

9.BÖLÜM

ELEKTRONİK UZUNLUK ÖLÇÜMÜ

9.1 Elektronik Uzunluk Ölçümü

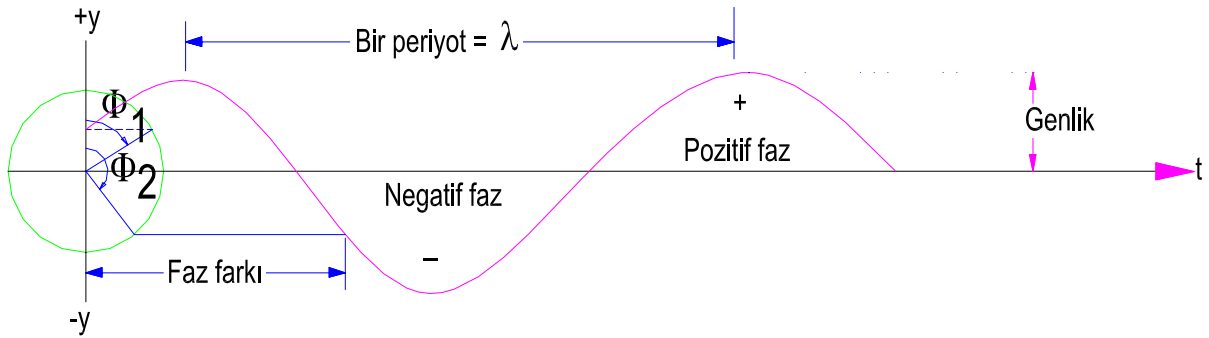
Doğru parçalarının uzunlukları elektromanyetik dalgalar yardımıyla ölçülür. Bu tür uzunluk ölçümünde ölçülecek doğrunun bir ucunda kızılötesi ışın veya elektromanyetik dalgalar yayabilen bir verici, doğrunun diğer ucunda yansıtıcı(reflektör) bulunur. Verici tarafından gönderilen ışın veya dalgalar yansıtıcıya çarptıktan sonra geri gelir ve vericinin içindeki bir alıcı tarafından tekrar alınır. Bu şekil de doğru parçasının iki ucu arasındaki u eğik uzunluğu dalgaların verilmesi ve alınması arasında geçen t zamanı ve dalgaların c yayılma hızı yardımıyla

$$u = \frac{c * t}{2}$$

formülüne göre hesaplanır.

Elektromanyetik dalgaların c yayılma hızı çok büyük olduklarından (saniyedeki hızı yuvarlak olarak 300 000 km) t nin çok hassas olarak ölçülmesi gerekir. Bir kenarın uzunluğunu 1.5 cm hassasiyetinde bulabilmek için t zamanını yüz milyonda bir incelikte ölçülebilmelidir. Bu yöntemin adına impuls (vuru) yöntemi denir. Bu yöntemde dalgaların yayım ve alım zamanları aynı hassasiyette tespit edilemediğinden dolayı jeodezik ölçülerde, t zamanının dolaylı ölçüldüğü faz farkını ölçme metodu kullanılır. İmpuls (vuru) yöntemi ise fazla hassasiyet gerektirmeyen uzun kenarların ölçümlerinde de kullanılır.

Elektromanyetik dalgalar sinüs eğrisi şeklinde ve periyodik olarak hareket eden, yani belirli zaman süresi içinde belirli değişiklikler göstererek tekrarlanan titreşimlerdir.



Elektromanyetik dalgalar sinüs eğrisi şeklinde, periyodik olarak hareket eden titreşimlerdir.

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi = \text{Faz farkı}$$

Sinüzoidal bir hareket $y = A * \sin (w * t + \varphi)$ denklemi ile gösterilir. Bu denklemde

A = Genlik (Amplitüd) dir. Yani titreşimin periyodik olarak değişen büyüklüğünün maksimal değeri (şekildeki dairenin yarıçapı),

$(w * t + \varphi)$ = Faz açısı veya kısaca t zamanındaki faz,

φ = Titreşimin başlangıç açısı veya sıfır fazı açısı,

$$w = 2 * \Pi * f \text{ dir.}$$

Burada f elektromanyetik dalganın frekansı yani birim zamandaki titreşim sayısıdır.

Hertz (Hz) olarak ifade edilir.

