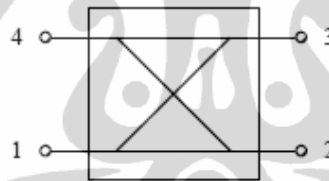


BAB 2

DASAR PERANCANGAN COUPLER

2.1 DIRECTIONAL COUPLER

Directional coupler memegang peranan penting dalam rangkaian microwave pasif. Divais ini di implementasikan dalam banyak cara untuk mendapatkan sejumlah kemampuan dengan batasan-batasannya. Salah satu fungsinya adalah sebagai pembagi daya atau penggabung daya. Secara umum, directional coupler dapat didefinisikan sebagai rangkaian multi port (biasanya terdiri dari 4 port) yang idealnya bersifat *matched*, *lossless* dan timbal balik, yang memiliki suatu port yang terisolasi berdasarkan letak port sinyal inputnya. Bila di gambarkan, rangkaiannya akan terlihat seperti gambar 2.1 dibawah ini, yang terdiri dari 2 garis lurus sebagai jalur transmisi dengan sebuah garis menyilang sebagai coupling diantara 2 garis itu.



Gambar 2.1 Skema rangkaian *directional coupler*

Definisi sebelumnya dari *directional coupler* membutuhkan sejumlah parameter s dengan harga sama dengan nol. Ini ditunjukkan dengan bagian dari definisi yang membutuhkan parameter s tersebut menjadi nol, seperti berikut ini :

- *Matched* : $S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = 0$
- *Isolated Output* : $S_{41} = S_{23} = 0$
- *Reciprocal* : $S_{ij} = S_{ji}$;dimana i dan j = nomor port.

Sebuah rangkaian *lossless* pasif memiliki matriks parameter s yang berupa sebuah matriks *unitary*. Ini berarti bahwa matriks itu ketika dikalikan dengan *tranposed* dari matrix konjugasinya menghasilkan matriks identitas, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 berikut. Persyaratan matematis ini diperoleh dari

kondisi sirkuit yang menginginkan daya total meninggalkan sirkuit persis sama dengan total daya yang masuk rangkaian, tanpa memperhatikan bebannya ataupun konfigurasi sumber.

$$\begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} & 0 \\ S_{12} & 0 & 0 & S_{24} \\ S_{13} & 0 & 0 & S_{34} \\ 0 & S_{24} & S_{34} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & S_{12}^* & S_{13}^* & 0 \\ S_{12}^* & 0 & 0 & S_{24}^* \\ S_{13}^* & 0 & 0 & S_{34}^* \\ 0 & S_{24}^* & S_{34}^* & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Dari hasil perkalian matriks tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$S_{12}S_{24}^* = -S_{13}S_{34}^* \quad (2.2)$$

dan

$$S_{12}S_{13}^* = -S_{24}S_{34}^* \quad (2.3)$$

Dimana hasil yang pertama (2.2) merupakan perkalian antara baris paling atas dengan kolom terakhir, sedangkan hasil yang kedua (2.3) merupakan perkalian antara baris kedua dengan kolom ketiga. Operasi pembagian yang dilakukan pada kedua hasil tersebut menghasilkan sebagai berikut :

$$\frac{S_{24}^*}{S_{13}^*} = \frac{S_{13}}{S_{24}} \Rightarrow S_{24}S_{24}^* = S_{13}S_{13}^* \Rightarrow |S_{24}| = |S_{13}| \quad (2.4)$$

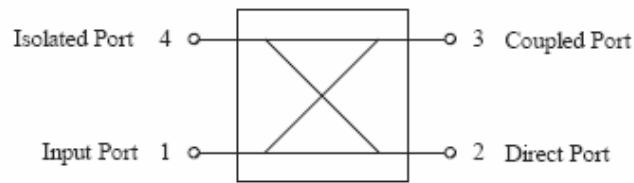
Hal yang sama diterapkan untuk pasangan persamaan lainnya menghasilkan kondisi seperti yang ditunjukkan pada berikut ini :

$$|S_{12}| = |S_{34}| \quad (2.5)$$

$$|S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 = 1 \quad (2.6)$$

$$|S_{21}|^2 + |S_{31}|^2 = 1 \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 menunjukkan bahwa daya yang masuk pada port 1 sama dengan jumlah daya yang keluar dari port 2 dan port 3. Sehingga daya yang keluar dari port 4 sama dengan nol, yang berarti port 4 terisolasi saat port 1 menyalurkan daya. Penetapan posisi port dari sebuah directional coupler dimana port 1 sebagai input ditunjukkan oleh gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Penetapan posisi port pada sebuah *directional coupler*

