motorlar, step motor sürücüleri ve dişli kutuları), alıcı sistemleri (LNB ve radyometre), kontrol sistemleri (prototip kumanda) olmak üzere çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır.

Tablo 2.1. Radyo Teleskop Teknik Bilgileri

Ana yansıtıcı	5 metre
Kundak	Alt-Az
LNB	11 GHz (Giriş) 950 – 1800 MHz (Çıkış)
Kontrol	Arduino Pro Mini tabanlı kumanda
Encoder (2 adet)	Hohner SS11120/8192

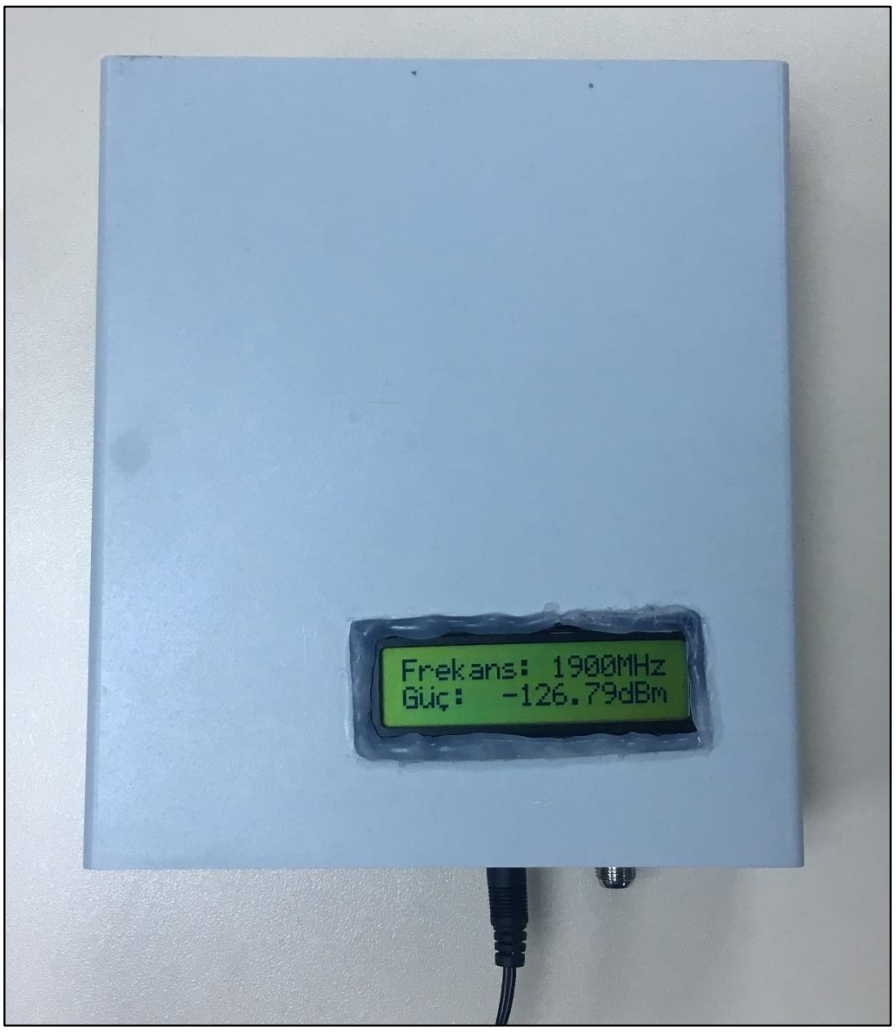
Şekil 2.5.'te ERT-5 radyo teleskopu için geliştirilen kontrol kumandası görülmektedir. Kumanda içerisinde Arduino Pro Mini mikro kontrolcü bulunmaktadır. Kumanda üzerinde bulunan üç adet butondan gelen komutları step motor sürücülerine göndererek radyo teleskopun hareketini sağlamaktadır. Soldaki buton hız seçimi yapmaktadır. Kumandada iki farklı hız modu bulunmaktadır (Normal ve Hızlı). Ortadaki buton ile step motorlar saat yönü tersinde (CCW), sağdaki buton ile de saat yönünde (CW) hareket etmektedir. Kumanda içerisinde ayrıca dokuz voltluk pil bulunmaktadır. Kumanda üzerinde açma kapama düğmesi yer almaktadır. Kumanda USB bağlantısından step motor sürücüleri ile haberleşmektedir.



Şekil 2.5. UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nde üretilen ERT-5 Radyo teleskop prototip kumandası.

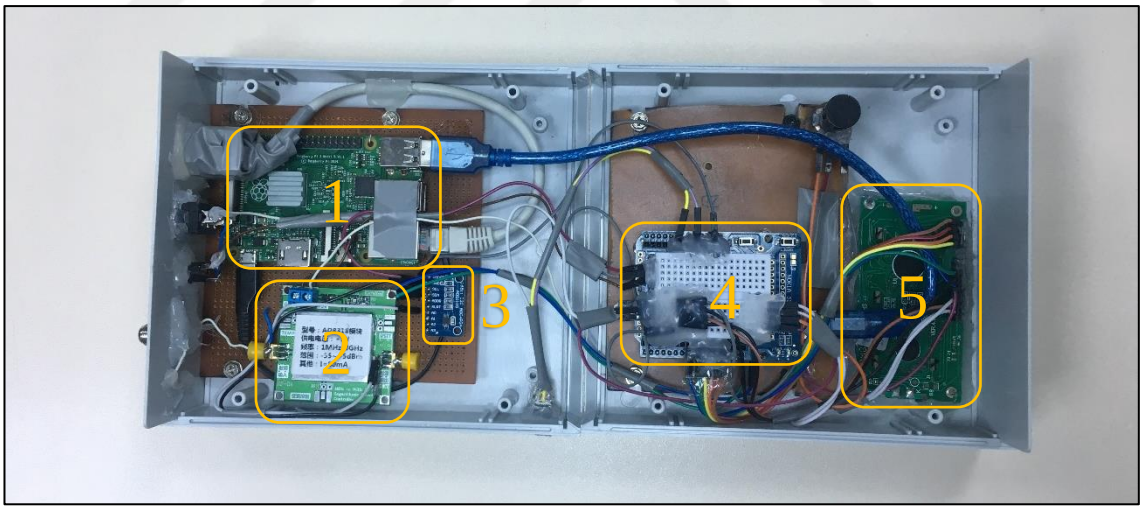
2.5. Prototip Radyometre ve Teknik Bilgileri

Tez çalışması için prototipi yapılıp üretilen radyometrenin dış yapısı Şekil 2.6. ve radyometrenin iç yapısı ise Şekil 2.7.'de görülmektedir.



Şekil 2.6. UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nde ERT -5 Radyo teleskopu için geliştirilen prototip radyometre. Radyometre içerisinde Raspberry Pi 2, Arduino Uno, 16-bit ADC, 1 MHz – 8 GHz aralığında RF güç ölçer (AD8318) ve LCD (16x2) ekran bulunmaktadır. Radyometre girişleri Ethernet (RJ45), +5 Volt DC güç girişi ve RF (75 Ohm) koaksiyel kablo girişleridir.

Radyometre, RF girişinden aldığı sinyalleri ilgili frekans aralıklarına göre güç ($dB\mu V$) birimine çevirmektedir. Bu işlem için RF girişinden gelen sinyaller, AD8318 güç dönüştürücü devresine ulaşır. Bu devre RF sinyallerini gerilime (volt) dönüştürür. Daha sonra devrenin çıkış uçlarından 16-bit yüksek çözünürlüklü Analog Dijital Çevirici (ADC) devresine gerilim gönderilir. ADC devresi analog sinyalleri dijitale dönüştürür. Dijital (sayısal) hale dönüşen sinyaller Arduino Uno dijital pin girişi ile okunur. Arduino içerisindeki yazılım, gelen sinyalleri LCD ekrana ve aynı zamanda USB üzerinden Raspberry Pi 2 (mini bilgisayar) 'ye gönderir. Bu şekilde RF girişinden gelen değerler ekranda gözükmektedir. Raspberry Pi 2 içerisinde Python dilinde geliştirilmiş yazılım sayesinde Arduino'dan gelen ölçüm değerleri kayıt edilmektedir. Aynı zamanda internet portundan (5005) servis edilmektedir. LabVIEW dilinde geliştirilen yazılım sayesinde Raspberry Pi 2'nin servis ettiği ölçüm değerlerine radyometreden çok uzak mesafelerde bile ulaşılabilmektedir.



Şekil 2.7. Prototip radyometre iç yapısı. Şekilde sarı dikdörtgen1er ile gösterilmiş donanımlar sırası ile 1: Raspberry Pi 2, 2: AD8318 RF Güç-metre, 3: 16-bit ADC, 4: Arduino UNO (protoshield), 5: 16x2 LCD Ekran

3. BÖLÜM
BULGULAR

3.1. Radyo Teleskop Etkin Anten Açıklığının Hesaplanması

Etkin anten açıklığı (A_{eff}) 2. bölümde açıklandığı üzere hesaplanmıştır. ERT-5 anteni için izotropik anten kazancı (G), anten parametreleri göz önünde bulundurularak (anten çapı 5 metre, anten verimliliği %30) 10.6 GHz için ~47,5 dB olarak hesaplanmıştır. Böylece etkin anten açıklığı ~4 m^2 olarak bulunmuştur. 5 metrelik antenin geometrik boyutu yaklaşık olarak 4.7 m^2 olarak gelmektedir. Beklendiği üzere hesaplanan etkin alan açıklığı geometrik boyuttan daha düşüktür. Şekil 3.1'de ERT – 5 radyo teleskopu görülmektedir.

3.2. Radyo Teleskop Sistem Sıcaklığının Hesaplanması

Güneş gözlemlerinin sonuçları ve 10.6 – 12.7 GHz frekans aralığındaki referans radyo Güneş akıları ikinci bölümde anlatılan sistem sıcaklığının bulunması yöntemiyle yapılmıştır. Güneş gözlemleri ölçümleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 – Güneş gözlemleri değerleri

Parametre	Değer	Açıklama
S	412.7 SFU	1 SFU = 10000 J = $10^{-22}\ W/m^2Hz$
k	1.38^{-23} J/K	Boltzmann Sabiti
P	53.04	Ölçüm (dbμV)
P_0	42.97	Boş gök yüzü (dbμV)

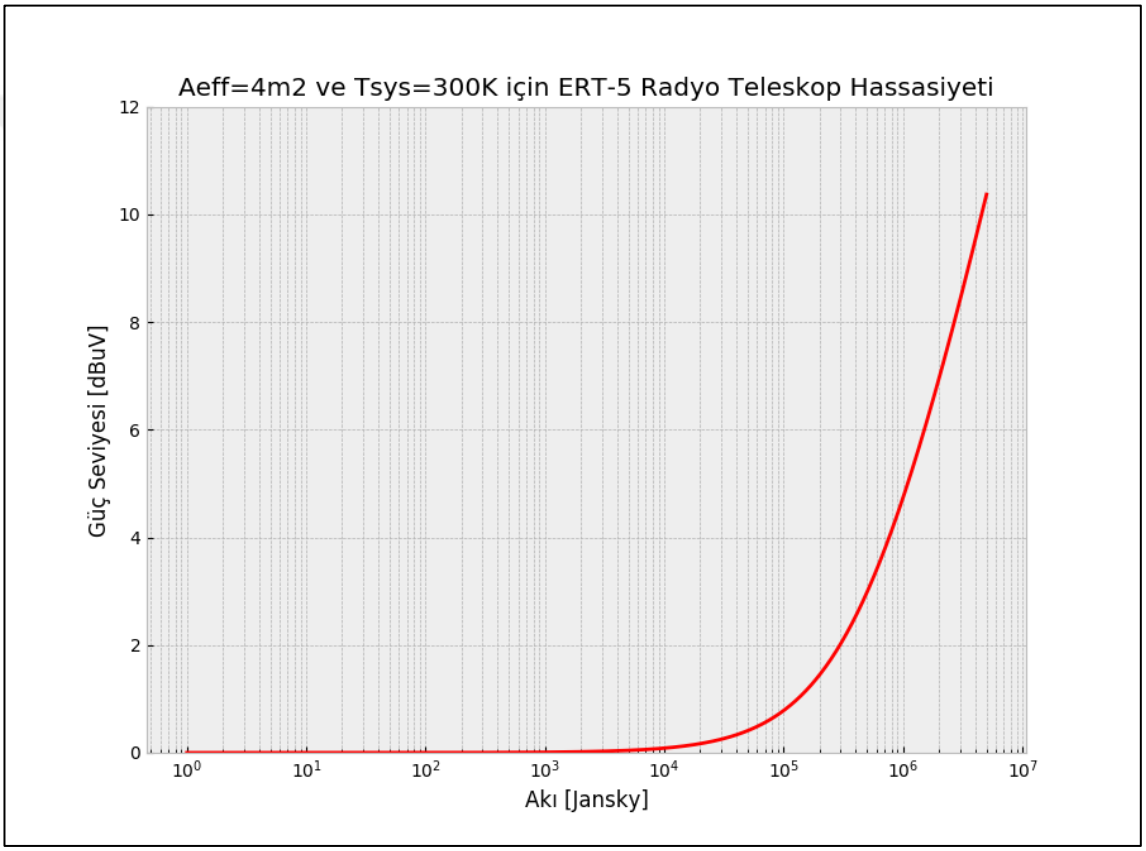
Bu değerler doğrultusunda radyo teleskop sistem sıcaklığı (T_{sis}) ~295 K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. ERT – 5 Radyo teleskopu.

3.3. Radyo Teleskop Hassasiyetinin Hesaplanması

Radyo teleskop, boş gök yüzünden radyo kaynağa doğru gönderilirken artan gerilim seviyeleri ölçülmüştür. Radyo akı değeri (S), 2.2 ve 2.6 denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.2'de gözlenen gök cisimlerinin akı değerlerine karşılık radyometrenin ölçmesi beklenen sinyal seviyeleri (dBµV) gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Gözlenen akı değerlerine karşılık gelen sinyal seviyeleri.

3.4. Radyo Teleskop Gözlem Verisi

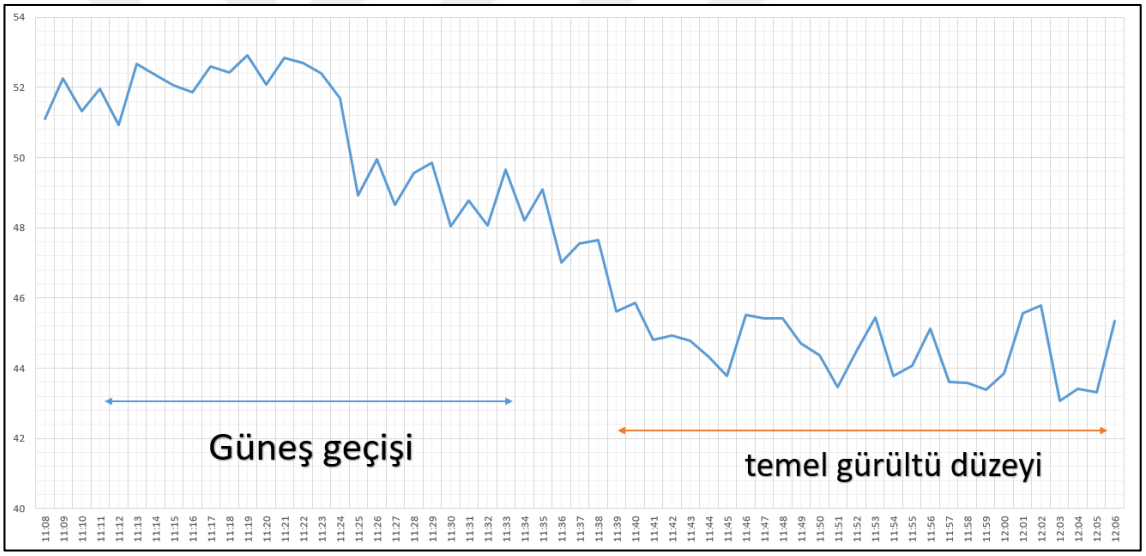
ERT-5 Radyo teleskopundan alınan Güneş verileri Tablo 3.2'de ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Ay verileri de Tablo 3.3'de ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 – Radyo Gözlem Verisi (Güneş)

Tarih	Saat	Frekans (GHz)	Ölçüm (dbµV)	Boş gök yüzü (dbµV)	Güneş Akısı (SFU)	T_{sis} (K)
04.07.2017	11:09	10.6 – 12.7	53.04	42.97	409.3	295

Tablo 3.3 – Radyo Gözlem Verisi (Ay)

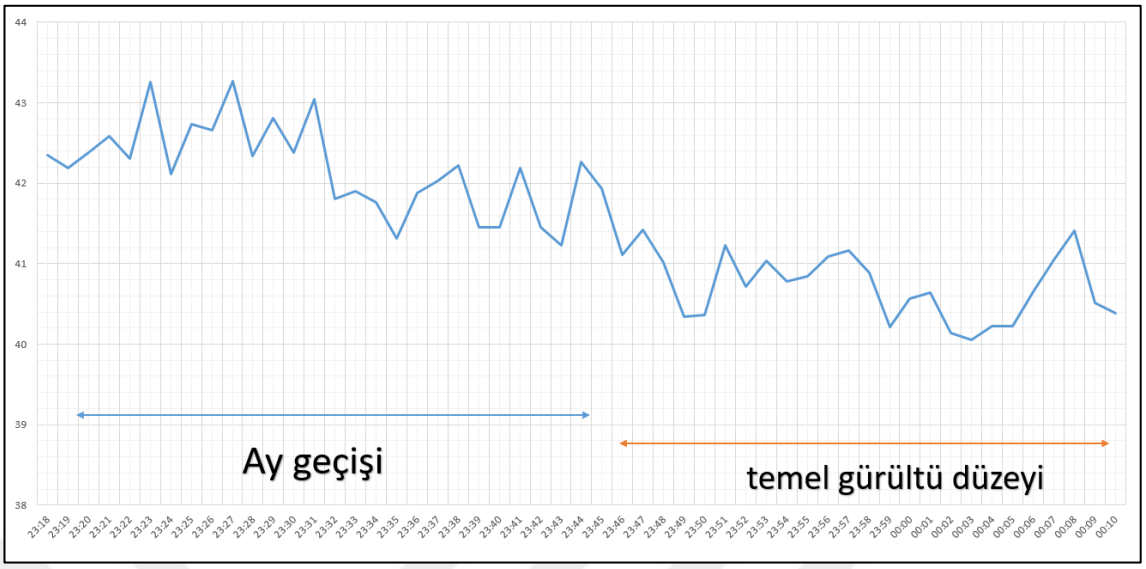
Tarih	Saat	Frekans (GHz)	Ölçüm (dbµV)	Boş gök yüzü (dbµV)	T_{sis} (K)
04.07.2017	23:18	10.6 – 12.7	42.16	41.38	178.64



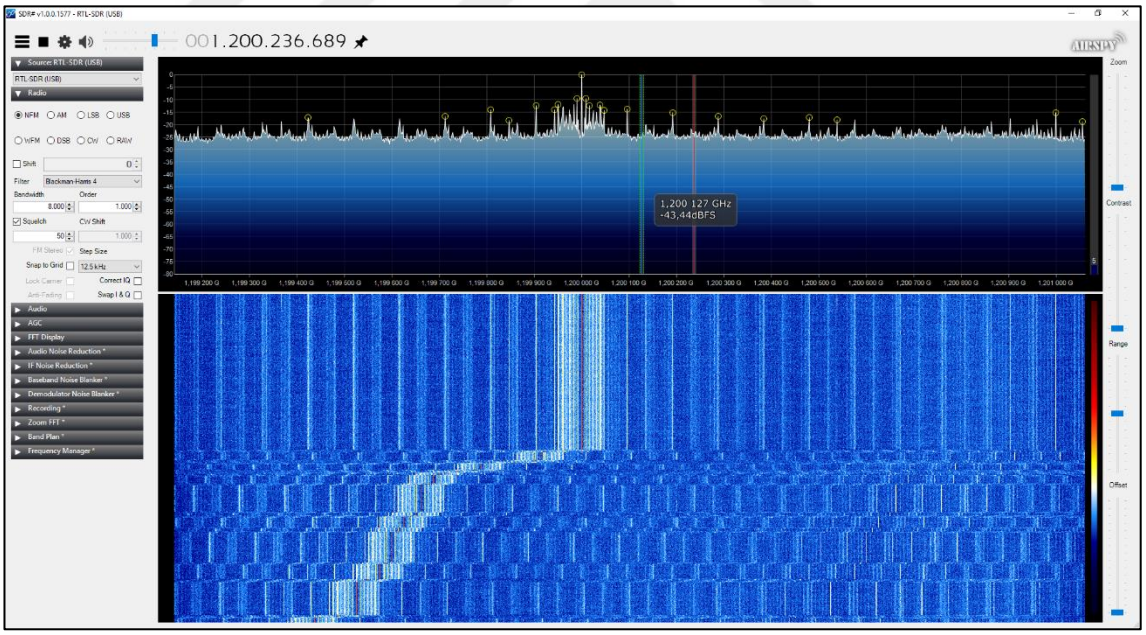
Şekil 3.3. Radyo teleskop ile alınan Güneş gözlem verileri.

