

ANALISA PENGARUH INTERFERENSI PADA KELUARAN MODULATOR MACH-ZEHNDER

Yunan Hutagaol¹, Akhmad Hambali², Mamat Rokhmat³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Modulator Mach Zehnder merupakan device yang terintegrasi dan dapat mendukung suatu jaringan serat optik agar menjadi lebih handal. Device tersebut memiliki kapasitas bandwidth yang besar. Device tersebut memiliki kecepatan pemodulasian sampai dengan orde giga.

Pada tugas akhir ini akan berbicara tentang karakteristik yang terdapat pada modulator Mach Zehnder. Karakteristik yang dimaksud adalah peristiwa interferensi yang terjadi di lengan modulator dan akan diketahui bagaimana efeknya terhadap intensitas yang ada pada keluaran. Modulator Mach Zehnder adalah salah satu device elektrooptik yang bekerja berdasarkan interferensi yang dihasilkan dari gelombang cahaya yang koheren.

Pada modulator Mach Zehnder, gelombang cahaya terbagi 2 oleh coupler 3-db sehingga menghasilkan gelombang yang sama besar dan sefasa. Pada lengan interaksi pertama diberikan tegangan listrik dengan tegangan yang berbeda-beda. Sehingga mengakibatkan suatu perpaduan antar dua gelombang yang menimbulkan interferensi. Fasa gelombang datang pada lengan pertama akan berbeda dengan fasa yang awal karena terjadi interferensi pada lengan modulator. Namun tidak hanya peristiwa interferensi yang menyebabkan perubahan fasa tetapi bahan penyusun juga menyebabkan perubahan fasa pada lengan. Pada lengan berikutnya, gelombang akan kembali dipadukan dengan gelombang yang tidak diberi tegangan listrik. Namun kedua gelombang cahaya tidak lagi sefasa sehingga pada saat penggabungan akan terlihat intensitas yang berbeda pada keluaran.

Pada modulator Mach Zehnder, intensitas yang dikeluarkan akan maksimum jika perbedaan fasa antar kedua lengan adalah 0o dan minimum jika fasa berbeda 180o. Karakter ini juga terdapat pada transfer karakteristik modulator.

Kata Kunci : Kata kunci : Mach-Zehnder, Interferensi, Elektrooptik, Transfer karakteristik

Abstract

Mach Zehnder modulator is an integrated device and ables to support optical fiber network to be a better one. The device has large bandwidth capacity. Its modulation velocity is up to giga. This final project will discuss about the characteristic of Mach Zehnder modulator. The characteristic is the interference that will be held in arm of the modulator. And we can know how the effect to the intensity of the output. The Mach Zehnder modulator is one of the electrooptic which works with the interference that produce from the optical wave with the coherent phase.

In Mach Zehnder modulator, the optical wave was splitted by the 3-db coupler and produce the wave with the same phase. At the first arm, the voltage is applied with different voltage. So it make some interference because the voltage induce make some stimulate waves. The phase of the first arm will be different from the beginning it comes, because the intereference will be held in that arm. Not only interference make the different of phase, but the material which is use in Mach Zehnder modulator makes some influence, too. In the next step, that wave will recombine with the wave in other arm that split with the first wave. So it not the coheren wave like the first because the phase have been different. So at the output of Mach Zehnder modulator produce the new intensity cause the phase different.

In Mach Zehnder modulator, the intensity were being a maximum if the phase different is 0o and minimum if the different of phase is 180o. The transfer characteristic is the same with the intensity.

Keywords : Keywords : Mach-Zehnder, Interference, electrooptic, Transfer Characteristic

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang demikian cepat, masyarakat modern memerlukan adanya sarana komunikasi yang handal dan canggih. Sarana komunikasi yang dibutuhkan tersebut harus berorientasi untuk memenuhi kebutuhan layanan yang berlaku tidak hanya saat ini, namun juga diorientasikan untuk memenuhi kebutuhan layanan di masa mendatang. Guna memenuhi kebutuhan itu diperlukan suatu jaringan yang handal, dengan kapasitas menampung *bandwidth* yang besar dengan kemudahan penambahan kapasitas, performansi yang lebih baik, tingkat ketersediaan yang tinggi, dan fleksibilitas yang baik. Sistem jaringan serat optik adalah jaringan yang dipercaya mampu menangani masalah tersebut.

