

1305 – Difração de Microondas



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Oswaldo Guimarães – PUC-SP

Difração e polarização de microondas

Tópicos Relacionados

Difração, ponto focal, linearidade, polarização circular e elíptica, ondas transversais, polarizador, analisador, interferência,

Princípios e objetivos

A equivalência entre o comportamento da parte visível do espectro e das ondas eletromagnéticas as microondas pode ser mostrada, usando-se a difração e a polarização das microondas, por exemplo. A focalização de um feixe de microondas que atravessa uma lente plano-convexa convergente é observada e a distância focal determinada. Depois disso, a polarizabilidade das microondas é demonstrada por meio de uma grade metálica.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Base Tripé -PASS-	02002.55	02002.55	1
Base Barril -PASS-	02006.55	02006.55	3
Grampo do banco, -PASS-, pequeno	02010.00	02010.00	2
Haste de suporte -PASS-, quadrada, l 250mm	02025.55	02025.55	1
Grampo de ângulo reto -PASS-	02040.55	02040.55	1
Escala de medida, demo. l=1000mm	03001.00	03001.00	2
Sistema de dipolo	06860.01	06860.01	1
Prato refletor	06865.00	06865.00	1
Rede de Polarização	06866.00	06866.00	1
Prato circular de metal	06867.00	06867.00	1
Bloco, resina sintética	06870.00	06870.00	1
Lente convergente, resina sintética	06872.00	06872.00	1
Prisma, resina sintética	06873.00	06873.00	1
Voltímetro, 0.3-300VDC, 10-300VAC /	07035.00	07035.00	1
Cabo de conexão, 500 mm, vermelho	07361.01	07361.01	1
Cabo de conexão, 500 mm, azul	07361.04	07361.04	1
Cabo blindado, BNC, l 750 mm	07542.11	07542.11	1
Tela, metal, 300x300 mm	08062.00	08062.00	2
Fita de medidas, l = 2 m	09936.00	09936.00	1
transmissor de microondas com klystron	11740.01	11740.01	1
Dipolo receptor de microondas	11740.03	11740.03	1
Fonte de alimentação de microondas, 220VAC E	11740.98	11740.93	1
Amplificador de medidas universal e	13626.98	13626.93	1



Foto: conjunto de peças referentes ao projeto do MEC

1305 – Difração de Microondas

Problemas

1. Medir o campo de radiância das microondas atrás de uma lente convergente
 - ao longo do eixo óptico
 - transversalmente ao eixo óptico
2. Medir a radiância transmitida através de uma grade metálica em função do ângulo entre a direção de polarização e a direção das barras da grade.

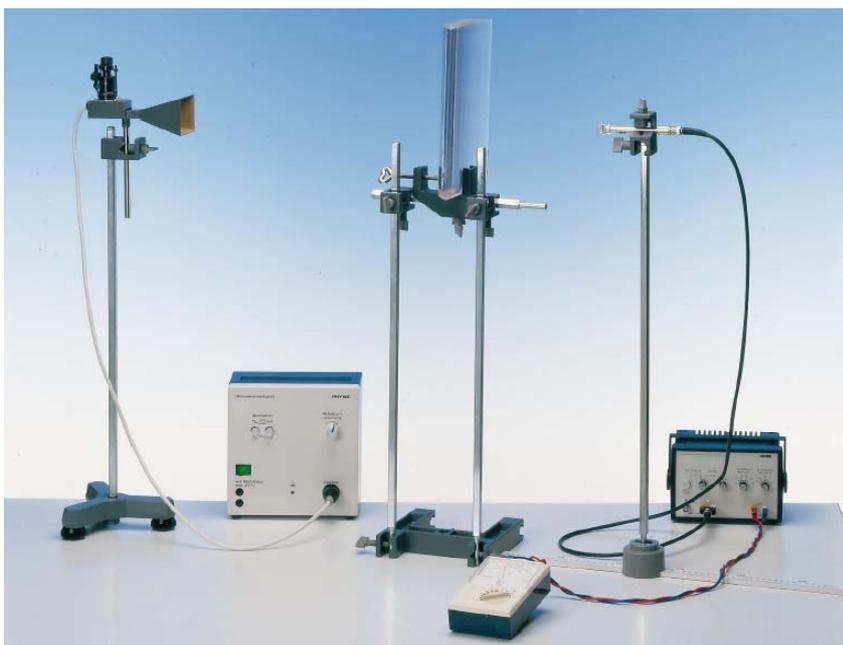


Fig. 1a: montagem experimental para determinar o ponto focal de uma lente de resina sintética. Para maior precisão nas medidas, é recomendável que os emissores e sensores estejam situados bem acima da bancada, mas as barras de suporte não estão incluídas no fornecimento da licitação.