Titreşimin dalga boyu, elektro manyetik dalgaların yayılma hızının (ışık hızı) frekansa bölünmesi suretiyle bulunur. Işık hızını c , dalga boyunu λ ile gösterirsek;
Dalga boyu

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Formülü ile bulunur. Buradaki ve formüldeki c ışık hızı, mevcut meteorolojik şartlar altındaki hızdır ve boşluktaki (vakumdaki) C_0 hızı yardımıyla

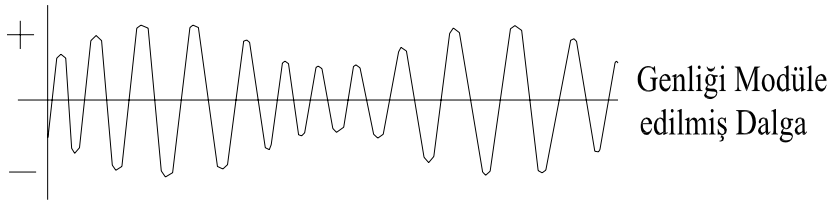
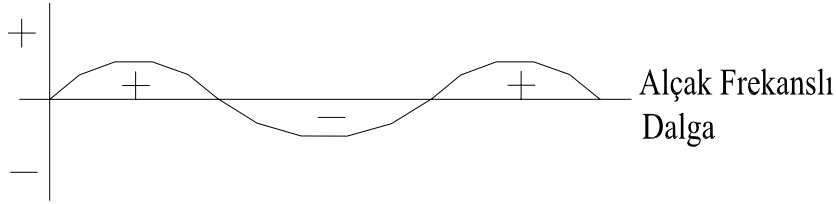
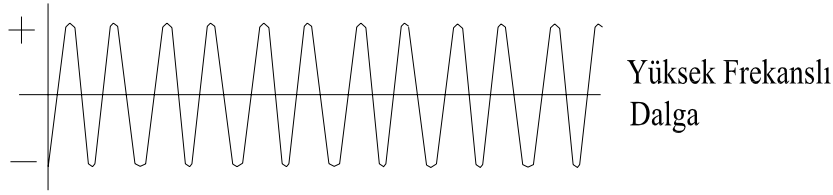
$$C = \frac{C_0}{n}$$

formülünden hesaplanır. Bu formülündeki n değeri ortamın kırılma indisi olup

$$n = \sqrt{\mu * \varepsilon}$$

eşitliği ile bulunur. Formüldeki μ havanın diellektriste katsayısı ε geçirgenlik katsayısıdır. Boşlukta bu iki değer de 1 dir. Bu değerler havanın nem derecesi, ısısı ve kullanılan elektromanyetik dalganın frekansına çok bağlı değerlerdir.

Jeodezik ölçmeler için en uygun elektromanyetik dalgalar dalga boyu 6 ile 30m arasında olanlardır. Ancak bu dalgalar yeryüzü ve hava tabakaları tarafından çok fazla kırıldıkları ve yansıtıldıkları gibi demet şeklinde bir yöne doğru yöneltilmeleri de zor olduğundan kullanılmalarında güçlüklerle karşılaşılır. Buna karşılık dalga boyları 1 metreden küçük olan elektromanyetik dalgalar; dalga boyları azaldıkça daha az kırıldıkları, havanın nemi tarafından hiç absorbe edilmedikleri ve bir demet halinde yönlenebildikleri için daha kullanışlıdır. Fakat bunlarında faz ölçümü zordur. Bu iki dalganın her birinin kolaylık sağlayan özelliklerin den beraberce yararlanmak için karıştırılarak kullanılırlar. Bunun için kısa dalga boylu(yüksek frekanslı)dalgaların, uzun dalga boylu (alçak frekanslı) dalgaların taşınması için kullanılır. Yani kısa dalgaların genlikleri veya frekansları, uzun dalgaya uyacak şekilde değiştirirler. Bu işleme **Modülasyon** adı verilir.



Yüksek frekanslı dalgalarla alçak frekanslı dalgalar birleştirilerek modüle edilmiş dalgalar elde edilir. Şekilde genliği modüle edilmiş dalga görülmektedir.

