

## 10mW-1W RF GÜÇ ARALIĞINDA KALİBRASYON FAKTÖRÜ ÖLÇÜMÜ

*Murat Celep<sup>1</sup>, Şenel Yaran<sup>1</sup>, Hasan Dinçer<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)  
e-mail: murat.celep@ume.tubitak.gov.tr

<sup>2</sup>KOÜ, Elektronik-Haberleşme Sistemleri Araştırma ve Uygulama Merkezi (EHSAM)  
e-mail: hdincer@kou.edu.tr

### ÖZET

Radyo frekans (RF) ve mikrodalga frekanslarında, orta güç seviyelerinde (10mW-1W) kullanılan bir güç algılayıcısına ait kalibrasyon faktörünün ölçülmesi, geniş güç aralığında çalışabilen cihazlarla oluşturulmuş bir sistem ile gerçekleştirilir. Bu sistem yardımı ile, birincil seviyede 1-10mW güç aralığında elde edilen izlenebilirlik orta güç seviyelerine aktarılmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Kalibrasyon faktörü, yönlü kuplaj elemanı

### 1. GİRİŞ

Radyo frekans (RF) ve mikrodalgada güç, üç ayrı bölümde sınıflandırılmıştır. Bunlar, düşük güçler, orta güçler ve yüksek güçlerdir. Bu sınıflandırma sırasıyla şu aralığı kapsar: Düşük güç  $P < 10\text{mW}$ , orta güç  $10\text{mW} < P < 1\text{W}$ , yüksek güç ise  $P > 1\text{W}$  ile ifade eder. Birincil seviyede, RF ve mikrodalga güç ölçülmesi, 1-10mW aralığında standart termistör mountların mikrokalorimetre'de kalibre edilmesi ile mümkün olmakta ve izlenebilirlik bu standartlar üzerinden sağlanmaktadır.

Düşük güçte elde edilen bu izlenebilirlik, yine düşük güç seviyelerinde güç ölçen algılayıcıların kalibrasyonlarının standart termistör mount ile karşılaştırılarak yapılması durumunda endüstriye aktarılmaktadır. Orta güçlerde bir güç algılayıcısının kalibrasyonunun karşılaştırma yöntemiyle yapılabilmesi için yine orta güç seviyelerinde kalibrasyonu yapılmış bir termistör mount gereklidir. Fakat, orta güç seviyelerinde kalibre edilmiş bir termistör mount bulmak çok zordur. Bu nedenle, orta güç seviyelerine izlenebilirliğin aktarılması için düşük güçlerde olduğu gibi mikrokalorimetre üzerinden alınan izlenebilirliğin kullanılması gerekir. Düşük güç seviyelerinde elde edilen bir izlenebilirliğin orta güç seviyelerine aktarılması, karşılaştırma yöntemi ile yapılamadığı için izlenebilirlik, farklı bir sistem ve ölçme yöntemi kullanılarak mikrokalorimetre üzerinden sağlanır.

Bir güç algılayıcısını kalibre etmek için, bu algılayıcıya uygulanan gücün, doğru olarak bilinmesi gereklidir. Bu durum ise ancak, RF ve mikrodalga işareti üreten kaynağın çıkışından elde edilen gücün tam olarak bilinmesi ve bu güçten ne kadarının güç algılayıcısı girişine uygulandığının kesin olarak tespit edilmesini gerektirir. İkinci bir yöntem ise, ölçülecek olan güç algılayıcısının bağlandığı noktadaki gücün, işaret kaynağının çıkış değerine bakılmaksızın sadece güç algılayıcısı girişindeki gücü tespit etmektir. Burada, bu yöntemlerden ikincisi

kullanılmıştır. Çünkü, işaret kaynağından elde edilen güç bilinse dahi güç algılayıcısı girişindeki güç tam olarak tespit edilemez. Ayrıca, orta güç seviyelerinde bir güç elde etmek için işaret kaynağı çıkışındaki güç, yükseltilerek çeşitli adaptör veya bağlayıcılar ile güç algılayıcısının girişine uygulanmalıdır. Bu durumda, algılayıcı girişine uygulanmak üzere yükseltilecek güç, algılayıcıya ulaşana kadar zayıflar. Zayıflayan bu gücün gerilim olarak ifadesi;