Sistem jaringan serat optik yang ada saat ini akan lebih handal lagi jika didukung oleh suatu *device* yang bernama modulator Mach Zehnder. Modulator elektro-optik jenis Mach Zehnder adalah suatu perangkat optik yang bekerja mempengaruhi berkas cahaya yang melintas dengan menggunakan medan elektromagnetik tertentu (yang dihasilkan oleh pulsa-pulsa listrik). Modulator ini bekerja berdasarkan prinsip perpaduan (*interfering*) dua berkas cahaya koheren. Perpaduan dua berkas cahaya yang koheren menghasilkan pola garis-garis cahaya (*fringe*) sesuai dengan besarnya beda fasa antara dua berkas cahaya tadi. Ketika terjadi persamaan fasa, maka intensitasnya maksimum sehingga ada cahaya yang merambat di media transmisi. Sebaliknya, ketika terjadi perbedaan fasa maka intensitasnya minimum sehingga tidak ada cahaya yang merambat di media transmisi.

Dalam Tugas Akhir ini dibahas analisis modulator Mach Zehnder yang pada saat ini masih sedikit ahli yang menelitinya. Sejauh ini, modulator Mach Zehnder belum diaplikasikan pada sistem komunikasi serat optik pada umumnya. Dari hasil penelitian akan diperoleh hasil sehingga akan mempermudah dalam pengaplikasian modulator Mach Zehnder di masa yang datang dan akan membantu menunjukkan peningkatan

kualitas pengiriman informasi. Dari hasil penelitian tidak menutup kemungkinan dalam pensimulasiannya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, antara lain:

1. Melakukan analisis proses interferensi yang terjadi pada modulator Mach Zehnder
2. Menganalisis karakteristik keluaran dari modulator Mach Zehnder.
3. Menganalisis hasil simulasi yang diperoleh.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini, antara lain:

1. Untuk menambah wawasan dan pengetahuan penulis tentang teknologi modulator Mach Zehnder.
2. Sebagai bahan masukan bagi dunia telekomunikasi untuk meningkatkan kualitas pengiriman informasi di jaringan serat optik.
3. Dapat dijadikan referensi dalam pengaplikasian modulator Mach Zehnder.

1.4 Rumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan membahas beberapa hal berikut:

1. Mengetahui bentuk matematis yang terjadi di modulator.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan fasa yang terjadi akibat interferensi terhadap keluaran modulator.
3. Menampilkan bentuk Intensitas keluaran modulator.
4. Bagaimana karakteristik dari *Transfer characteristic* dari modulator?

1.5 Batasan Masalah

1. Tidak membahas mengenai loss yang terdapat pada modulator Mach Zehnder seperti loss akibat bengkokan (*bending*)
2. Tidak membahas secara mendalam mengenai efek yang terjadi pada modulator, seperti efek linier dan non linier
3. Tegangan yang digunakan dalam orde mikrovolt.
4. Panjang gelombang 900 sampai 1550 nm
5. Model sistem disimulasikan dengan Matlab 7 yang berbasis pemrograman *m-file*.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode yang dipakai dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Melakukan studi kepustakaan dengan mengacu kepada teori-teori yang ada.
2. Mempelajari struktur sistem optik.
3. Mempelajari tentang modulator Mach Zehnder.
4. Melakukan percobaan dengan simulasi software Matlab.
5. Mengolah dan menganalisis data.
6. Penggunaan Matlab untuk menampilkan grafik analisis.
7. Konsultasi dan diskusi dengan dosen, pembimbing akademis, dan pihak-pihak yang berkompeten.

Telkom
University

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, dan metodologi penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang konsep dasar sistem komunikasi serat optik, modulasi cahaya, modulator optik, karakteristik transmisi serat optik (dispersi), Interferensi, dan *Transfer Characteristic*.

BAB III KARAKTERISTIK MODULATOR MACH-ZEHNDER

Bab ini berisi tentang model prisma interferometer Mach Zehnder, modulator Mach Zehnder, hubungan fasa dengan parameter pembentuknya, dan Transfer karakteristik.