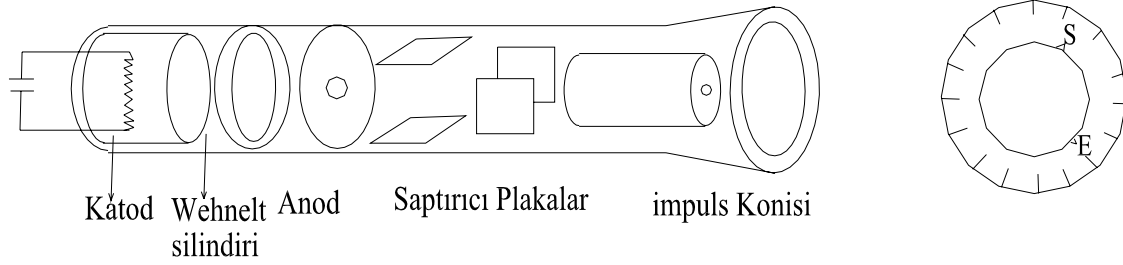
Genlik modülasyonunda, şekilde görüldüğü gibi alçak frekanslı dalga ile yüksek frekanslı dalga karıştırıldığı zaman alçak frekanslı dalga (+) faz durumunda iken yüksek frekanslı dalganın genliklerini şiddetlendirir, (-) faz durumunda iken zayıflatır. Yüksek frekanslı (kısa) dalgalara taşıyıcı dalga alçak frekanslı dalgalara da modülasyon dalgası, ölçü dalgası veya ölçek dalgası adı verilir.

Faz modülasyonunda (frekans modülasyonu) şekilde görüldüğü gibi taşıyıcı dalgaların genlikleri yerine fazları (frekansları) değiştirilir.

En uygun taşıyıcı dalgalar ışık dalgalarıdır. Işık dalgaları kullanan aletlere elektro optik uzunluk ölçerleri denir ve bunlarda genel olarak kızılötesi ışınlar kullanılır. Fakat ışık dalgaları ile yalnız birkaç kilometrelik uzaklıklar ölçülebilmekte, hatta 10km ye kadar olan uzunlukların ölçülebilmesi ancak gece ve açık havada mümkün olabilmektedir. Bu nedenle büyük uzunlukların ölçümünde ışık yerine yüksek frekanslı dalgalar kullanılır. Bunların yayılma özellikleri de ışığın yayılma özelliklerine benzer. Ayrıca çok büyük uzaklıklara kadar da yayılabilirler.

9.2 İmpuls (Vuru) Yöntemi ile Uzunluk Ölçümü

İmpuls, kalp atışlarındaki darbelerdeki gibidir. Bu darbeler kalp atışlarımızın impulslarıdır. Damarlarımızda olduğu gibi elektromanyetik dalgalarda da impulslar meydana getirilebilir. Bunun için frekansı 200-300 MHz olan bir taşıyıcı dalga, örneğin 1.5 KHz lik bir dalga ile kısa aralıklarla modüle edilir. Bu şekilde modüle edilmiş dalga bir verici tarafından, ölçülecek doğrunun diğer ucundaki reflektöre gönderilir. Reflektörde yansıtılan dalga bir alıcı tarafından alınarak kuvvetlendirilir ve bir katod lambasında impulsların gidiş geliş arasındaki zaman farkı ölçülür.



Katod ışını tüpü

Katod ışın tüpünde, katod'dan yayılan elektron akımı anotlar yardımıyla meydana getirilen elektrik alanları tarafından bir demet halinde toplanır ve tüpün fosforlu ekranı üzerine gönderilir. Fosforlu ekran üzerine düşen katod ışınları düştikleri yerde bir aydınlık meydana getirirler. Bu aydınlık, gerilim ayarlanarak Wehnelt silindiri ile idare edilebilir.

Katod ışını tribünde ışın yolu üzerine birbirine dik iki saptırıcı plaklar çifti konulup bunlara 90° faz farkı bulunan yüksek frekanslı bir akım uygulanacak olursa elektron ışını, akımının frekansına uygun büyüklükte bir daire çizer. Işıklı dairede, impulsların yayımı anında bir S çıkıntısı ve alımı anında da bir E çıkıntısı meydana gelir. Bu çıkıntılar arasındaki uzaklık ile yayım akımının frekansı bize impuls'un yayımı ile alımı arasında geçen zamanı verir. Eğer katod ışınları tüpünün ekranı üzerindeki bölüm buna uygun şekilde yapılacak olursa uzaklığı doğrudan doğruya okumak mümkün olur.