$$V = V_i^{1/\beta z} + V_y^{-1/\beta z} \quad (1)$$

$V_i$  = Hat üzerinde ilerleyen gerilim,

$V_y$  = Hat üzerinde yansıyan gerilim,

$\beta$  = Hat'a ait zayıflama,

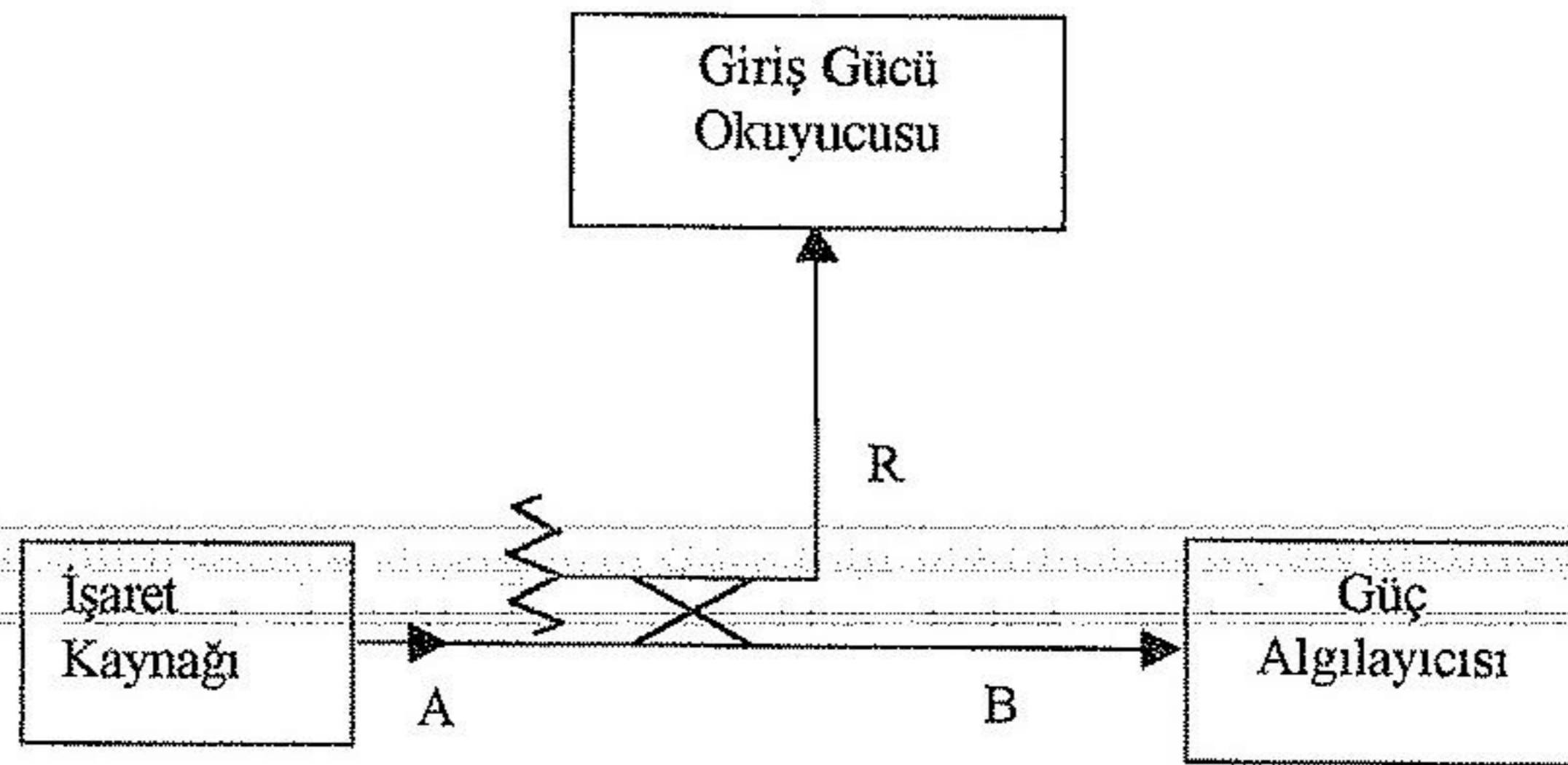
$z$  = Hat'tın uzunluğu

Eşitlik (1) 'de verilen  $\beta$  değeri her ölçüm öncesinde mutlaka tespit edilmelidir. Bu ise uzun zaman alır ve pratik değildir.

