جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية

قسم هندسة الاتصالات

الهوائيات السلكية

أنواعها و أسلاك الإرسال

إعداد الطالب

حمزة نصر الجبر

بإشراف الدكتور

رامي الخطيب

الهوائيات Antennas

يتم توليد الموجات الكهرومغناطيسية باستخدام ما يسمى بهوائيات الإرسال التي تقوم بتحويل الإشارات الكهربائية التي تغذى إليها من المرسل transmitter إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء ، ويتم التقاط هذه الموجات المنتشرة في الفضاء بما يسمى هوائيات الاستقبال التي تقوم بتحويلها إلى إشارات كهربائية مرة ثانية لتسلمها إلى المستقبل receiver ، وتمتاز الهوائيات ببساطة تركيبها حيث يمكن لأي سلك أو سطح معدني إشعاع والتقاط الموجات الكهرومغناطيسية ولكن الهوائيات العملية لها أشكال وأبعاد معينة تحدد حسب الغرض الذي صنعت من أجله.

إن من أهم مواصفات الهوائيات هو ما يسمى بنسق الإشعاع radiation pattern والذي يحدد طريقة توزيع الطاقة الذي يبثها أو يلتقطها الهوائي في الاتجاهات المختلفة فالهوائي المثالي isotropic antenna يبث طاقته بالتساوي في جميع الاتجاهات أما الهوائيات العملية فقد يكون بثها في اتجاهات معينه أعلى منها في اتجاهات أخرى ، ففي بعض التطبيقات كأنظمة الأقمار الصناعية وأنظمة الأمواج الدقيقة يتطلب تركيز البث في إتجاه واحد فقط حيث يوجد المستقبل وذلك على شكل شعاع ضيق وذلك لتوفير كمية الطاقة المبثوثة ، وفي تطبيقات أخرى كأنظمة البث الراديوي والتلفزيوني يتطلب أن يكون البث في جميع الاتجاهات الموازية لسطح الأرض وذلك لتغطية جميع المستقبلات التي تتوزع حول محطة الإرسال.

ومن مواصفات الهوائيات ما يسمى بكسب الهوائي antenna gain والذي يحدد قدرة الهوائي على تركيز طاقة البث في إتجاه الفص الأعظم major lobe من نسق الإشعاع وكلما زاد كسب الهوائي كلما قل ما يسمى بعرض الشعاع beam width.

ومن المواصفات الأخرى للهوائي مدى طيف الترددات التي يمكن للهوائي إشعاعها أو التقاطها وكذلك مقدار معاوقة أو مقاومة المدخل للهوائي input resistance or impedance والذي يستخدم لأغراض موائمة الهوائيات عند ربطها بخطوط النقل.

ولكي تتمكن الهوائيات من الاستقبال من بعضها البعض فيجب أن يكون لها نفس الاستقطاب ويعرف إستقطاب الهوائي antenna polarization بأنه إتجاه المجال الكهربائي للموجة التي يبثها الهوائي في الفضاء.

ولا بد من القول من أن أي هوائي يمكن أن يستخدم للإرسال والاستقبال وأن جميع مواصفته تبقى كما هي في الحالين.

ويوجد أنواع كثيرة من الهوائيات تتفاوت أبعادها وأشكالها بشكل كبير جدا حسب نوع نظام الاتصالات فمن الهوائيات السلكية المستخدمة في الراديو والتلفزيون والهواتف الخلوية والتي تتراوح أطوالها بين عدة سنتيمترات وعدة أمتار إلى الهوائيات البوقية والصحنية المستخدمة في أنظمة الموجات الدقيقة وأنظمة الأقمار الصناعية والرادارات والتلسكوبات الراديوية والتي تتراوح أقطارها بين عشرات السنتيمرات وعشرات الأمتار.