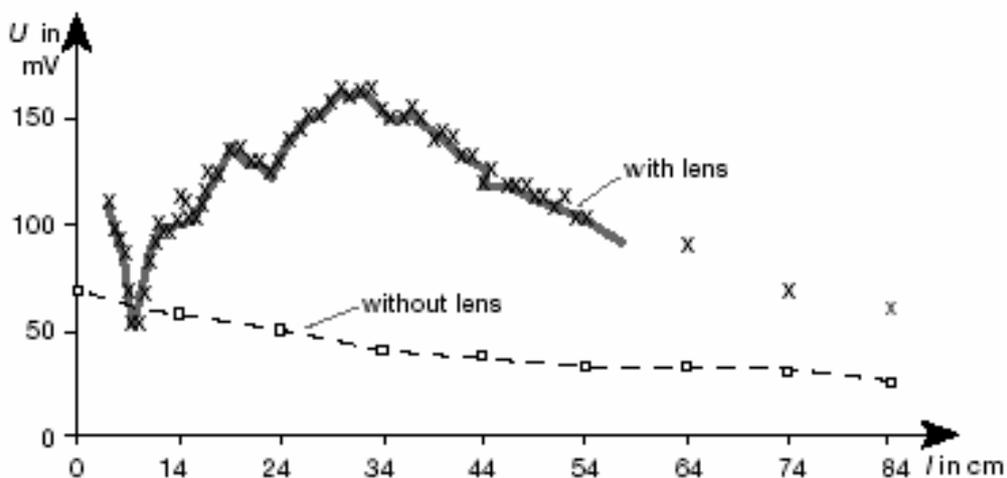


Fig. 2: Intensidade da radiação em função da distância entre a lente e o dipolo receptor. Determinação da distância focal de uma lente convergente de resina sintética pela comparação com os resultados da distribuição quando a lente não é usada.

1305 – Difração de Microondas

Montagem e procedimentos

A montagem requerida para determinar o foco principal da lente é mostrada na fig. 1a. Os equipamentos de transmissão e recepção estão situados 65 cm acima da superfície da bancada para minimizar as influências devidas às reflexões na superfície da bancada. O fato de que o próprio instrumento de medida também pode refletir microondas precisa ser levado em conta quando do seu posicionamento. Recomenda-se colocar o emissor (sem modulação de amplitude) a cerca de 100 cm do dipolo receptor e a aproximadamente 80 cm da escala anexada com o grampo de fixação. A saída de tensão do dipolo receptor é conectada à entrada “low drift” do amplificador de medidas. O reflexo na tensão do Klystron ($\nu = 9,45$ GHz, correspondente a um comprimento de onda $\lambda = 3,18$ cm) e a orientação da antena de transmissão são ajustados para o máximo de sinal de tensão DC do dipolo receptor. O dipolo receptor deve estar orientado paralelamente ao lado mais estreito da haste da antena (direção da polarização) para assegurar a máxima recepção de sinal. Por razões de segurança, deve ser observado se o dipolo receptor permanece sobre o eixo óptico quando a base em forma de barril é deslocada sobre a escala de medidas, por exemplo, medindo-se sempre a distância entre o eixo e a escala.



Fig. 1b: montagem experimental para análise da polarização

1305 – Difração de Microondas

A lente cilíndrica é centralizada adequadamente postando-a imediatamente antes da escala de medidas e perpendicularmente ao eixo óptico, deslocando-a até obter o máximo sinal de tensão DC no dipolo (a aproximadamente 25 cm). A distribuição de irradiância obtida (proporcional à tensão retificada do diodo e ao quadrado da amplitude da intensidade do campo magnético $|\vec{E}|^2$) ao longo do eixo óptico é plotada em um gráfico em função da distância entre o dipolo receptor e a lente cilíndrica. Este experimento é então repetido na ausência da lente a uma distância de 10 cm para se fazer a comparação.