3.5. Radyo Frekans Girişim Ölçümleri (RFI)

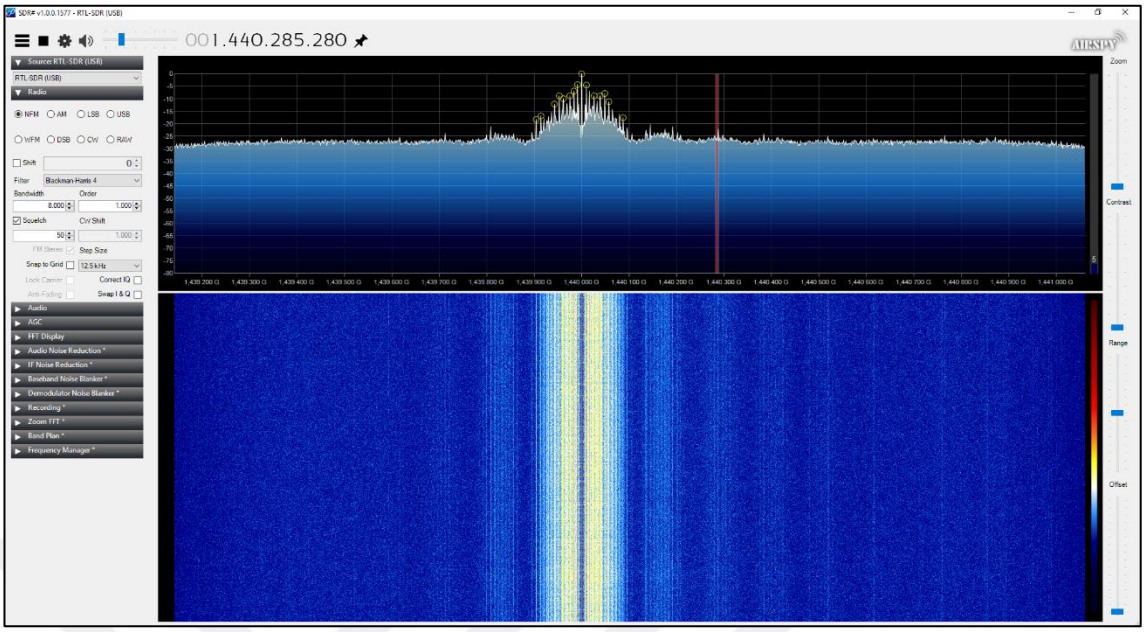
ERT – 5 radyo teleskopu için yapılan çalışmalar sırasında UZAYBİMER UYG-AR Merkezi civarındaki radyo frekans girişimleri (RFI) 1.0 – 1.8 GHz için ortalama 100 MHz frekans aralıkları ile ölçülmüştür. Şekil 3.5'te 1.2 GHz için RFI ölçümleri, Şekil 3.6'da 1.44 GHz için RFI ölçümleri, Şekil 3.7'de 1.5 GHz için RFI ölçümleri, Şekil 3.8'de 1.65 GHz için RFI ölçümleri, Şekil 3.9'da 1.79 GHz için RFI ölçümleri görülmektedir.



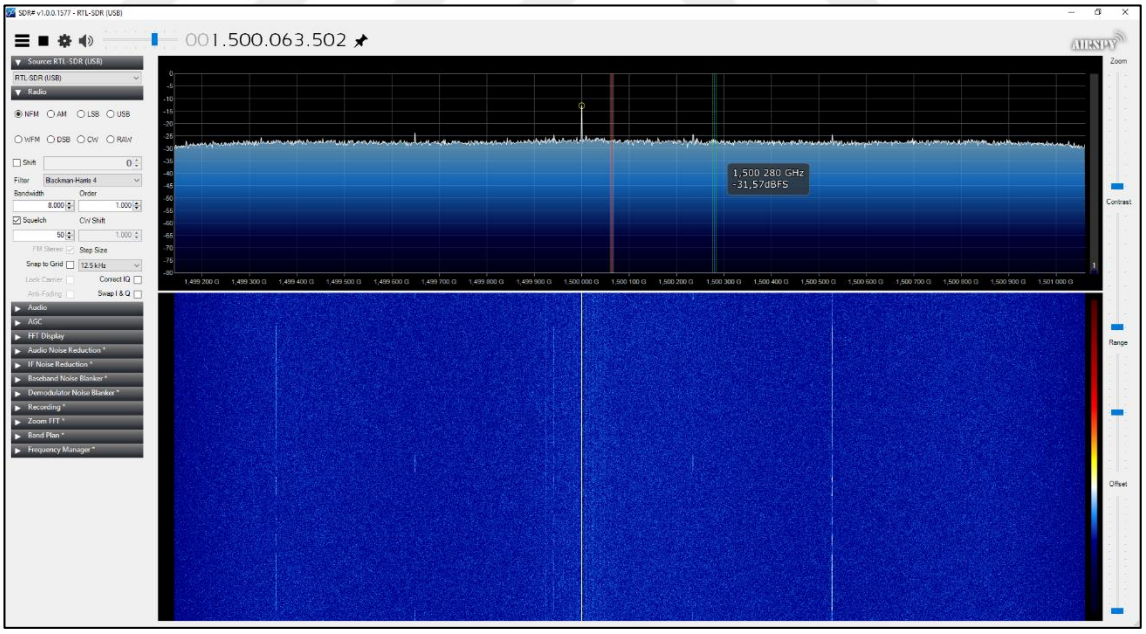
Şekil 3.4. Radyo teleskop ile alınan Ay gözlem verileri.



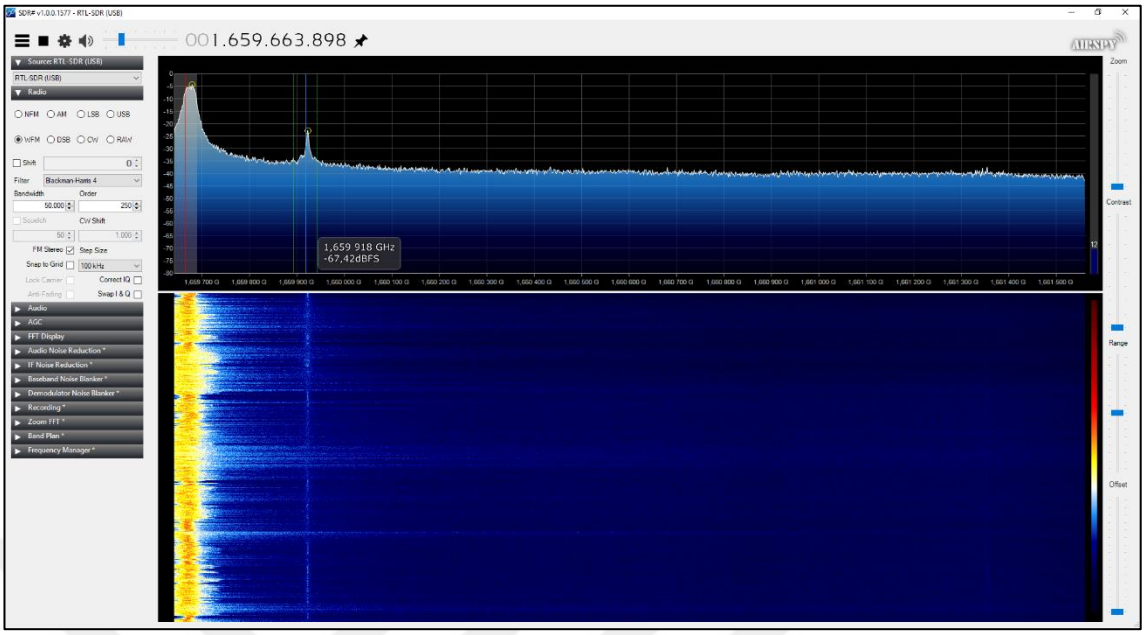
Şekil 3.5. 1.2 GHz için RFI ölçümleri



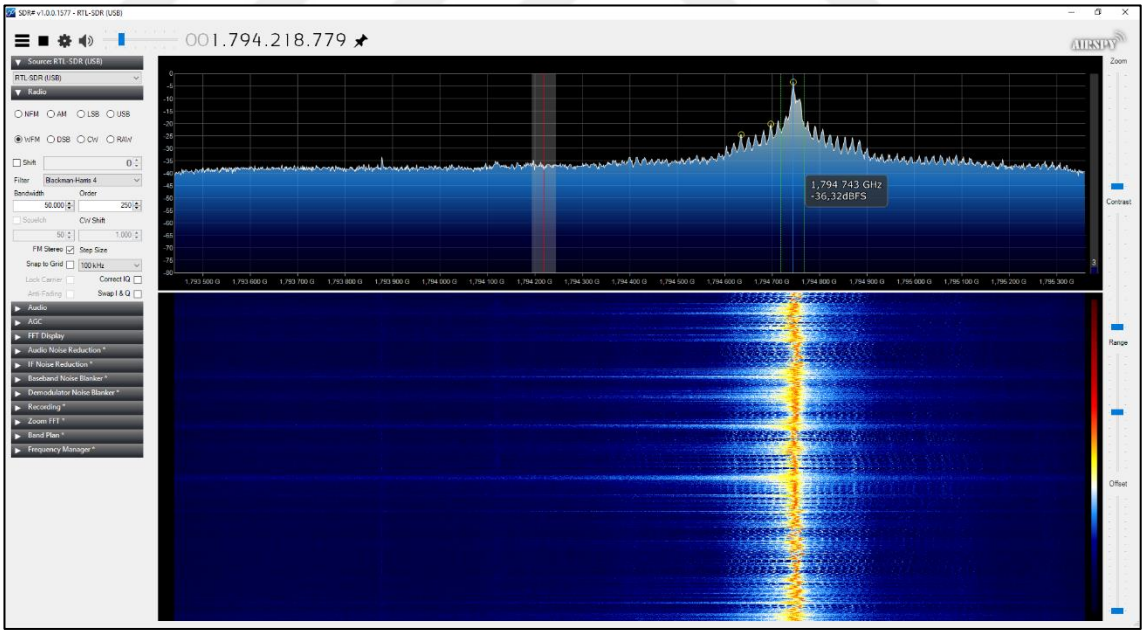
Şekil 3.6. 1.44 GHz için RFI ölçümleri



Şekil 3.7. 1.5 GHz için RFI ölçümleri



Şekil 3.8. 1.65 GHz için RFI ölçümleri



Şekil 3.9. 1.79 GHz için RFI ölçümleri

4. BÖLÜM
TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

Bu çalışmada, UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nde kurulu bulunan ERT-5 Radyo teleskopuna ait donanımların ve radyo teleskopun çalışması için gerekli diğer altyapının kontrolü, bakımı ve uygulaması yapılmıştır. Radyo teleskop çok uzun süre kullanılmadığından, bünyesinde barındırdığı tüm bileşenlerin tek tek incelenmesi gerekmiştir. Teleskop bileşenlerinin her birinin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Ayrıca, bu bileşenlere ait teknik bilgiler de ekler kısmında sunulmuştur. Radyo teleskop bileşenlerinin durumu, tez çalışmasınca yapılan işler ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen 12 madde ile özetlenmiştir.

1. Radyo teleskop hareket sistemlerinin (step motor ve dişli çarklar) kontrolü hem yatay eksen hem de dikey eksen için yapılmıştır. İncelemeler sonucunda, radyo teleskop üzerinde var olan step motor ve step motor sürücülerinin çalıştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, dişli kutuları ve dişli çarklarının bakımları yapılarak çalışması sağlanmıştır.
2. Teleskop üzerinde bulunan dişli çarklarına yerleştirilmiş step motorlar ve bu step motorlar için özel üretilmiş step motor sürücüleri (TM-4500), radyo teleskopun iki eksende hareketini sağlamaktadır. Teleskopun hareketinin sağlanabilmesi için, step motor sürücülerinin, kullanıcı kılavuzunda belirtilen özel sinyalleri üretmesi gerekmektedir. Bu sinyalleri (0: LOW, 1: HIGH) üretmek için bir prototip kumanda tasarlanmıştır ve UZAYBİMER UYG-AR Merkezi imkanları ile üretilen kumanda, içerisinde Arduino (Pro Mini) mikro denetleyicisini bulundurmaktadır. Prototip kontrol kumandası üzerinde bulunan üç adet tuş (sırası ile step motor çalışma hızını belirleme, saat yönünün tersinde ve saat yönünde hareket) ile step motor sürücülerine sinyaller göndermektedir.

3. Gönderilen sinyaller step motor sürücüsünün giriş pinlerinden anlık olarak okunmakta ve step motor sürücüye iletilmektedir. Bu çalışmalardan sonra ERT-5 radyo teleskopu, üretilen prototip kumanda ile her iki eksende de başarılı bir şekilde hareket ettirilmiştir.

4. ERT-5 radyo teleskopun odak noktasına, UZAYBİMER UYG-AR Merkezi envanterinde bulunan silindir anten (Cantenna) ve bu anten için özel olarak üretilmiş LNA yerleştirilmiştir. Daha sonra radyo ölçüm verilerinin alınması için gerekli olan bir radyometre tasarlanarak, temin edilen yeni donanımlar ile beraber olarak üretilmiştir. Radyometrenin çalışması ve kontrolü için LabVIEW, Python ve Arduino dillerinde yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar hakkında kapsamlı bilgi ve kaynak kodları eklerde mevcuttur. Radyometre, internet üzerinden belirli porttan ölçüm bilgilerini anlık olarak servis etmektedir. Bu sayede, radyo teleskopa uzaktan erişim ile gözlem verileri elde edilebilmektedir.

5. Yukarıda sırası ile anlatılan adımlardan sonra, ERT - 5 radyo teleskop sistemi gözlem yapmaya uygun hale gelmiştir. Testler ve kurulumlar esnasında deneme gözlemleri yapılmıştır ve sistemin kararlılığı test edilmiştir. Radyo teleskopta herhangi bir takip sistemi bulunmamaktadır. Ancak, takip sisteminin gerekliliği Bölüm 4.2'de ele alınmıştır.

6. Radyo teleskop sistemi, Güneş'e odaklanarak ilk veriler alınmıştır. Yaklaşık 50 dakika süren gözlem esnasında Güneş zamanla teleskopun görüş alanından çıktığından, gözlemin son kısmında elde edilen veriler boş gök yüzüne aittir. Boş gök yüzü gözlemleri için ölçülen taban seviye (gürültü düzeyi) 40 – 44 dBμV olarak kaydedilmiştir. Güneş'e ait ölçülen güç seviyeleri ortalama olarak 51 – 54 dBμV civarındadır. Buna göre Güneş için gürültüden arındırılmış güç değerleri, 10 – 11 dBμV olarak elde edilmiştir.

7. Benzer şekilde elde edilen Ay gözlemlerinde, temel gürültü seviyesi Güneş gözlemlerinden elde edilen değerler ile tutarlı olarak 40 – 44 dBμV bulunmuştur. Ay gözlemlerinin gürültüden arındırılmış değeri 1 – 2 dBμV olarak hesaplanmıştır.

8. Yapılan gözlemler sonucunda radyo teleskopa ait değerler Bölüm 2'de açıklanan yöntemler ile hesaplanmıştır. Anten sıcaklığı ortalama 270 – 330 K ölçülmüştür. 2006 – 2007 yıllarında aynı radyo teleskop ile yapılan ölçümlerde Yusifov [31], anten sıcaklığını 300K olarak elde etmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler Yusifov [31] çalışmasında elde edilen değerlerle uyum göstermektedir.

9. Radyo teleskopun etkin anten açıklığı yaklaşık olarak 3.8 – 4.1 m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre radyo teleskopun verimliliği, yaklaşık olarak %30 - %35 düzeyindedir.

10. Radyo teleskop verimliliği, birçok parametreye bağlı olmakla birlikte asıl unsuru; radyo teleskop yüzeyinin hassasiyetidir. Uzunca bir zaman süresince radyo teleskop yüzeyi için bakım yapılmamıştır. Bundan dolayı anten verimliliği düşük çıkmaktadır.