الهوائيات السلكية Wire Antennas

تتميز الهوائيات السلكية ببساطة تركيبها حيث يمكن لأي سلك معدني أن يعمل كهوائي إرسال أو إستقبال ولكن في كثير من التطبيقات يتطلب الأمر استخدام أسلاك بأشكال وأطوال مختلفة للحصول على مواصفات محددة للهوائيات. إن أبسط وأشهر أنواع الهوائيات السلكية هو سلك يبلغ طوله نصف طول الموجة المراد بثها أو إلتقاطها ويتم ربط خط النقل بهذا الهوائي عند منتصفه وذلك بعد قطعه إلى نصفين ويسمى هذا النوع هوائي نصف الموجة ثنائي القطبية half-wave dipole antenna ولقد تم اختراع هذا الهوائي على يد عالم الفيزياء الألماني هينرتش هيرتز Heinrich Hertz وذلك في عام ١٨٨٦م ، وتبلغ مقاومة هذا الهوائي ٧٥

أوم ولهذا السبب نجد أن كثير من خطوط النقل لها معاوقة مميزة تبلغ ٧٥ أوم لكي تتوائم مع هذا النوع من الهوائيات عند ربطها بها.

وفي هذا النوع يكون البث أو الاستقبال أعلى ما يكون في الاتجاه المتعامد مع السلك ويقل تدريجيا إلى أن يصل إلى الصفر في الاتجاه الموازي للسلك ولذا يستخدم هذا الهوائي في جميع المرسلات التي يكون البث فيها في جميع الاتجاهات الموازية لسطح الأرض أو في المستقبلات التي تلتقط إشاراتها من جميع الاتجاهات كما في أجهزة إرسال واستقبال البث الراديوية والتلفزيونية والهواتف الخلوية.

ويوجد أشكال معدلة لهذا الهوائي لتتناسب مع بعض التطبيقات مثل :

- الهوائي السوطي whip antenna :

والذي يتكون من سلك يبلغ طوله ربع طول الموجة ويتم تغذيته بخط النقل عند طرفه وعند وضعه فوق سطح معدني وربط الطرف الثاني من خط النقل بالسطح المعدني فإنه يعمل كالهوائي ثنائي القطبية ويكثر استخدام هذا النوع في المركبات.

- الهوائي ثنائي القطبية المطوي folded dipole:

يتم ثني سلك بطول أطول قليلا من طول الموجة ليصبح على شكل حلقة مستطيله بطول يساوي نصف طول الموجة وبعرض يقل كثيرا عن طول الموجة ويتم ربط خط النقل بمنتصف أحد ضلعي المستطيل الطويلين بعد فتحه ، ويستخدم هذا النوع في هوائيات استقبال التلفزيون وذلك بسبب ارتفاع عرض نطاقه (مدى الترددات التي يمكن للهوائي التقاطها بكفاءة) بالمقارنة مع هوائي ثنائي القطبية العادي ولكن عيبه أن مقاومته ترتفع إلى ٣٠٠ أوم بدلا من ٧٥ أوم ولذلك يحتاج لدائرة موائمة لربطه مع خطوط النقل الدارجة والتي تبلغ مقاومتها ٧٥ أوم.

- الهوائيات المصفوفة array antennas :

لزيادة قدرة الهوائيات في البث أو الإستقبال من اتجاه واحد وفي هذه الهوائيات يتم استخدام عدد كبير من الهوائيات ثنائية القطبية مرتبة على شكل مصفوفة توضع هذه الهوائيات بشكل متوازي ويفصل بينها مسافات محددة ، ويتم تحديد إتجاه البث أو الاستقبال من خلال تحديد المسافات الفاصلة بين الهوائيات والكيفية التي يتم بها تغذية هذه الهوائيات بالتيارات من حيث قيم هذه التيارات وأطوارها بالنسبة لبعض البعض.