Bu metod yeteri derecede bir hassasiyet sağlamadığından Jeodezik ölçüler için pek uygun değildir ve daha ziyade RADAR (Radar Detection and Ranging = Radyo dalgaları ile yön ve uzaklık tayini) metodunda kullanılır. Fakat daha geliştirilmiş diğer elektronik uzunluk ölçümü sistemlerinin temelini oluşturur.

9.3 Faz Farkı Yöntemi ile Uzunluk Ölçümü

Faz farkı ile uzunluk ölçümü aletleri, en basit bir şekilde anlatılmak istenirse, belli bir frekansta titreşimler (elektromanyetik dalgalar) yayan bir verici, yayılan titreşimleri yansıtan bir yansıtıcı ve yansıtılan titreşimleri alan bir alıcı ile bu dalgaların yayım ve giriş arasındaki faz farkını ölçerek faz farkını tespit eden bir faz ölçerden ibarettir.

Faz farkı $\Delta\phi$, dalgaların gidiş ve geliş sırasındaki tam dalga boyu sayısı N ve dalga frekansı f ise dalgaların vericiden çıktığı andan alıcıya girişi anına kadar geçen t zamanı

$$t = \frac{(N + \Delta\varphi)}{f} \text{ saniye}$$

Formülü ile hesaplanabilir. Eğer tam periyot sayısı N bilinecek olursa bulunan t saniye ve elektromanyetik dalgaların

$$c = \frac{c_o}{n}$$

Formülü ile bulunacak ölçü ortamındaki hızına göre u eğik uzunluğu hesaplanabilir.

N tam periyotların sayısı çeşitli dalga boyları ile birkaç ölçü yapılarak bulunur. $\Delta\varphi$ faz farkı ise modern teknik metotlarla bir periyodun 1500 de biri hassasiyetinde ölçülebilir. Yeni aletlerde ölçü frekansı, dalga boyu yuvarlak bir sayı; örneğin birinci ölç dalga uzunluğu 10m ikinci ölçü dalga uzunluğu 1000m olacak şekilde seçilir. Bu halde uzunluğu doğrudan doğruya okumak mümkündür. Bunun için yukarıdaki formüldeki t değeri

$$u = \frac{c * t}{2}$$

formülünde yerine konursa

$$2u = c * t = \frac{c * (N + \Delta\varphi)}{f}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ olduğunda}$$

$$2u = (N + \Delta\varphi)\lambda \quad \text{yada}$$

$$u = N * \frac{\lambda}{2} + \Delta\varphi * \frac{\lambda}{2} \text{ yazılabilir. Bu formülde } \frac{\lambda}{2} = E \text{ ve } \frac{\Delta\varphi * \lambda}{2} = L \text{ ile gösterirsek}$$

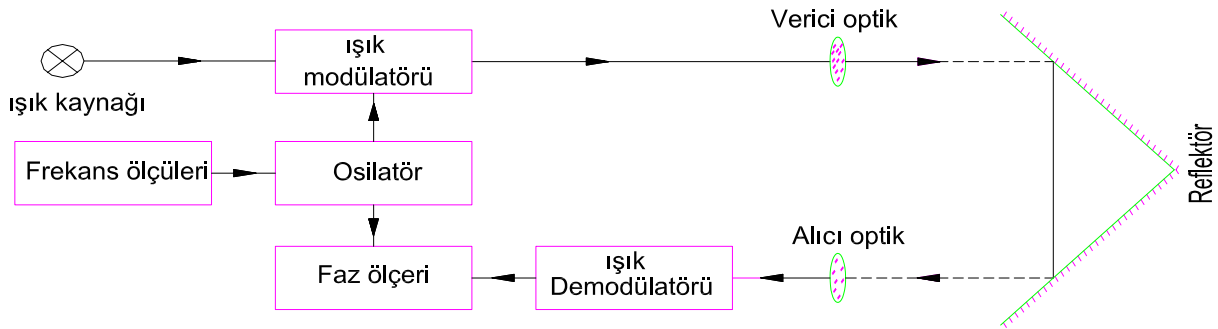
$$u = NE + L \text{ bulunur.}$$

Formüldeki N planlı bir şekilde değiştirilen dalga boyları ile yapılan değişik ölçülerden elde edilir.

Faz farkı ile uzunluk ölçümü aletleri, ölçü dalgalarının taşınması için ışık dalgalarını veya çok kısa (mikro) dalgaları kullanılırlar. Işık dalgalarını kullanan aletlere **Elektro optik**, çok kısa dalgaları kullanan aletlere de **Elektromanyetik** uzunluk ölçümü aletleri denir.