2.2 PARAMETER UMUM COUPLER

Kinerja dari suatu coupler ditentukan oleh parameter-parameter berikut ini [6] :

- *Return Loss* atau *Reflection Loss* menunjukkan suatu nilai kesesuaian dari impedansi input. Jika input match nya baik maka koefisien refleksi input akan rendah dan berarti hanya sedikit daya masuk yang dipantulkan kembali. Dengan demikian nilai return loss akan tinggi.

$$\text{Return Loss} = -20 \log |S_{11}|$$

- *Insertion Loss* menunjukkan suatu jumlah daya yang memasuki coupler namun gagal melewati direct portnya. Bila sebagian besar daya mengalami coupled, maka dikatakan adanya daya yang hilang pada direct portnya.

$$\text{Insertion Loss} = -20 \log |S_{21}|$$

- Koefisien *Coupling* menunjukkan suatu jumlah daya yang dikopel dari direct port nya dan ini menentukan jenis couplernya. Sebuah 3 dB coupler merupakan coupler yang memiliki daya yang dikopel sebesar setengah dari daya yang diberikan. Daya tersebut dibagi dua antara coupled port dan direct port.

$$\text{Coupling} = -20 \log |S_{31}|$$

- *Isolation* menunjukkan seberapa besar kemampuan coupler mampu mempertahankan daya sehingga tidak keluar melalui isolated port. Untuk sebuah coupler yang ideal, isolationnya akan sama dengan tak hingga (∞).

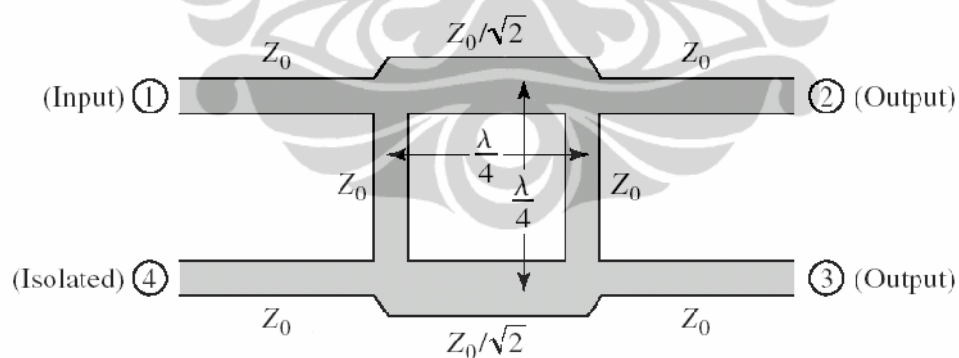
$$\text{Isolation} = -20 \log |S_{41}|$$

2.3 QUADRATURE HYBRID COUPLER

Saat *insertion loss* dan *koefisien coupling* dari suatu *directional coupler* memiliki nilai yang sama, maka dikatakan coupler tersebut membagi daya yang sama pada port outputnya. Coupler ini dikenal dengan nama *quadrature hybrid branch line coupler* yang menghasilkan dua sinyal output yang memiliki beda fasa sebesar 90° , atau digunakan untuk mengkombinasikan dua sinyal dengan tetap menjaga isolasi yang tinggi diantara mereka [6].

Suatu hybrid coupler yang ideal, seharusnya memiliki perbedaan daya diantara kedua output port sebesar 0 dB [10]. Namun pada prakteknya, frekuensi mempengaruhi keseimbangan amplitudo sehingga tidak dapat mencapai perbedaan ideal 0 dB

Hybrid tipe ini sangat mudah direalisasikan dengan menggunakan mikrostrip atau *stripline* dengan tujuan mendapatkan pembagian daya dengan beda phase 90° . Quadrature Hybrid Coupler adalah jenis *passive device* yang terdiri dari empat port, yaitu port 1 digunakan sebagai port gelombang yang masuk (port input), port 2 sebagai output, port 3 adalah port untuk mengkopling (*coupled port*), dan port 4 digunakan sebagai *isolation port*. Bentuk geometris *Quadrature Hybrid Coupler* dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Bentuk geometris Quadrature Hybrid Coupler

Bila suatu Quadrature Hybrid coupler dicatu dengan impedansi sebesar Z_0 , maka nilai impedansi pada lengan shunt = Z_0 dan nilai impedansi pada lengan serinya = $Z_0/2$. Sedangkan jarak antar lengan $\lambda/4$ ditentukan oleh frekuensi resonansi yang diinginkan.