ومن أبسط أنواع الهوائيات المصفوفة هي النوع المستخدم لإستقبال الإشارات التلفزيونية والمسمى :

- هوائي ياغي- يودا Yagi - Uda antenna نسبة للمخترعين اليابانيين الذين اخترعا هذا النوع في عام ١٩٣٠م. ويمكن التحكم باتجاه البث إلكترونيا وليس يدويا في الهوائيات المصفوفة من خلال التحكم بأطوار التيارات المغذية لعناصر هذه المصفوفة إلكترونيا ولذا تسمى هوائيات المصفوفة الطورية phased array antennas.

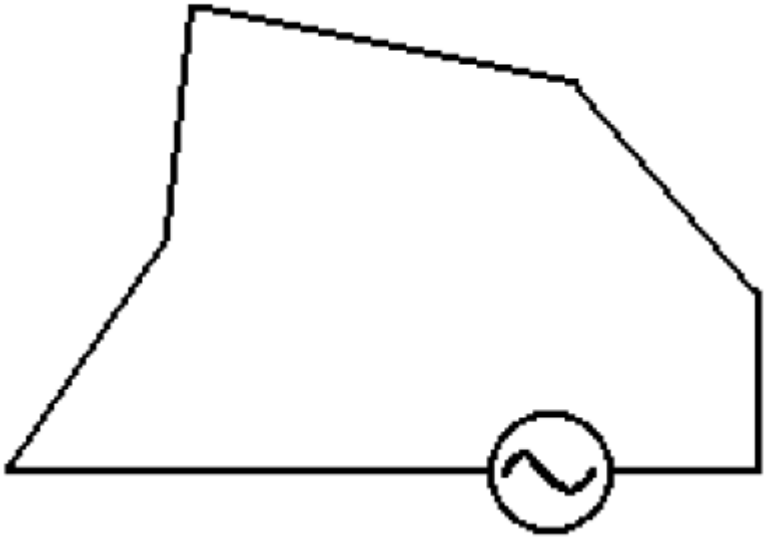
هوائي ياغي ١

- وهناك أنواع أخرى لا حصر لها من الهوائيات السلكية تصمم لأغراض مختلفة وعند ترددات مختلفة :

- كالهوائيات الحلقية loop antenna :

هو عبارة عن حلقة من السلك تستخدم في الارسال والاستقبال وله مدي قصير نسبيا عن الهوائيات الاخرى

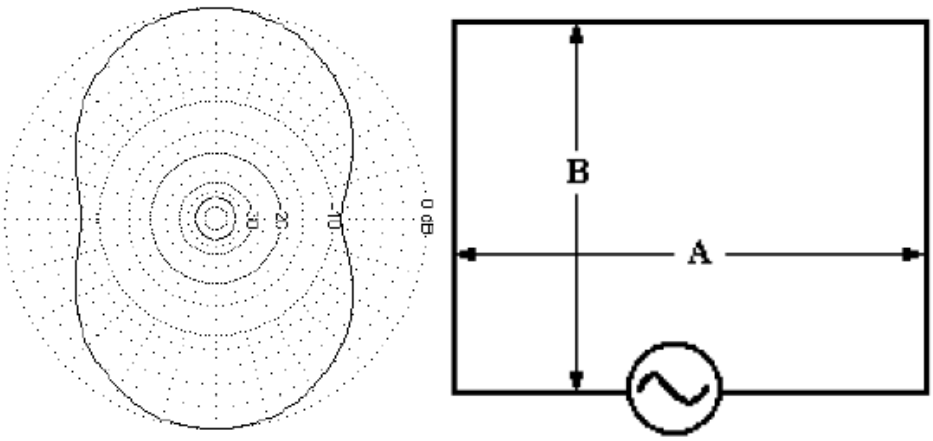
ويتم وضعه داخل جهاز الارسال او الاستقبال



- تتألف الحلقة من حلقة وحيدة من سلك وأطول من طول الموجة.
- لا يجب أن تأخذ الحلقة شكلاً معيناًز
- الأمواج يمكن أن تغذي الحلقة من أي مكان فيها.