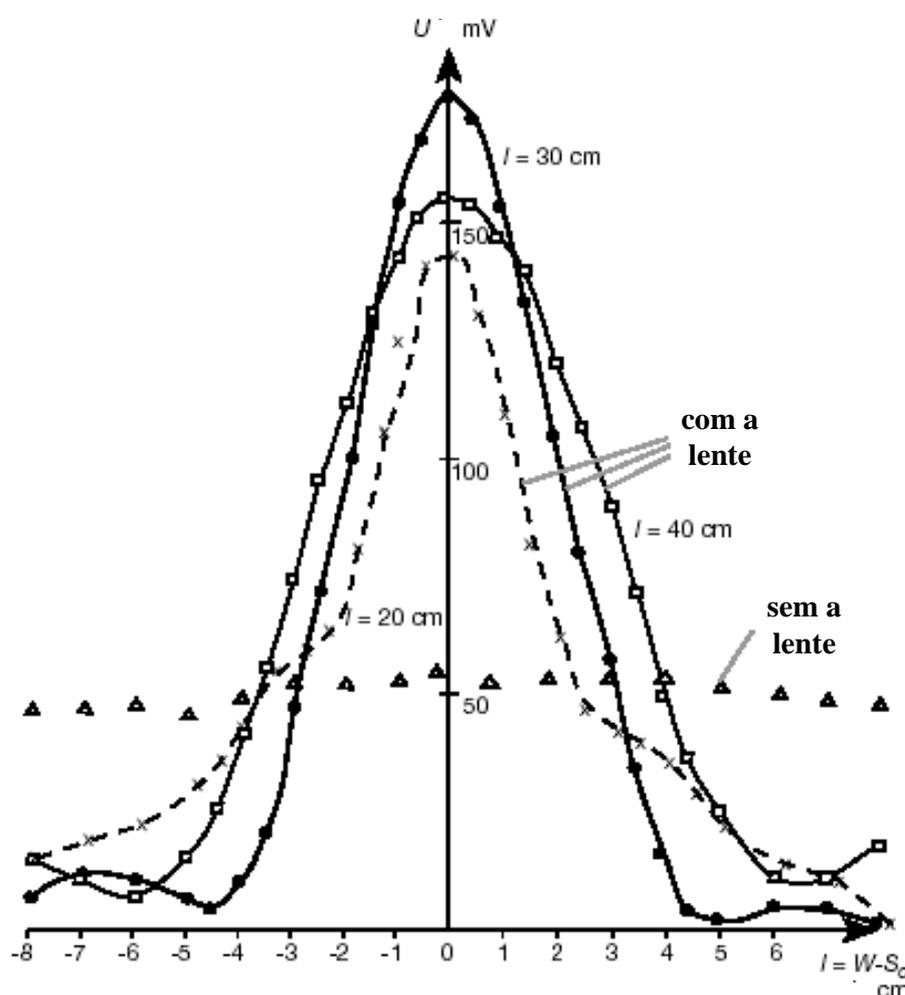


Fig. 3: distribuição da irradiância (transversal ao eixo óptico)

O efeito de focalização da lente convergente é demonstrado registrando-se o perfil da irradiância em distância de 20 cm, 30 cm e 40 cm da lente, perpendicularmente ao eixo óptico. O ponto de referência para as medidas de distância deve ser o lado da superfície convexa da lente, próximos da qual os planos principais da lente (lentes delgadas) estão situados. Com essa finalidade, a escala de medidas é fixada à bancada perpendicularmente ao eixo óptico nas correspondentes distâncias do eixo óptico.

1305 – Difração de Microondas

2. Para verificar a transmissividade de uma tela de polarização, a lente convergente é substituída por uma grade metálica com suas barras metálicas orientadas perpendicularmente ao diodo receptor (fig. 1b). Uma escala semicircular giratória é acoplada ao transmissor de microondas (situada aproximadamente a 20 cm do da grade), a qual é fixada a um tubo vertical fixo, de forma a possibilitar a leitura do ângulo de rotação do transmissor de microondas. O ponteiro é anexado ao tubo vertical de forma que possa ser medido o ângulo de rotação do transmissor de microondas.

Como a direção da oscilação do campo elétrico é paralela ao lado mais estreito da corneta difusora, podemos obter diretamente o ângulo de inclinação das ondas emitidas em relação à grade polarizadora. O ângulo de inclinação é então aumentado gradativamente, de 5° em 5°, e a respectiva tensão DC do sinal recebido pelo dipolo é registrada. Assegure-se de ajustar o máximo da escala de tensão do dipolo receptor para a posição em que o diodo receptor esteja orientado perpendicularmente às barras da grade polarizadora.