Bu nedenden dolayı, orta güçlerde güç algılayıcısının kalibrasyonunu, transfer oranı belirlenebilen bir sistemi kullanarak gerçekleştirmek daha pratiktir. Böyle bir sistemde, standart bir termistör mount ile ölçülmek istenen güç algılayıcısının bağlandığı noktadaki güç, düşük güç seviyelerinde ölçülür ve ölçüm için kurulan sistem kalibre edilir. İkinci aşamada kalibrasyon faktörü belirlenecek olan güç algılayıcısı sisteme bağlanır ve bu cihazın ölçümü gerçekleştirilir.

## 2. SİSTEMİN OLUŞTURULMASI

Bir yönlü kuplaj elemanı (directional coupler), A girişine uygulanan güçten kuplaj miktarı kadar bir örnek olarak R ucuna, gücün diğer kısmını B çıkışına iletir. Üç kapılı bir yönlü kuplaj elemanının kullanılması Şekil-1'deki gibidir.

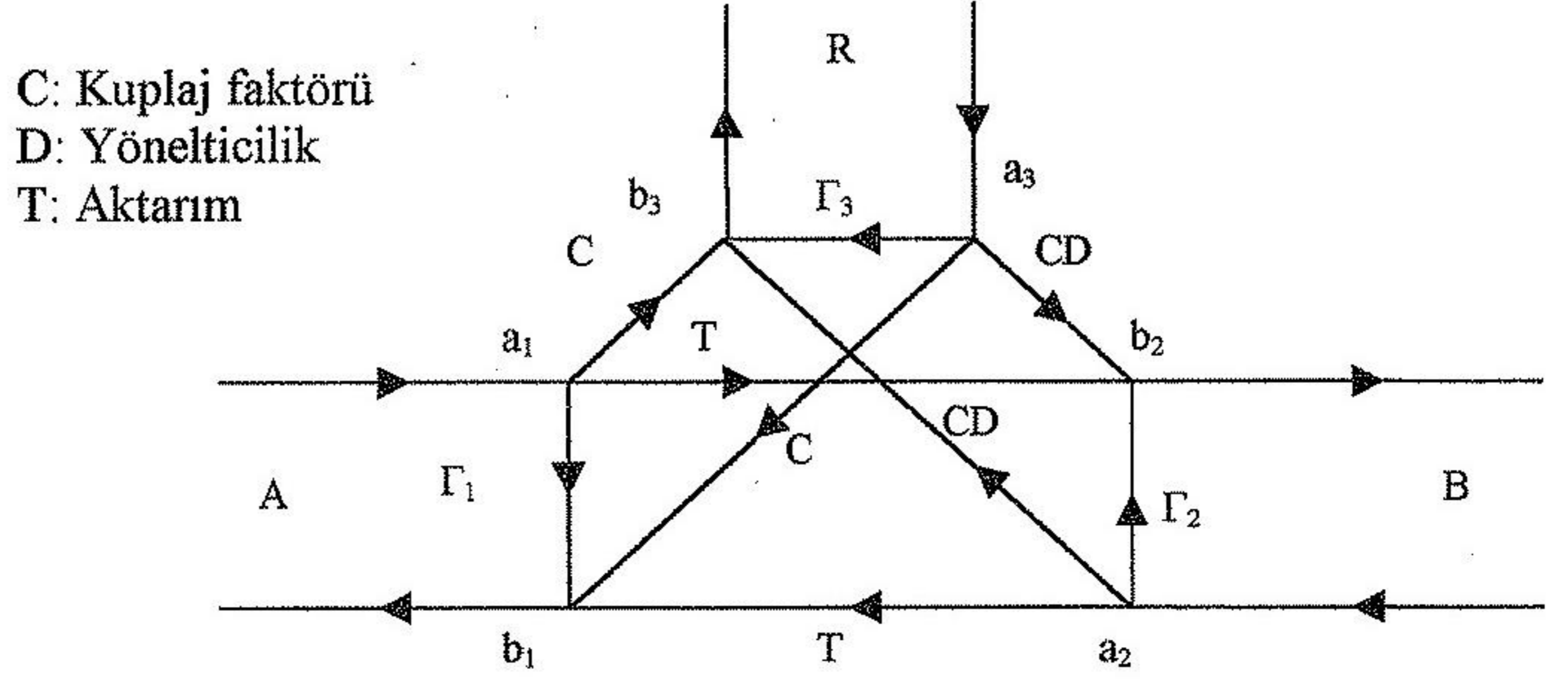


Şekil-1 Yönlü kuplaj elemanı bağlantısı

Bir yönlü kuplaj elemanı kullanılarak oluşturulan sistemde, giriş gücünden alınan örnek kalibreli bir güç algılayıcısı tarafından okunur. Şekil-1'de kullanılan üç kapılı yönlü kuplaj elemanının