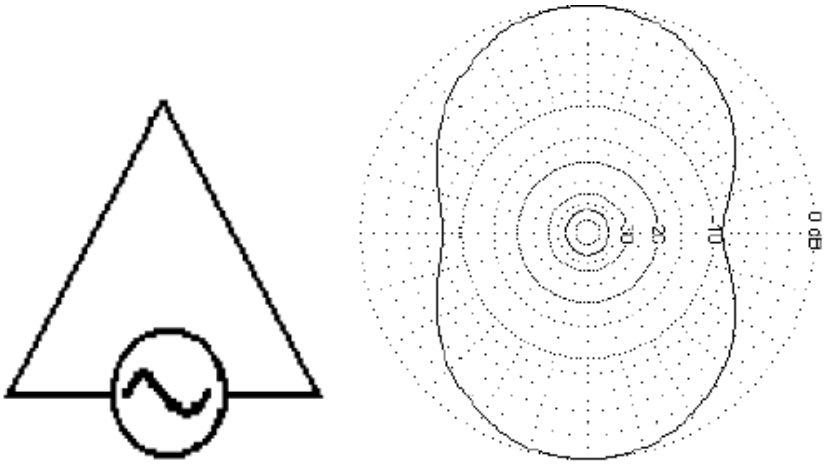
الحلقة المستطيلة The Rectangular Loop

- الطول الكلي تقريباً هو $1.02\ \lambda$.
- الممانعة الذاتية $100 - 130\ \Omega$ وتعتمد على الارتفاع.
- نسبة الشكل (A/B) ينبغي أن تكون بين 0.5 و 2 وذلك لتكون $Z_s \sim 120\ \Omega$.
- الإشعاع الأعظمي بمحاذاة الحلقة.



حلقة دلتا The Delta Loop

- الحلقة مثلثية الشكل تعرف باسم حلقة دلتا
- ولنتائج أفضل ، فإن الأضلاع الثلاثة ينبغي أن تتساوى.
- الممانعة الذاتية هي **90 - 110 Ω** وتعتمد على الارتفاع.
- عرض الحزمة ٤%.
- الإشعاع الأعظمي بمحاذاة الحلقة.



جدول تصميم: الحلقة المستطيلة والحلقة دلتا

BAND	LENGTH OF ANTENNA (# 14 copper wire)	LENGTH OF MATCHING SECTION (RG-11 75 Ω VF = 0.66)
160 (1.83 MHz)	549 ft 4 in	88 ft 8 in
80 (3.6 MHz)	279 ft 2 in	45 ft 1 in
75 (3.9 MHz)	257 ft 8 in	41 ft 7 in
40 (7.1 MHz)	141 ft 7 in	22 ft 7 in
30	99 ft 1 in	16 ft 1 in
20	70 ft 9 in	11 ft 5 in
17	55 ft 6 in	8 ft 11 in
15	47 ft 4 in	7 ft 8 in
12	40 ft 4 in	6 ft 6 in
10 (28.4 MHz)	35 ft 5 in	5 ft 8 in

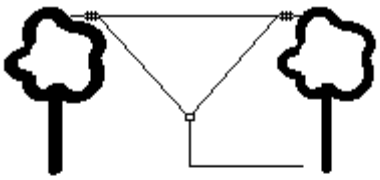
Design Table: Inductively Loaded Loop

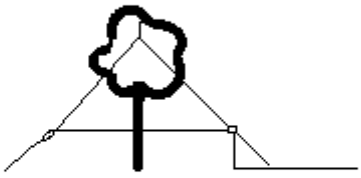
BAND	LENGTH A	LENGTH B	LOADING INDUCTANCE (4)
160 (1.83 MHz)	60 ft 0 in	90 ft 0 in	63 µ H
80 (3.6 MHz)	35 ft 6 in	45 ft 9 in	30 µ H
75 (3.9 MHz)	28 ft 2 in	42 ft 3 in	27 µ H
40 (7.1 MHz)	15 ft 5 in	23 ft 2 in	15 µ H

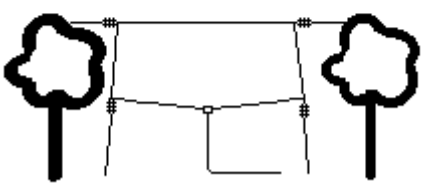
الحلقة توجه عمودياً ، ويكون السلك السفلي مرتفعاً عن الأرض ما يقارب ١٠ أقدام.