Teoria e análise**1. Difração de ondas eletromagnéticas**

Analogamente ao que acontece com faixa visível do espectro das ondas eletromagnéticas, a velocidade de propagação das microondas depende do material em que se propagam: a combinação das equações de Maxwell em um meio dielétrico nos leva ao seguinte resultado para a velocidade de fase v_{PH} de uma onda eletromagnética genérica (sendo c a velocidade da luz, ϵ a constante dielétrica e μ a permitividade):

$$v_{PH} = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (1)$$

ou, considerando $\mu \approx 1$ (materiais não ferromagnéticos), a velocidade de fase v_{PH} é inversamente proporcional à raiz quadrada da constante dielétrica.

$$v_{PH} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (\text{relação de Maxwell}) \quad (2)$$

A constante dielétrica ϵ depende tanto do tipo de material como também da frequência da onda eletromagnética.

Com essas considerações e pela definição do índice de refração de um

material, temos: $n = \frac{c}{v_{PH}} = \sqrt{\epsilon}$, onde temos também: $n_{ar} < n_{resina}$.

Na superfície de separação entre o ar e a resina ocorrem a reflexão e a refração, tal como na óptica geométrica: a lente cilíndrica plano-convexa se comporta, portanto, como uma lente convergente de microondas.

1305 – Difração de Microondas

Portanto, obtemos um significativo aumento da radiância ao longo do eixo óptico para os pontos situados após a lente (fig. 2) do que se teria no mesmo arranjo sem o uso dela. Devido à conservação da energia, a radiância fora do eixo óptico deve ser menor (fig.3): as microondas são concentradas.

Se as microondas que atingem a lente forem consideradas ondas planas (isso é razoável visto que a distância entre o transmissor e a lente é bem maior que a distância focal) e desprezando-se a difração dessas ondas, o pico apresentado no gráfico da fig. 2 corresponde ao ponto focal. A distância focal da lente é, portanto:

$$f = (31 \pm 3) \text{ cm}$$

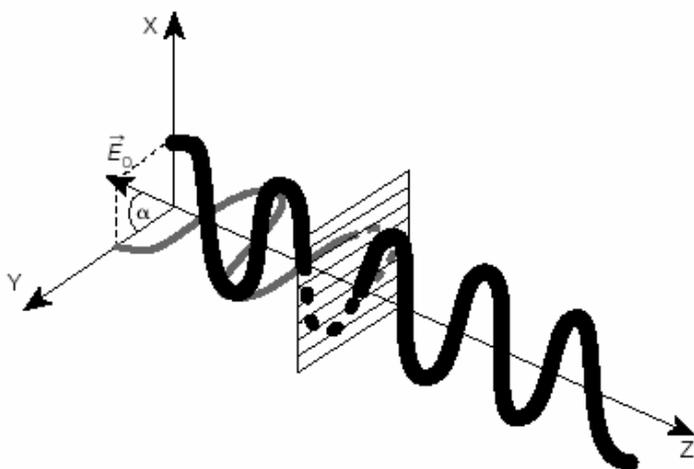


Fig. 4: transmissão através de uma grade metálica.

1305 – Difração de Microondas

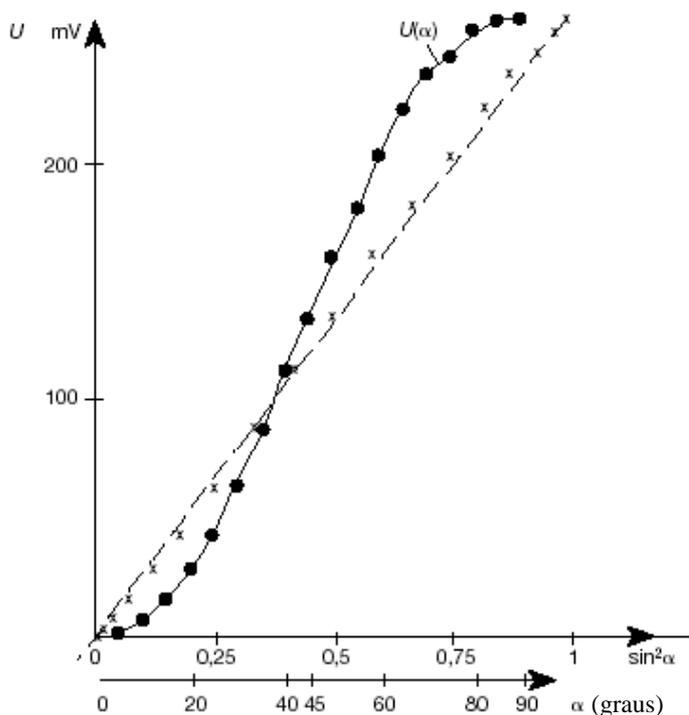


Fig. 5: intensidade da radiação transmitida em função do quadrado do seno do ângulo de incidência ($\sin^2 \alpha$).