BAB IV ANALISA KARAKTERISTIK MODULATOR MACH-ZEHNDER

Bab ini berisi tentang analisis karakteristik dari Modulator Mach-Zehnder yaitu hubungan antara intensitas dengan parameter-parameter yang mempengaruhinya

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

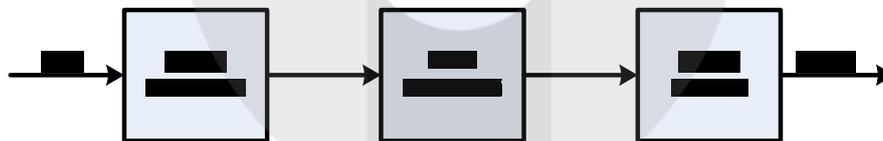
Bab ini berisikan kesimpulan Tugas Akhir ini dan saran untuk pengembangan selanjutnya

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik

Pada dasarnya sistem komunikasi berfungsi untuk menyalurkan sinyal dari sumber informasi melalui media transmisi ke suatu tujuan. Sebagai media transmisi, dewasa ini serat optik telah menjadi alternatif utama karena kemampuannya untuk menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dan dengan tingkat kehandalan yang tinggi. Dengan *bandwidth* transmisi yang besar, serat optik sangat tepat digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan akan berbagai layanan informasi yang kian beragam dan kompleks.

Berbeda dengan sistem komunikasi radio yang menggunakan gelombang elektromagnet. Pada serat optik, gelombang cahayalah yang bertugas membawa sinyal informasi. Sebelum ditransmisikan, sinyal yang masih berupa sinyal elektrik ini akan dimodulasi dan diubah menjadi gelombang cahaya pada *transmitter*, dan setibanya di *receiver* akan dikonversi kembali ke bentuk elektrik. Secara umum, konfigurasi sistem komunikasi optik dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1 dibawah ini:

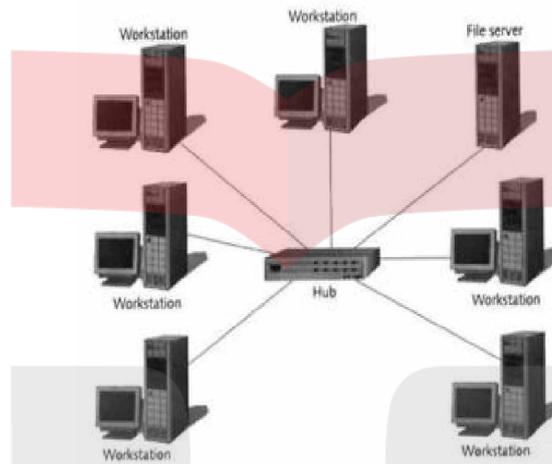


Gambar 2.1 Sistem komunikasi optik secara umum

Topologi jaringan adalah gambaran secara fisik dari pola interkoneksi antara komponen-komponen jaringan, yang meliputi *server*, *distribution point*, *hub* dan pengkabelannya. Konfigurasi yang paling umum digunakan adalah *star*, *ring* dan *bus*. Pada tugas akhir ini akan digunakan konfigurasi *star*.

Pada topologi *star*, masing-masing *workstation* dihubungkan ke *switch*, seperti ditunjukkan gambar 2.2. Keunggulan dari topologi tipe *star* ini adalah bahwa dengan adanya kabel tersendiri untuk setiap *workstation* ke *switch*, maka *bandwidth* atau lebar jalur komunikasi akan semakin lebar sehingga akan meningkatkan unjuk kerja jaringan secara keseluruhan. Oleh karena itu topologi ini sangat cocok diimplementasikan pada

serat optik. Selain itu keunggulan yang lain adalah bila terdapat gangguan di suatu jalur maka gangguan hanya akan terjadi dalam komunikasi antara *workstation* yang bersangkutan dengan *switch*, jaringan keseluruhan tidak mengalami gangguan. Kelemahan dari topologi *star* adalah kebutuhan kabel yang lebih besar dibandingkan dengan topologi yang lainnya.



