



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ハート型指向性を有するスロット・モノポールアンテナシステム
Author(s)	伊藤, 精彦; Itoh, Kiyohiko; 松本, 正 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 64, 31-36
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41087
Type	departmental bulletin paper
File Information	64_31-36.pdf



ハート型指向性を有するスロット・モノポールアンテナシステム

伊藤 精彦* 松本 正*

(昭和46年11月30日受理)

A Slots-and-monopole Antenna with a Steerable Cardioid Pattern

Kiyohiko ITOH, Tadashi MATSUMOTO

(Received November 30, 1971)

Abstract

A vertical monopole and two crossed slots form an antenna unit whose combined output can be processed to yield a cardioid-shaped horizontal pattern for vertically polarized waves. This cardioid-shaped pattern is steerable in the azimuth direction by properly weighting the outputs of the crossed slots. The locus for determining these weighting factors for any desired null direction has been given. Both the shape and the half-power beamwidth of the steerable pattern have also been examined. It appears that this combination antenna unit offers important advantages in direction-finding and other applications, especially at microwave frequencies. It is also useful in situations where broad-beam reception coupled with interference suppression in a particular direction is desired. The directive properties of such units suggest their possible use as the elements in an antenna array.

I. 緒 言

ハート型指向性を有するアンテナは方向探知器等に應用されている。それ等の応用例に於いては、アンテナ系の形式は、ハート型指向性を有する出力を得るために、ループと垂直ダイポールアンテナの組み合わせが一般的である。遠方の波源の方向は、空間でループを機械的に動かしてハート型の指向性の零感度の方向より決定される。その他、一對の固定した直交ループがゴニオメータと共に使用され search coil が回転ループにより作り出される界をまねて回転するものもある。いづれにしても、機械的回転機構を持つために、構造上、動作上、および測定上の問題を含んでいる。さらに、ループアンテナの大きさは普通波長の数分の一の大きさであるので、このようなループアンテナをマイクロ波帯で使用することは実用上不可能である。この論文は機械的動作なしにハート型指向性の零点を回転し得る（すなわち steerable な）スロットとモノポールアンテナを組み合わせたシステムを提案している。

このアンテナシステムは、Fig. 1 に示されたように、水平面において垂直なモノポールと2つの互に直交したスロットから成立している。Fig. 3 に示された信号処理回路は合成された指向性の零点の制御を行う。Fig. 1 と Fig. 3 を組み合わせた全体のシステムの動作原理は第 II 章で説明する、また指向性特性は第 III 章で述べる。

スロットはループより次のような利点を有する。すなわち、第1に、スロットはループより取り付けが容易である。このことは高速移動体に於いて特に有利である。第2に、スロットアンテナ

* 電子工学科 電波伝送工学講座

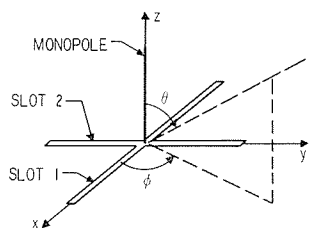


Fig. 1. A slots-and-monopole antenna unit

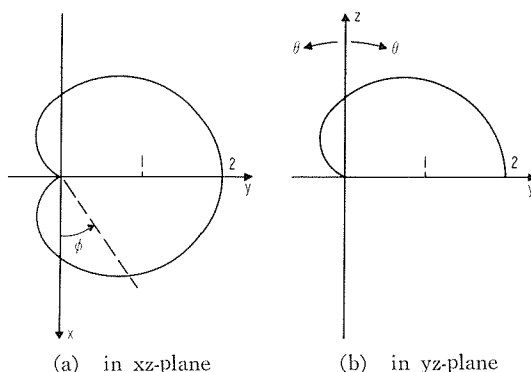


Fig. 2. Combined output of monopole and slot 1

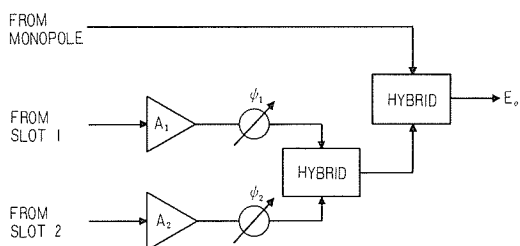


Fig. 3. Processing circuit for pattern control

ナはオフセット法により給電線と容易に整合を取り得る。第3に、スロットとモノポールアンテナ間の結合は非常に小さい。第4に、モノポールアンテナの直径がスロットアンテナのスロット巾の半分の時、モノポールアンテナとスロットアンテナはほぼ同等の帯域巾とインピーダンス特性を有する。第5に、スロットはマイクロ波帯において特にループアンテナより実用的である。