Contudo, a difração das ondas na lente ($\lambda = 3,18$ cm, ou seja, pouco menor que as dimensões da lente) bem como a influência das ondas refletidas acarretam diferenças significativas em relação às previsões da óptica geométrica, o que pode ser identificado pelos picos secundários (figs. 2 e 3).

Polarização de ondas eletromagnéticas

Microondas, como todas ondas eletromagnéticas, são ondas transversais e têm, portanto dois graus de liberdade em relação à direção de propagação. Toda polarização linear de uma onda transversal que se propaga ao longo do eixo Oz pode ser escrita em função de duas componentes perpendiculares:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_x \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t) \vec{e}_x + E_y \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t) \vec{e}_y \quad (4)$$

As soluções gerais das equações de Maxwell, considerando-se uma diferença de fase entre as duas componentes, são chamadas de ondas elípticamente polarizadas:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_x \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t) \vec{e}_x + E_y \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t + \varphi_0) \vec{e}_y \quad (5)$$

A dependência temporal do vetor campo elétrico \vec{E} para uma determinada posição $\vec{r}_0 = \vec{0}$ torna-se bem clara para o caso especial em que $|\vec{E}_x| = |\vec{E}_y|$ e $\varphi_0 = (2n + 1) \pi$; $n = 0; 1; 2; \dots$:

1305 – Difração de Microondas

$$\vec{E}(\vec{r}_0, t) = E_x \begin{pmatrix} \cos(\omega t) \\ \mp \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dessa forma, o vetor \vec{E} das microondas (e o vetor \vec{H} , perpendicular à \vec{E}) giram com período: $T = \frac{2\pi}{\omega}$

Com intensidade constante, perpendicularmente à direção de propagação.

As microondas usadas neste experimento já são polarizadas quando emitidas pelo transmissor. A grade metálica age então como abalizador, o que permite determinar a direção da polarização das microondas recebidas. Se uma microonda, cujo vetor \vec{E} está polarizado paralelamente às barras da grade, atinge o aparato, as cargas livres no metal são estimuladas a oscilar pelo campo de alta frequência, produzindo por sua vez microondas com fases opostas às incidentes. Dessa forma, uma onda estacionária é produzida nos pontos aquém da grade, a qual pode detectada pela montagem do dipolo receptor paralelamente às barras. Além da grade, as duas ondas resultam em campo nulo, uma vez que a distância entre as barras da grade é muito menor que o comprimento de onda utilizado. Isso significa que a irradiância após a grade se anula.

Se, por outro lado, o ângulo entre a direção de polarização da onda incidente e a direção das barras da grade for $\alpha = 90^\circ$, as cargas livres não podem oscilar livremente ao longo das linhas de campo e, neste caso, a microonda incidente atravessa a grade abalizadora sem amortecimento.

Para o caso genérico (fig. 4) em que a direção de polarização forma um ângulo α com a direção das barras da grade, a onda incidente é decomposta em uma paralela à direção das barras e outra perpendicular, das quais apenas a última é transmitida.

Assim, da amplitude E_0 da onda incidente, apenas a seguinte parcela atinge o detector:

$$E_{\text{trans}} = E_0 \sin\alpha \quad (6)$$

A radiância recebida (proporcional à E) correspondente à onda transmitida é então:

$$I_{\text{trans}} = I_0 \sin^2\alpha \quad (7)$$

onde I_0 é a intensidade (máxima) para $\alpha = 90^\circ$ (fig. 5).

No caso de ondas incidentes não polarizadas — microondas naturais — a grade metálica pode ser usada como polarizadora, de forma que apenas microondas perpendiculares às barras da grade são detectadas após a passagem pelo aparato.