11. Bu tez çalışmasının ana amacı, ERT–5 radyo teleskopu için akı kalibrasyonunun yapılmasıdır. Yukarıda sırası anlatılan işlemler sonrasında radyo teleskop ölçümlerine dair kalibrasyon işlemleri, Yöntem ve Materyal kısmında açıklanan kalibrasyon tekniklerine göre denenmiştir. İlk ve en genel yöntem olarak temel seviye gürültü eşleştirmesi (fitting) yöntemi ölçümlere uygulanmıştır. Gözlem verilerinde temel düzey, ortalama olarak 41 – 42 dB düzeylerinde ölçülmüştür. İkinci yöntem olan frekans değiştirme yöntemi, prototip radyometrenin teknik sınırlamalarından dolayı sadece iki farklı frekans için denenmiştir. Ancak frekans değiştirme yöntemi ile yapılan denemelerde IF frekansından (0.9 – 1.8 GHz) uzaklaştıkça ölçüm değerlerinin yüksek derecede hatalı olduğu sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı frekans değiştirme yöntemi kullanılmamıştır. Kalibrasyon yöntemlerinin sonuncusu olan pozisyon değiştirme yönteminden yararlanılmıştır. Radyo teleskop gökyüzündeki farklı noktalara (boş bölgelere) çevrilerek ölçüm değerleri alınmış ve bu değerler temel gürültü düzeyi olarak kabul edilmiştir. Pozisyon değiştirme yönteminde alınan değerler temel seviye eşleştirme yöntemi ile alınan değerlere çok yakındır. ERT-5 radyo teleskopunda kullanılması tavsiye edilen kalibrasyon yöntemi, öncelikli olarak temel seviye eşleştirme olmalıdır. Bu yöntem gözlem zamanı açısından oldukça verimlidir. Ancak bu yöntemin yetersiz kaldığı durumlarda pozisyon değiştirme yöntemine başvurulmalıdır. Frekans değiştirme yöntemi ise radyometrenin yapısına çok elverişli değildir.

12. Radyo teleskop üzerinde koordinat bilgisi için Encoderlar mevcuttur. Hohner marka Encoderin (Model numarası: SS11120/8192) çözünürlüğü 8192 bittir. Encoderler'ın çalışması için Hohner firmasının üretmiş olduğu endüstriyel kontrol yazılımı üretici firma tarafından temin edilmiştir.

13. Bu çalışma sırasında UZAYBİMER UYG-AR Merkezi civarındaki radyo frekans girişimleri (RFI) de ölçülmüştür. 1.2 GHz frekans aralığında gücü yaklaşık -3 dB'ye ulaşan geniş bant girişimler tespit edilmiştir. 1.44 GHz frekans bandında gücü -3 dB'ye

ulaşan geniş bant girişim tespit edilmiştir. Bu iki girişim, 1420 MHz Hidrojen çizgisine oldukça yakındır. 1.5 GHz frekans aralığında gücü -15 dB'yi geçmeyen dar bant girişimler tespit edilmiştir. 1.65 GHz frekans aralığında gücü -5 dB'ye ulaşan geniş bant girişim tespit edilmiştir. Bu girişim 1665 MHz hidroksil (OH) çizgisine çok yakın konumdadır. 1.79 GHz frekans bandında gücü -5 dB'ye ulaşan geniş bant (muhtemel tv yayını) radyo girişim tespit edilmiştir. Yukarıda bahsedilen girişimler, radyometrenin çalıştığı ara frekans (IF) aralığında yer almaktadır ve ölçüm değerlerine etki etmektedir.

4.2. Öneriler

Bu çalışmada ERT – 5 radyo teleskopu, uzunca bir süreden sonra, ilk kez çalıştırılmıştır. Bu çalıştırma denemesi teknik ekip ile yapıldığı için başka araştırmacılar tarafından radyo teleskopun kullanılması şu an için mümkün değildir. ERT – 5 radyo teleskopunun sorunsuz bir şekilde ve yarı otomatik olarak çalışması için, aşağıda 7 madde ile özetlenen çalışmaların yapılması gereklidir. Yapılacak çalışmalar sonrasında, ERT – 5 radyo teleskopu gözlem projelerinde aktif olarak kullanılabilecektir. Radyo teleskop için öncelikli olarak yapılması gerekenler:

1. ERT – 5 radyo teleskopunu kontrol edebilmek ve radyo ölçümlerini almak için, radyo teleskop sistemi içerisine kontrol bilgisayarı kurulmalıdır. Kontrol bilgisayarı, değişken hava şartlarına uygun olacak şekilde endüstriyel standartlarda seçilmelidir. Kontrol bilgisayarı, radyo teleskopu kontrol edebilmek için gerekli donanımsal özelliklere sahip olmalıdır. Kontrol bilgisayarının, radyo teleskop hareket ve encoder sistemleri ile uyumlu çalışabilmesi için Windows İşletim Sistemi (7 ya da 10, 64 bit) ile kurulumu yapılmalı ve bu sistemlere ait gerekli kütüphane ve üretici firma yazılımları kurulmalıdır. Uzaktan erişim için VNC benzeri programlar da bilgisayara kurulmalıdır. Ayrıca kontrol bilgisayarına harici bir güç kaynağı (UPS) bağlanmalıdır.
2. ERT – 5 radyo teleskopunu, uzaktan kontrol (UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nden) kontrol edebilmek ve gözlem ölçümlerini almak için var olan internet kablosunun tamir edilmesi veya CAT 6E Ethernet kablosu ile yenilenmesi gereklidir. Ethernet kablosunun çalışır hale gelmesinin ardından radyo teleskop UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nden kontrol edilebilecektir.

3. ERT – 5 radyo teleskopunun hareket sistemlerini kontrol edecek Windows platformunda bir yazılım geliştirilmelidir. Kontrol yazılımı ile radyo teleskop gök yüzünde istenilen konuma ve gözlem sonrasında güvenli konum olan park pozisyonuna gidebilmelidir. Kontrol yazılımı, radyo teleskopta bulunan alıcıların kontrolünü yapabilmeli ve ölçülen gözlem verilerini kayıt edebilmelidir. Kontrol yazılımı, bu çalışmada bahsedilen kalibrasyon yöntemlerinin tümünü yapabilmelidir.
4. ERT – 5 radyo teleskopu sisteminde var olan kapak kilitlerinin güvenlik açısından değiştirilmesi gerekmektedir.
5. ERT – 5 radyo teleskopunun anten verimliliği, teleskopun uzun yıllar boyunca açık havada kalmasından dolayı ~%35 düzeyindedir. Bir radyo teleskop için bu değerin %60 - %70 civarında olması beklenir. Antenin verimliliğini artırmak için anten yüzeyini öncelikle temizlemek ve sonrasında da boyamak gerekmektedir. Bu işlemler ile radyo teleskopun verimliliği yaklaşık %10 - %15 düzeyinde artacaktır.
6. Yapılan radyo frekans girişim ölçümlerinden görüldüğü üzere, ERT – 5 radyo teleskopunun bulunduğu bölgede radyo girişim (RFI) oldukça fazladır. Bu istenmeyen durumu gidermek için, öncelikle radyo alıcı sisteminde belirli frekans aralıklarını engelleyen filtreler kullanılmalıdır. Bu özel filtreler sadece istenilen frekans aralıklarına izin vereceği için radyo alıcıda ölçülen RFI kaynaklı katkılar azalacaktır. Ayrıca radyo alıcının da RFI etkilerinden etkilenmemesi için RF koruyucu metal plakalar kullanılabilir.
7. Bu tez çalışmasından elde edilen bilgi ve tecrübe, UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nde bulunan 12.8 metrelik radyo teleskop için de kullanılabilir. Bu tez çalışması ile UZAYBİMER UYG-AR Merkezi'nde bulunan tek çanak radyo teleskopların kalibrasyon işlemleri başarılı bir şekilde yapılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Jansky, K. G., 1933. Electrical disturbances of extraterrrestrial origin**. Proceedings of Institute of Radio Enginneers, 21,** 1387-1398.
2. Reber, G., 1940. Cosmic static. **Astrophysical Journal, 91**, 621-624.
3. Reber, G., 1949. Galactic radio waves. **Sky and Telescope, 8**, 139-140.
4. Dicke, R.H., Beringer, R., 1946. Microwave radiation from the sun and moon. **Astrophysical Journal, 103**, 375-376.
5. Pawsey, J.L., Payne-Scott, R., McCready, L.L., 1946. Radio-frequency energy from the sun. **Nature**, **157**, 158-159.
6. Fanaroff, B. L., J. M. Riley, 1974. The morphology of extragalactic radio sources of high and low luminosity. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 167**, 31-36.
7. Hey, J. S., Parsons, S. J. & Phillips, J. W., 1946. Fluctuations in cosmic radiation at radio-frequencies. **Nature, 158**, 234-237.
8. Baade, W., Minkowski, R., 1954. Identification of the radio sources in Cassiopeia, Cygnus A, and Puppis A., **Astrophysical Journal, 119**, 206-208.
9. Laing, R. A., Riley, J. M., Longair, M. S., 1983. Bright radio sources at 178 MHz - flux densities, optical identifications and the cosmological evolution of powerful radio galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 204**, 151-187.
10. Guth, A.H., 2000. Inflation and eternal inflation. **Physics Reports, 334**, 555-574.
11. Penzias, A.A., Wilson, R.W., 1965. A measurement of excess antenna temperature at 4080 mc/s. **Astrophysical Journal, 142**, 419-421.
12. Sullivan, W.T., 1982. Classics in Radio Astronomy. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 350 pp.
13. Ewen, H.I., Purcell, E.M., 1951. Observation of a line in the galactic radio spectrum: radiation from galactic hydrogen at 1,420 mc./sec. **Nature, 168**, 356-359.
14. Merrifield, M.R., 1992. The rotation curve of the milky way to 2.5 r/o from the thickness of the HI layer. **Astronomical Journal, 103**, 1552-1554.
15. Hewish, A., Bell, S. J., Pilkington, J. D. H., Scott, P. F., Collins, R. A.et al., 1968. Observation of a rapidly pulsating radio source. **Nature, 217,** 709-713.

16. Ryle, M., Hewish, A., 1960. The synthesis of large radio telescopes. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 120**, 220-223.

17. Gold, T., 1968. Rotating neutron stars as the origin of the pulsating radio sources. **Nature, 218,** 731-732.

18. Baade, W., F. Zwicky., 1934. Remarks on super-novae and cosmic rays. **Physical Review Journals, 46**, 76-77.

19. Manchester, R. N., Hobbs, G.B., Teoh, A. & Hobbs, M., 2005. The Australia telescope national facility pulsar catalogue. **The Astronomical Journal, Volume 129**, Issue 4, 1993-2006.

20. Weinreb, S., Barrett, A. H., Meeks, M. L., & Henry, J. C., 1963. Radio observations of OH in the interstellar medium. **Nature, 200**, 829 – 831.

21. Cheung, A. C., Rank, D. M., Townes, C. H., Thornton, D. D., Welch,W. J., 1968. Detection of NH3 molecules in the interstellar medium by their microwave emission. **Physical Review Letters, 21**, 1701 – 1703.

22. Omont, A., Petitjean, P., Guilloteau, S., McMahon, R. G., Solomon, P. M., Pecontal, E., 1997. CO detection in the quasar BR 1202-0725 at z = 4.69. **International Astronomical Union Symposium, 178,** 501 – 503.

23. Baan, W.A., Wood, P.A.D., Haschick, A.D., 1982. Broad hydroxyl emission in IC 4553. **Astrophysical Journal, 260**, 49-52.

24. Kraus, J.D., Radio Astronomy, 2nd edition., Cygnus-Quasar Books Company, Powell Ohio, USA, 719 pp.

25. Boya, L.J., 2003. The thermal radiation formula of Planck (1900), **Revista de la Academia de Ciencias, 58**, 91-114.

26. Wien, W., 1897. On the division of energy in the emission-spectrum of a black body, **Philosophical Magazine, 43**, 214–220.

27. Sun Fact Sheet, **https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html** (Erişim tarihi: Temmuz 2017)

28. Türkiye'de uygulanan Radyo Frekans (RF) spektrum yönetimi, **https://ifis.btk.gov.tr/wmfys/millifrekanssorgu.aspx** (Erişim tarihi: Temmuz 2017)

29. The Global VLBI – Array, **http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/tkrichbaum/Global-VLBI.html** (Erişim tarihi: Temmuz 2017)

30. O'Neil, K., 2002. Single dish calibration techniques at radio wavelengths. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 278**, 293-311.

31. Yusifov, İ., Küçük, İ., Sarıkaya, M., 2007. ERT-5 Radio telescope: technical properties and calibrating observations. **24. Uluslararası Fizik Kongresi,** 789 – 793.

EKLER

Ek 1. Learmonth Gözlemevinden alınmış Güneş Akı değerleri (01/07/2017)

Learmonth Gözlemevi (Australia) internet üzerinden günlük olarak Güneş akı değerlerini yayınlamaktadır. Akı değerleri 245 MHz – 15.4 GHz arası için ölçülmektedir. Bazı frekanslara göre olan değerler, gözlenen ölçüm verilerinden üretilmiştir. Yayınlanan akı değerleri Şekil-Ek 1.1'te görülmektedir.

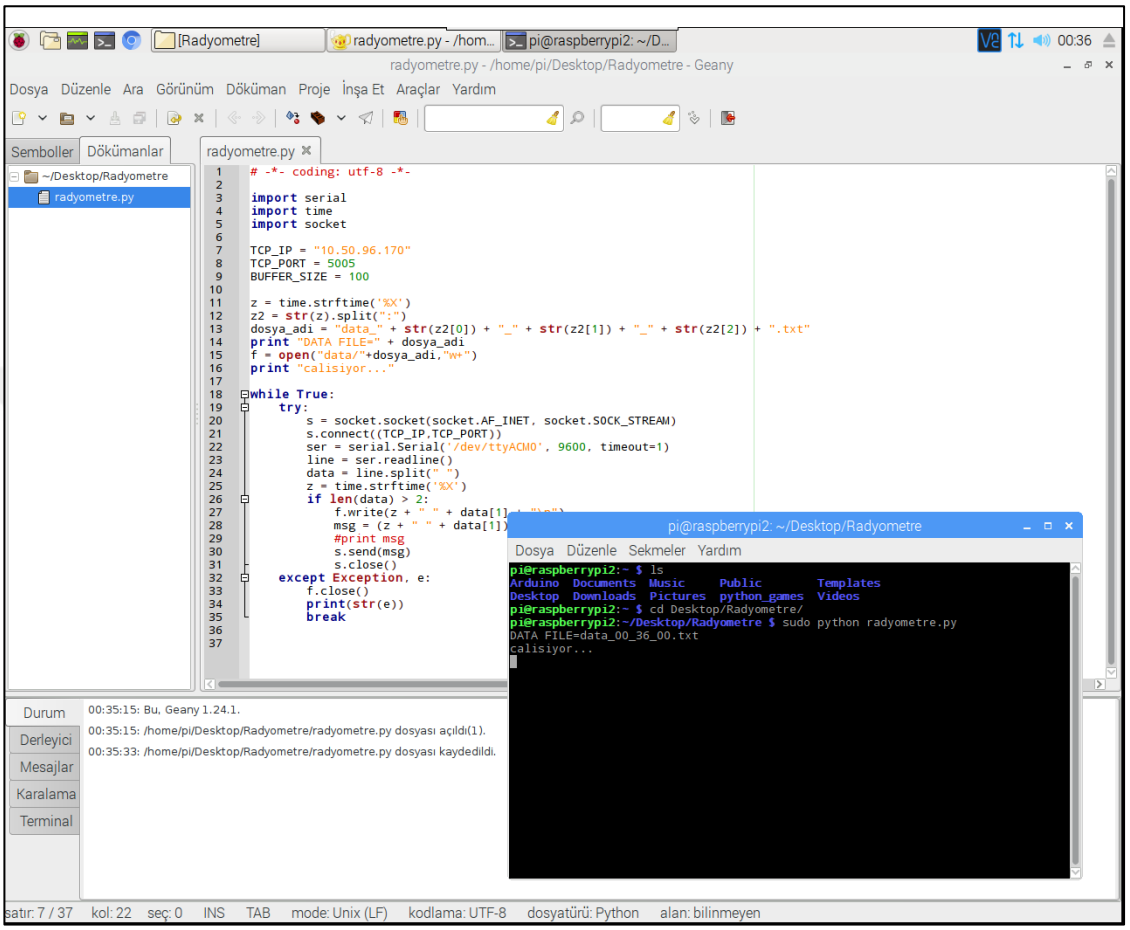
```
IFLUX : Background Solar Radio Flux
-----------------------------------

Station      Date     Time    Status    Freq    QS flux   Quality
Learmonth  01/07/17   04:07    final     245       13       good
                                         410       31       good
                                         610       39       good
                                        2695       73       good
                                        4995      109        ?
                                        8800      253       good
                                       15400      567       good


================================================================================

Interpolated value for 1300MHz: 53.7
Interpolated value for 1540MHz: 57.6
Interpolated value for 1707MHz: 60.2
Interpolated value for 2300MHz: 68.3
Interpolated value for 2401MHz: 69.5
Interpolated value for 2790MHz: 74.7
Interpolated value for 5625MHz: 130.1
Interpolated value for 6000MHz: 143.2
Interpolated value for 8000MHz: 219.6
Interpolated value for 8200MHz: 227.8
Interpolated value for 9410MHz: 278.7
Interpolated value for 10400MHz: 321.9
```

Ek 2. Radyo Teleskop sistemi için geliştirilen prototip radyometre alıcısı içerisindeki Raspberry Pi 2 mini bilgisayarın çalışması ait görüntü



Arduino UNO dan ölçülen RF değerleri Raspberry Pi 2'ye USB Portu üzerinden gönderilmektedir. *radyometre.py* dosyası ile değerler kayıt edilmekte ve 10.50.96.170 IP adresine 5005 portu üzerinden gönderilmektedir.