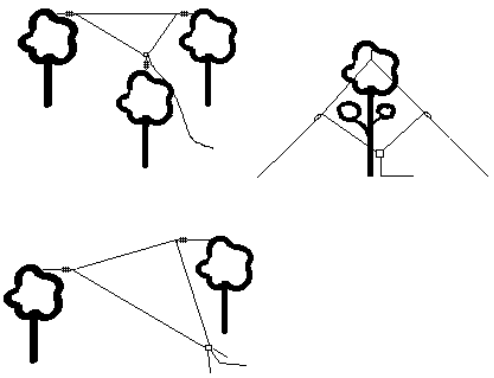
طريقة وضع الحلقة

- الحلقات الموجهة عمودياً يمكن أن تعلق من نقطتين.
- الحلقات الموجهة أفقياً ستحتاج لثلاث نقاط تعليق.
- عند استخدام عدد كبير من النقاط ليس من الضروري أن يكون لها الارتفاع ذاته عن سطح الأرض.



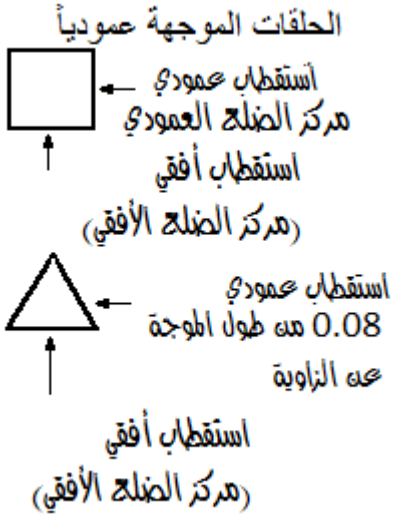






- في أسفل هذا الشكل نرى حلقة مائلة باستخدام نقطتي تعليق فقط.
- الحلقات المائلة تولد الأمواج الراديوية المستقطبة عمودياً وأفقياً.

✓الاستقطاب في الهوائيات الحلقية



- استقطاب الحلقات الموجهة عمودياً قد يكون عمودياً أو أفقياً حسب نقطة التغذية.
- الحلقات المستقطبة أفقياً هي في الغالب مستقطبة أفقياً في جميع الحالات.
- الاستقطاب العمودي هو الأفضل عندما يكون الهوائي منخفضاً.

- والمربعة square antenna ،
- واللولبية helix antenna.

✓ الهوائيات البوقية والصحنية Horn & Dish Antennas

هوائي البوق ١

نظرا لأن أبعاد الهوائيات يجب أن لا تزيد عن طول الموجة التي تبثها أو تستقبلها فإن الهوائيات السلكية تصبح صعبة التصنيع وقليلة الكفاءة عند الترددات التي تزيد عن ألف ميغاهيرتز حيث يبلغ طول الموجة عند هذا التردد ثلاثة سنتيمترات ، ولذلك فإن الموجات التي يزيد ترددها عن واحد جيقاهيرتز أي في مدى الموجات الدقيقة microwave تستخدم مرشدات الموجات wave guides لنقلها والهوائيات البوقية والصحنية لبثها أو إلتقاطها.

