1. Saçılım Parametreleri ve S Matrisi

Mikrodalga frekanslarda voltaj (gerilim) ve akılım, ölçülmesi oldukça zor olan niceliklerdir. Çok portlu bir şebekenin empedans (**Z**) matrisinin değerlerinin ölçülmesi, tanımından da görülebileceği üzere bazı portların "açık devre (*open circuit*)" haline getirilmesini gerektirmektedir. Mikrodalga frekanslarda bir çok yapının (boş iletim hatları da dahil olmak üzere) açık uçlu bırakılması durumunda "parazitik kapasitans (*parasitic capacitance*)" göstermesi nedeniyle ideal bir açık devre elde etmek olanaksızdır.

Benzer şekilde, çok portlu bir şebekenin admitans (**Y**) matrisinin değerlerinin ölçülmesi, tanımından da görülebileceği üzere bazı portların "kısa devre (*short circuit*)" haline getirilmesini gerektirmektedir. Mikrodalga frekanslarda bir çok yapının (boş iletim hatları da dahil olmak üzere) ucunun kısa devre yapılması durumunda "sonlu endüktans (*finite inductance*)" göstermesi nedeniyle ideal bir kısa devre elde etmek olanaksızdır.

Tüm bunların yanı sıra, aktif devre elemanları açık veya kısa devre ile sonlandırıldığı durumda mikrodalga frekanslarda osilasyonlara yol açmaktadır. Dolayısıyla gerek empedans, gerekse admitans matrisleri tanımsal ve kavramsal olarak faydalı olsalar da pratikte (özellikle laboratuar ortamında) oldukça kullanışsızdır.

Öte yandan kısaca "S parametreleri" olarak da anılan "Saçılım Parametreleri (*Scattering Parameters*)" ve bunlarla ilişkili **S** (Saçılım - *Scattering*) matrisi, kısa veya açık devre gerektirmeden sadece bağıl güç (yani portlara giren ve portlardan çıkan güç değerleri arasındaki oranlar) üzerinden ölçüm yapmaya yönelik olmasından ötürü daha faydalı ve kullanışlı niceliklerdir. Bu parametrelerin ölçümü, laboratuar ortamında doğrudan gerçekleştirilebilir. **S** matrisinin *i*'inci satırı ve *j*'inci sütununda bulunan değerin tanımı şu şekildedir:

$$S_{ij} = \left.\frac{V_i^-}{V_j^+}\right|_{V_k^+=0;\forall k\neq j}$$

Bu tanımda:

V_i^-, *i*'inci porttan çıkan voltaj;

V_j^+ ise *j*'inci porta giren voltaj miktarıdır.

Yukarıdaki tanım uyarınca S_{ij}'nin laboratuarda ölçümü şu şekilde gerçekleştirilir:

- *j*'inci port hariç tüm portların çıkışı uyumlu hale getirilir. Bu sayede $k=j$ haricindeki tüm portlarda $V_k^+=0$ koşulu elde edilmiş olur (ilgili portların her birinin çıkışı uyumlu olacağından, portlara doğru geri yansıma olmayacağı için).
- *j*'inci port herhangi bir voltaj değeri ile sürülür (V_j^+).
- *i*'inci portun çıkışındaki voltaj değeri ölçülür (V_i^-).
- *i*'inci portun çıkışından ölçülen V_i^- değeri, *j*'inci porta girdi olarak verilen V_j^+ değerine bölünerek S_{ij} hesaplanır.

1.1. Saçılım (S) Matrisinin Önemli Özellikleri

- Tanım gereği **S** matrisinin her bir elemanı, bir portun belirli bir voltaja sürülmesinin ardından başka bir porttan çıkan voltajın ölçülmesi; ölçülen voltajın girdi voltaja oranlanması ile hesaplanır. Enerjinin korunumundan yola çıkılacak olursa, içerisinde aktif (yani ekstradan elektrik enerjisi üreten) bir devre elemanı bulunmayan bir şebeke için $|S_{ij}| \leq 1$ olmalıdır.