Ek 3. Radyo Teleskop sistemi için geliştirilen prototip radyometre alıcısı içerisindeki Raspberry Pi 2 mini bilgisayar Python kodları (radyometre.py dosyası)

```
# -*- coding: utf-8 -*-

import serial
import time
import socket

TCP_IP = "10.50.96.170"
TCP_PORT = 5005
BUFFER_SIZE = 100

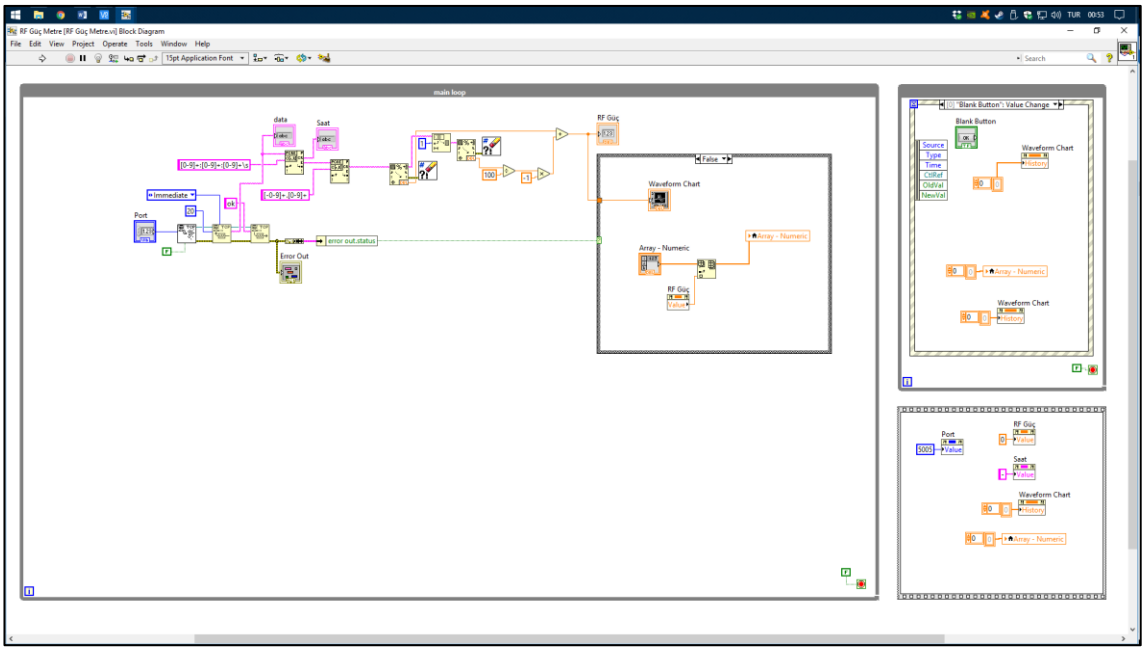
z = time.strftime('%X')
z2 = str(z).split(":")
dosya_adi = "data_" + str(z2[0]) + "_" + str(z2[1]) + "_" + str(z2[2])
+ ".txt"
print "DATA FILE=" + dosya_adi
f = open("data/"+dosya_adi,"w+")
print "calisiyor..."

while True:
   try:
      s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
      s.connect((TCP_IP,TCP_PORT))
      ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=1)
      line = ser.readline()
      data = line.split(" ")
      z = time.strftime('%X')
      if len(data) > 2:
         f.write(z + " " + data[1] + "\n")
         msg = (z + " " + data[1])
         #print msg
         s.send(msg)
         s.close()
   except Exception, e:
      f.close()
      print(str(e))
      break
```

Ek 4. Radyo Teleskop sistemi için geliştirilen prototip radyometre alıcısından gelen ölçüm değerlerinin LabVIEW ortamına ait görüntü.



Radyometreden gelen ölçümlerin grafik olarak gösterilmesi



RF Güç Metre.vi dosyasına ait Blok Şema görüntüsü (LabVIEW Kodu)

Ek 5. Radyo Teleskop sistemi için geliştirilen prototip radyometre alıcısı içerisindeki Arduino UNO mikro kontrolcü kodları (RF_Powermeter.ino dosyası)

```
/*********************************************************************/
/* RF Power Meter for 1MHz - 8GHz                                    */
/* Designed by Recep BALBAY - March 2017                             */
/* Based on AD8318 Log Detector of Analog Devices                    */
/* Used with 16-Bit I2C ADS1115 Module ADC 4 channel with Pro Gain Amplifier for Arduino */
/*AD8318 Datasheet: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/evaluation-documentation/AD8318.pdf */
/* V1.0 19-03-2017                                                   */
/*********************************************************************/
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

// Special Chars for Turkish Lang.(ü,ç)
byte u_customChar[8] = {
  0b10001,
  0b00000,
  0b10001,
  0b10001,
  0b10001,
  0b10011,
  0b01101,
  0b00000
};
```

```
byte c_customChar[8] = {
  0b00000,
  0b00000,
  0b01110,
  0b10000,
  0b10000,
  0b10000,
  0b01110,
  0b00100
};

// General declarations
#define DHTPIN 0
#define DHTTYPE DHT11
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_ADS1115 ads;                    // Use this for the 16-bit version
// Adafruit_ADS1015 ads;                 // Use this for the 12-bit version
const int SAMPLE_COUNT = 100;            // Amount of samples to take for
averaging
const int SAMPLE_INTERVAL_US = 250;      // Amount of time between two
samples

// A frequency can be selected by the user.
// The selected frequency determines the typical performance characteristics taken from
the datasheet.
// All values below are taken from page 3 and 4 of the datasheet.
const int FREQUENCIES[6]    = { 900, 1900, 2200, 3600, 5800, 8000 };    // List of
frequencies we know settings data of.
const int MIN_INPUT_DBM[6]  = { -58, -59, -60, -60, -58, -55 };      // Minimum input
power supported according to the datasheet for frequencies in list
const int MAX_INPUT_DBM[6]  = { -1, -2, -2, -2, -1, 3 };             // Maximum input
power supported according to the datasheet for frequencies in list
```

```
const float DBM_AT_0V[6]    = { 24.5, 24.4, 24.4, 24.3, 24.3, 23 };     // dBm value at 0V according to the datasheet for frequencies in list.
const float MV_DB_SLOPE     = 0.025;                                    // Slope of AD8318 characteristics in -mV/dBm. It's the same for all frequencies.

// Measured and calculated values
int samples_dbm[SAMPLE_COUNT];                                          // Array to store measured values
float avg_dbm;                                                          // Current average power in dBm
float pep_dbm;                                                          // Current peak envelope power in dBm
const byte max_history_count = 20;                                      // Maximum amount of history items
float min_dbm_history[max_history_count];                               // Minimum power history ring buffer
float max_dbm_history[max_history_count];                               // Maximum power history ring buffer
float min_dbm = 1000;                                                   // Minimum power based on history
float max_dbm = -1000;                                                  // Maximum power based on history
int modulation_index;                                                   // Modulation index based on history
byte selected_freq = 1;                                                 // Selected index from array of frequencies.
bool power_overload;                                                    // If true, too much power is put into the device.
bool power_notconnected;                                                // If true no or too less power is put into the device.

void setup()
{
  // The ADC input range (or gain) can be changed via the following
  // functions, but be careful never to exceed VDD +0.3V max, or to
  // exceed the upper and lower limits if you adjust the input range!
```

```
  // Setting these values incorrectly may destroy your ADC!
  //
  //                                                      -------  -------
  //  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);    //  2/3x  gain  +/-  6.144V    1  bit  =  3mV
0.1875mV (default)
  // ads.setGain(GAIN_ONE);        // 1x gain   +/- 4.096V  1 bit = 2mV      0.125mV
  // ads.setGain(GAIN_TWO);        // 2x gain   +/- 2.048V  1 bit = 1mV      0.0625mV
  // ads.setGain(GAIN_FOUR);       // 4x gain   +/- 1.024V  1 bit = 0.5mV    0.03125mV
  // ads.setGain(GAIN_EIGHT);      // 8x gain   +/- 0.512V  1 bit = 0.25mV   0.015625mV
  //  ads.setGain(GAIN_SIXTEEN);        //  16x  gain   +/-  0.256V    1  bit  =  0.125mV
0.0078125mV
  ads.setGain(GAIN_ONE);
  ads.begin();
  Serial.begin(9600);
  displaySplashScreen();
}

/* The main loop */
void loop()
{
  takeSamples();                                    // Take all samples (and read buttons
during sampling)
  calculate();                                    // Calculate values
  displayMeasurements();                                // Show measurements
}

/* Take SAMPLE_COUNT of samples                  */
/* sampling 500 values with no delay takes 76ms   */
/* with a delay of 750us it takes 495ms          */
void takeSamples()
{
  for (int i=0; i<SAMPLE_COUNT; i++)
  {
```

```
    float adc = ads.readADC_SingleEnded(0);
    samples_dbm[i] = adc;                                   // Take a sample - 116us
    delayMicroseconds(SAMPLE_INTERVAL_US);
  }
}

/* Perform all calculations we need */
void calculate()
{
  static byte history_idx = 0;                              // Current index of history ringbuffers
  // Calculate average, min and max values
  int min_value = 1000, max_value = -1000;
  unsigned long sum = 0;

  // Determine the min, max and sum
  for (int i=0; i < SAMPLE_COUNT; i++)
  {
    if (min_value > samples_dbm[i]) min_value = samples_dbm[i];
    if (max_value < samples_dbm[i]) max_value = samples_dbm[i];
    sum += samples_dbm[i];
  }

  avg_dbm = measuredValueTodBm(sum / SAMPLE_COUNT);                 // Calculate
average of current samples
  pep_dbm = measuredValueTodBm(max_value);                          // Peak envelope
power is the max measured power

  // Store current min/max value in history
  min_dbm_history[history_idx] = measuredValueTodBm(min_value);
  max_dbm_history[history_idx++] = measuredValueTodBm(max_value);
  if (history_idx >= max_history_count)
    history_idx = 0;                                        //Reset ringbuffer index
```

```
  // Get absolute min/max value from history
  min_dbm = 1000, max_dbm = -1000;
  for (int h=0; h < max_history_count; h++)
  {
    if (min_dbm_history[h] < min_dbm)
      min_dbm = min_dbm_history[h];                    // Current minimum value
    if (max_dbm_history[h] > max_dbm)
      max_dbm = max_dbm_history[h];                    // Current maximum value
  }

  //Calculate modulation index based voltage of min and max dbm values
  float min_voltage, max_voltage;
  min_voltage = dBmToVolt(min_dbm);
  max_voltage = dBmToVolt(max_dbm);
  modulation_index = (max_voltage - min_voltage) / (max_voltage + min_voltage);
}

/* Convert the AD converter value to voltage and then dbm */
float measuredValueTodBm(int value)
{
  float adc = ads.readADC_SingleEnded(0);
  float voltage = adc * (4.096 / 32767.5);
  float dbm = convertVoltageToDbm(voltage);
  return dbm;
}

/* Reset the history */
void resetHistoryRingBuffers()
{
  for (int h=0; h < max_history_count; h++)
  {
    min_dbm_history[h] = 1000;
    max_dbm_history[h] = -1000;
```

```
  }
}

/* Display the splash screen  */
void displaySplashScreen()
{
  lcd.createChar(0, u_customChar);                    // Custom Char Creating
  lcd.createChar(1, c_customChar);                    // Custom Char Creating
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  lcd.home();
  lcd.print("  RF G");
  lcd.write((uint8_t)0);
  lcd.write((uint8_t)1);
  lcd.print(" Metre");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" (1MHz -> 8GHz) ");
  delay(3000);
  lcd.home();
  lcd.print("Tasarim/Prototip");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("  Recep BALBAY  ");
  delay(3000);
  lcd.clear();
}

/* Convert voltage to dBm.                                  */
/* According to Figure 8 of the datasheet                   */
/* dBm value at 0V - (measured voltage / slope)             */
/* The supported range is -60dBm to 0dBm because of high error beyond.  */

float convertVoltageToDbm(float voltage)
{
```

```
  return DBM_AT_0V[selected_freq] - (voltage / MV_DB_SLOPE);
}

/* Convert dBm to mW */
float convertDbmToMilliWatt(float dBm)
{
  return pow(10, dBm / 10.0);
}

/* Convert mW to dBm */
float convertMilliWattToDbm(float mw)
{
  return 10 * log10(mw);
}

/* Convert dBm to voltage */
float dBmToVolt(float dBm)
{
  return pow(10, dBm/20.0);
}

/* Display the settings and primary measurements  */
/* Frequency, attenuation and power in dBm and mW */
void displayMeasurements ()
{
  lcd.home();
  lcd.print("Frekans: ");
  lcd.print(FREQUENCIES[selected_freq]);
  lcd.print("MHz");

  float actualPowerdBm = avg_dbm;
  float actualPowerMw = convertDbmToMilliWatt(actualPowerdBm);
```

```
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("G");
  lcd.write((uint8_t)0);
  lcd.write((uint8_t)1);
  lcd.print(":  ");

  //printFormattedNumber(actualPowerdBm, 1, 1, true, true);
  if (actualPowerdBm < -100)
    {
      lcd.print(actualPowerdBm);
      lcd.print("dBm");
    }
    else
    {
      lcd.print(" ");
      lcd.print(actualPowerdBm);
      lcd.print("dBm");
    }

  Serial.print("PowerdBm: ");
  Serial.print(actualPowerdBm);
  Serial.println(" dBm");

}

/* Print power in uW, mW or W. */
byte printPowerWatts(float mw)
{
  byte chars = 0;
  if (mw < 1.0) // If less then 1mW diaplay in uW
  {
    chars = printFormattedNumber(mw * 1000.0, 1, 0, false, false);
    chars += lcd.print("uW");
```

```
  }
  else if (mw >= 1000.0) // If more than 1000mW display in W
  {
    chars = printFormattedNumber(mw / 1000.0, 1, 1, false, false);
    chars += lcd.print("W");
  }
  else
  {
    chars = printFormattedNumber(mw, 1, 1, false, false);
    chars += lcd.print("mW");
  }
  return chars;
}

/* Print a number with a specific amount of digits and decimals on the display. */
/* It is also possible to print a space when there is no negative sign. */
/* number: Number to display */
/* minAmountDigits: The minimum amount of digits to display. If number is shorter then
'0's will be printed before the number. */
/* amountDecimals: The amount of decimals to display. */
/* fillout: If the amount of decimals is shorter then the desired amount, spaces will be
used to get the same string length. */

byte printFormattedNumber(float number, byte minAmountDigits, byte
amountDecimals, bool reserveMinus, bool fillout)
{
  byte chars = 0; // Number of chars written.

  // If no minus sign, write a space
  if (reserveMinus && number >= 0)
    chars += lcd.print(" ");
  else if (number < 0)
    chars += lcd.print("-");
```

```
  //Print integer part. When current value has less digits then wanted add extra zero's
  int digitPart = (int)number;
  byte digitCount = getAmountDigits(digitPart);
  if (digitCount < minAmountDigits)
  {
    for (byte i=0; i < minAmountDigits - digitCount; i++)
      chars += lcd.print("0");
  }
  // Display digit part
  chars += lcd.print(abs((int)number));
  // Display decimal part
  if (amountDecimals > 0)
  {
     chars += lcd.print(".");
     chars += lcd.print(getDecimalPart(number, amountDecimals));
  }

  if (fillout)
  {
    // Fill missing chars according to desired length
    byte totalCharsWanted = minAmountDigits + amountDecimals;
    if (reserveMinus)
      totalCharsWanted++;
    for (byte i=0; i < totalCharsWanted - chars; i++)
      chars += lcd.print(" ");
  }
  return chars; // return the amount of chars written to the display
}

/* Fillout a complete display line with spaces. */
void filloutLine(byte charsWritten)
{
```

```
  for (byte i=0; i < 16 - charsWritten;i++)
      lcd.print(" ");
}

/* Get amount of digits of an integer. */
byte getAmountDigits(int n)
{
    n = abs(n);
    if (n < 10) return 1;
    if (n < 100) return 2;
    if (n < 1000) return 3;
}

/* Get the decimal part of a number. */
unsigned int getDecimalPart(float number, int amountDecimals)
{
  if (number < 0)
    number = -number;

  float fract = number - floor(number);
  return (unsigned int)(fract * pow(10, amountDecimals));
}
```

Ek 6. Radyo Teleskop Kalibrasyon Hesaplamalarında Kullanılan Python Kodu

```
# Tek çanak Radyo Teleskop Kalibrasyon Teknikleri
# Sistem Sıcaklığının Hesaplanması

import math
import matplotlib.pyplot as plt


Aeff = 4                # Etkin anten açıklığı m2
K = 1.38e-23            # Boltzmann Sabiti
UdB = 60.3              # Güneş için ölçülen seviye [dBuV]
U0dB = 50.8             # Boş gök yüzü için ölçülen seviye [dBuV]
Ssun = 400.e-22         # İnternetten alınmış referans Güneş Akı değeri


# Güneş ile Kalibrasyon
Y = 10**((UdB-U0dB)/10)
t1 = Y - 1
t2 = (Ssun * Aeff)/K
Tsys = t2 / t1

# Radyo Teleskop Hassasiyetinin Hesaplanması
s_ja = []
for i in range(0, 5000000):
    s_ja.append(i)

dU_log = []
for y in range(0, 5000000):
    dU_log.append(10 * math.log10((((s_ja[y] * 1e-26) * Aeff) / (K *
Tsys))+1))

plt.style.use("bmh")
plt.semilogx(s_ja, dU_log, "r")
plt.title("Aeff=4m2 ve Tsys=300K için ERT-5 Radyo Teleskop
Hassasiyeti")
plt.ylabel("Güç Seviyesi [dBuV]")
plt.xlabel("Akı [Jansky]")
plt.grid(True,which="minor")
plt.ylim([0,12])
plt.show()
```

Ek 7. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Teknik Bilgi

TM4500 Track Mount Driver

ANAHEIM AUTOMATION

FEATURES

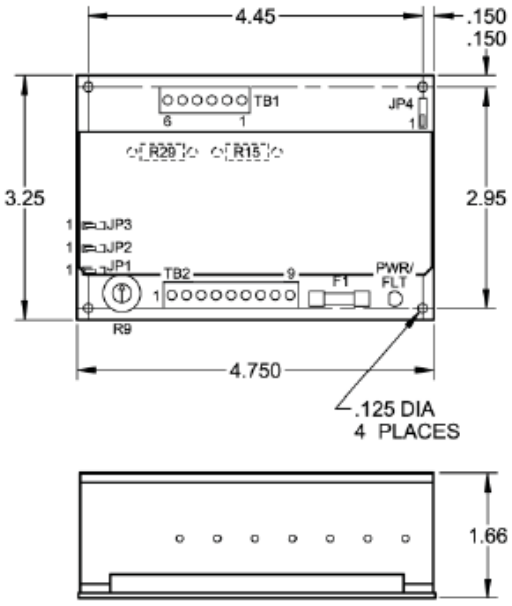
- *1.0-4.5 Amperes/Phase Operating Current*
- *Higher Torque/Speed Output*
- *Short Circuit Protection*
- *Open Motor Wire Detection*
- *No RFI or EMI Problems*
- *Requires 7-28 VAC or 10-40 VDC*
- *TTL-CMOS Compatible Inputs*
- *Receives Positive or Negative Going Clocks*
- *Full Step or Half Step Operation*
- *Motor Turn Off Provisions*
- *Open Frame Circuit Board Mounts on Snaptrack*
- *CE Certified and RoHS Compliant*



DESCRIPTION

The TM4500 driver is a low cost, unipolar step motor driver designed for 4 phase step motors. The TM4500 is a track mount driver, meaning that it can be quickly mounted on easy to use snaptrack (sold separately). The TM4500 allows the option of using full-step or half-step operation, giving the user the ability to step in either 1.8° or 0.9° increments. The driver can be powered by an AC or DC voltage. For AC operation, the driver may be purchased with a recommended step down transformer. A single transformer may be used to power up several drivers based on power consumption. A major advantage that the TM4500 has over chopper drivers, is that the TM4500 is designed to use bilevel technology. This means that it has replaced the need for high frequency switching techniques, consequently it does not create the EMI, RFI, and motor heating problems that are associated with chopper drivers. This technique makes the TM4500 suitable for applications where low noise requirements are a must. It is especially useful for medical equipment, test instruments, positioning systems, and any other application where noise may be a problem.