II. 動作原理

Fig. 1 に示された球座標に於いて、垂直アンテナの指向性は ϕ 方向に関して等方性である。導体基板上の4分の1波長モノポールアンテナに対して、 z 軸を含む任意の平面の規格化指向性関数は

$$E_M = \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} \quad (1)$$

である。もしスロットアンテナが半波長でスロット巾が狭いなら、 z 軸を含む平面は於いてスロット1に対する規格化指向性関数は²⁾

$$E_{S1} = \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \cos \phi)}{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi} \sin \phi \quad (2)$$

スロット2に対しては、

$$E_{S2} = -\frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \sin \phi)}{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi} \cos \phi \quad (3)$$

である。ただし、式(2)に於ける E_{S1} はスロット1が正の x 軸方向に余弦波的变化の磁流源で励振された場合であり、式(3)に於ける E_{S2} はスロット2が負の x 軸方向に余弦波的变化の磁流源で励振された場合である。これ等の励振磁流の方向は任意であり、給電線のスロットへの接続方法に関係している。

モノポールとスロット1からの出力を組み合せると、式(1)と(2)から、

$$E_{MS1} = \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} + \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \cos \phi)}{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi} \sin \phi \quad (4)$$

を得る。 xy -平面, すなわち $\theta = \pi/2$ では, 式 (4) は,

$$E_{MS1} \Big|_{z=0} = 1 + \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \phi)}{\sin \phi} \quad (5)$$

となり, yz -平面では式 (4) は,

$$E_{MS1} \Big|_{x=0} = \begin{cases} \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} + 1, & \phi = \pi/2 \\ \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} - 1, & \phi = -\pi/2 \end{cases} \quad (6)$$

となる。式 (5) と (6) は Fig. 2 に示されている。ここで, xy - と yz - 両平面に於いて指向性はハート型に似たものとなっている。ただし, これらの指向性は空間上で固定している。

同様に, モノポールとスロット 2 の組み合わせ出力は, 式 (1) と (3) から,

$$E_{MS2} = \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} - \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \sin \phi)}{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \phi} \cos \phi \quad (7)$$

Fig. 2 と同様の指向性図が xy - と xz - 両平面に於いて式 (7) の E_{MS2} から得られる。これらの指向性を steerable にするために, Fig. 3 の信号処理回路を使用する。すなわち, スロット 1 と 2 の出力は, モノポールからの出力を合成する前に, それぞれのスロットの出力を A_1, A_2 倍し位相を ϕ_1, ϕ_2 だけ進ませる。したがって³⁾,

$$\begin{aligned} E_0(\theta, \phi) &= E_M + E_{S1}A_1e^{j\phi_1} + E_{S2}A_2e^{j\phi_2} \\ &= \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \theta)}{\sin \theta} + \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \cos \phi)}{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi} \alpha_1 \sin \phi - \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \theta \sin \phi)}{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \phi} \alpha_2 \cos \phi \end{aligned} \quad (8)$$

を得る。ただし,

$$\alpha_1 = A_1 e^{j\phi_1} \quad (9)$$

$$\alpha_2 = A_2 e^{j\phi_2} \quad (10)$$

である。 xy -平面, すなわち $\theta = \pi/2$ に於いては, 式 (8) は

$$E_0(\frac{1}{2}\pi, \phi) = 1 + \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \cos \phi)}{\sin \phi} \alpha_1 - \frac{\cos(\frac{1}{2}\pi \sin \phi)}{\cos \phi} \alpha_2 \quad (11)$$

