

# Conformación de superficies reflectoras de sistemas dobles de tipo offset con alimentadores descritos en campo próximo

Ahmed Fachar<sup>(1)</sup>, Leandro de Haro Ariet<sup>(1)</sup>

ahmedfach@gr.ssr.upm.es, leandro@gr.ssr.upm.es

(1) Grupo de radiación, Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Complutense 30, 28040 Madrid

**Abstract-** This work discusses an iterative procedure of shaping offset dual-reflector antennas based on geometrical optics considering both far-field and near-field measurements of amplitude and phase from the feed horn. The surfaces synthesized will transform a known radiation field of a feed to a desired aperture distribution. This technique is applied for both circular and elliptical apertures and has the advantage to simplify the problem compared with existing techniques based on solving nonlinear differential equations.

A MATLAB tool has been developed to implement the shaping algorithms.

This procedure is applied for the design of a 1.1 m high-gain antenna for the ESA's Solar Orbiter spacecraft. This antenna operating at X-band will manage high data rate and high efficiency communications with Earth stations.

## I. INTRODUCCIÓN

Antenas reflectoras dobles de tipo offset son muy interesantes para sistemas de comunicaciones por satélite porque presentan la gran ventaja de cancelar el efecto de bloqueo debido a la presencia del alimentador presente en antenas reflectoras dobles centradas.

Sin embargo, la asimetría de este tipo de estructuras introduce radiación contrapolar. En el caso de trabajar en polarización circular, se produce un desapuntamiento.

Para minimizar estos inconvenientes, se emplean las condiciones de Mizuguchi [1] y de Rusch [2].

Para mejorar la eficiencia de la apertura, las superficies reflectoras de la antena deben ser conformadas.

Las técnicas de conformación están basadas en los principios de Óptica Geométrica. Las superficies reflectoras que vamos a sintetizar servirán para transformar un diagrama de radiación de un alimentador arbitrario en la distribución de campo que queremos tener en la apertura: por ejemplo desde uniforme hasta del tipo Taylor.

Varios autores [3-6] han trabajado sobre el tema de conformación de superficies de antenas reflectoras. Sin embargo, los métodos de resolución propuestos por estos autores son bastante complejos y se trata de encontrar métodos más sencillos.

El procedimiento de conformación presentado en este artículo se basa en la interpretación realizada de un método geométrico de trazado de rayos explicado en [7]. Tiene la ventaja de que la síntesis no se realiza anillo por anillo como en [6] sino rayo por rayo, lo que reduce el problema a la resolución de ecuaciones algebraicas y no de ecuaciones diferenciales como en [3-6], por lo tanto con soluciones más fáciles de encontrar y de controlar.

En la sección II se explicará el procedimiento de conformación (Geometría del problema, Condiciones a cumplir, pasos a seguir, aplicación en campo lejano, descripción de alimentadores en campo próximo...). En la sección III se describirá la aplicación desarrollada en MATLAB para implementar este procedimiento. En la sección IV se discutirán los resultados al aplicar esta herramienta MATLAB para el diseño de una antena reflectora doble con configuración offset de tipo Gregoriano conformada con un diámetro de apertura de 1.1 m para comunicaciones por satélite en banda X.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

### A. Geometría del problema:

La geometría de la antena reflectora doble offset de tipo Gregoriano que vamos a considerar para la síntesis de las superficies conformadas es la que se muestra en Fig.1. Definimos como plano de simetría de la antena el plano XZ. Desde el alimentador parten rayos definidos por sus coordenadas esféricas  $(\theta_m, \phi_n)$  en el sistema de coordenadas del alimentador  $(f_a, \vec{x}_f, \vec{y}_f, \vec{z}_f)$ .

Estos rayos forman M anillos. Cada anillo se define por un valor entero de  $m=1..M$ , siendo M el anillo que corresponde al borde del subreflector. Cada anillo corresponde a un valor de  $\theta=0..\theta_E$ , siendo  $\theta_E$  ángulo subtendido por el borde del subreflector. Cada anillo está formado por N rayos. Cada rayo se define por un valor entero de  $n=1..N$ , siendo N un número par. Cada rayo corresponde a un valor de fase  $\phi$  distinto.