DIMENSIONS



L010006

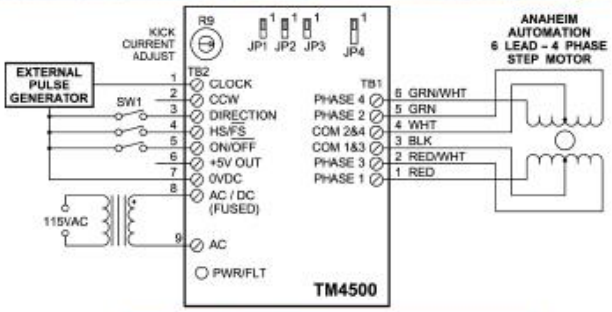
All units are in inches

910 East Orangefair Ln. Anaheim, CA 92801 Tel. (714) 992-6990 Fax. (714) 992-0471 www.anaheimautomation.com

Ek 7. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Teknik Bilgi (devam)

ANAHEIM AUTOMATION

ORDERING INFORMATION / WIRING DIAGRAM

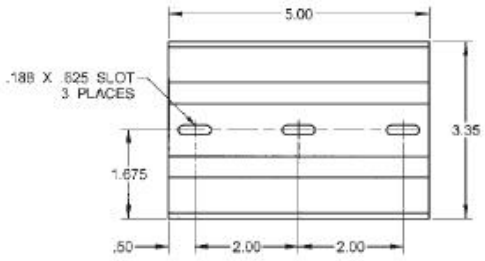


Part #	Description
PSA40V4A	DC Power Supply 40VDC at 4 Amps
PSA24V2.7A	DC Power Supply 24VDC at 2.7 Amps
PSA40V8A	DC Power Supply 40VDC at 8 Amps
AA2295B	AC Transformer 100 Watt
AA2784A	AC Transformer 200 Watt
AA2785	AC Transformer 300 Watt
AA3963	5" Mounting Track
AA2750A	Mounting Plate & Hardware

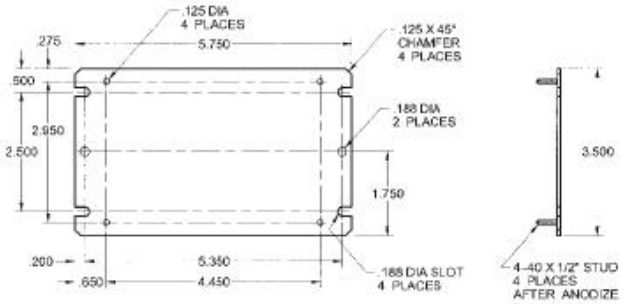
Note: The AA2295B or the AA2784A is the recommended transformer. For additional info on other transformers please contact the factory.

MOUNTING INFORMATION

AA3963 - Mounting Track



AA2750A - Mounting Plate



L010006

910 East Orangefair Ln. Anaheim, CA 92801 Tel. (714) 992-6990 Fax. (714) 992-0471 www.anaheimautomation.com

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları

TM4500
Track Mounted Step Motor Driver

User's Guide



CE Certified and RoHS Compliant

ANAHEIM AUTOMATION
910 East Orangefair Lane, Anaheim, CA 92801 (714) 992-6990 fax: (714) 992-0471
e-mail: info@anaheimautomation.com website: www.anaheimautomation.com

#L010060 April 2012

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

TM4500 Driver Features

- 1.0-4.5 Amperes/Phase Operating Current
- Higher Torque/Speed Output
- Improved Start-Stop Speeds
- Short Circuit Protection
- Open Motor Wire Detection
- No RFI or EMI Problems
- Requires 7-28 VAC or 10-40 VDC Input Power
- TTL-CMOS Compatible Inputs
- Receives Positive or Negative Going Clocks
- Full Step or Half Step Operation
- Motor Turn Off Provisions
- Open Frame Circuit Board Mounts on Snaptrack
- CE Certified and RoHS Compliant

General Description

The TM4500 driver is a low cost, unipolar step motor driver designed for 4 phase step motors. The TM4500 is a track mount driver, meaning that it can be quickly mounted on easy to use snaptrack (sold separately). The TM4500 allows the option of using full-step or half-step operation, giving the user the ability to step in either 1.8° or 0.9° increments. The driver can be powered by an AC or DC voltage. For AC operation, the driver may be purchased with a recommended step down transformer. A single transformer may be used to power up several drivers based on power consumption. A major advantage that the TM4500 has over chopper drivers, is that the TM4500 is designed to use bilevel technology. This means that it has replaced the need for high frequency switching techniques, consequently it does not create the EMI, RFI, and motor heating problems that are associated with chopper drivers. This technique makes the TM4500 suitable for applications where low noise requirements are a must. It is especially useful for medical equipment, test instruments, positioning systems, and any other application where noise may be a problem.

Ordering Information

Part #	Description
PSA40V4A	DC Power Supply 40VDC at 4 Amps
PSA24V2.7A	DC Power Supply 24VDC at 2.7 Amps
PSA40V8A	DC Power Supply 40VDC at 8 Amps
AA2295B	AC Transformer 100 Watt (Recommended)
AA2784A	AC Transformer 200 Watt (Recommended)
AA2785	AC Transformer 300 Watt
AA3963	5" Mounting Track
KIT-AA2750A	Mounting Plate & Hardware

Note: The AA2295B or AA2784A is the recommended transformer. For additional information on other transformers please contact the factory.

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Bilevel Drive

The basic function of a step motor driver is to control the motor winding currents. Motor performance is determined by how fast the driver can increase and decrease the winding currents. A rapid rise in winding current is achieved by applying a high voltage directly to a motor winding. This rapid rise of current is also referred to as the "kick" or operating current. When a desired current level is reached, the high voltage is turned off and a low voltage is applied to maintain a suitable holding current level. When a motor winding is turned off, a rapid decrease in winding current is achieved by routing the energy in the collapsing field back to the power supply through a high voltage path. The high voltage supply furnishes the energy necessary to maintain motor output torque at high step rates thus providing high mechanical power output. The low voltage supply provides much of the current needed at low step rates and all of the holding current. Bilevel drivers do not use high frequency switching techniques as chopper drivers do. Consequently, they do not create the EMI, RFI, and motor heating problems that are associated with chopper drivers.

Phase Inputs

The TM4500 has the ability to accept phase inputs to control each of the 4 motor phases. For example, a microcontroller can be used to control the motor phases. Terminals 1, 2, 3, and 4 of TB2, are used as the inputs for phase 1, phase 2, phase 3, and phase 4 respectively. Either positive true phase inputs or negative true phase inputs may be used.

Motor Connection

Refer to the hookup diagram for typical driver applications. Wiring connected to inputs must be separated from motor connections and all other possible sources of interference.

Note: When connecting the driver to the step motor, consult the factory if more than 25 feet of cable will be used to extend between the motor and driver.

Jumper Functions

Function	JP1	JP2	JP3	JP4
Negative Going Clock Input	1-2	1-2	1-2	---
Positive Going Clock Input	1-2	2-3	1-2	---
Negative True Phase Inputs	1-2	1-2	2-3	---
Positive True Phase Inputs	2-3	2-3	2-3	---
Standard Product (Ready to Ship)	1-2	1-2	1-2	1-2

Note: JP4 is used to set the range for the low voltage power. Please see Low Voltage Adjust options on page 6 of this manual.

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Terminal Descriptions

TB1:

Pin #	Description
1	Clock Input
2	CCW Input
3	Direction Control
4	Halfstep/Fullstep
5	Motor On/Off
6	+5VDC Output
7	0VDC
8	AC/DC Power Input (Fused)
9	AC Power Input

TB2:

Pin #	Description
1	Phase 1
2	Phase 3
3	COM Phase 1 & 3
4	COM Phase 2 & 4
5	Phase 2
6	Phase 4

Clock, CCW, and Direction

Pulses applied to the clock input cause the motor to move in the clockwise direction if the direction control input is a logic "1" (no connection), or in the counterclockwise direction if the direction control input is logic "0". Pulses applied to the CCW input cause the motor to move in the counter clockwise direction. Either positive or negative going pulses may be used by setting jumpers in the appropriate position. To determine which setting to use, first consider the type of clock pulse output on the pulse generator or indexer (controller). If the clock output on the controller is open-collector type (sinking), then use the negative going jumper setting. If the clock output on the controller is a pnp or p-channel (sourcing) type, then use the positive going jumper setting. If the clock output on the controller is a TTL/CMOS type (totem pole), then either setting will work; but the jumper setting should be chosen based on the level of the clock output when the controller is not pulsing. If the clock is low when not pulsing, then use the positive going jumper setting. If the clock is high when not pulsing, then use the negative going jumper setting.

Half Step/Full Step

The TM4500 has full-step or half-step operation. Full-step operation occurs by energizing two phases at a time, rotating a typical motor 1.8 degrees per step. Half-step operation occurs by alternately energizing one, and then two phases at a time, rotating the motor 0.9 degrees per step. Full-step operation is only for applications that specifically require that mode, such as when retrofitting existing full-step systems.

Motor On/Off

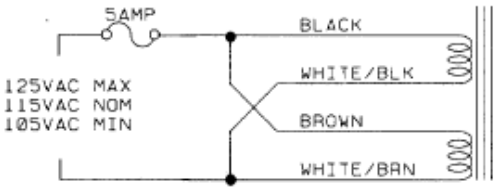
The motor On/Off feature allows the de-energizing of a motor without disturbing the positioning logic. After reenergizing the motor, a routine can continue. This reduces motor heating and conserves power, especially in applications where motors are stopped for long periods.

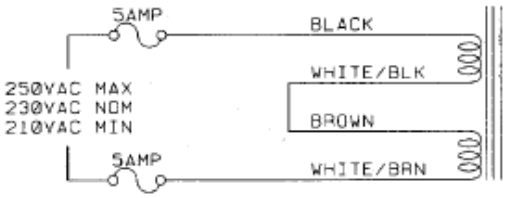
Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Power Requirements

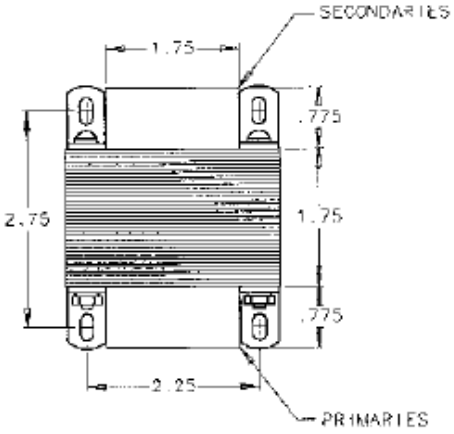
The TM4500 can be powered by an AC or DC voltage (see specifications). For AC operation, the driver may be purchased with a recommended step down transformer. A single transformer may be used to power up several drivers based on power consumption.

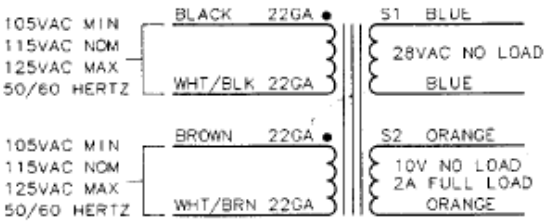
Transformer Wiring Diagrams (Primary Input)



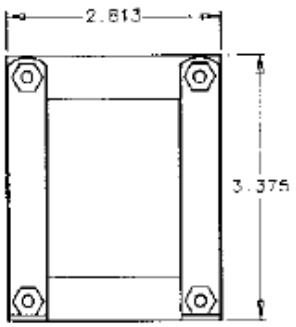


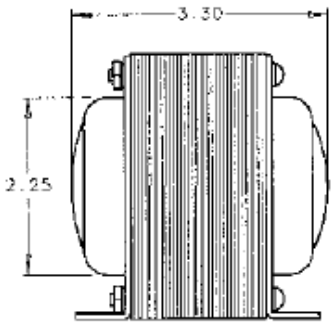
Transformer Drawings (AA2784A)





Note: Blue wires go to TB2, pins 8 & 9 on the driver.

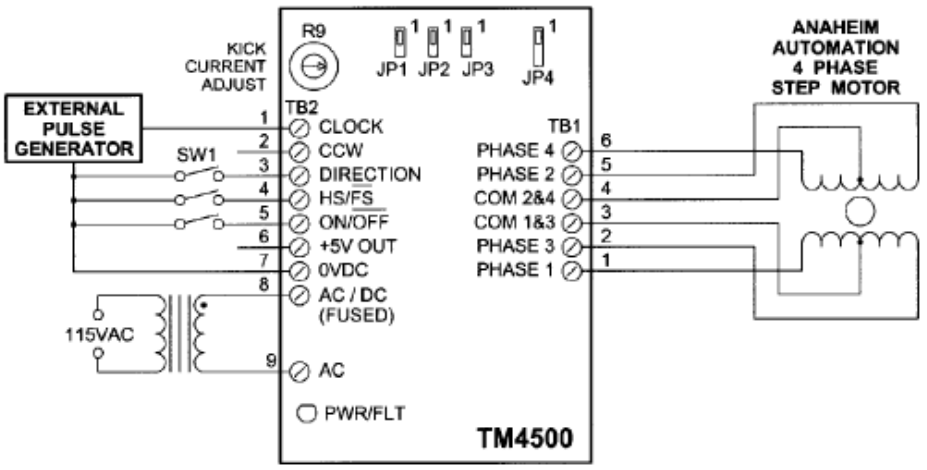




Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Heating Considerations

The temperature of the heat sink should never be allowed to rise above 60 degrees Celsius. If necessary, air should be blown across the heat sink to maintain suitable temperatures.



Low Voltage Adjust (VLV ADJ.)

The jumper JP4 is used to set the motor low voltage (VLV) supply which furnishes the current necessary for holding (standstill) torque and low speed running torque. The potentiometer R9 and JP4 setting will produce a standstill current that is 70% of the rated current. Refer to the Anaheim Automation website for motor current ratings. The charts below are a guide when selecting a motor and the jumper JP4 setting.

Pins 1-2
17Y203
23D104
23Y104
23Y206
34D106
34K108
34Y108

Pins 2-3
17Y002
23D108
23D209
23D309
23Y106
34D109
34D209

Pins 3-4	
17Y102	23Y306
17Y202	34D207
17Y302	34D307
23D102	34K104
23D204	34K207
23D306	34K307
23Y002	34Y104
23Y102	34Y207
23Y204	34Y307

Note: For motors not listed, refer to the website or contact the factory for correct jumper settings.

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Current Adjust Setting (CUR. ADJ.)

The potentiometer R9 is used to set the motor current. The pot should be set according to the motor's rated current. This will produce a kick current of 1.4 times the rated motor current. (Refer to Wiring Diagram for location of current adjust potentiometer R9)

Rated Motor Current	Kick Current	Pot Setting
1.00A	1.40A	0%
1.35A	1.89A	10%
1.70A	2.38A	20%
2.05A	2.87A	30%
2.40A	3.36A	40%
2.75A	3.85A	50%
3.10A	4.34A	60%
3.45A	4.83A	70%
3.80A	5.32A	80%
4.15A	5.81A	90%
4.50A	6.30A	100%

Fault Protection

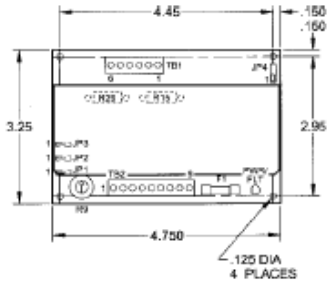
There are 2 types of fault detection. When a fault is detected, the driver turns off the motor current and the LED indicates which type of fault has occurred. The LED is solid red during normal operation.

LED # of Blinks	Description
1	Open wire in the motor or cable.
2	Shorted wire in the motor or cable.

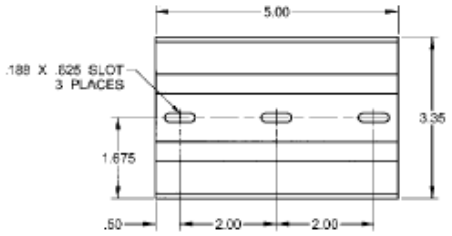
Note: If the driver goes into a fault condition, the fault may be reset by turning the power off for at least 20 seconds. Refer to the Troubleshooting section for further details.

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

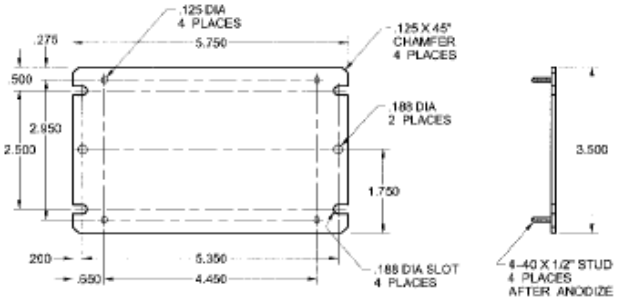
Dimensions



TM4500 (Featured)



AA3963 (Purchased Separately)



KIT-AA2750A (Purchased Separately)

Specifications

Control Inputs: (TB2, Pins 1-5)
TTL-CMOS Compatible
Logic "0" = 0-0.8VDC
Logic "1" = 3.5-5.0VDC
Pins 1-4 are pulled up or down (depending on the jumpers) through 10k ohm resistors. Pin 5 is pulled up through a 10k ohm resistor.

Clock, CCW: (TB2, Pins 1 and 2)
15 microseconds minimum pulse width, positive or negative going.