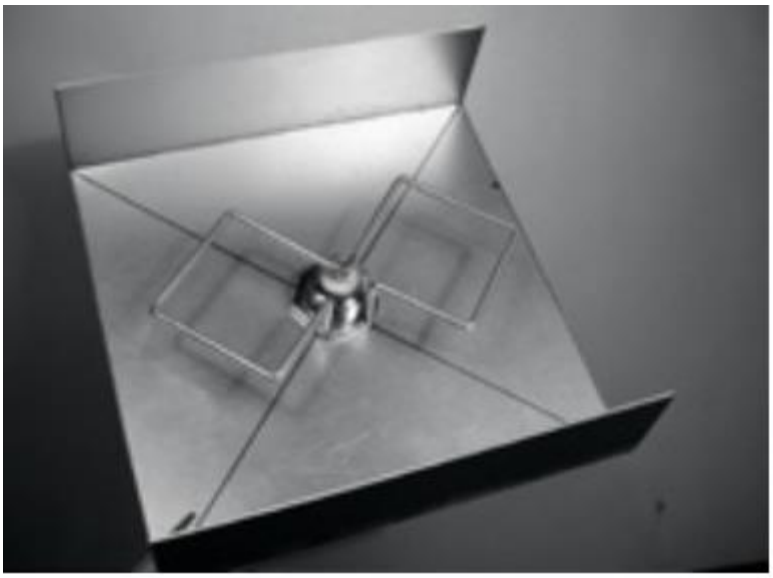
فالهوائيات البوقية ما هي إلا مرشدات أمواج يتم زيادة أبعاد فوهتها aperture بشكل تدريجي ابتداءا من أبعاد مرشد الأمواج الذي يغذيها وتأتي على عدة أشكال كالهوائي الهرمي pyramid ، والهوائي المخروطي conical.

وتبث هذه الهوائيات الموجات بشكل موجه وذلك بالاتجاه العمودي على فوهة الهوائي ويتحدد مقدار كسب الهوائي من مساحة الفوهة وطول البوق وهي المسافة من نقطة التغذية إلى الفوهة.

وعلى الرغم من أنه يمكن الحصول على قيم عالية للكسب باستخدام هذه الهوائيات إلا أن أبعادها تصبح كبيرة جدا وتستهلك كمية كبيرة من المعدن. ولهذا السبب فإن هذه الهوائيات البوقية غالبا ما تستخدم كهوائيات ابتدائية primary antenna وبأحجام صغيرة لتغذية الهوائيات الصحنية والتي تتميز بكسبها العالي بأقل مساحة معدنية ممكنة.

- الهوائي الصحني:

هو سطح معدني يتم تشكيله على شكل قطع مكافئ ولذلك تسمى أيضا الهوائيات ذات القطع المكافئ parabolic antennas ، وعندما تسقط موجة سطحية مستوية uniform planewave على هذا السطح فإنها تنعكس عنه وتتجمع في بؤرته حيث يتم جمعها بالهوائيات القرنية وإذا ما استخدمت كهوائي إرسال فإنه يتم وضع الهوائي القرني عند بؤرة الصحن وعند إشعاع هذا الصحن بالموجة المنبعثة من الهوائي الإبتدائي فإنها تنعكس عنه على شكل خطوط مستقيمة مما يؤدي للحصول على كسب عالي.



ويتناسب كسب الهوائيات الصحنية مع مربع حاصل قسمة قطر فوهة الصحن على طول الموجة المستخدمة وهذا يعني أنه إذا كان قطر الصحن ثابتا فإننا نستطيع رفع مقدار الكسب من خلال زيادة التردد حيث أن طول الموجة يتناسب عكسيا مع مقدار التردد. وتستخدم الهوائيات الصحنية في معظم الأنظمة التي تعمل في مجال الموجات الدقيقة كأنظمة الميكروويف الأرضي وأنظمة الأقمار الصناعية وأنظمة الرادار والتلسكوبات الراديوية وتتراوح أقطار الصحون المستخدمة في هذه الأنظمة من عدة عشرات من السنتيمترات كما في الصحون المستخدمة في إلتقاط الإشارات التلفزيونية من الأقمار الصناعية إلى مائة متر في التلسكوبات الراديوية radio telescopes.