iç bağlantıları ve bu elemandan kaynaklanan yansıma, kayıp ve hatalar Şekil-2'de gösterilmiştir. Yönlü kuplaj elemanının R ucundan okunan işaretin değeri, A girişine uygulanan gücü ifade edebilir fakat, yönlü kuplaj elemanından kaynaklanan kayıp ve yansımalar nedeniyle çıkışın gerçek değerini ifade edemez. Bu nedenle, yönlü kuplaj

elemanına ait B ucundan okunan gücün gerçek değerini R ucundan okunan güçten yararlanarak bulmak için yönlü kuplaj elemanının yansıma ve kayıplardan kaynaklanan hatalarını ölçülen değerden çıkarmak gereklidir.

Yönlü kuplaj elemanına ait bu kayıp ve yansımalar, sadece giriş gücünden alınan örnek ile, yönlü kuplaj elemanı çıkışına bağlanacak güç algılayıcısının kalibrasyon faktörünün belirlenmesinde güç kayıplarına neden olur. Giriş gücünün tespit edilerek kalibrasyon faktörünün bulunması sırasında oluşan hataları telafi etmek amacıyla, yönlü kuplaj elemanının transfer oranı, her ölçüm sırasında belirlenir. Bu işlem ölçüm sisteminin kalibrasyonu olarak isimlendirilir.