Direction Control: (TB2, Pin 3)
Logic "1" (open) - Clockwise
Logic "0" - Counterclockwise

Half Step/ Full Step: (TB2, Pin 4)
Logic "1" (open) - Half-Step
Logic "0" - Full-step

Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Motor On/Off: (TB2, Pin 5)
Logic "1" (open) - Motor energized
Logic "0" - Motor de-energized

Output Current Rating: (TB1)
4.5 amperes per phase maximum operating current; 3.0 amperes per phase maximum standstill current. Motor phase ratings of 1 ampere minimum are required to meet the minimum kick level.

+5VDC Output: (TB2, Pin 6)
100mA maximum

Power Requirements: (TB2, Pins 7 and 8 or 8 and 9)
7VAC (min) - 28VAC (max) or
10VDC (min) - 40VDC (max)

Operating Temperature:
Heat Sink: 0°-60° C

Fuse:
5 Amp Fast Blow
5 x 20mm

Troubleshooting

If a fault occurs, reset the fault by cycling power OFF for at least 20 seconds. After resetting, try to run the motor again. If the driver faults again then check the conditions listed below.

Is the LED blinking twice?
This indicates that the motor has a phase shorted or there is a short in the motor cable or wiring. Check the motor and the wiring for shorts. If the driver continues to sense "shorts" after the motor and wiring are determined to be accurate, then the output transistor should be checked (see below).

Is the LED blinking once?
This indicates that there is an open or intermittent connection in one of the motor wires. Check the motor and the wiring for opens. Another condition that may cause this type of fault, is when a large motor is ramped down too quickly so that it loses it's positioning.

Checking Output Transistors

1. Set the multimeter to "diode test".
2. Place the red meter lead on ground (TB2 Pin 7).
3. Touch the black meter lead to each phase (TB1, Pins 1,2,5 and 6).
4. Readings should be between 0.450 VDC and 0.550 VDC.
5. If any readings are significantly less than 0.450 VDC, then the unit has been damaged.

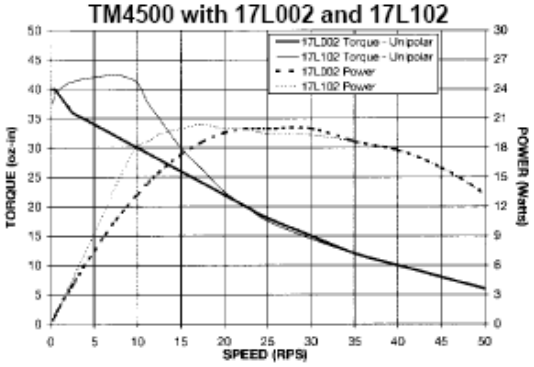
If a factory repair is required, please contact Anaheim Automation for an RMA# at:

(800) 345-9401 or (714) 922-6990

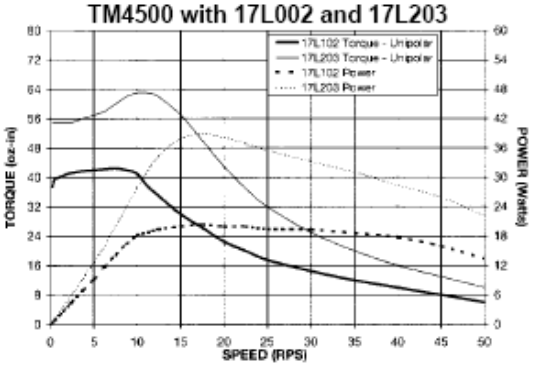
Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

Torque Speed Curves

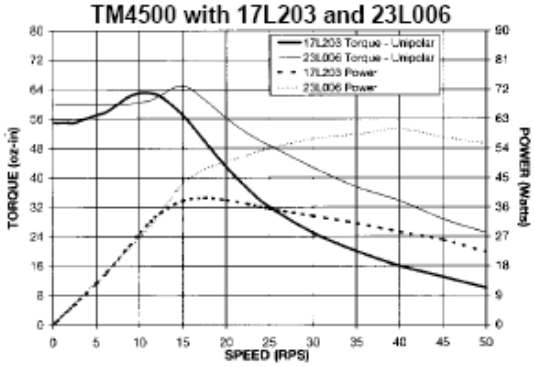
TM4500 with 17L002 and 17L102



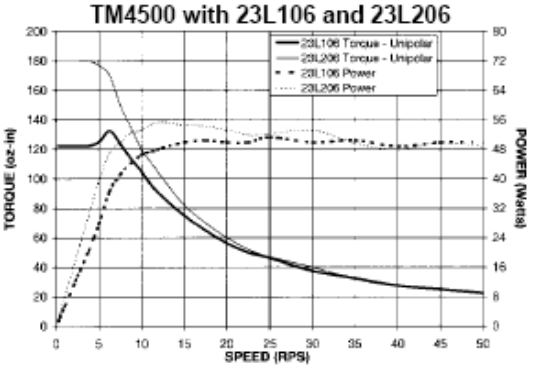
TM4500 with 17L002 and 17L203



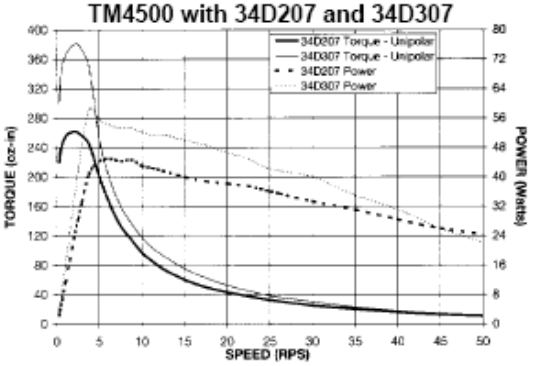
TM4500 with 17L203 and 23L006



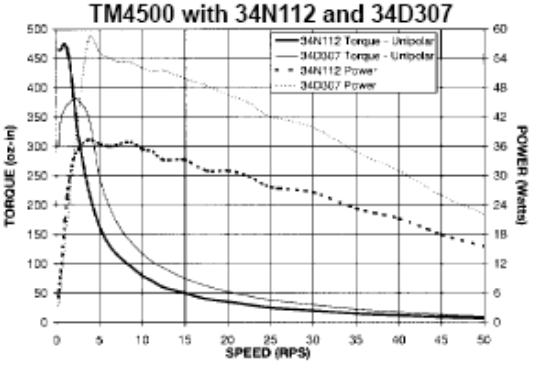
TM4500 with 23L106 and 23L206



TM4500 with 34D207 and 34D307



TM4500 with 34N112 and 34D307



Ek 8. ERT - 5 Radyo Teleskop Step Motor Sürücülerine ait Kullanıcı Yordamları (devam)

COPYRIGHT

Copyright 2002 by Anaheim Automation. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, transmitted, transcribed, stored in a retrieval system, or translated into any language, in any form or by any means, electronic, mechanical, magnetic, optical, chemical, manual, or otherwise, without the prior written permission of Anaheim Automation, 910 E. Orangefair Lane, Anaheim, CA 92801.

DISCLAIMER

Though every effort has been made to supply complete and accurate information in this manual, the contents are subject to change without notice or obligation to inform the buyer. **In no event will Anaheim Automation be liable for direct, indirect, special, incidental, or consequential damages arising out of the use or inability to use the product or documentation.**

Anaheim Automation's general policy does not recommend the use of its' products in life support applications wherein a failure or malfunction of the product may directly threaten life or injury. Per Anaheim Automation's Terms and Conditions, the user of Anaheim Automation products in life support applications assumes all risks of such use and indemnifies Anaheim Automation against all damages.

LIMITED WARRANTY

All Anaheim Automation products are warranted against defects in workmanship, materials and construction, when used under Normal Operating Conditions and when used in accordance with specifications. This warranty shall be in effect for a period of twelve months from the date of purchase or eighteen months from the date of manufacture, whichever comes first. **Warranty provisions may be voided if products are subjected to physical modifications, damage, abuse, or misuse.**

Anaheim Automation will repair or replace at its' option, any product which has been found to be defective and is within the warranty period, provided that the item is shipped freight prepaid, with previous authorization (RMA#) to Anaheim Automation's plant in Anaheim, California.

TECHNICAL SUPPORT

If you should require technical support or if you have problems using any of the equipment covered by this manual, please read the manual completely to see if it will answer the questions you have. If you need assistance beyond what this manual can provide, contact your Local Distributor where you purchased the unit, or contact the factory direct.

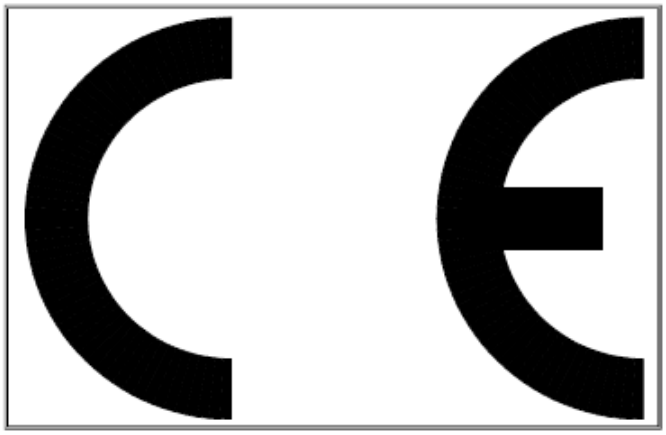
ANAHEIM AUTOMATION

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

ENCODER HANDBOOK

ABSOLUTE ENCODERS WITH SYNCHRONOUS SERIAL INTERFACE



REV 1.0

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

TABLE OF CONTENTS

1. Foreword 3
2. Safety standard 3
3. Check to be carried out vhen receiving the encoders 3
4. Damages during transport/Anomalies 3
5. Responsability 3
6. Notes 3
7. Important remarks on Hohner encoders 3
8. Standard electric connections 4
9. Interpretation of codes/ Models. 4
9.1Caption for the interpretation of encoder data 4
9.2Accessories required for the programming of Synchronous Serial Encoders 4
9.3SMS/SMM 5
9.4STS/STM. 5
10. Dimensioned drawings 6
10.1Encoder assembly drawings 6
10.2Tables of connector overall dimensions (in mm) 8
11. Technical data 8
11.1Mechanical data 8
11.2Electric/ Electronic data 9
11.3Diagrams for absolute encoder codes 9
11.4Transmission protocols. 10
12. Output circuits 11
12.1RS-422 serial datum interfacing circuits 11
12.2Speed/ Distance ratio of a RS-422 line 11
12.3Asynchronous input circuits 11
12.4Programming interface in RS-232. 11
12.5Input circuit for settable bits 12
12.6Encoder-Acquisition interfacing diagram for data transmission. 12
13. Assembly instruction 12
13.1Preparing the mechanical assembly 12
13.2Instructions for mechanical assembly 12
13.3Preparing the electrical connection 13
13.4Instructions for electrical connection. 13
14. Programming Software 14
14.1Software installation 14
14.1.1Hardware installation 14
14.2Explanation of terms 14
14.3Parameter programming. 14
14.4Exit for the program. 15

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

1. Foreword

The encoders manufactured by Hohner Automazione are high accuracy transducers used to measure positions and/or speed in automated systems.
The encoder transforms the acquired parameters into codified electric signals which can be read by a computerised control.
Those parameters are translated by means of a codified disk, which is integral with the transducer shaft, that is read with a photoelectronic system.

2. Safety standards

- The encoders by Hohner are produced in compliance with a quality standard and with recognised rules applied to the electrotechnic/electronic field.
- When they leave the manufacturing premises, they are technically safe for the operator; this condition can be maintained by following the instructions given in this manual.
- Handle the encoder with care: being generally made of metal, it could be a blunt weapon.
- The encoder must be used only for the purposes it is produced for. Any misuse could damage its functions.
- The encoder must be used within the limit values shown in the technical specifications contained in this manual.
- Our guarantee provisions comply with ISO 9001 standards.
- Our guarantee provisions relating to safety and environmental protection comply with the EEC directive. CE marking on encoders proves this compliance.

3. Check to be carried out when receiving the encoders

Make immediately sure that:
- the goods correspond to the delivery note (Number of parts, type of material),
- the codes on the encoders correspond to the orders;
- no damage has been caused during transport.

4. Damages caused during transport/Anomalies

- In case of damages caused by transport, contact the freight company.
- In case of faults contact Hohner directly.
- If the material has to be returned, use the original packaging, if possible, and specify the name, the address and the anomaly found.

5. Responsibility

Refer to the conditions set forth during purchase.

6. Notes

- Any intervention on the encoder carried out by personnel outside Hohner or by unauthorised personnel could compromise both running and safety of the equipment; it is understood that in this case, the guarantee does not apply any longer and Hohner shall disclaim any responsibility for any subsequent damages to things, persons and animals.
- Assembly instructions enclosed herein are to be followed in order to assure a correct and safe use of the equipment. Other operations or the use of couplings which are not recommended by Hohner could compromise the encoder performance.
- Encoders are precision optoelectronic instruments provided with a precision mechanics able to ensure measuring linearity; for these reasons they must be handled with care.
- Avoid hitting the carcass and, above all, the encoder shaft. Do not apply too heavy loads on the encoder shaft.

7. Important remarks on Hohner encoders

- Electronics is realised with SMT-microSMT (SMT= Surface Mounting Technology) mixed technology. This modern technology allows a more precise building and assembly of the electronic components, which improves reliability and life.
- Fortuitous faults are prevented thanks to electronic protections against short-circuit on the signal lines and polarity inversion to the power supply unit Hohner encoders are provided with.

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

8. Standard electric connections

Function / Connector	CLOCK+	CLOCK-	DATO S.+	DATO S.-	PROG_TX	PROG_RX	BIN/GRAY	UP/DOWN	RESET PSET 1	RESET PSET 2	ALIM. +	ALIM. -
CONTACT 12WAY IP65	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Attention:
as far as electric connections are concerned, always refer to the caption on the encoder plate because we could have non standard connections.

9. Interpretation of codes / Models

9.1 Caption for the interpretation of encoder data

- **DATO A. + / DATO A. - = Differential serial information in RS422** **(see pages 10..12)**
- **PROG_TX / PROG_RX = Lines for encoder programming** **(see pages 11..12)**
- **UP/DOWN = Discriminator of the rotating direction** **(see note 1 below)**
- **RESET = Relative reset** **(see note 1 below)**
- **ALIM. + / ALIM. - = Power supply: (from +11 to +24V DC) / (0V DC)** **(see page 9)**

Note 1:

1. The direction discriminator (UP/DOWN) can be set as follows:

a) in case of a programmable encoder: the UP/DOWN function is set when the parameters are modified with the supplied software or through the dedicated input (pin 8 of the connector) by setting it to a logic "0"; *the encoder reads this value when started.*

b) in case of a non programmable encoder: through the dedicated input (pin 8 of the connector) by setting to a logic "0"; *the encoder reads this value when started.*

2. Binary-Gray Conversion (BIN/GRAY):

a) In case of a programmable **encoder:** the BIN/GRAY function is set when parameters are modified with the supplied software, with the palmar unit (optional) or through the dedicated input (pin 7 of the connector) by setting it to a logic "0"; *the encoder reads this value when started.*

b) In case of a non programmable **encoder:** through the dedicated input (pin 7 of the connector) by setting it to a logic "0"; *the encoder reads this value when started.*

3. Preset1 and Preset2 values (PSET1 PSET2) can be set as follows:

a) In case of a programmable **encoder:** they can be set either when parameters are modified with the supplied software, with the palmar unit (optional), or through the dedicated inputs (pin 9 "PSET1" and pin 10 "PSET2" of the connector): if a logic "0" is given for 1 second, the current value will be loaded in the selected preset (PSET1 or PSET2), if these inputs are given a logic "0" for 4 seconds, the selected preset will be zeroised.

b) In case of a non programmable encoder: through the dedicated inputs (pin 9 "PSET1" and pin 10 "PSET2" of the connector): if a logic "0" is given for 1 second, the current value is loaded in the selected preset (PSET1 or PSET2), if these inputs are given a logic "0" for 4 seconds, the selected preset will be zeroised.

4. The relative zero (RESET) can be set as follows:

a) In case of a programmable **encoder:** the reset command is given either when the parameters are modified with the supplied software or the palmar (optional), or through the dedicated inputs (pin 9 "PSET1" and pin 10 "PSET2" of the connector). If these inputs are simultaneously given a logic "0" for 1 second, the relative zero will be set. If these inputs are simultaneously given a logic "0" for 4 seconds, the absolute position will be restored.

b) In case of a non programmable **encoder:** through the dedicated inputs (pin 9 "PSET1" and pin 10 "PSET2" of the connector). If a logic "0" is simultaneously given for 1 second, the relative zero will be set, while if it is simultaneously given for 4 seconds, the encoder will come back to its absolute position.

9.2 Accessories required for the programming of Synchronous Serial Encoders

The encoder parameters can be modified by using a proper system. For this purpose, Hohner suggests the following:

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

- **Software Module:** it consists of a simple program to be used with any Personal Computer provided with a standard serial card type RS-232. This program offers a user interface which is very easy to use, allows to set the encoder parameters and check operating conditions.

This software is peculiar in that it can connect to the encoder and automatically convert it in the programming mode.

This function allows to use the RS-232 line both for programming the encoder and acquiring the data provided by the encoder itself without requiring any start control.

2- **Palmar unit**: it is an instrument that, through an inbuilt keypad, can program all encoder parameters, check if programming is carried out correctly, display the encoder values, set the position of the relative or absolute zero and the preset values.