Prinsip kerja Quadrature Hybrid coupler, yaitu output $[S_{21}]$ dan kopling $[S_{31}]$ memiliki daya yang terbagi. Beda fasa 90° tergantung dari panjang $\lambda/4$, pada saat $[S_{21}]$ panjangnya $\lambda/4$ dan saat di $[S_{31}]$ panjangnya $2\lambda/4$ jadi selisih antara $[S_{21}]$ dan $[S_{31}]$ adalah $\lambda/4$ yaitu sama dengan 90° . Untuk isolasi pada rangkaian di atas memiliki beda fasa 180° yaitu saat $[S_{41}]$ panjangnya $\lambda/4$ dan saat dari port 1, menuju port 2, dan menuju port 3 dan terakhir ke port 4 memiliki panjang $3\lambda/4$ jadi memiliki selisih $2\lambda/4$ atau 180° sehingga saling menghilangkan jadi idealnya isolasi adalah 0. Cara mendapatkan isolasi yang ideal dengan pengaturan panjang impedansi dan $\lambda/4$ karena tiap saluran memiliki panjang yang berbeda-beda.

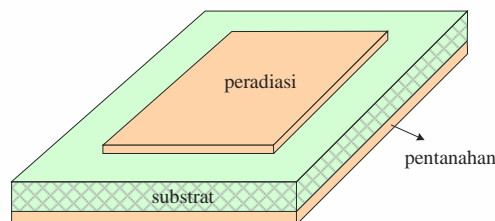
Matrix scattering dari hybrid coupler dapat dinyatakan sebagai berikut [6]:

$$S = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Coupler ini memiliki bentuk simetri seperti yang ditunjukkan gambar 2.3 dan juga tercermin dari persamaan matrix scatteringnya. Setiap port dapat menjadi port input. Port output selalu berada di simpang yang berlawanan dengan port inputnya, dan port isolasi akan berada disisi yang sama dengan port input.

2.4 MICROSTRIP

Microstrip merupakan bentuk teknik lajur transmisi planar yang paling populer. Mengingat ukurannya yang relatif kecil sehingga mudah diintegrasikan ke divais microwave aktif maupun pasif [6]. Strukturnya terdiri berbentuk lapisan logam pada satu sisi bahan dielektrik yang ditutupi dengan logam di sisi lain. Bentuk rangkaian akan dicetak pada bagian depan lapisan dan bagian lainnya dapat berupa pentanahan atau bentuk rangkaian lainnya tergantung pada aplikasi, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Struktur dasar mikrostrip

Elemen peradiasi (*radiator*) atau biasa disebut sebagai *patch*, berfungsi untuk meradiasi gelombang elektromagnetik dan terbuat dari lapisan logam (*metal*) yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktifitas $5,8 \times 10^7$ S/m.

Elemen substrat (*substrate*) berfungsi sebagai bahan dielektrik dari antena mikrostrip yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Elemen ini memiliki jenis yang bervariasi yang dapat digolongkan berdasarkan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) dan ketebalannya (h). Kedua nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja dan bandwidth dari rangkaian yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar daripada ketebalan konduktor metal peradiasi.

Sedangkan elemen pentanahan (*ground*) berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antena mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi yaitu berupa logam tembaga.

Ada beberapa keuntungan dari menggunakan mikrostrip. Pertama, karena biaya rendah sehingga rangkaian mikrostrip sangat cocok untuk diproduksi dalam jumlah besar. Kedua, memiliki berat dan volume yang lebih kecil dibandingkan rangkaian waveguide. Ketiga adalah dapat merupakan suatu rangkaian yang lengkap pada suatu substrat. Keempat, sangat cocok untuk integrasi rangkaian microwave terpadu.