Gambar 2.2 Topologi *star* [2]

2.2 Modulasi Cahaya

2.2.1 Cahaya dalam Optik

Dalam teori modern ini, diketahui bahwa cahaya merupakan gelombang yang dapat memiliki sifat-sifat seperti pembiasan, pemantulan, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Perambatan cahaya dapat dianalisis secara mendetail menggunakan teori gelombang elektromagnetik. Teori ini untuk menjelaskan cahaya dalam frekuensi, panjang gelombang, dan fasa. Teori lain yang berhubungan dengan cahaya adalah teori kuantum cahaya atau disebut juga teori foton. Teori ini memandang cahaya sebagai perambatan paket energi yang disebut foton. Energi yang dikandung dalam tiap foton dihubungkan dengan frekuensi dari cahaya adalah [6]:

$$E_p = h \cdot \nu \tag{2.1}$$

dimana : E_p adalah energi foton (Joule)

h adalah konstanta Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Joule-s)

ν adalah frekuensi (Hertz)

Teori foton ini digunakan dalam analisis dan menjelaskan tentang pembangkitan dan deteksi cahaya. Hal ini sangat membantu dalam menggambarkan transformasi cahaya kedalam arus elektron (elektrik) dan sebaliknya.

2.2.2 Modulasi Optik

Proses modulasi adalah suatu proses pengubahan sinyal-sinyal informasi ke dalam bentuk tertentu, sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Modulasi optik atau modulasi cahaya adalah teknik modulasi yang menggunakan berkas cahaya berupa pulsa-pulsa cahaya sebagai sinyal pembawa. Berkas cahaya yang digunakan di sini adalah berkas cahaya yang dihasilkan oleh suatu sumber cahaya. Teknik modulasi optik mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan teknik modulasi konvensional yang menggunakan sinyal elektrik sebagai sinyal pembawa informasi. Selain, ketahanannya terhadap derau yang sangat tinggi karena sinyal tidak dapat dipengaruhi oleh medan elektromagnetik, kecepatan pengiriman sinyal atau *bitrate* yang mencapai ratusan *gigabit* per detik juga menjadi keunggulan tersendiri.

Dalam modulasi optik, sinyal dapat dimodulasi amplitudonya yang dikenal dengan modulasi intensitas (*Intensity Modulation*) berupa *Amplitudo Shift Keying* (ASK). Selain itu, berkas cahaya dapat juga dimodulasi frekuensinya atau lebih tepat modulasi panjang gelombang (*Wavelength Modulation*) dan yang ketiga adalah dimodulasi fasanya (*Phase Modulation*).

2.3 Modulator Optik

Berdasarkan interaksi antara sinyal masukan dengan media interaksi optik, maka terdapat tiga jenis modulator ekstern yaitu modulator elektro-optik, modulator magneto-optik, dan modulator akusto-optik. Tetapi didalam Tugas Akhir ini dibatasi hanya menggunakan modulator elektro-optik tepatnya interferometer Mach Zehnder sebagai pemodulasi cahaya.

Salah satu jenis modulator eksternal yang memanfaatkan interaksi sinyal masukan elektrik dengan media interaksi adalah modulator elektro-optik. Interaksi elektro-optik itu sendiri merupakan perubahan indeks bias media interaksi optik akibat pengaruh medan elektrik yang diberikan kepada media interaksi tersebut. Jika medan elektrik diberikan kepada media interaksi optik maka distribusi elektron pada media

interaksi akan terdistorsi dan terpolarisasi sehingga menyebabkan indeks bias media interaksi berubah secara isotropik sehingga akan mengubah karakteristik pandu gelombang optik atau karakteristik media interaksi. Dengan berubahnya karakteristik tersebut maka mode perambatan berkas akan berubah baik berupa perubahan fasa ataupun panjang gelombang.

Pengaruh medan elektrik pada perubahan indeks bias media interaksi menghasilkan dua macam interaksi elektro-optik yaitu [1]:

- Efek Pockels yang merupakan efek linier elektro-optik pada media interaksi zat padat.
- Efek Kerr yang merupakan efek kuadrat elektro-optik pada media interaksi yang umumnya berupa zat cair.