9.3 SMS/SMM series / 9.4 STS/STM series

*	*	*	-	*	*	*	*	*	/	* / *

Series	Shaft	Flanges	Outputs	Connections	Options	Pulses/Turn
Ø58mm SS = Singleturn SSM = Multiturn Ø65mm SMS = Singleturn SMM = Multiturn Ø90mm STS = Singleturn STM = Multiturn	Ø58mm 3=Ø 6mm L10mm 6=Ø 8mm L20mm 1=Ø10mm L20mm Ø65mm 3=Ø 6mm 10mm(SMS) 6=Ø 8mm L20mm (SMS) 1=Ø10mm L20mm Ø90mm 1=Ø 10mm L25mm 2=Ø 12mm L25mm	Ø58mm 1=Vedi 3= page 6= draw Ø65mm 3=Ø 65mm Ø90mm 3=Ø 90mm	1=RS422	1=9416 Axial 2=9416 Rad.	0=None	

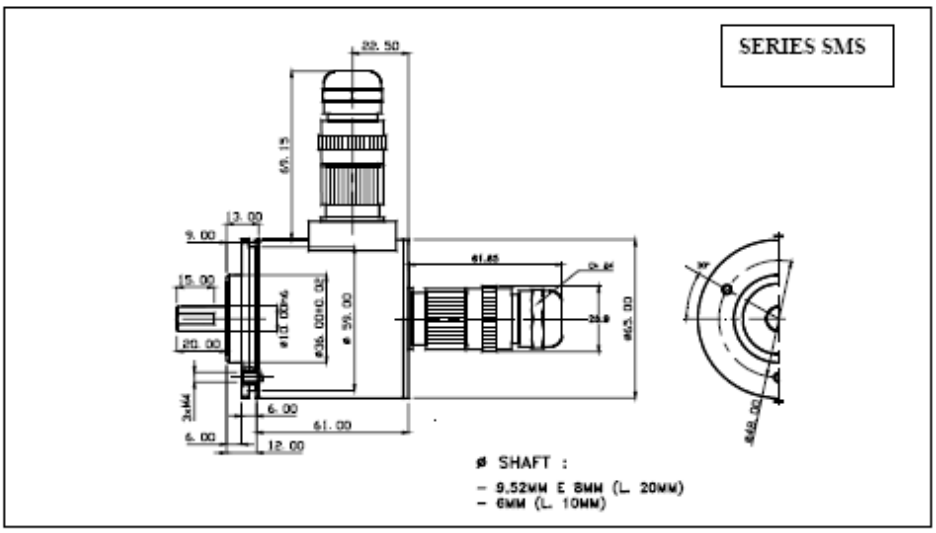
Note: When decoding the encoder code, the **Programmable** version must be distinguished from the **Non Programmable version**. The programmable encoder is supplied with 12 and 24 Bits, in the case of single-turn and multi-turn respectively, even parity ON, clockwise direction (view from the shaft) as UP and Binary code.

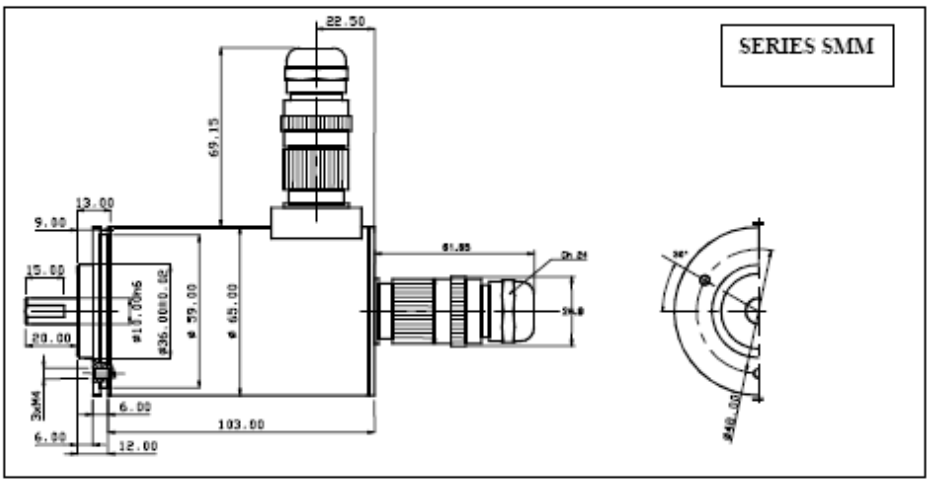
In case of a non programmable encoder, significant characteristics must be given, i.e., Series, Flange, Outputs, Connections, Options, as well as further information on pulses/turn, turns (for multi-turn, Up/Down, Parity (see table below, paragraph 5*).

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

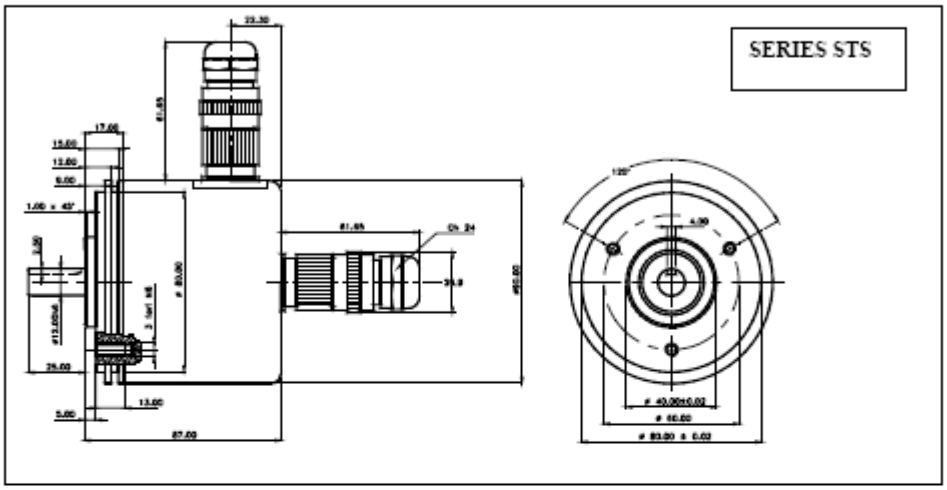
10. Dimensioned drawings

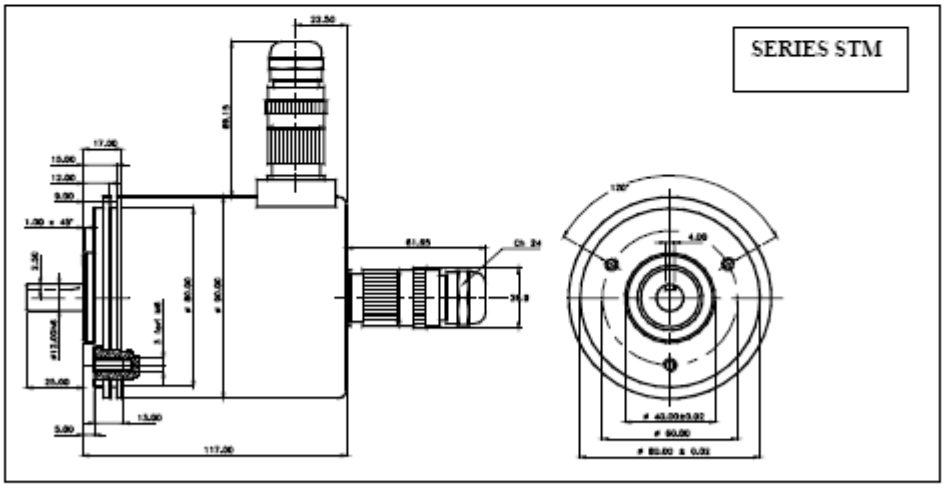
10.1 Encoder assembly drawings





Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)





Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

10.2 Table of the connector overall dimensions (in mm)

QUOTE mm	9416	9426
Connector type	Contact 12 way IP65	Contact 16 way IP65
Diameter	Ø 26	Ø 26
Length	51	51

11. Technical data

11.1 Mechanical data

Series	SMS	SMM	STS	STM
Fixing	See pag.6-7			
Shaft Ø	See pag.6-7			
Shaft loading max Axial –Radial (N)	30			
RPM	6000 (1)			
Torque	5			
Inertia	100	100	270	270
IP protection	5			
Operating temp.	0/60°C			
Weight (g)	300	500	700	700
Body and cover	Aluminium			

(1) The maximum speed is the speed allowed by the mechanical organs.
On the contrary, the maximum working speed, meant as the parameter within which the instrument works properly, is given by two factors, the most restrictive of which is taken into account.
The first factor is the range of speed which ensures long life to the mechanical components, i.e., the speed marked with (1) in the table.
The second factor is the maximum frequency of pulses that the encoder electronics can manage. Frequency is given by the following formula:
f(Khz)= G x I / 60000 , where
f = frequency
G = rpm
I = resolution (number of pulses/turn).
f cannot be higher than the limit value f_{max}, so G is limited by the maximum value f_{max} obtainable:
G_{max} (rpm) = f_{max} (Khz) x 60000 / I
The limit of maximum frequency must not be taken as the transmission rate of the serial package, but it is the time required by the encoder to acquire and convert the information read by its codified disk.

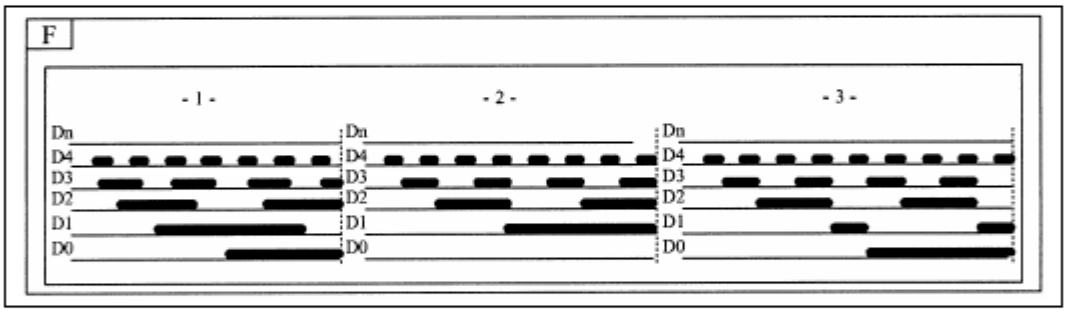
Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

11.2 Electric/ electronic data

Series		SMS	SMM	STS	STM
Power supply		11/24Vdc ±5%			
Current consumption		3 Watt	6 Watt	3 Watt	6Watt
Synchronism frequency		80Khz ÷1Mhz			
Input		Opto-coupler balanced in RS422 (Clock)			
Outputs		Differential in RS422			
Programming circuit (programmable version)		Line in RS232			
Programmable code		Binary/ Gray			
Max resolution	Programmable version	1-12 Bit	1-12 Bit + 1-12 Bit (Singleturn+ Multiturn)	1-12 Bit	1-12 Bit + 1-12 Bit (Singleturn+ Multiturn)
	Non Programmable version	1-4096 pul.	1-4096 +1-4096 (Singleturn+ Multiturn)	1-4096 pul.	1-4096 +1-4096 (Singleturn+ Multiturn)

11.3 Diagrams for absolute encoder codes



LEGEND	
1	GRAY
2	BINARY
3	BCD

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

11.4 Transmission protocols

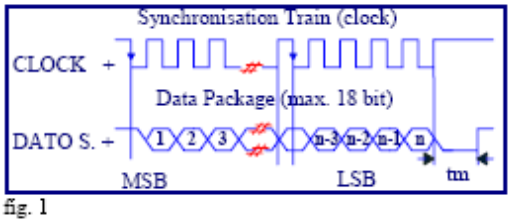


fig. 1

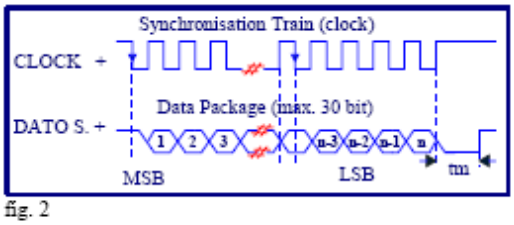


fig. 2

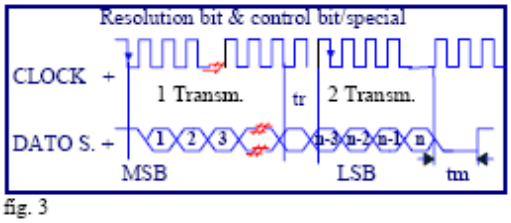


fig. 3

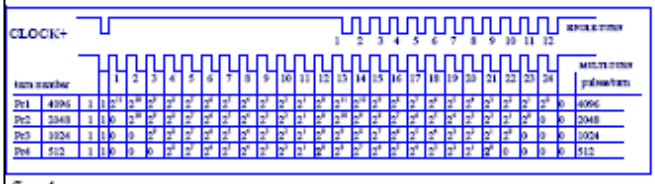


fig. 4

During standard transmission, the encoder stores the current value when the first dropout of the synchronisation train arrives. The information sending is synchronised with the clock starting from the next peakups. The package is transmitted on the lines called DATO S.+ and complementary DATO S.- and is as long as the resolution set and the entered control and special Bits (18 bits max for single-turn encoder (fig.1) and 30Bits for multi-turn encoder (fig2)). The Frame (figs.1 and 2) contains the datum, starting from the most significant Bits (MSB), the control and special Bits entered when programming the encoder. When frame transmission is over, "Dato S.+" sets to the logic state "0" for a time tm (monostable time of 20µs) where the last value read is kept. "Dato S.+" goes then to the logic state"1", which means that the encoder is ready to send a new package of information. It is understood that the transmission stops, if the synchronisation clock stops working. The monostable pulse shows that the Parallel/Serial conversion of the value has been carried out and fully sent. The pause between two subsequent Clock fronts must have a frequency higher than 80KHz, otherwise a reset will occur inside the encoder resulting in a truncation of the frame. In this case, time tm will not be enabled, and when the first hit of the Clock occurs, a new value will be shown, from MSB onwards.Theso-called Single/Repeated transmission (fig. 3) allows to send the datum again in case of errors. Repetition depends on time "tr" consisting of the interval between a Clock package and another one. As far as the single transmission is concerned, "tr" must be higher than 30µs in order to allow "tm" monostable time to rise and therefore to load an updated value; for the repeated transmission, "tr" must be lower than 20µs, i.e., lower than the monostable time.

Frame transmission can be programmed in 12, 20, 24 bit packages. For resolutions below 12 Bits (single-turn encoder) and 24 Bits (multi-turn encoder), the information supplied are completed by adding a series of "0" Bits to both the single-turn and multi-turn parts and this frame is called "Specular" frame. Tables in figures 4 show how transmission is carried out in programming examples Pr1÷4. The special/control bits are always queued to the frame after the data relevant to the values.

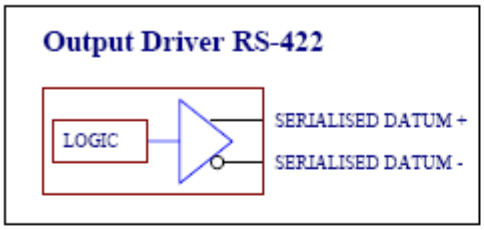
Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

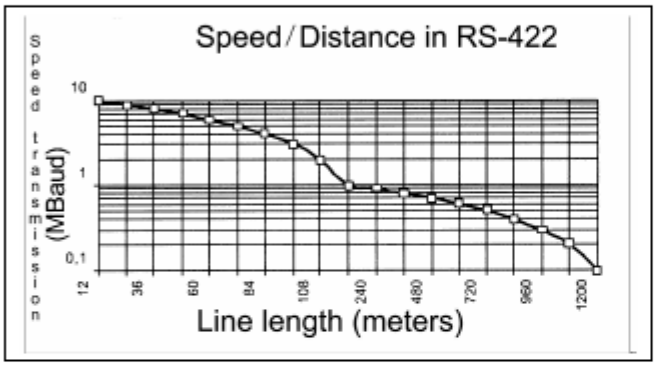
hohner

12. Input / outputs interfaces

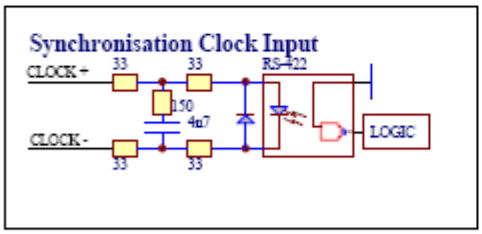
12.1 S-422 serial datum interfacing circuit



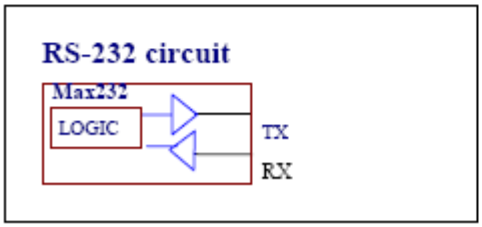
12.2 Speed / distance ratio of a S-422 line



12.3 Synchronous input circuit



12.4 Programming interface in RS232



Transmission in RS-422 must be carried out with a balanced line and a 75-ohm line/receiver characteristic impedance. If necessary, the line is adjusted to a 120 ohm termination resistance.

Important is also the relationship between the communication speed in a RS-422 line and the length of the line itself. The table: "Typical Speed/Distance ratio" shows which is the line length recommended at a certain communication speed between the encoder and an acquisition system. This relationship does not consider any correction factor due to the characteristics of the whole system (Plant), but only the limits due to the driver and receiver capabilities in an RS-422 balanced line.

The circuit shown at point 12.3 shows the structure of the RS-422 system balanced inside the encoder. This circuit photocouples the synchronism signal (Clock) coming from the acquisition card.

The maximum frequency allowed for this input is 1MHz.

The serialised signal will depend on the relationships given in point 11.4 on the previous page (pag.10) and will be available as output through a SN75176 driver described in point 12.1 above.

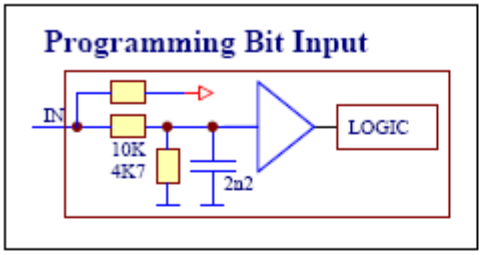
The encoder can be programmed (in case of a programmable encoder) as follows:

1- with a software module by using a Personal Computer and communicating in RS-232 (a schematic input/output diagram is given herein) supplied by Hohner with the encoders;

2- with a dedicated palmar unit supplied by Hohner as an optional.

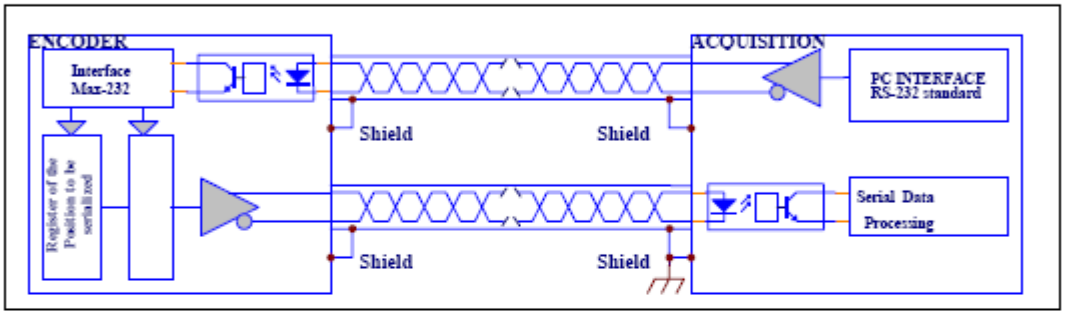
Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

12.5 Input circuit for settable bits



Settable inputs are auxiliary inputs used to easily set some encoder parameters:
1- Reset (setting/restoring the relative/absolute zero)
2- Bin/Gray (code setting)
3- Up/Down (direction discriminator)
4- Value preset
The example below shows the typical connection of the serial encoder and the signal acquisition card.