となる。もし ϕ_{null} が

$$E_0(\frac{1}{2}\pi, \phi_{null}) = 0 \quad (12)$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial \phi} E_0(\frac{1}{2}\pi, \phi) \right]_{\phi=\phi_{null}} = 0 \quad (13)$$

なる 2 つの関係を満足するなら, 合成出力 $E_0(\frac{1}{2}\pi, \phi)$ は $\phi = \phi_{null}$ で零点を有する。式 (11), (12), (13) より, α_1 と α_2 は求められる。 α_1 と α_2 の係数は実数なので, $\phi = \phi_{null}$ に対する α_1 と α_2 の値は実数となり, ϕ_1 と ϕ_2 は 0 または π となる。 ϕ_{null} の軌跡は Fig. 4 に実線として $\alpha_1 \alpha_2$ -平面上に示されている。また ϕ_{null} の範囲と ϕ_1, ϕ_2 との関には Table 1 のような関係がある。

指向性の最大方向 ϕ_{max} は次の 2 つの関係から見い出される。

Table 1 Relation between ϕ_{null} , ϕ_1 and ϕ_2

ϕ_{null}	$0^\circ-90^\circ$	$90^\circ-180^\circ$	$180^\circ-270^\circ$	$270^\circ-360^\circ$
ϕ_1, ϕ_2				
ϕ_1	π	π	0	0
ϕ_2	0	π	π	0

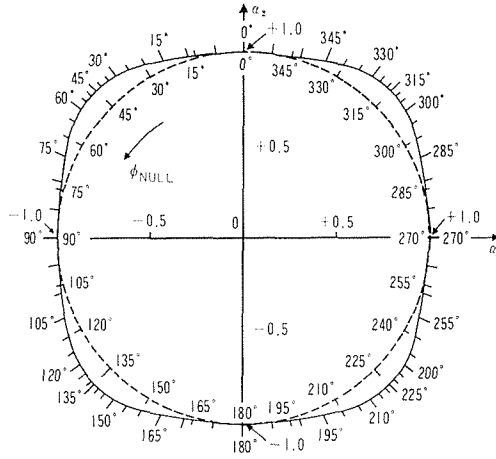


Fig. 4. Loci for ϕ_{null} in $\alpha_1\alpha_2$ -plane
 — Monopole and crossed $\lambda/2$ slots
 Monopole and crossed magnetic dipoles

$$\left[\frac{\partial}{\partial \phi} E_0 \left(\frac{1}{2} \pi, \phi \right) \right]_{\phi=\phi_{\text{max}}} = 0 \quad (14)$$

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} E_0 \left(\frac{1}{2} \pi, \phi \right) \right]_{\phi=\phi_{\text{max}}} < 0 \quad (15)$$

数値計算の結果小数点2位以下の精度で

$$\phi_{\text{max}} \cong \phi_{\text{null}} + \pi \quad (16)$$

が成立する。すなわち、指向性の最大点は指向性の零点の反対側に存在し、その大きさは2である。

もし交叉するスロットが半波長でなく波長に比して非常に小さいなら、それらのスロットは magnetic dipole と看做し得るので xy -平面での合成指向性は

$$E_0 \left(\frac{1}{2} \pi, \phi \right) \cong 1 + \alpha_1 \sin \phi - \alpha_2 \cos \phi = 1 + \sin(\phi - \delta) \quad (17)$$

にて近似され得る。ただし $\sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2}$ は1に置かれている。また、

$$\delta = \tan^{-1}(\alpha_2/\alpha_1) \quad (18)$$

である。 ϕ_{null} の軌跡は式 (17) の $\sin(\phi - \delta)$ を -1 に等しく置くことにより与えられる。

$$\delta = \phi_{\text{null}} + 90^\circ \quad (19)$$

であり、Fig. 4 の点線に示されるように、軌跡は円である。モノポールと交叉する magnetic dipole との組み合わせでは、垂直偏波に対する xy -平面での指向性は steerable であり、いずれの方向に零点が向いている場合でも真のハート型 (true cardioid) である。