Pada teknik modulasi optik menggunakan modulator Mach Zehnder, medan elektrik dari elektroda pemodulasi digunakan untuk mempengaruhi karakteristik pandu gelombang. Perubahan karakteristik ini selanjutnya akan mengubah mode perambatan berkas optik sehingga karakteristik berkas optik ikut berubah. Karena secara tidak langsung karakteristik berkas optik berubah sebagai akibat dari medan elektrik maka proses ini disebut efek elektro-optik. Bahan yang mempunyai sifat demikian disebut bahan elektro-optik.

2.4 Karakteristik Transmisi Serat Optik (Dispersi)

Peristiwa dispersi serat optik disebabkan oleh melebarnya pulsa yang dipancarkan dan merambat sepanjang serat optik. Pulsa yang melebar akan saling menumpuk, sehingga menjadi tidak bisa dibedakan pada input penerima. Efek ini dikenal dengan *Inter Symbol Interference* (ISI). Dispersi sinyal akan membatasi lebar pita (*bandwidth*) maksimum yang dapat dicapai agar masing-masing simbol masih dapat dibedakan.

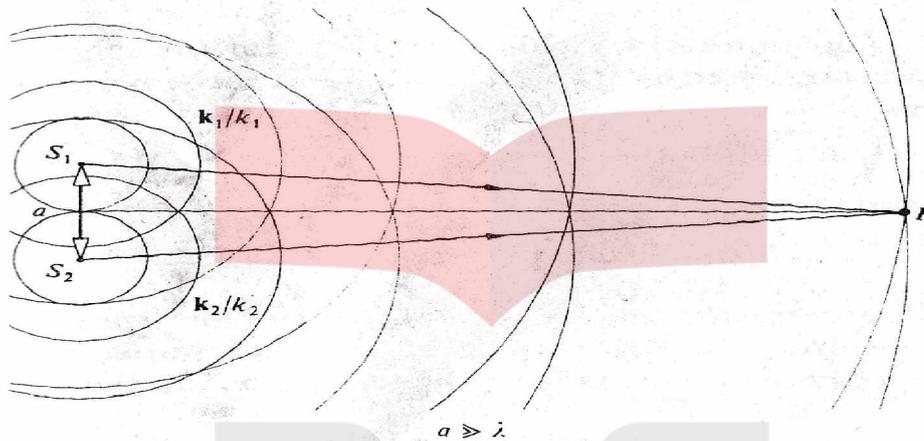
2.5 Interferensi

Interferensi yang terjadi pada optik merupakan sebuah interaksi dari dua atau lebih gelombang cahaya yang menghasilkan suatu resultan komponen Intensitas dimana terjadi penyimpangan dari penjumlahan komponen tersebut. Tetapi cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari listrik dan magnet. Dalam prinsip

superposisi, intensitas elektrik E merupakan penggabungan dari beberapa intensitas E_1, E_2, \dots atau dapat ditulis dengan

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots \tag{2.2}$$

Disisi lain dapat diukur besar dari Intensitas I .



Sebagai contoh yang sederhana, suatu kasus dimana terdapat dua sumber cahaya yaitu S_1 dan S_2 yang menghasilkan gelombang monokromatik dengan frekuensi yang sama pada medium yang homogen. Kedua sumber cahaya tersebut terpisah sejauh a dan lebih besar dari panjang gelombang λ . Sementara P merupakan lokasi objek yang jaraknya cukup jauh sehingga dari sisi P , gelombang datang dilihat sebagai bidang datar. Dimana bentuk polarisasi gelombangnya menjadi [6] :

$$\mathbf{E}_1(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_{01} \cos(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \epsilon_1) \tag{2.3}$$

dan

$$\mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_{02} \cos(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \epsilon_2) \tag{2.4}$$

Sementara besar dari Intensitas di P adalah

$$I = \langle \mathbf{E}^2 \rangle \tag{2.5}$$

yang berarti waktu rata-rata magnitudo dari amplitude elektrik kuadrat atau $\langle \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} \rangle$.

Sehingga
$$\mathbf{E}^2 = \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} \tag{2.6}$$

$$\mathbf{E}^2 = (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \cdot (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \tag{2.7}$$

$$\mathbf{E}^2 = \mathbf{E}_1^2 + \mathbf{E}_2^2 + 2 \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \tag{2.8}$$

Dari persamaan diatas maka besar Intensitas I menjadi

$$I = I_1 + I_2 + I_{12} \tag{2.9}$$

dimana
$$I_1 = \langle \mathbf{E}_1^2 \rangle \tag{2.10}$$

$$I_2 = \langle E_2^2 \rangle \tag{2.11}$$

dan $I_{12} = 2 \langle E_1 \cdot E_2 \rangle \tag{2.12}$

Bentuk ini dikenal dengan kondisi Interferensi.