- الهوائيات المستخدمة في التلفزيونات:

وهي هوائيات صممت لاستقبال إشارات التلفزيون الإذاعية ، والتي ترسل بترددات من ٤١ إلى ٢٥٠ ميغا هرتز في حزمة VHF ومن ٤٧٠ إلى ٩٦٠ ميغا هرتز ضمن حزمة UHF وفي عدة دول . وتصنع الهوائيات الخاصة بالتلفزيون بطريقتين اثنتين :

١- "هوائيات داخلية" : توضع بجانب التلفزيون.
٢- "هوائيات خارجية" : وتوضع على سارية فوق سطح المنزل.

وأشهر الهوئيات المستخدمة هي هوائي دايبول Dipole أو ("Rabbits ears") والهوائيات الحلقية Loop antennas

أما من أجل الهوائيات الخارجية يستخدم هوائي ياغي وهوائي Log Periodic .

ولتغطية المجال تصمم الهوائيات عموماً من عدة وصلات بأطوال مختلفة منسجمة مع طول الموجة المراد استقبالها . إن طول مكونات هوائي التلفاز هي نصف طول الموجة المراد استقبالها . طول موجة الإشارة يساوي لسرعة الضوء مقسومة على التردد.

وهنا أنوه إلى مسألة **الأمان** فهوائيات التلفاز هي نواقل جيدة للكهرباء وتجذب البرق، وكأنها تعمل عمل موانع البرق ، فهنا يوضع قضيب تأريض متصل بكل من الهوائي والعمود الذي عليه الهوائي .

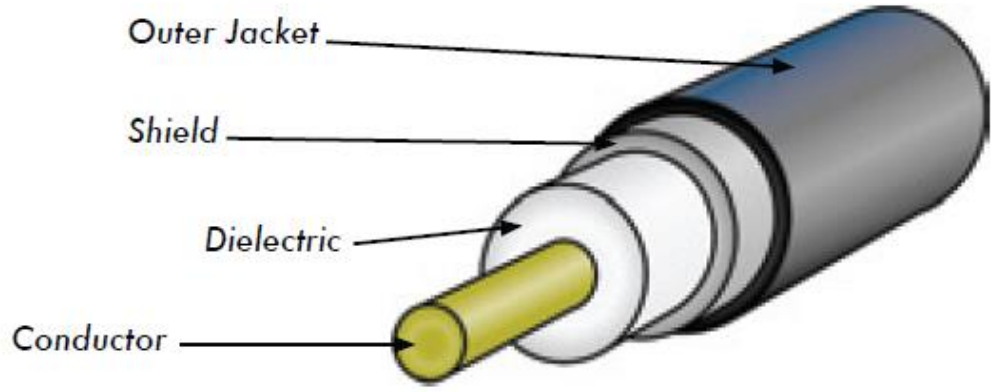
• transmittion lines خطوط الإرسال

هي صلة الوصل بين الهوائي والباعث الذي يرسل الأمواج وبما أن الهوائي أيضاً مسؤول عن الاستقبال ، فيجب أن تعمل بكفاءة قدر المستطاع لتضمن سلامة المعلومات في كلا الاتجاهين.

إن هناك صنفان أساسيان من خطوط النقل وهما : الكابلات والدلائل الموجية.

• الكابلات المستخدمة في الهوائيات

تعمل عند ترددات عالية ، وعلى وجه الحصر الكابلات المحورية (coaxical cables) واسمها مستنبط من (common axis) . الكابلات المحورية تحوي ناقلاً محاطاً بمادة



غير ناقلة تدعى dielectric(عازلة) ، وهذه المادة تحاط بغلاف غالباً ما يكون مصنوعاً من الأسلاك المجدولة. إن المادة العازلة Dielectric تمنع الاتصال بين الغلاف (shield) و الناقل الذي في المركز (Conductor).وأخيراً فإن الكبل المحوري محمي بغلاف خارجي مصنوع من مادة الـ PVC .

إن الناقل المركزي هو الذي ينقل الإشارة والغلاف(shield) الأوسط يمنع من انتشارها في الجو المحيط ، وكذلك يمنع الإشارات الخارجية من التداخل مع الإشارة المحمولة على الناقل المركزي .