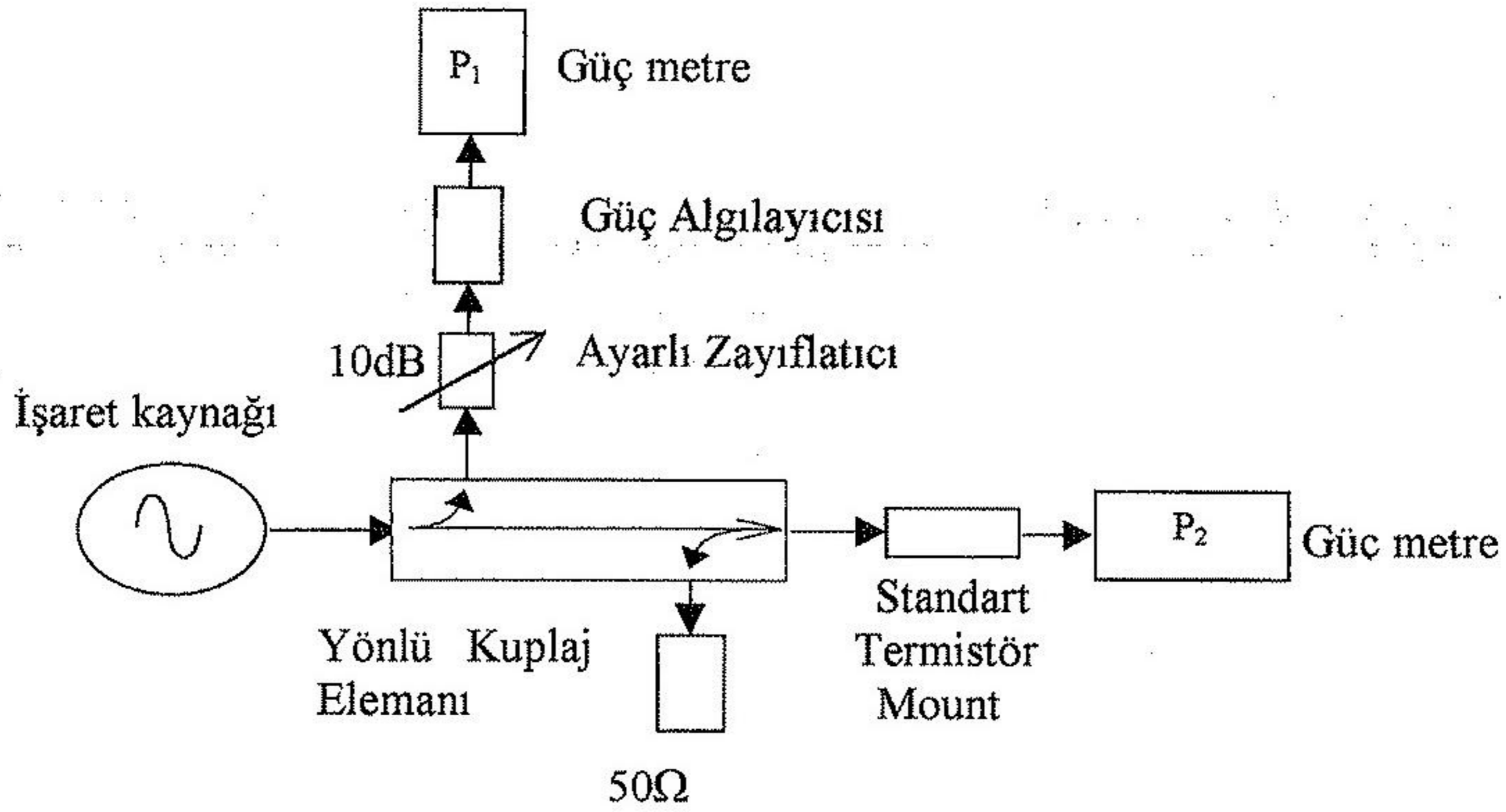


Şekil-2 Üç kapılı bir yönlü kuplaj elemanına ait parametreler

Test edilen algılayıcısının kalibrasyon faktörünü belirlemek için, yönlü kuplaj elemanının özellikleri kullanılarak girişindeki gücün gerçek değeri belirlenir. Yönlü kuplaj elemanının R çıkışından giriş gücüne ait bir örnekleme alınır. Yönlü kuplaj elemanı çıkışında elde edilen güç ilk aşamada standart bir termistör mount ile okunarak, yönlü kuplaj elemanının da içinde bulunduğu sistem kalibre edilir. Kalibrasyon işleminden sonra ölçülecek olan güç algılayıcısına uygun güç seviyesini elde etmek amacıyla işaret kaynağı çıkışından elde edilen güç bir yükselteç ile yükseltilir.

### 3. ÖLÇÜMÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Kalibrasyon faktörü belirlenecek olan güç algılayıcısının ölçümü, Şekil-3 ve Şekil-4'de gösterilen bağlantılar yapılarak gerçekleştirilir. İlk aşamada, yönlü kuplaj elemanından gelecek hataları ortadan kaldırmak için düşük güçte kalibre edilmiş bir standart termistör mount kullanılarak sistem 1 mW'ta kalibre edilir. Ölçüm sisteminin kalibrasyonu ile düşük güçte elde edilen izlenebilirlik orta güç seviyesine aktarılmaktadır.