Dari

$$\langle E_1 \cdot E_2 \rangle = E_{01} \cdot E_{02} \cos(k_1 \cdot r - \omega t + \epsilon_1) \times \cos(k_2 \cdot r - \omega t + \epsilon_2) \tag{2.13}$$

Akan diperoleh

$$\langle E_1 \cdot E_2 \rangle = \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cos(k_1 \cdot r - \omega t + \epsilon_1 - k_2 \cdot r - \omega t + \epsilon_2) \tag{2.14}$$

Dimana nilai dari $\cos^2 \omega t = \frac{1}{2}$, $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}$, dan $\cos \omega t \sin \omega t = 0$. Maka bentuk dari persamaan interferensi menjadi

$$I_{12} = E_{01} \cdot E_{02} \cos \delta \tag{2.15}$$

dimana $\delta = (k_1 \cdot r - \omega t + \epsilon_1 - k_2 \cdot r - \omega t + \epsilon_2)$, yang merupakan perbedaan fasa yang dibangkitkan dari penggabungan panjang saluran dan perbedaan sudut fasa. Dari persamaan (2.10) dan (2.11) maka dapat diperoleh [6]

$$I_1 = \langle E_1^2 \rangle = \frac{E_{01}^2}{2} \tag{2.16}$$

$$I_2 = \langle E_2^2 \rangle = \frac{E_{02}^2}{2} \tag{2.17}$$

sehingga persamaan menjadi

$$I_{12} = 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \tag{2.18}$$

Maka diperoleh nilai total Intensitas adalah

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \tag{2.19}$$

Dari persamaan diatas maka dapat diperoleh nilai dari resultan Intensitas yang maksimum dan nilai yang minimum. Hal ini tergantung dari nilai δ .

Nilai maksimum diperoleh pada saat nilai dari $\cos \delta = 1$, sehingga menjadi

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \tag{2.20}$$

yaitu pada saat $\delta = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots$ atau disebut juga pada saat nilai koefisien adalah genap.

Kondisi ini disebut sebagai pembangkit interferensi. Dan pada saat nilai dari $\cos \delta = -1$ maka akan menghasilkan nilai dari resultan menjadi minimum, maka persamaan menjadi

$$I = I_1 + I_2 - 2 \sqrt{I_1 I_2} \tag{2.21}$$

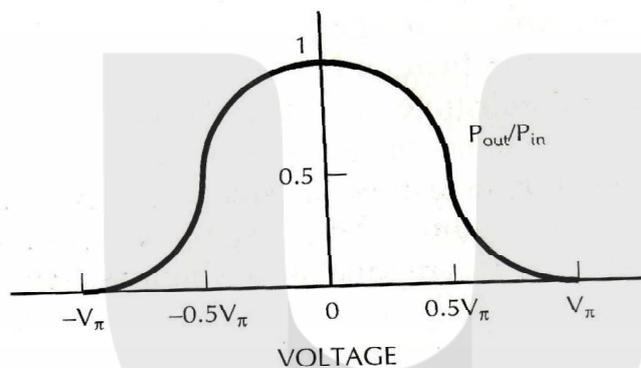
dan kondisi ini diperoleh pada saat $\delta = \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \dots$ atau disebut juga pada saat nilai koefisien adalah ganjil.

Kondisi ini disebut sebagai *destructive interference*.

2.7 Transfer Characteristic

Transfer characteristic merupakan parameter bagi modulator ketika digunakan sebagai *switch* dengan membandingkan nilai dari *P_{out}* dengan *P_{in}*. [15]

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = 0.5 \left(1 + \cos \frac{\pi V}{V_{\pi}} \right) \tag{2.23}$$



dimana V_{π} adalah tegangan setengah gelombang yang telah ter-interferen oleh tegangan listrik sehingga menghasilkan pergeseran fasa sebesar 180° .