Estos rayos se reflejan una primera vez en el punto  $S_{m,n}$  de la superficie del subreflector y por segunda vez en el punto  $M_{m,n}$  de la superficie del reflector principal antes de intersectar el plano de apertura en el punto  $A_{m,n}$  definido por sus coordenadas  $(\rho_{m,n}, \phi_{m,n})$ .

### B. Parámetros iniciales:

**Alimentador:** Diagrama de radiación empleado G, el ángulo subtendido por el borde del subreflector  $\theta_E$  y los puntos centrales del alimentador  $f_a$  y del subreflector  $S_o$ .

**Apertura:** Distribución de campo deseada en la apertura E, el diámetro de la apertura  $D_x=2.a.\rho_m$  y  $D_y=2.a.\rho_m$  ( $a=1$  para apertura circular y  $a \neq 1$  para apertura elíptica) y el punto central del reflector principal  $M_o$ .

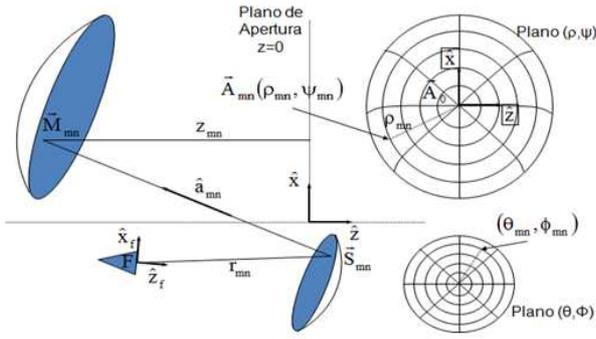


Fig. 1 Geometría de una antena reflectora doble offset de tipo Gregoriano usada para el procedimiento de conformación

### C. Condiciones:

El algoritmo impone cuatro condiciones a cumplir para realizar la síntesis de las superficies reflectoras: La ley de conservación de la potencia, la condición de longitud del camino óptico recorrido por cada rayo, la condición de derivabilidad total y la ley de Snell.

#### Ley de conservación de la potencia:

La potencia total dentro de un elemento infinitesimal de la esfera unitaria  $\sin\theta.d\theta.d\phi$  tiene que ser igual a la potencia que se propaga a través de un elemento infinitesimal de la apertura  $\rho.d\rho.d\phi$

$$\frac{p(\theta)}{p(\theta_e)} = \frac{A(\rho)}{A(\rho_m)} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} p(\theta) = \int_0^{2\pi} \int_0^\theta G^2(\theta', \phi) \cdot \sin(\theta') \cdot d\theta' \cdot d\phi \\ A(\rho) = \int_0^{2\pi} \int_0^\rho E^2(\rho', \phi) \cdot \rho' \cdot d\rho' \cdot d\phi \end{array} \right\} \quad (1)$$

Resolviendo esta ecuación, se consigue relacionar la variable  $\rho$  de la apertura con la variable  $\theta$  del alimentador  $\rho_{m,n} = \rho(\theta_{m,n})$ . Se define la función de mapping  $f$  como aquella que relaciona la variable del alimentador  $\phi$  y la variable  $\phi$  de la apertura. En el caso de emplear un mapping rotacionalmente simétrico, la función de mapping es nula.

En realidad el mapping rotacionalmente simétrico, aun siendo el mapping óptimo, no es posible ya que no es realizable para sistemas offset. Por lo tanto se va a elegir funciones de mapping  $f$  no nulas ligeramente desviadas con respecto a la función de mapping rotacionalmente simétrica.

#### Condición de la longitud del camino óptico recorrido:

En campo lejano, se exige que todos los rayos desde que parten del alimentador hasta que llegan al plano de apertura tras reflejarse en el subreflector y en el reflector principal deben recorrer la misma distancia.

Esta distancia constante sería igual a la longitud del camino que recorre el primer rayo  $L_o$ .

$$\begin{aligned} L_{m,n} &= \|f_a S_{m,n}\| + \|S_{m,n} M_{m,n}\| + \|M_{m,n} A_{m,n}\| \\ L_{m,n} &= L_o = \|f_a S_o\| + \|S_o M_o\| + \|M_o A_o\| \end{aligned} \quad (2)$$

Esta condición nos asegura que la fase del campo en la apertura sea constante en campo lejano y así compensar los errores de fase del alimentador.