Sebaliknya kelemahannya antara lain sulit untuk menganalisis. Sehingga semua analisis dilakukan melalui asumsi-asumsi dan memerlukan waktu yang cukup lama jika ingin akurat. Dengan menggunakan simulasi microwave perangkat lunak, hal ini dapat diatasi. Ketika sebuah sirkuit mikrostrip dicetak maka akan sulit untuk dilakukan perbaikan atau penyesuaian. Sehingga diperlukan suatu rangkaian yang baru.

2.4.1 Parameter Umum Rangkaian Mikrostrip

Unjuk kerja (*performance*) dari suatu rangkaian mikrostrip dapat diamati dari parameternya. Beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan pada suatu rancangan mikrostrip, akan dijelaskan sebagai berikut.

2.4.1.1. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$) [11]. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [11]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.9)$$

Dimana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*. Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Z_L adalah nol, maka [11]:

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Sedangkan rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [11]:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.10)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah VSWR ≤ 2 .

2.4.1.2. Return Loss

Return Loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss*

digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [11].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.11)$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.12)$$

Dengan menggunakan nilai VSWR = 2 maka diperoleh nilai *return loss* yang dibutuhkan adalah di bawah -10 dB. Dengan nilai ini, dapat dikatakan bahwa nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dapat dianggap *matching*. Nilai parameter ini dapat menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah rangkaian sudah mampu bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.4.2 Lebar Saluran Mikrostrip

Lebar saluran mikrostrip (W) tergantung dari impedansi karakteristik (Z_0), ketebalan (h) dan konstanta dielektrik (ϵ_r) dari substrat yang digunakan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan di bawah ini [6].

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.13)$$

dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.14)$$

2.5 IMPEDANCE MATCHING DENGAN TAPERED LINE

Multisection matching transformer digunakan untuk mendapatkan *bandwidth* yang diinginkan pada suatu *transmission line* dengan nilai impedansi beban yang berubah-ubah [6]. Perubahan impedansi karakteristik tersebut bersifat *monotonic* dari Z_0 ke Z_L ($Z_0 < Z_1 < Z_2 < Z_3 < \dots < Z_L$). Selain dengan menggunakan cara perubahan stepped ini, juga dapat menggunakan *continous taper*.

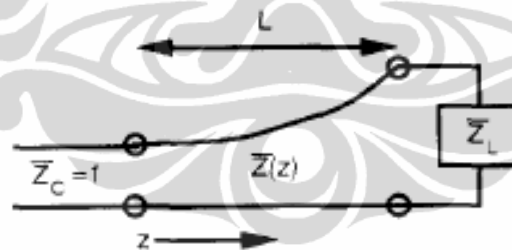
Suatu tapered impedance matching network ditentukan oleh karakteristik panjang L dan fungsi taper $Z_1(z)$. Fungsi *taper* yang digunakan bersifat eksponensial seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$Z_1(z) = Z_0 e^{az} \quad 0 < z < L \quad (2.15)$$

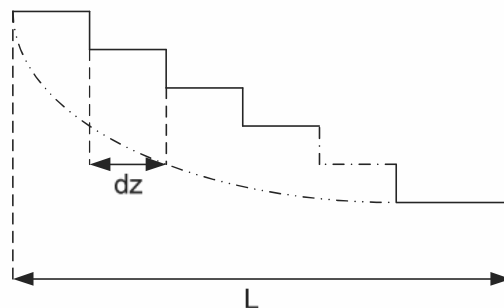
dimana

$$a = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{Z_L}{Z_0} \right) \quad (2.16)$$

Gambar 2.5.a dan 2.5.b dibawah ini menunjukkan suatu pendekatan *taper* kontinyu untuk *matching network*, yang dibentuk dari sejumlah bagian *line* dengan panjang diferensial dz dan perubahan impedansi yang terjadi untuk tiap panjang dz dari satu bagian ke bagian lainnya.



Gambar 2.5.a *Taper* kontinyu untuk *matching network*



Gambar 2.5.b Garis kurva yang terbentuk karena *tapered transition*

Nilai impedansi yang tidak linier terdapat pada lengan seri. Penggunaan impedansi *multisection* dengan *tapered transition* ini, membuat lebar saluran transmisi pada lengan seri akan membentuk garis kurva. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.5.b.

Bandwidth dari suatu *multi section matching transformer* meningkat seiring dengan jumlah *sectionnya*. Demikian juga halnya dengan *bandwidth* dari suatu *tapered line* akan meningkat seiring dengan peningkatan panjang L .