Şekil-3 Sistemin kalibrasyonu

Bu durumda okunan  $P_1$  ve  $P_2$  güç değerleri bilinir ve sisteme ait transfer fonksiyonu eşitlik (2)'den tespit edilir.

$$U = \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

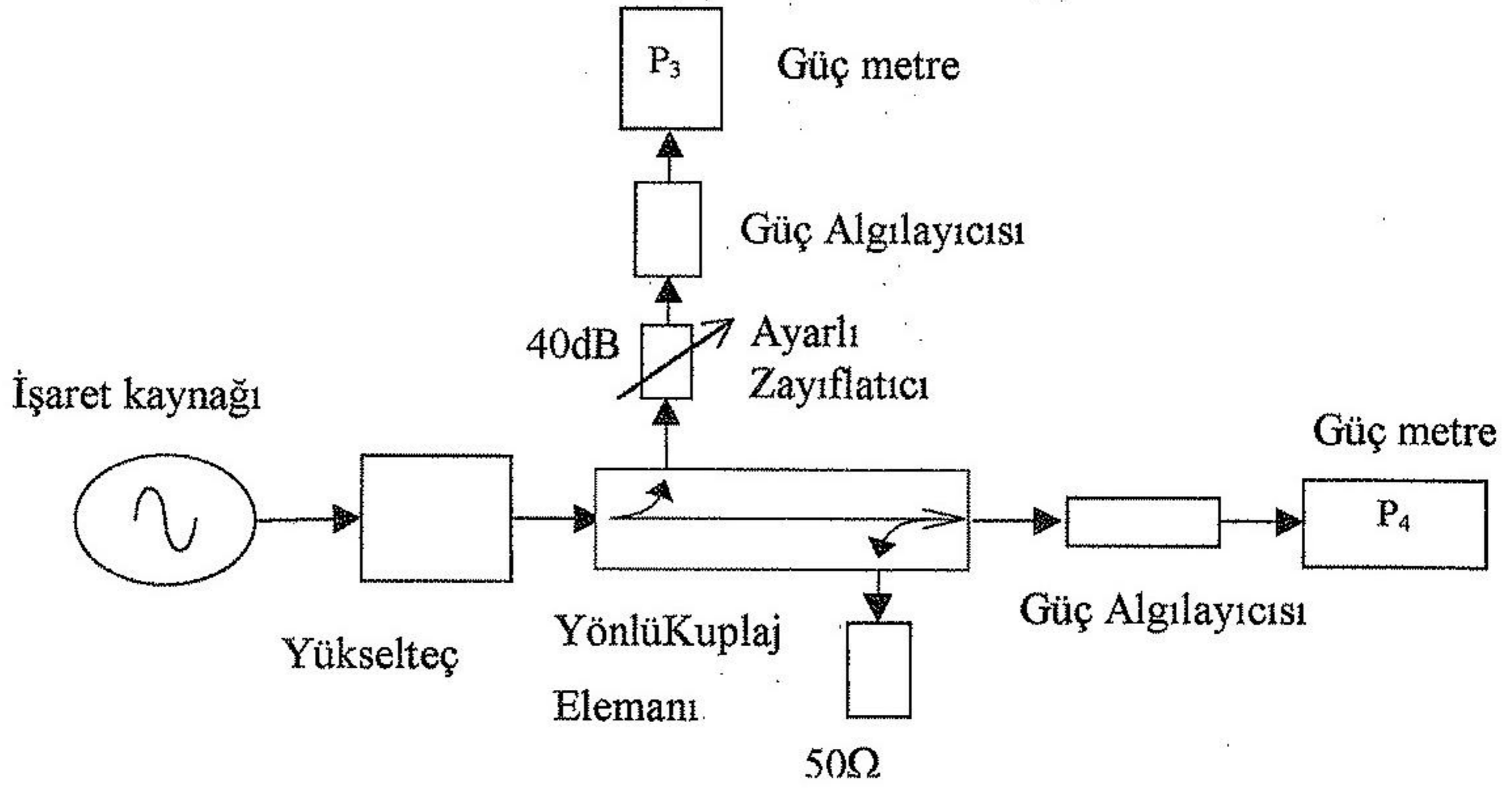
Bu eşitlikten elde edilen  $U$  değeri her güç değeri için sabit olmakla beraber frekansa bağlı olarak değişim göstermektedir. Ölçüm yapılan her frekansta sisteme ait  $U$  katsayısı belirlendikten sonra, sistemin kalibrasyonu tamamlanıp Şekil 4'deki bağlantılar gerçekleştirilir.