#### Condición de derivabilidad total y ley de Snell:

Cualquier punto  $r(\theta+d\theta, \phi+d\phi)$  se debe determinar a partir del punto  $r(\theta, \phi)$  independientemente del camino recorrido entre estos 2 puntos. En la práctica las superficies reflectoras deben satisfacer  $r_{\theta\phi} = r_{\phi\theta}$ . Así cualquier punto  $S_{m,n}$  del subreflector puede ser alcanzado desde  $S_{m-1,n-1}$  a través de  $S_{m-1,n}$  o  $S_{m,n-1}$  y cualquier punto  $M_{m,n}$  del reflector principal puede ser alcanzado desde  $M_{m-1,n-1}$  a través de  $M_{m-1,n}$  o  $M_{m,n-1}$ . Así para cada superficie reflectora se puede establecer dos ecuaciones usando las notaciones adoptadas en [7]

$$(\bar{n}_{m,n}^S + \bar{n}_{m-1,n}^S) \cdot (\bar{S}_{m,n} - \bar{S}_{m-1,n}) = 0 \quad (3)$$

$$(\bar{n}_{m,n}^S + \bar{n}_{m,n-1}^S) \cdot (\bar{S}_{m,n} - \bar{S}_{m,n-1}) = 0 \quad (4)$$

$$(\bar{n}_{m,n}^M + \bar{n}_{m-1,n}^M) \cdot (\bar{M}_{m,n} - \bar{M}_{m-1,n}) = 0 \quad (5)$$

$$(\bar{n}_{m,n}^M + \bar{n}_{m,n-1}^M) \cdot (\bar{M}_{m,n} - \bar{M}_{m,n-1}) = 0 \quad (6)$$

Donde según la ley de reflexión de Snell:

$$\hat{n}_{m,n}^S = \frac{\hat{a}_{m,n} - \hat{i}_{m,n}}{|\hat{a}_{m,n} - \hat{i}_{m,n}|}; \hat{n}_{m,n}^M = \frac{\hat{z}_{m,n} - \hat{a}_{m,n}}{|\hat{z}_{m,n} - \hat{a}_{m,n}|} \quad (7)$$

Con  $\hat{i}_{m,n}$ ,  $\hat{z}_{m,n}$  y  $\hat{a}_{m,n}$  los vectores definidos en Fig.1.

#### D. Descripción del algoritmo de síntesis:

##### Paso1:

A partir de los parámetros iniciales especificados en la sección (II.B), se caracteriza primero el rayo inicial  $m=0$  (coordenadas del centro del alimentador  $f_a$ , de los puntos centrales del subreflector  $S_o$  y del reflector principal  $M_o$ , normales a las superficies  $\bar{n}_0^S$  y  $\bar{n}_0^M$  con la ley de reflexión de Snell).

##### Paso2:

Definir el sistema de coordenadas del alimentador descrito en la sección (II.A)

$$\hat{z}_f = \frac{\bar{S}_o - \bar{f}_a}{|\bar{S}_o - \bar{f}_a|}; \hat{y}_f = \pm \hat{y}; \hat{x}_f = \hat{y}_f \times \hat{z}_f \quad (8)$$

El signo + para los reflectores Cassegrain y el signo - para los reflectores Gregoriano

##### Paso3:

Elegir el mallado que define las direcciones de todos los rayos que parten del alimentador

$$\begin{aligned} \theta_m &= \theta(\rho_m) \text{ con } \rho_m = \frac{m \cdot \rho_u}{M}, m = 1..M \\ \phi_n &= \frac{(n-1) \cdot 2\pi}{N}, n = 0..N \end{aligned} \quad (9)$$

La relación  $\theta(\rho)$  se obtiene aplicando la ley de conservación de la potencia mediante la resolución numérica de la ecuación (1)