12.6 Encoder-Acquisition interfacing diagram for data transmission



13. Assembly instructions

13.1 Preparing the mechanical assembly

Should adapters be used both for shafts (joints) and the encoder (adjusting flanges), check that they are suitable for the encoder model by referring to the annexed drawings.
If adapters are not manufactured by Hohner, make sure that:
- the encoder can be stiffly and safely fixed.
- any misalignment between the shafts to be coupled is within the limits set for the encoder and/or the joint, if any.

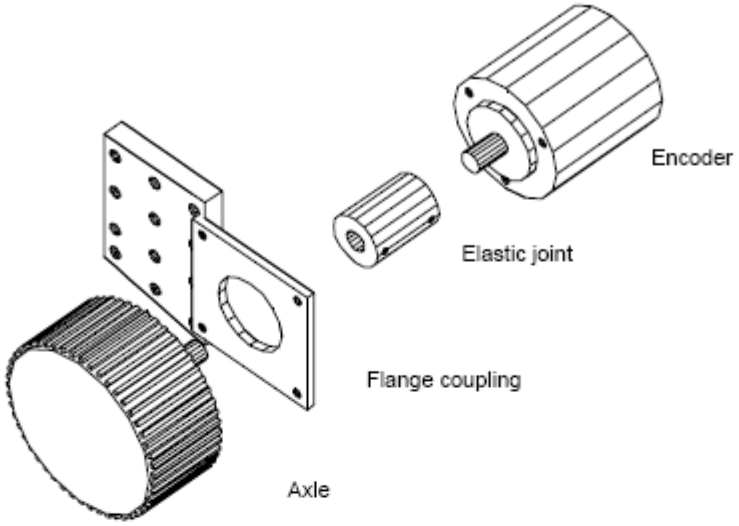
13.2 Instructions for mechanical assembly

Refer to the assembly drawing at the end of the paragraph.
- Fix the adjusting flange to the encoder.
- Connect the joint to the transmission shaft where the encoder is to be mounted.
- Connect the encoder shaft to the transmission shaft (through the joint, if necessary) by positioning the encoder so as it can be later fixed to the machine.
- Fix the encoder body to the machine (through the adjusting flange or other means)
- Make sure that all the screws are well tightened.

Attention:
- **due to weight reasons, the encoder body is usually made of aluminium or other composite materials (resins with short fibre charges): do not tighten too much the screws in the encoder body thread.**

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

- **use a stiff coupling between the shafts (excepted for self-aligning encoders): an elastic joint is recommended.**



13.3 Preparing the electric connection

If the encoder is supplied with a cable outlet, it is already provided with tinned wires ready for connection.
If the encoder is supplied with a connector, prepare the female by wiring it with reference to the label on it.
Attention: if the cables used have more poles than those required, make sure that the unused poles are properly terminated. In case of conductors free of signal, connect them to the zero volt supply (both the ends of the cable); in case of signal conductors, terminate them through a resistive load with stable potential.

13.4 Instructions for electric connection

Attention: - if only some outlets of the encoder are used, read the note in the paragraph above.- It is always recommended to use shielded cables and, in case of long distances and/or strong disturbances coming from other equipment, as well as in case of high speed balanced communication, use twisted cables.

- The shielding closing is extremely important. If this operation is carried out improperly, the whole measuring system could not run properly. It is recommended to leave the cable poles uncovered by the shield for 20 mm max. If it is not possible to comply with this measure, use metal shell connectors to connect the shield. The shield must contain all the electric/electronic equipment.
- It is important that the signal cables of the encoder do not lie together with power cables (ex. inverters, motors, etc.): they must be separated by means of suitable cableducts or in different paths.
- Power devices must be equipped with suitable net wires and proper cable shielding, which allows to minimise both induced and irradiated disturbances.
- Lines must be laid so that cables do not hinder machine running (ex. chains) and they are not damaged by moving organs. Do not bend the cable too much.
- Lay the cable by choosing the shortest path from the encoder to the control system and connect it to the latter.
- The encoder must by supplied with power only after checking the correct wiring and the safe coupling of the connectors or cables to the clamps.
- Start the system and check the correct assembly and operation by carrying out a working cycle.

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

14. Programming software

The programming software has been produced by Hohner Automazione S.r.l. with the aid of a PC equipped with a standard serial interface RS232, multiturn single-turn synchronous serial encoder parameters, series SMS, STS, SMM, STM
This software can also be used as diagnosis in order to display the values transmitted by the encoder.

Attention: RS-232 programming and encoder transmission work as separate elements. However, message transmission by the encoder is automatically carried out when exiting from the program.

14.1 Software installation:
- Copy the files from the enclosed floppy disk into the work directory and connect the encoder to the computer COM available (press: Type SXX_CONF.TXT to display the wiring diagram)
- Launch the program SXX_PC10.EXE and press ENTER; for COM from 2 to 4, press SXX_PC10 / x (2<x<4) and any key; if the encoder is disconnected, **Encoder not connected** will be displayed

14.1.1 Hardware installation:
As far as the hardware connection between the PC and the encoder is concerned, follow the diagram below:

Cable connections for serial interface SxS/SxM ---- PC

SMS/SMM/STS/STM		PC	
CONTACT 12-Pole Female	**9-Pole Female**	**25-Pole Female**	
6	**2-**	**2-**	
5	**3-**	**3-**	
12	**5-**	**7-**	
	4-	**6-**	
	6-	**8-**	
	8	**20-**	

14.2 Explanation of terms:

- **Relative Position:** frame showing the encoder position as to the offset value set.
- **Absolute Position:** frame showing the encoder absolute position.
- **Configuration:** frame showing the encoder parameter configuration.
- **Data MT:** displays the relative position of the Multiturn expressed in binary code
- **Data ST:** displays the relative position of the Singleturn expressed in binary code
- **AUX:** displays the condition of the auxiliary bits (check and preset)
- **Bit Aux Function:** indicates the functions of auxiliary bits.
- **Offset:** indicate the deviation with reference to the absolute value
- **Preset1/Preset2:** indicate the first and second preset value set
- **Singleturn/Multiturn/Position:**indicate the value of singleturn/multiturnand global position

14.3 Parameter programming:

Parameters are programmed by means of the controls in the "Help" frame

By pressing **Alt+C**, it is possible to access the "configuration"menu:
By pressing ↑ ↓, it is possible to move through the filds of the configuration menu
By pressing →←, it is possible to select the desired setting in each field
Press "enter" to confirm the values entered
Press "esc" to exit from the Configuration menu without confirming the values entered
By pressing **Alt+F** you enter the Bit Aux Function menu:
By pressing ↑ ↓, it is possible to move through the fields of the Bit Aux Function menu
By pressing →←, it is possible to select the desired setting in each field

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

Each of the 6 auxiliary bits can be set as follows:

LOW: the bit always takes on the value 0

HIGH: the bit always takes on the value 1

PARITY ADDEN: the bit is 1, if the sum of the frame bits is even (0)

PARITY ODDED: The bit is 1, if the sum of the frame bits is odd (1)

< PR1: the bit is 1, if the encoder is in a lower position as to Preset1

< =PR1: the bit is 1, if the encoder is in a lower position as to Preset 1 or in the same position

= PR1: the bit is 1, if the encoder is in the same position as Preset1

= >PR1: the bit is 1, if the encoder is in a higher position as to Preset1 or in the same position

>PR1: the bit is 1, if the encoder is in a higher position as to Preset1

< >PR1: the bit is 1, if the encoder is in a different position as to Preset1

The values referring to Preset1 can also be set for Preset2

Press "enter" to confirm the values entered
Press "esc" to exit from the Bit Aux Function menu without confirming the values entered

N.B. In order to have the auxiliary bits on the output frame (AUX part), it is necessary to set the number of bits to be enabled from the Configuration menu, N.Bit Aux field.

Ex. No. of auxiliary bits: 1
Bits in the frame: Bit called "0"

Ex. No of auxiliary bits: 4
Bits in the frame: Bit called "0"
Bit called "1"
Bit called "2"
Bit called "3"

By pressing **Alt+0** you set or reset the offset value

By pressing **Alt+1** you set or reset the Preset1 value

By pressing **Alt+2** you set or reset the Preset2 value

14.4 Exit from the program

- Press "Esc" to exit from the program.

Ek 8. Encoder Cihazlarına ait Teknik Doküman – Encoder Handbook (devam)

Note for SSI protocol versions:
After a careful analysis of the existing SSI protocol types, Hohner A. decided to implement all protocols required by the different acquisition cards available on the market in its programmable encoders provided with synchronous serial interface.
The encoders series SMS, SMM, STS, STM, implement said protocols and are provided with a management software called: "SSI_PC13.exe".
To set the protocol type follow these instructions:

- start the SSI_PC13.exe program
- press Alt + C simultaneously
- press End or move to "Set Mode" using the arrow keys
- set the mode according to the following criterion:

a) Version **12Bit**, **left-packaged** (fixed position of MSB bit): select Mode1;

b) Version **13Bit**, **right-packaged** (fixed position of LSB bit): select Mode2

c) Version **13Bit**, **left-packaged** (fixed position of MSB bit): select Mode1 in "Set Mode" and select 1 in "N. Bit AUX", press Enter.
Press Ctrl + F simultaneously to edit auxiliary bits (aux), move to the first bit with the right/left arrow keys and select "LOW", press (Enter) to confirm.

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

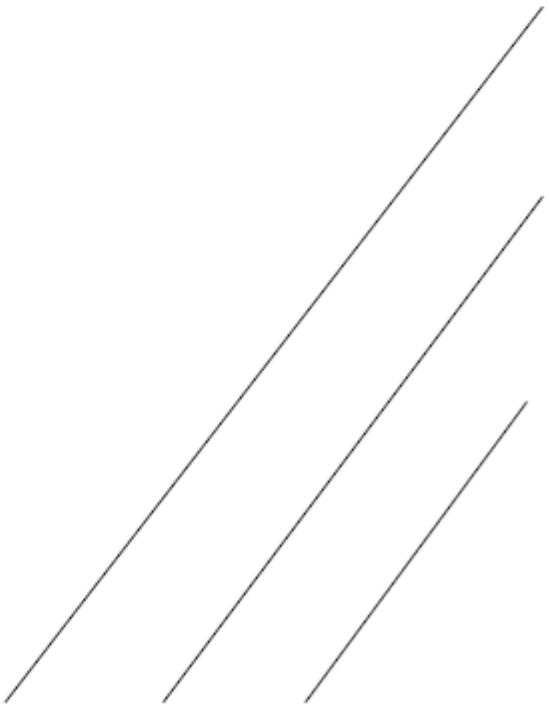
PIAZZALE COCCHI, 10 21040 VEDANO OLONA (VA) -
TEL. +039 0332 866109 - FAX +039 0332 866066
http//www.hohner.it e-mail:hohner.info@hohner.it
ITALY

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

PROGRAMMING SOFTWARE FOR SYNCHRONOUS SERIAL ENCODERS SS / SSM / SAM / SMS / STS / SMM / STM

REV 1.2



Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

Foreword

The software produced by Hohner Automazione s.r.l. allows to program the parameters of a single turn and multi turn serial encoder:

SS, SSM, SAM, SMS, STS, SMM, STM

by means of a personal computer provided with RS232 standard serial interface.
The software can be used as diagnostics to display the encoder values.
Note: to change the encoder parameters, connect the encoder serial interface with the computer interface: the communication between encoder and PC occurs automatically trough software acknowledgement.

Installation

Copy the files from the floppy disk enclosed into the work directory.

Connect the encoder programming pins with the computer COM1
(Enter: Type SXX_CONF.TXT to display the wiring diagram)

Launch the program SSI_PC13.EXE (SSI_PC14 for 8192 resolution) and press ENTER.

If another COM is to be used, launch the program by entering
SSI_PC13 / x (2<x<4).

Press any key to access the work menu:

N.B. if the encoder is not connected or powered, the following message will be displayed:
Encoder not Connected

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

Work menu

The work menu page shows the followings terms:

Relative Position:
frame indicating the encoder relative position according to the offset value set. The values are given in decimals:

- Single turn: Relative position of the single turn part
- Multi turn: Relative position of the multi turn part
- Position: Relative position

Absolute Position:
frame showing the encoder absolute position. The values are given in decimals:

- Single turn: Absolute position of the single turn part
- Multi turn: Absolute position of the multi turn part
- Position: Absolute position

Configuration:
frame showing the encoder parameter configuration:

- Direction: Encoder rotation direction
  a) Up: increase
  b) Down: decrease

- Enc. Code: Encoder code
  a) Binary/Gray/: Binary, Gray

- N. Bit Data: Bit number of the datum (12-20-24)

- N. Bit ST: Bit number of the datum of the single turn (max 12)

- N. Bit MT: Bit number of the datum of the multi turn (max 12)

- N. Bit AUX: Number of check or preset auxiliary bits (max 6)

- miniCLKFreq: Minimum frequency of the synchronisation clock (16 Khz or 80 Khz) according to wich the reset time is calculated (1/miniCLKFreq)
- Set Mode (see note for SSI protocol versions pag. 7)
- Ver.SW Enc: 1.1 indicates the relaese of the software being used

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

Data MT:

Display the relative position of the multi turn expressed in binary code

Data ST:

Display the relative position of the single turn expressed in binary code

Aux:

Displays the condition of the auxiliary bits (check and preset)

Data MT + Data ST + Aux from the **FRAME** (message)

Bit Aux Function:

Indicates the function of the auxiliary bits

Offset:

Indicates yhe deviation with reference to the absolute value; value are expressed in decimals

Single turn: Deviation of the single turn as to the absolute 0 position

Multi turn: Deviation of the multi turn as to the absolute 0 position

Position: Total deviation as to the absolute 0 position

Preset:

Alarm / Control that can be set any values

Preset 1:

Indicates the first preset value set; value are expressed in decimals.

Single turn: Value of preset 1 of the single turn as to the absolute 0 position

Multi turn: Value of preset 1 of the multi turn as to the absolute 0 position

Position: Total value of preset 1 as to the absolute 0 position

Preset 2:

Indicates the first preset value set; value are expressed in decimals.

Single turn: Value of preset 2 of the single turn as to the absolute 0 position

Multi turn: Value of preset 2 of the multi turn as to the absolute 0 position

Position: Total value of preset 2 as to the absolute 0 position

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

Parameter programming

Parameters are programmed by means of the controls in "Help" frame

Parameters are programmed by using the controls in the "Help" frame.

By pressing **Alt+C,** it is possible to enter the "configuration" frame:

By pressing ↑↓, it is possible to move trough the fields of the configuration menu

By pressing →←, it is possible to select the desired setting in each field

Press "enter" to confirm the values entered

Press "esc" to exit the configuration menu without confirming the values entered

By pressing **Alt+F,** you enter the Bit Aux Function menu:

By pressing ↑↓, it is possible to move trough the fields of the Bit Aux Function menu

By pressing →←, it is possible to select the desired setting in each field

Each of the 6 auxiliary bits can be set as follows:

LOW: the bit always takes on the value 0

HIGH: the bit always takes on the value 1

PARITY ADDEN: the bit is 1, if the sum of the frame bits is even (0)

PARITY ODDED: the bit is 1, if the sum of the frame bits is odd (1)

< PR1: the bit is 1, if the encoder is in a lower position as to preset 1

<=PR1: the bit is 1, if the encoder is in a lower position as to preset 1 or in the same position

= PR1: the bit is 1, if the encoder is in the same position as the preset 1

=>PR1:the bit is 1, if the encoder is in a higher position as to preset 1 or in the same position

> PR1: the bit is 1, if the encoder is in a higher position as to preset 1

<> PR1: the bit is 1, if the encoder is in a different position as to preset 1

Press "enter" to confirm the values entered

Press "esc" to exit from the Bit Aux Function menu, without confirming the values entered.

The values referring to Preset 1 can also be set for Preset 2

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

N.B. In order to have the auxiliary bits on the output frame (AUX part), it is necessary to set the number of bits to be enabled from the configuration menu, N. Bit Aux field.

Ex. No. of auxiliary bits: 1
Bits in the frame: Bit called "0"

Ex. No. of auxiliary bits: 4
Bits in the frame: Bit called "0"
Bit called "1"
Bit called "2"
Bit called "3"

By pressing **Alt** + **0** you set or reset the offset value

By pressing **Alt** + **1** you set or reset the Preset 1 value

By pressing **Alt** + **2** you set or reset the Preset 2 value

Exit from the program

Press "esc" to exit from the program.

Ek 9. Encoder yazılımının programlaması (devam)

Note for SSI protocol versions:
After a careful analysis of the existing SSI protocol types, Hohner A. decided to implement all protocols required by the different acquisition cards available on the market in its programmable encoders provided with synchronous serial interface.
The encoders series SMS, SMM, SCS, SCM, SS, SSM implement said protocols and are provided with a management software called: "SSI_PC13.exe".
To set the protocol type follow these instructions:

- start the SSI_PC13.exe program
- press Alt + C simultaneously
- press End or move to "Set Mode" using the arrow keys
- set the mode according to the following criterion:

a) Version **12Bit**, **left-packaged** (fixed position of MSB bit): select Mode1;

b) Version **13Bit**, **right-packaged** (fixed position of LSB bit): select Mode2

c) Version **13Bit**, **left-packaged** (fixed position of MSB bit): select Mode1 in "Set Mode" and select 1 in "N. Bit AUX", press Enter.
Press Ctrl + F simultaneously to edit auxiliary bits (aux), move to the first bit with the right/left arrow keys and select "LOW", press (Enter) to confirm.

HOHNER AUTOMAZIONE SRL

PIAZZALE COCCHI, 10 21040 VEDANO OLONA (VA) -
TEL. +039 0332 866109 - FAX +039 0332 866066
http//www.hohner.it e-mail:hohner.info@hohner.it
ITALY

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı – Soyadı	Recep BALBAY
Uyruğu	TÜRKİYE (T.C.)
Doğum Tarihi ve Yeri	17 Eylül 1990, Kütahya
Medeni Durumu	Bekar
Tel	0 537 687 83 79
E-mail adresi	rbalbay@gmail.com
Yazışma adresi	Erciyes Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi 38039 Talas / KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2017
Lisans	ERÜ Fen Fakültesi, A.U.B.B	2015
Önlisans	Dumlupınar Üniversitesi, K.M.Y.O	2010
Lise	Kütahya Anadolu Teknik Lisesi	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015	European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemishpere (ESO) Garching, Münih, Almanya	Stajyer

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Balbay, R., et al., 2016, “UZAYBİMER Radio Telescope Control System”, RevMexAA, Vol.48, 76-77