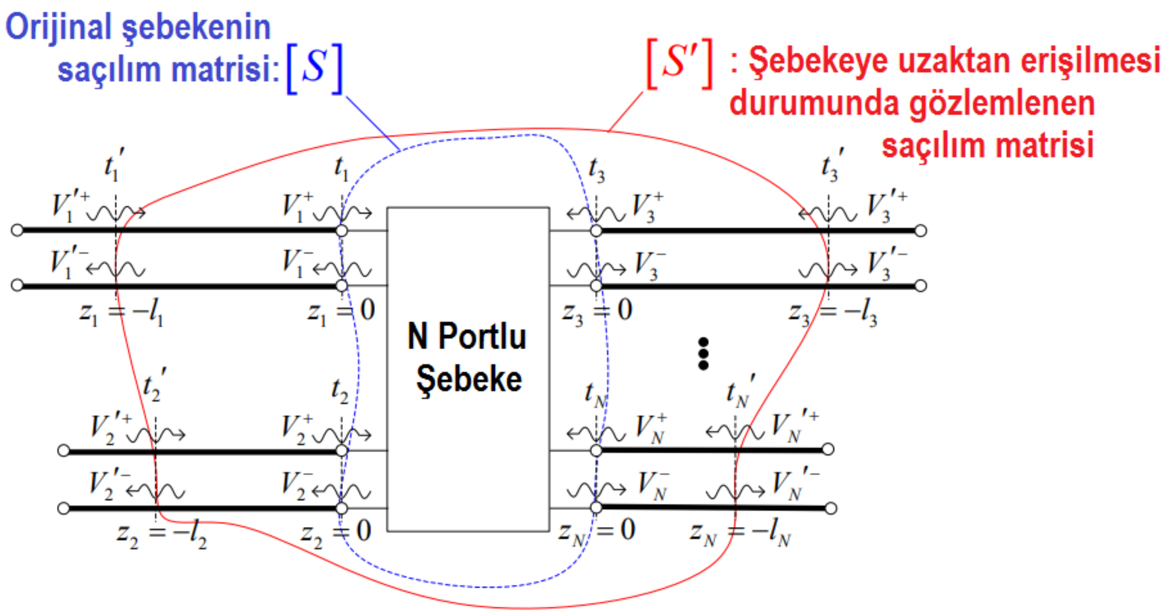
- Karşılıklı (*reciprocal*) bir şebekenin **S** matrisi simetrik olur.
- Kayıpsız bir şebekenin **S** matrisi üniter (*unitary*) olur. Aşağıdaki özellikleri sağlayan bir matris, üniter olarak adlandırılır ($\mathbf{S}^*$, **S** matrisinin karmaşık eşleniğidir).
    - $\mathbf{S}^* \mathbf{S}^t = \mathbf{I}$; **I** birim (*identity*) matris
    - Dolayısıyla:

        1) $i=j$ için $\Sigma_k \mathbf{S}_{ki} \mathbf{S}^*_{ki} = 1$ (Yani, **S** matrisinin herhangi bir satırının, kendi eşleniği ile skaler çarpımı 1'e eşittir).

        2) $i \neq j$ için $\Sigma_k \mathbf{S}_{ki} \mathbf{S}^*_{ki} = 0$ (Yani, **S** matrisinin herhangi bir satırının, başka bir satırın eşleniği ile skaler çarpımı 0'a eşittir).

        3) $i=j$ için $\Sigma_k \mathbf{S}_{ik} \mathbf{S}^*_{ik} = 1$ (Yani, **S** matrisinin herhangi bir sütununun, kendi eşleniği ile skaler çarpımı 1'e eşittir).