9.4 Elektro optik Uzunluk Ölçme Aletleri

Elektro optik uzunluk ölçümü aletlerinin çalışma prensibi aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir. Bir ışık kaynağı tarafından, genellikle kızılötesi bölgede (dalga boyu 0,8-0,9 μm) elde edilen ışınlar bir ışık modülatöründe modüle edilir. Modülasyon yüksek frekanslı alternatif akım üreten bir osilatör tarafından yönetilir. Genellikle faz modülasyon yerine ışık şiddeti 15MHz lik bir frekansla modüle edilmiş, yani saniyede 15 000 000 kere yanıp sönen bir ışık ışını verici optik üzerinden hedefe gönderilir. Hedefte reflektöre çarparak yansıyan ışınlar alıcı optik tarafından toplanarak bir ışık demodülatörüne yöneltilir.



Elektrooptik uzunluk ölçümü aletinin şematik olarak gösterilmesi

Işık demodülatörü (örneğin bir fotosel) ışık sinyallerini elektrik sinyallerine dönüştürür ve şiddetlendirerek faz ölçere verir. Burada osilatörden gelen yüksek frekanslı sinyallerle faz farkları bakımından karşılaştırılır ve iki akım arasındaki $\Delta\phi$ faz farkı tespit edilir. Faz farkı bulunduğundan sonra eğik uzunluk

$$u = N * \frac{\lambda}{2} + \Delta\phi * \frac{\lambda}{2}$$

Formülüne göre hesaplanabilir. Tam periyotlar sayısı (N) nin bulunabilmesi için başka bir frekansla modüle edilmiş ikinci bir ölçünün yapılması gerekir.

Modülasyon frekansları genellikle birbirine yakın seçilir. Örneğin iki değişik frekansın

$$u = NE + L$$

formülündeki $E = \frac{\lambda}{2}$ uzunlukları o şekilde seçilir ki $400E_1 = 401E_2$ olsun.

Yeni tip aletlerde ölçü frekanslarının dalga boyu yuvarlak bir sayı olacak şekilde, örneğin bir ölçü frekansının dalga 20m diğerinin ki 2000m olacak şekilde seçilir.

9.5 Elektromanyetik Uzunluk Ölçme Aletleri

Elektro optik uzunluk ölçme aletlerinde taşıyıcı dalga olarak kullanılan ışık çok uzaklara kadar gidemediği için büyük uzaklıkların ölçümünde kullanılmaları mümkün değildir. Bunun yerine, elektromanyetik uzunluk ölçme aletinde, ışık dalgalarının yayılma özelliklerine pek yakın özellikler göstermekle beraber çok uzaklara gidebilen, sis ve yağmur tarafından hemen hemen hiç absorbe edilmeyen çok kısa dalgalar kullanılır. Bu dalgalar genellikle boyları 3cm (Frekansı $10\text{GHz} = 10^{10}\text{ Hz}$) olan dalgalardır. Ölçü frekansı olarak birbirinden farklı frekansta birkaç dalga kullanılır.

Bu tip aletlerde vericinin yaydığı dalgalar ölçülecek doğrunun diğer ucundaki başka bir alet tarafından alınır ve kuvvetlendirilerek farklı frekanslarla geri gönderilir. Taşıyıcı dalgaların genlikleri modüle edilir. Faz farkı esas istasyonda ölçülür.

Yeni tip elektromanyetik uzunluk ölçme aletlerinde ana ve karşı istasyonların fonksiyonları bir alette birleştirilmiştir. Her alet ana istasyon veya karşı istasyon olarak kullanılabilir. Bütün elektromanyetik uzunluk ölçme aletlerinde uzunluk birimi olarak, faz farkı ölçülen yerdeki alette elde edilen yüksek frekanslı titreşimlerin dalga boyu alınır. Eğer geri gelen dalgaların faz farkı kaydırılıyor ve faz ölçüsüne mekanik olarak bağlı bulunan bir sayaçtan kenar uzunluğu sayısal olarak okunuyorsa, genellikle katod ışınları tüpü yerine faz eşitliğini gösteren sıfır göstergeleri kullanılır. Kenar uzunluğu sayısal olarak okunan aletlerde ortalama meteorolojik şartlar ortalama değerlerden farklı ise ölçülen uzunluk değişik şartlar için hazırlanmış cetvellerden alınan değerlere göre düzeltilir.