III. 指向性特性

以下スロット・モノポールアンテナの指向性特性を議論する。式 (8) の $E_0(\theta, \phi)$ は θ と ϕ の複雑な関係であるので、 ϕ が一定の平面での θ の関数としての E_0 は ϕ の値に関係があることが予想される。 α_1 と α_2 とは xy -平面でハート型指向性となるように調整されると仮定している。一方が $\phi = \phi_{\text{null}}$ で他方が $\phi = \phi_{\text{max}}$ である垂直面での指向性図が $\phi = \phi_{\text{null}}$ の幾つかの値に対して Fig. 5 に図示されている。 ϕ_{null} の大きな変化に対しても指向性の変化が少ないことは興味ある点である。

垂直偏波に対する xy -平面での指向性図は方向探知において重要である。これは Fig. 4 に従

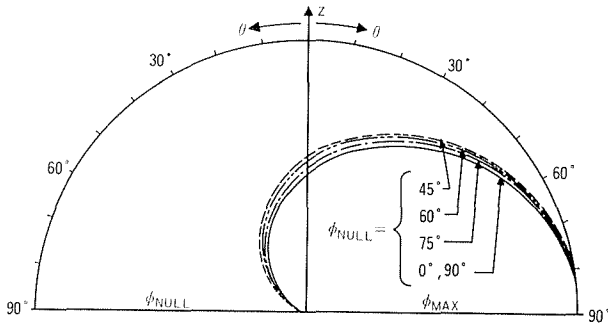


Fig. 5. Variation of E_0 in vertical plane containing z -axis and $\phi_{\text{NULL}} - \phi_{\text{MAX}}$

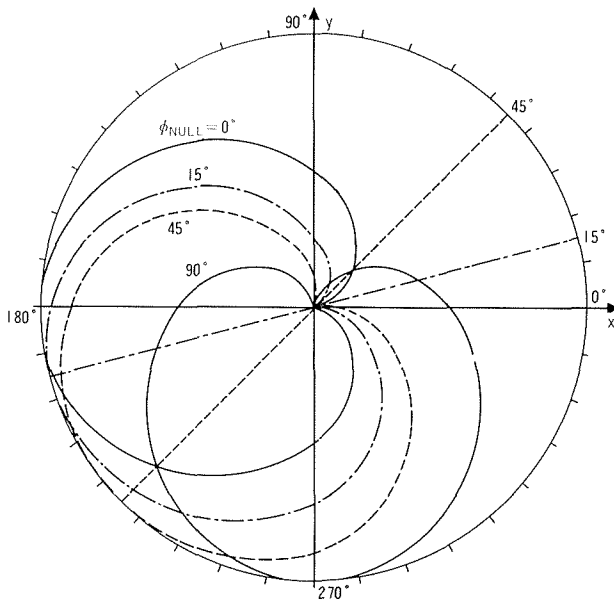


Fig. 6. Horizontal patterns of slots-and-monopole antenna

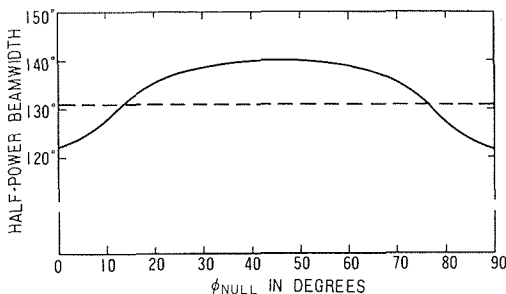


Fig. 7. Half-power beamwidth of horizontal pattern as a function of null direction
 — Monopole and crossed $\lambda/2$ slots
 Monopole and crossed magnetic dipoles

って指向性図に於いて零点を与えるように適当に調整された重み係数 α_1, α_2 を用いて式 (11) を図示すれば良い。結果は Fig. 6 に図示されている。水平面の指向性図はほぼハート型と看做され得るし、また $\phi_{\text{NULL}} = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ に対しては最大信号を受信する方向 (すなわち ϕ_{MAX}) に関して対称となっていることが分る。 ϕ_{NULL} の他の値に対しては、 ϕ_{NULL} と ϕ_{MAX} とは常にほぼ反対方向に起るが、その指向性は幾分非対称である。半波長スロットの指向性はモノポールとループとの合み合せに於ける小ループの指向性より幾分鋭いので、スロット・ユニポールアンテナシステムではより鋭い零感度が得られ得る。鋭い零感度はより精度の良い方向探知を意味する。