##### Paso4:

Se aplica un proceso iterativo que se encuentra bien explicado en Fig. 2 empleando las siguientes ecuaciones:

$$\bar{S}_{m,n} = \bar{f}_a + r_{m,n} \cdot (\sin \theta_m \cdot \cos \phi_n \cdot \hat{x}_f + \sin \theta_m \cdot \sin \phi_n \cdot \hat{y}_f + \cos \theta_m \cdot \hat{z}_f) \quad (10)$$

$$\bar{A}_{m,n} = \bar{A}_o + \rho_{m,n} \cdot \cos \psi_{m,n} \hat{x} + \rho_{m,n} \cdot \sin \psi_{m,n} \hat{y} \quad (11)$$

$$z_{m,n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_{m,n}^2 - 2L_{m,n} \cdot r_{m,n} - |\bar{A}_{m,n} - \bar{f}_a|^2 + 2(\bar{A}_{m,n} - \bar{f}_a) \cdot (\bar{S}_{m,n} - \bar{f}_a)}{L_{m,n} - r_{m,n} - (\bar{A}_{m,n} - \bar{f}_a) \cdot \hat{z} + (\bar{S}_{m,n} - \bar{f}_a) \cdot \hat{z}} \quad (12)$$

$$\bar{M}_{m,n} = \bar{A}_{m,n} - z_{m,n} \hat{z} \quad (13)$$

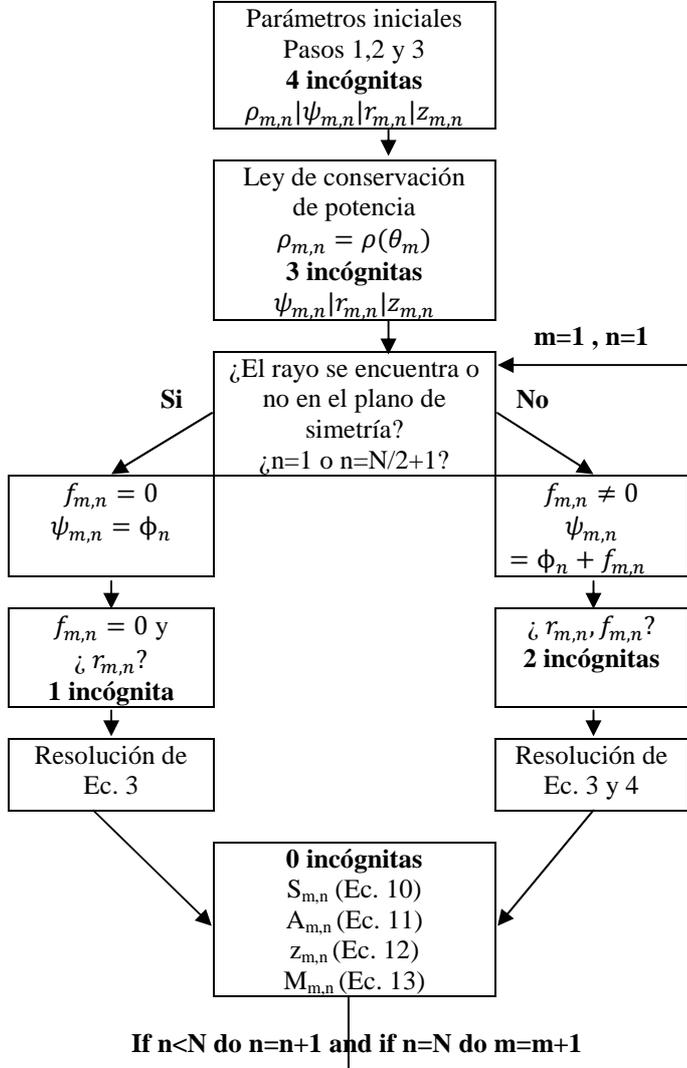


Fig. 2. Esquema descriptivo del algoritmo iterativo de síntesis de superficies reflectoras conformadas

#### E. Descripción de alimentadores en campo próximo:

Hemos caracterizado el alimentador en campo próximo, por su expansión en modos esféricos. Hemos usado la notación Q de los modos esféricos.

Con el programa SWEP de TICRA, generamos los coeficientes Q de onda esférica, y mediante una aplicación que implementamos en Matlab determinamos los campos E y H a partir de las siguientes expresiones:

$$\bar{E}(r, \theta, \phi) = k\sqrt{\eta} \sum_{s=1}^2 \sum_{m=-M}^M \sum_{n=1}^{N_{\max}} Q_{smn} \bar{F}_{smn}(r, \theta, \phi) \quad (14)$$

$$\bar{H}(r, \theta, \phi) = \frac{jk}{\sqrt{\eta}} \sum_{s=1}^2 \sum_{m=-M}^M \sum_{n=1}^{N_{\max}} Q_{smn} \bar{F}_{3-smn}(r, \theta, \phi) \quad (15)$$

Donde k es el número de onda  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  y  $\eta$  la impedancia en el vacío  $\eta \cong 120 \cdot \pi$ .