Yeni aletlerde Klystron'dan başka bütün parçalar tamamen transistör lü olarak yapılmışlardır. Bu nedenle aletlerin ağırlığı çok azalmıştır. Ayrıca basılı plakalar olarak hazırlanmış olan devreler kolayca değiştirilebildikleri için alet arızaları da kolayca giderilebilmektedir. Kullanılan 3 cm uzunluğundaki taşıyıcı dalgalar daha dar bir demet şeklinde bir yöne doğru yöneltilerildiklerinden, dalgaların yere çarpıp yansımaları nedeniyle meydana gelen kötü etkiler de bir dereceye kadar önlenmişlerdir. Ölçü frekansları genellikle ölçülen uzunlukları metre olarak verecek şekilde seçilmiştir. Bu dalga uzunluklarının seçiminde havanın kırılma indisi olan $n_o=1.000325$ göz önünde bulundurulmuştur.

9.6 Faz Farkı Yöntemi ile Çalışan Uzunluk Ölçme Aletlerinde Hassasiyet

Faz farkı metodu ile çalışan uzunluk ölçme aletlerinin hassasiyeti faz farkının ve titreşim periyotları sayısının, aletin ek sayı (sıfır noktası hatası) hatasının, taşıyıcı dalga yayılma hızının ve frekansının ölçüsünün hassasiyetine bağlıdır. Aletin ek sayı hatası, bir ayar bazının uzunluğu ile bunun uzunluk ölçerle bulunan değeri arasındaki farktır. Bu fark aletin ayarlanması ile mümkün mertebe sıfır yapılır. Ek sayı hatası ile faz farkı ve titreşim periyotları sayısının hataya etkisi kenarın uzunluğuna bağlı değildir. Taşıyıcı dalga yayılma hızı ve frekansın hataya etkisi ise ölçülen kenarın uzunluğu ile orantılıdır. Bu nedenle kısa uzunlukların ölçümünde faz ölçü hatası ile aletin ek sayı hatası, büyük uzunlukların ölçümünde ise frekans hatası ve elektromanyetik dalgaların yayılma hızı hatası daha çok etkilidir. Bu nedenle faz farkı metodu ile yapılan ölçülerde ölçülen uzunluğun m_o ortalama hatası

$$m_o = \pm(a + b * s)$$

Şeklinde gösterilir. Bu formüldeki a ölçülen uzunlukla orantılı olmayan bütün hataları gösterir. b ise uzunlukla orantılı olan hataların katsayısıdır. s ise ölçülen uzunluğu ifade eder.

9.7 Elektromanyetik ve Elektro Optik Uzunluk Ölçme Aletlerinin Kullanım Yerleri

Elektromanyetik uzunluk ölçme aletlerinin ölçü mesafeleri 50-100km ye kadardır. Bunlar büyük nirengi ağlarının kenar nirengisi şeklinde ölçülmesinde, nirengi kenarlarının ölçülmesinde, uzun kenarlı hassas poligon ağlarında, fotogrametrik alım işlerinde kontrol noktaları tesisinde ve benzeri işlerde kullanılırlar. Bunlarla gece ve gündüz ve hemen hemen her türlü hava şartlarında ölçü yapılabilmesi ölçü işlerinde büyük kolaylık sağlar.

Elektro optik uzunluk ölçme aletlerde ölçü uzaklığı elektromanyetik uzunluk ölçme aletlerine nazaran daha kısa olup ışık kaynaklarının cinslerine göre değişir. En büyük uzaklıklar Laser ışınları ve yüksek basınçlı cıva buharlı lambaları olan aletlerle ölçülür. Bunlarla yaklaşık olarak gündüzleri 5km, geceleri 25-30km ye kadar ölçü yapılabilir. Kıızıl ötesi ışın kullanan aletlerle ise 2500-3000m ye kadar ölçü yapmak mümkündür. Bunlar yüksek hassasiyet isteyen hassas poligon kenarlarının, fotogrametrik alım işlerinde kontrol noktalarının, bağımsız nirengi ağlarında bazların veya nirengi kenarlarının ölçülmesinde kullanılırlar. Karşı istasyonda ayrıca bir alete gerek olmadığı ve yalnız reflektörün bulunmasının yeterli olması nedeniyle ölçüler daha kolay yapılır.