        4) $i \neq j$ için $\Sigma_k \mathbf{S}_{ik} \mathbf{S}^*_{ik} = 0$ (Yani, **S** matrisinin herhangi bir sütununun, başka bir sütunun eşleniği ile skaler çarpımı 0'a eşittir).
- Referans Düzlemi Kaydırma: **S** matrisini bildiğimiz bir şebekemiz olsun. Ancak uygulamada bu şebekenin portlarına doğrudan erişemediğimiz durumlar olabilir. Örneğin söz konusu şebeke, içerisinde patlayıcı bulunduran ve girişin yasak olduğu bir ortamda çalışıyor olabilir. Veya söz konusu şebeke sahada uzak/ücra bir noktada çalışıyor, dolayısıyla kendisi uzaktan kontrol ediliyor olabilir. Böyle durumlarda, ilgili şebekeye çekilecek olan iletim hatları üzerinden erişilecektir.



Şekilde görülmekte olan t_i (i=1, …, N) noktaları, orijinal şebekenin portlarının bulunduğu yerlerdir. t'_i (i=1, …, N) noktaları ise şebekeye iletim hatları üzerinden erişildiğinde her bir porttaki erişim noktalarının bulunduğu yerlerdir. Bir başka deyişle, söz konusu şebekeye iletim hatları üzerinden uzaktan erişim sağlandığı için şebekenin referans düzleminin $\{t_1, t_2, \ldots, t_N\}$'den $\{t'_1, t'_2, \ldots, t'_N\}$'e kaydırıldığı söylenebilir. Her bir portta bağlanmış olan kayıpsız iletim hattının uzunluğunun $l_i = \beta_i \theta_i$ olduğu görülmektedir.

Birinci portu ele alalım. V_1^+ voltaj değeri, $V_1'^+$ voltaj değerinin $e^{j\theta_1}$ kadar faz gecikmesine uğramış halidir (çünkü ilgili sinyal, $l_1 = \beta_1 \theta_1$ uzunluğundaki kayıpsız iletim hattı üzerinde ilerlemiştir). Benzer şekilde, $V_1'^-$ voltaj değeri de V_1^- voltaj değerinin $e^{j\theta_1}$ kadar faz gecikmesine uğramış halidir. Tüm portlarda benzer ilişkiler yazılabilir. Dolayısıyla:

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\theta_2} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & e^{j\theta_n} \end{bmatrix} V^- = \mathbf{S} \begin{bmatrix} e^{-j\theta_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{-j\theta_2} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & e^{-j\theta_n} \end{bmatrix} V^+$$

olacağından:

$$\mathbf{S}' = \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\theta_2} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & e^{j\theta_n} \end{bmatrix}^{-1} \mathbf{S} \begin{bmatrix} e^{-j\theta_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{-j\theta_2} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & e^{-j\theta_n} \end{bmatrix}$$

Bir başka deyişle, uzaktan erişilen (yani referans düzlemi her bir portta θ_i kadar kaydırılmış) şebekenin **S** parametreleri, şebekenin orijinal **S** parametreleri cinsinden yazılabilir ve hesaplanabilir.

ARAŞTIRMA KONULARI

1) İki portlu bir şebekede **Z**, **Y**, **ABCD** ve **S** matrisleri arasındaki dönüşümleri (bu matrisler arasındaki ilişkileri veren formülleri) internet'ten bulunuz; sınavda yanınızda ders notu olarak getiriniz.
2) *l* uzunluğundaki kayıpsız bir iletim hattını iki portlu bir şebeke olarak modellediğimizde **Z** ve **S** matrislerinin değerleri nedir? Internet'ten bulunuz; sınavda yanınızda ders notu olarak getiriniz.
3) Güç bölücü (*power divider*), sirkülatör (*circulator*), hibrit kuplör (*hybrid coupler*) gibi mikrodalga devre elemanlarının **S** matrislerinin değerleri nedir? Internet'ten bulunuz; sınavda yanınızda ders notu olarak getiriniz.