Las expresiones de  $F_{s,m,n}(r, \theta, \phi)$  y  $F_{3-s,m,n}(r, \theta, \phi)$  que hemos usado son las que da [8]. Éstas concuerdan con las expresiones de Hansen [9], excepto unas pequeñas diferencias de unidades.

### III. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

Parámetros de entrada:

Tipo de reflector: Gregoriano o Cassegrain, Tipo de apertura: Circular o Elíptica, Parámetros de diseño básico, Frecuencia, Alimentador: modelo en campo lejano o campo cercano, Tipo de distribución de campo en la apertura

Parámetros de salida:

Geometría, Superficies conformadas, mapping, mallado del subreflector y de la apertura aplicando el procedimiento explicado en las secciones anteriores



Fig. 3 Pantalla principal de la aplicación

### IV. RESULTADOS

Esta aplicación ha sido usada para el diseño de una antena reflectora doble offset de tipo Gregoriano conformada con diámetro de apertura de 1.1 m para comunicaciones por satélite en banda X. Los parámetros de entrada usados son:

Parámetro	Valor
Distribución en la apertura	Apertura parabólica sobre pedestal Aperture taper = -6 dB
Alimentador	$G(\theta) = \cos^q(\theta)$ Feed Taper = -20 dB
Polarización	RHCP
Apertura	Circular
Frecuencia	7.167 GHz lo que da $\lambda = 41.859$ mm
Diámetro apertura	$D=1100$ mm = $26.279\lambda$
Diámetro subreflector	$V_s = 418.585$ mm = $10\lambda$
Angulo subtendido	$\theta_c = 18^\circ$
Longitud total del sistema	$L = 1046.463$ mm = $25\lambda$
Distancia de clearance	$d_c = 418.585$ mm = $10\lambda$

Tabla. 1 Parámetros de entrada

Trazado de rayos y Superficies conformadas:

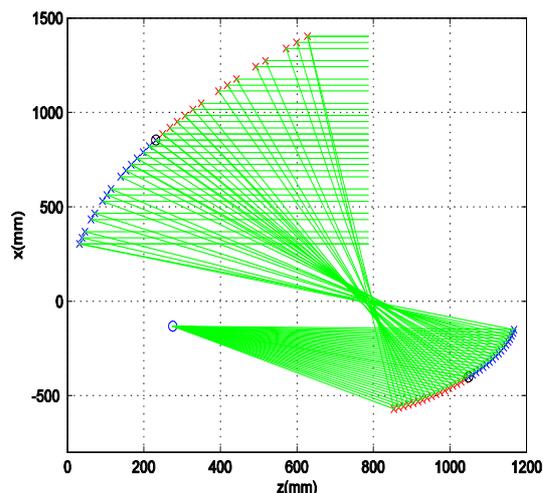


Fig. 4 Trazado de los rayos

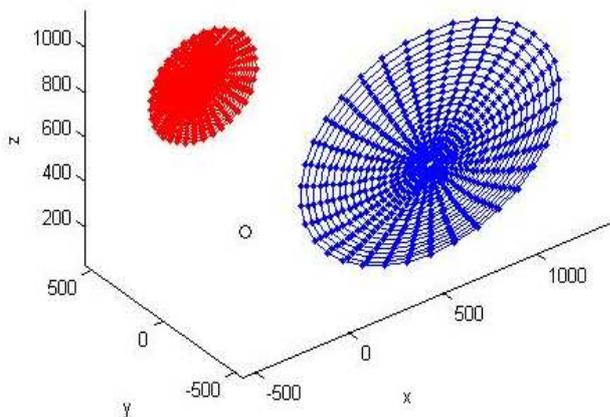


Fig. 5 Superficies conformadas

Diagramas de radiación:

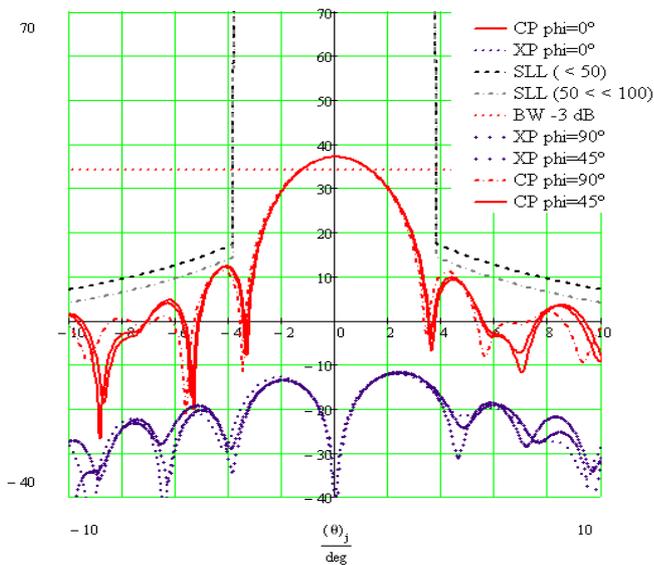


Fig. 6. Diagrama de radiación copolar y contrapolar de la antena reflectora doble offset de tipo Gregoriano para  $\phi=0^\circ, 45^\circ$  y  $90^\circ$  a 7.167 GHz

	Simulación GRASP	Teoría
<b>Ganancia</b>	37.039 dBi	38.335 dBi
<b>Ancho de haz a-3 dB</b>	2.571°	2.664°
<b>Pérdidas totales</b>	1.301 dB	
<b>Eficiencia total (%)</b>	74.1 %	
El pico de radiación contrapolar está 50 dB por debajo del pico de radiación copolar		
El diagrama de radiación cumple los gálibos de la ITU-R580		

Tabla. 2. Resultados conseguidos

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un procedimiento iterativo de síntesis de superficies reflectoras conformadas para sistemas reflectores dobles de tipo Offset. Esta técnica es válida para todos los modelos de alimentadores en campo lejano y campo próximo, para aperturas circulares y elípticas y para todas las distribuciones de campo en la apertura que queremos.

La aplicación basada en este procedimiento da resultados correctos (Ganancia, Nivel de lóbulos secundarios, Nivel de radiación contrapolar).

Sin embargo, algunas mejoras quedan por implementar sobre todo para aperturas “súper elípticas” ya que el algoritmo presentado da resultados mejorables para superficies de gran curvatura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por la financiación del proyecto CROCANTE con referencia TEC2008-06736-C03-01/TEC, y a la Universidad Politécnica de Madrid por la beca de personal de investigación en formación.

REFERENCIAS

- [1] Y. Mizuguchi, M. Akagawa, and H. Yokoi, “Offset dual reflector antennas” in *IEEE Antennas Propagat. Soc. Symp. Dig.*, Amherst, MA, pp.2-5, Oct.1976.
- [2] W. V. T. Rusch, *Analysis of Reflector Antennas*. New York Academic, 1970.
- [3] B. Y. Kinber, “On Two Reflector Antennas”, *Radio Eng. Electron. Phys.*, Vol. 6, June 1962.
- [4] V. Galindo, “Design of Dual Reflector Antennas with Arbitrary Phase and Amplitude Distribution”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-12, July 1964, pp.403-408.
- [5] B. S. Wescott, F. Brickwell, and I. C. Wolton, “GO Synthesis of Offset Dual Reflectors”, *IEEE Proc. Pt. H*, Vol. 128, No. 1, 1981, pp. 11-18.
- [6] P.-S. Kildal, “Synthesis of Multi-Reflector Antennas by Kinematic and Dynamic Ray Tracing”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-38, Oct. 1990, pp. 1587-1599.
- [7] J.O. Rubiños-Lopez, A. García-Pino, “A ray-by-ray algorithm for shaping dual-offset reflector antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol 15, No. 1, pp. 20-26, May 1997.
- [8] K. Pontoppidan, GRASP9, Technical Description, TICRA, Copenhagen. Denmark, 2005.
- [9] J.E.Hansen, “Spherical Near-Field Antenna Measurements”, Peter Peregrinus Ltd., 1988.