Cuidado

1305 – Difração de Microondas

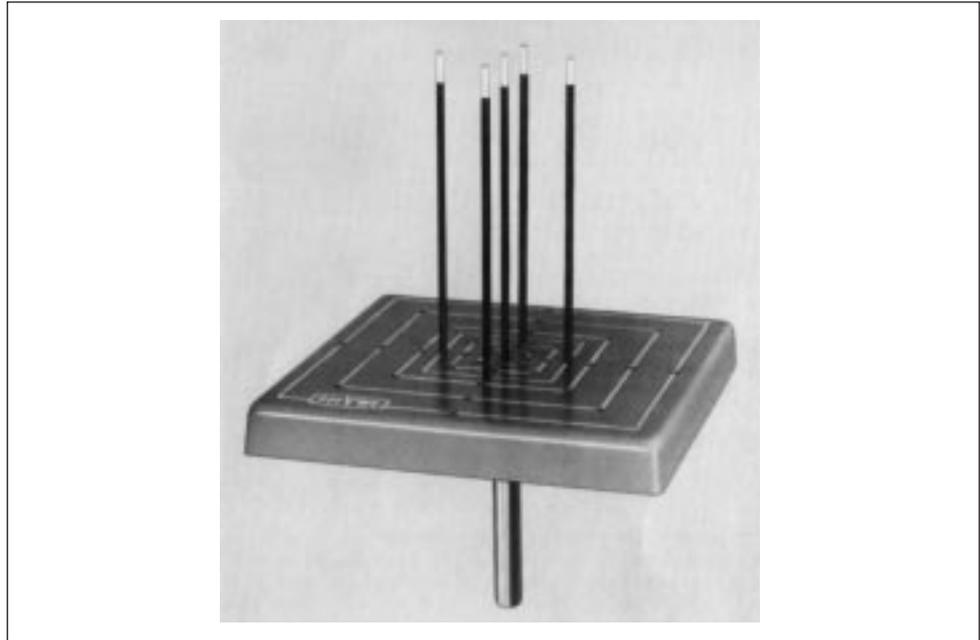
Embora o klystron tenha baixa potência, deve-se evitar a incidência das microondas diretamente nos olhos.



Dipole system

06860.01

Operating Instructions



1 PURPOSE AND DESCRIPTION

The Dipole system is tuned to the Phywe microwave transmitter. It consists of a base plate which is a non-conductor of electricity and has several quadratic arrangements of conical holes in which metal rods can be fitted.

When these metal rods are irradiated by the microwave transmitter they act as secondary excited transmitters, whose interfering wave field can be examined for various geometrical arrangements of the rods.

Going out from the central hole in the base plate, the holes in the middle of the sides of the quadratic arrangements are each at a distance of $\lambda/4$ or $\lambda/2$ from each other (the length of the transmitted primary wave is $\lambda = 3.2$ cm).

2 HANDLING

The 9 metal rods, whose length is about four times the wavelength, each have a conically shaped end which fits firmly into the holes in the base plate. The other end is coloured white for easy recognition of the type of arrangement of the inserted rods. The length of the base plate rod has been so chosen that the middles of the dipoles are at the same height as the microwave transmitter and receiver when all equipment is held, for example, by tripods on the experimental surface.

When not in use, the rods can be stored in clamps underneath the base plate.

3 EXPERIMENTS

Experiment 1: Fit 5 rods on the base plate so that one rod is in the central hole, and the other four are one in each of the four middle holes of the fourth quadrate out from the central hole. The distance between the rods in one row is

now one wavelength. Now transmit a sound frequency modulated wave in the direction of a rod row, with the microwave transmitter situated approximately 20 cm. away. Position the microwave receiver, connected to an amplifier and a loudspeaker, perpendicularly to the irradiated rod row. The receipt of a signal can be acoustically detected, but on the slightest swivelling of the base plate, the signal disappears. The rod system therefore radiates at right angles to the exciting wave. The rods act as transmitter, swinging in phase because of their spatial arrangement. This phase equality in time is also spatially only maintained in preferred directions.

Experiment 2: Add 4 further rods to those used above, one in each of middles of the sides of the second quadrate. The distance between the rods in each row is now half a wavelength; the signal perpendicular to the direction of the primary wave disappears almost completely.

The rods are now excited alternately by opposite phases, because of the difference in transmission time of the primary waves. This phase situation is maintained at the position of the receiver, because the path lengths are hardly different.

Experiment 3: Insert all 9 rods in a single line. The primary wave meets this line of rods at any incident angle. The momentary phase differences in the currents generated in the individual rods are given by the differences in the paths, which are dependant on the incident direction of the primary wave. Because of the path differences of the emitted secondary waves, phase equality, and so a receivable signal, is only given in the direction of the emitted angle. The line of rods acts in its reflection behaviour like a metal plate.