水平面指向性の電力半値角が ϕ_{NULL} の関数として Fig. 7 に図示されている。その半値角は非常に広く、 ϕ_{NULL} が 30° と 60° との間で振れてもほぼ 140° で一定である。 $\phi_{\text{NULL}} = 0^\circ$ と 90° の時 122° の最小半値角となる。magnetic dipole がモノポールと共に使用された時は真のハート型指向性となり、この時の電力半値角は 131° で一定である。これは Fig. 7 に於いては点線にて示されている。

IV. 指向性利得

アンテナの指向性利得 (directivity または directive gain) は一般には次式にて与えられる⁴⁾:

$$G_d(\theta, \phi) = \frac{|D(\theta, \phi)|^2}{\frac{1}{4\pi} \int |D(\theta, \phi)|^2 d\Omega} \quad (20)$$

ここで (θ, ϕ) は指向性で一般には θ 方向および ϕ 方向を有するベクトルである。スロット・モノポールアンテナに於いては $D(\theta, \phi)$ は非常に複雑な形となり式 (20) の分母の積分は数値計算に頼らざるを得ない。 $(D(\theta, \phi)$ の θ 方向成分は垂直偏波に対する指向性であるので式 (8) の $E_0(\theta, \phi)$ に一致する。) Fig. 1 に於けるスロットとモノポールをそれぞれ magnetic dipole と electric dipole とすると、式 (17) 以下の議論と同様に $D(\theta, \phi)$ は

$$D(\theta, \phi) = \mathbf{i}_\theta \{\sin \theta - \cos(\phi - \phi_{\text{null}})\} + \mathbf{i}_\phi \cos \theta \sin(\phi - \phi_{\text{null}}) \quad (21)$$

にて近似出来る。式 (20) の分母の積分は

$$\int |D(\theta, \phi)|^2 d\Omega = \int [\{\sin \theta - \cos(\phi - \phi_{\text{null}})\}^2 + \cos^2 \theta \sin^2(\phi - \phi_{\text{null}})] d\theta d\phi = \frac{8}{3} \pi \quad (22)$$

となる。最大指向性利得は $\theta = \pi/2$, $\phi = \phi_{\text{max}} = \phi_{\text{null}} + \pi$ の時与えられ、

$$G_d(\frac{1}{2}\pi, \phi_M) = 6 \quad (23)$$

となる。また electric dipole の最大指向性利得は 3 である。したがってスロット・モノポールアンテナシステムの最大指向性利得は electric dipole の 2 倍である。

V. 結 言

垂直モノポールと 2 つの交叉したスロットはその出力が垂直偏波に対してハート型の水平面指向性を作り出すように処理されうるアンテナ装置を構成する。このハート型指向性は交叉したスロットの出力に適当な重みをつけて方位角方向に steerable とすることが出来る。任意の方向に対してこれらの重み係数を決定するための軌跡がこの論文で与えられた。steerable な指向性の形と電力半値角もまた調べられた。このアンテナシステムは方向探知器等へ応用する場合、特にマイクロ波帯で有利であると思われる。また特殊な方向からの電波を抑制して受信したい場合に利用され得る。このような特性はこのアンテナシステムがアンテナアレイの素子として使用される可能性を示している。

謝辞 有益な御助言を戴いた Syracuse 大学教授 David K. Cheng 博士に感謝する。またこの研究の一部は文部省試験研究費により行なわれたのでここに謝意を表する。

文 献

- 1) H. Jasik, : "Antenna Engineering Handbook" chapter 28, McGraw-Hill Book Co., (1961).
- 2) R. E. Collin and F. J. Zucker, : „Antenna Theory," Part I, Chapter 14, McGraw-Hill Book Co., (1969).
- 3) K. Itoh and D. K. Cheng, : "Usefull Slot-Unipole Antenna Systems" The Summaries of Papers of ISAP, p. 121, (Sept. 1971).
- 4) 内田英成・虫明康人 : "超短波空中線," 第 2 章, コロナ社 (昭 36-8)・