Ölçülecek olan güç algılayıcısına uygun bir güç seviyesini sisteme vermek için, yönlü kuplaj elemanı girişine bir yükselteç bağlanır. Bu yükselteç ve işaret kaynağından yararlanarak güç algılayıcısı için uygun güç ayarlanır ve yönlü kuplaj elemanı girişine uygulanır. Yönlü kuplaj elemanının giriş gücünden örnekleme alan  $R$  ucuna bağlı bulunan güç algılayıcısını yüksek güçten korumak amacıyla bu algılayıcının girişindeki ayarlı zayıflatıcının değeri 40 dB'ye ayarlanır.

Kalibrasyon faktörü belirlenen güç algılayıcısı için gerekli güç ayarlanıp, sistem girişine uygulandığında,  $P_3$  giriş gücünden alınan örnekleme değerini,  $P_4$  ise güç algılayıcısının okuduğu güç değerini gösterecektir. Elde edilen bu güç değerleri kullanılarak sisteme ait transfer fonksiyonu;

$$U = \frac{P_3}{P_4} \quad (3)$$

olur. Sistemin kalibrasyonu ve ölçümün gerçekleştirilmesi işleminde her frekans için elde edilen  $U$  değerleri, aynı frekanslar için birbirine eşit olmalıdır.



Şekil-4 Güç algılayıcısının ölçülmesi

Okunan  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  ve  $P_4$  güçleri termistör mount ve güç algılayıcısının kalibrasyon faktörlerini içerecektir. Eğer, okunan bu güçler yerine buna eşit olan ifade yazılırsa,  $P_2$  ve  $P_4$  ifadeleri eşitlik (4) ve eşitlik (5)'deki gibi olur.

$$P_2 = CF_{STD} \times P_2' \quad (4)$$

$$P_4 = CF_{DUT} \times P_4' \quad (5)$$

$CF_{STD}$  = Standart termistör mount'a ait kalibrasyon faktörü

$CF_{DUT}$  = Güç algılayıcısına ait kalibrasyon faktörü

$P_2'$  = termistör mount girişindeki güç

$P_4'$  = Güç algılayıcı girişindeki güç

Yukarıdaki eşitliklerden yararlanarak, ölçülen güç algılayıcısına ait kalibrasyon faktörü değeri eşitlik (6)'dan bulunabilir.

$$CF_{DUT} = CF_{STD} \times \frac{P_1 \times P_2'}{P_3 \times P_4'} \quad (6)$$

Okunan  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  ve  $P_4$  güçlerinden yararlanarak elde edilen değerler eşitlik (6)'da yerine konulduğunda, güç algılayıcısına ait kalibrasyon faktörleri hesaplanır. Bu değerler Tablo-1'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kalibrasyon faktörü değerleri Tablo-1'deki gibidir.

Tablo-1 Güç algılayıcısına ait kalibrasyon faktörü

Frekans (GHz)	CF <sub>DUT</sub> (%)
0,1	109,4
0,2	99,6
0,3	99,3
0,4	95,0
0,5	94,8
0,6	98,1
0,7	96,1
0,8	96,4
0,9	99,3
1	95,6

#### 4. SONUÇ

Söz konusu ölçme sisteminde yönlü kuplaj elemanı kullanılarak, birinci seviye güç standardı olan mikrok calorimetre'den 1-10mW için sağlanan izlenebilirlik orta güç seviyelerine aktarılmaktadır. Sistemin ölçüm aralığı, kullanılan işaret kaynağı, yükselteç ve yönlü kuplaj elemanı'na bağlı olarak değişim göstermektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1] G. F. Engen, "Microwave Circuit Theory", IEE Electrical Measurement Series 9, 1992
- [2] 778D Dual Directional Coupler Operating and Service Manual, Hewlett Packard
- [3] G. H. Bryant, "Principles Of Microwave Measurement", IEE Electrical Measurement Series 5, 1988
- [4] S. Swzwarnowski, "A Medium Power System For Measuring The Effective Efficiency Of Sensors", BEMC, 1995
- [5] M. Celep, "Yüksek Frekanslarda Güç Ölçülmesi", KOÜ Tez, 1999