4 LIST OF EQUIPMENT

Dipole system
Microwave power supply, 220 VAC
Microwave transmitter with klystron
Microwave receiver
LF amplifier, 220 V
Loudspeaker, 8 Ω/5 kΩ
Tripod base -PASS-

06860.01
11740.93
11740.01
11740.02
13625.93
13765.00
02002.55

5 NOTE ON THE GUARANTEE

We guarantee the instrument supplied by us for a period of 6 months. This guarantee does not cover natural wear nor damage resulting from improper handling. The manufacturer can only be held responsible for the function and safety characteristics of the instrument, when maintenance, repairs and changes to the instrument are only carried out by the manufacturer or by personnel who have been explicitly authorized by him to do so.



Microwave power supply

11740.93

Operating instructions



The unit complies with the corresponding EC guidelines.

1. PURPOSE AND DESCRIPTION

The microwave power supply serves to operate the microwave transmitter with klystron. Within the bounds of a transmitting and receiving system, the properties of electromagnetic wave fields, such as propagation, reflection, refraction, interference, diffraction and polarization can be examined, using centimetre waves as an example. Further to this, technical uses such as radar and directional radio can be demonstrated.

The microwaves can be radiated either without modulation or amplitude modulated with low frequency voltage. The radiation diagram has directional characteristics.

2. PARTS AND OPERATING ELEMENTS

2.1 The power supply

The following operating and functional elements are to be found on the front plate (Fig. 1):

1. Mains switch with control light

2. Set of buttons for modulation

With button 2.1, the form of the modulation signal is determined. With button 2.2 the choice of either internal or external modulation voltage is made. The modulation types which are possible are given in the Table:

Button 2.1	Button 2.2	Modulation by
0	0	ext. signal voltage voltage peaks cut off
1	0	ext. signal voltage in unchanged form
1	1	int. sinus voltage 50 Hz
0	1	int. rectangular voltage 50 Hz

(button not pressed = 0; button pressed = 1)

When there is no signal voltage on the pair of sockets 6, then, with button 2.2 not depressed, unmodulated microwaves are radiated.

3. Adjusting knob for reflector voltage

For the optimum adjustment of the reflector direct voltage of the reflex klystron, to achieve the maximum radiation intensity of the microwaves.

When there is no signal voltage on the pair of sockets 6, then, with button 2.2 not depressed, the microwaves are not modulated.

4. Klystron socket

Multi-pole socket for connection of the microwave transmitter.

5. 4 mm socket

with casing mass, connected to the earthed socket of the electrical supply.

6. Input of external modulation

Pair of 4 mm sockets for the feed-in of external signal voltages ($U_{\sim} = \text{max. } 4 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz} \dots 10 \text{ kHz}$).

2.2 Microwave transmitter with klystron

The microwave transmitter is equipped with a reflex klystron as oscillation generator. The transmitter radiates the waves out for bundling over a horn radiator of rectangular cross-section. The direction of oscillation of the electrical vector of the polarized microwave runs parallel to the narrow side of the funnel.

For a defined variation of the direction of oscillation in experiments, the stem of the transmitter can be screwed in in three directions which are perpendicular to each other.

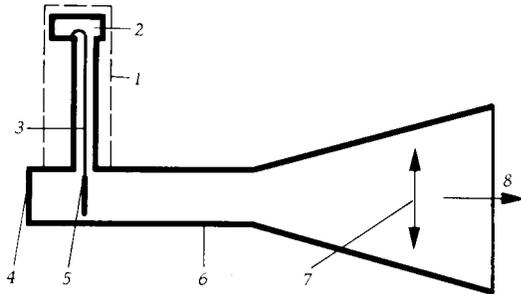


Fig. 2: The transmitter in diagram form

- 1 Transmitting tube (klystron)
- 2 Hollow space resonator
- 3 High frequency lead
- 4 Reflection seal of the wave guide
- 5 End of the lead for exciting the wave guide
- 6 Wave guide
- 7 Direction of oscillation of the electrical field vector
- 8 Direction of emergence of the wave field

3. THE MICROWAVE RECEIVER

For the receiving of the microwaves there is a choice between the microwave receiving dipole and the microwave directional receiver, both of which use a silicon diode as receiving antenna. The voltage generated by the microwaves is measured at this, either directly or over an amplifier. The receivers have a BNC socket for their connection.

Wave fields can be measured out almost as points with the microwave receiving diode, whereas with the directional receiver, the radiation is collected over a larger angular area and so delivers a higher voltage than the dipole when they are at the same distance from the transmitter. Two threaded borings enable the receiving antenna to be held in either of two positions, which are at 90° to each other.

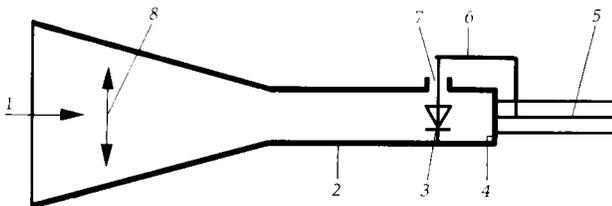


Fig. 3: The directional receiver in diagram form

- 1 Direction of wave entry
- 2 Wave guide
- 3 Receiving antenna (silicon diode)
- 4 Reflection seal of the wave guide
- 5 to the BNC socket (measurement cable)
- 6 Spring diode connection to the measurement cable
- 7 Insulated passage to the diode
- 8 Direction of oscillation of the electrical field vector

4. MEASURING EQUIPMENT

The receiving antenna delivers a direct voltage signal with non-modulated microwaves, whose size is a measure of the microwave intensity received in the experimental set-up concerned. With amplitude modulation, the voltage given up from the diode changes with the modulation frequency. The following are suitable for the measurement of the diode voltage;

- an oscilloscope
- a mV direct voltage meter
- a low frequency amplifier (only for modulated microwaves)

5. HANDLING

5.1 Starting up for the first time

Plug the klystron into the socket on the microwave transmitter. A socket guide stud and corresponding slot in the socket avoid any possibility of wrong connection. Fit on the connecting cap.

5.2 Assembly of the microwave apparatus

Plug the connecting cable of the microwave transmitter into the socket 4 of the microwave power supply. The transmitter begins to operate about 20 seconds after being switched on, and reaches its stable operating condition after about 3 minutes.

Select the type of radiation with the set of buttons 2 and, if appropriate, put an external modulation voltage on the input 6. Connect the microwave receiver with the measuring equipment by means of a BNC cable. Should this only have 4 mm input sockets, then additionally use a BNC socket / 4 mm plug pair adapter. The receiver should be on the axis of symmetry of the radiated field.

Generally, the transmitter and the directional receiver are used in their normal position (vertical position of the narrow sides of the funnel). The dipole must be aligned vertically to receive with the transmitter in the normal position. To reduce interfering reflections, the transmitter and the receiver should not be held too near to the surface of the table.

Adjust the reflector voltage so that the maximum radiation intensity is given, this can be the case at two different positions of the adjusting knob.

When using an NF amplifier, this should not stand too near to the receiver, as otherwise self-distortion can occur. A loudspeaker or a voltmeter can be connected to the appropriate output of the NF amplifier. As a result of unavoidable scattering and interfering effects, as well as the formation of standing waves, the ideal course of the field can be subject to interference, which is less noticeable with the acoustic signal than with the voltmeter display.

5.3 Changing the silicon diode

The receiver diode is very sensitive to too high voltages. Take care therefore when putting in a new diode, that you yourself are not too highly statically charged. To avoid static charge, touch the connected transmitter with your hand immediately beforehand.

The diode has a metal cap on one of its connecting pins, which must be left on when the diode is used with the directional receiver, but taken off when it is used with the dipole.

6. THE FOLLOWING CONDITIONS MUST BE HELD TO WHEN OPERATING THE TRANSMITTER

1. The transmitter must only be operated at the factory adjusted frequency of 9450 MHz (tolerance +/- 75 MHz). Connection to other components must not cause a change in the frequency.
2. The transmitter must only be used in closed rooms. When a directional antenna is used, radiation towards windows, doors and outer walls must be avoided. The transmitter must not be used in wooden buildings.

7. SPECIFICATIONS

Frequency (9.450 +/- 0.075) GHz
Emitting power 25 mW

Please note:

Microwave transmitters built before 1999 cannot be operated with the newer (built after 1999) microwave power supplies, due to technical modifications made for safety purposes. Our service department offers an economical adaptation of such transmitters.

8. LITERATURE

Versuchseinheiten Physik	
Mikrowellen 1	16051.61
Dopplereffekt	16051.91
Hochschulpraktikum Physik	16502.01
Versuche 4.3.5 und 4.3.6	

9. ACCESSORIES

Microwave transmitter with klystron	11740.01
Microwave receiver	11740.02
Microwave receiving dipole	11740.03
LF amplifier, 220 V	13625.93
Loudspeaker, 8 Ohm / 5kOhm	13765.00

Replacement parts

Klystron	06864.00
Diode 1 N 415 C	06862.01