ومن الجميل معرفة أن الإشارات ذات الترددات العالية دائماً تنتقل إلى الطبقة الخارجية للناقل المركزي core . لذلك كلما الناقل الداخلي أكبر ستعبر الإشارة بشكل أفضل وهذا ما يسمى بـ "skin effect" أو تأثير القشرة.

على الرغم من أن تركيب الكبل جيد في احتواء الإشارة في مركزه ولكن هناك مقاومة لتدفق الإشارة :

فعندما تسير الإشارة في الناقل سوف تتعرض للتخميد ,attenuation ومن أجل خطوط الإرسال فإنها تقاس بالديسبل/متر(*decibels per meter* dB/m.)

معدل التخميد تابع لتردد الإشارة والتركيب الفيزيائي للكبل . وبزيادة تردد الإشارة يزداد التخميد. فينبغي تقليل التخميد قدر الإمكان وذلك بإبقائه قصيراً واستخدام أنواع ذات جودة عالية.

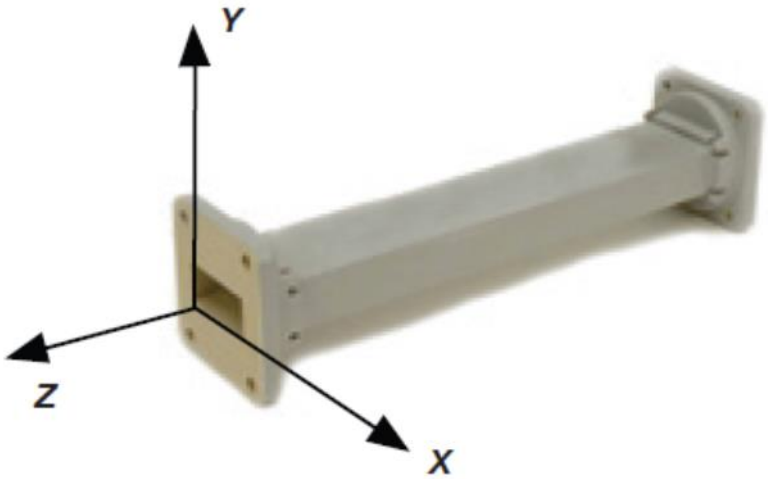
وهنا بعض النقاط لاختيار الكبل للترددات العالية:

١- الأقصر أفضل : حاول إبقاءه قصيراً قدر الإمكان لأن ضياع الطاقة فيه ليس خطياً.
٢- الأرخص أسوء: فلا تبخل بشراء الأفضل .
٣- دائماً تجنب **RG-58**. فهو مخصص لشبكة الإيثرنت و CB و VHF .
٤- دائماً تجنب **RG-213**.
٥- استخدم Heliax أو إن لم تجده فاستخدم أفضل نوع متوفر من LMR .
٦- لا تسيء استعمال كبل الإرسال،بالدعس عليه أو بثنيه أكثر مما يلزم أو بفصله وذلك بشده فكل ما سبق حريّ بتخريب الخصائص الميكانيكية له.

Cable Type	Core	Dielectric	Shield	Jacket
RG-58	0.9 mm	2.95 mm	3.8 mm	4.95 mm
RG-213	2.26 mm	7.24 mm	8.64 mm	10.29 mm
LMR-400	2.74 mm	7.24 mm	8.13 mm	10.29 mm
3/8" LDF	3.1 mm	8.12 mm	9.7 mm	11 mm

ومما يمكن له أيضاً نقل الإشارة الـ **Waveguide :** وهو أنبوب ناقل تمر الطاقة به على شكل أمواج كهرطيسية فهو يعمل عمل الحدود ففعل فاراداي يمنع الأمواج الكهرطيسية من الخروج ويجعلها تنتشر من خلال الانعكاسات على

السطوح الداخلية .إن كثافة الحقول تكون أعظمية في مركز المحور X وتسعى للصفر عند نهاية الأنبوب.

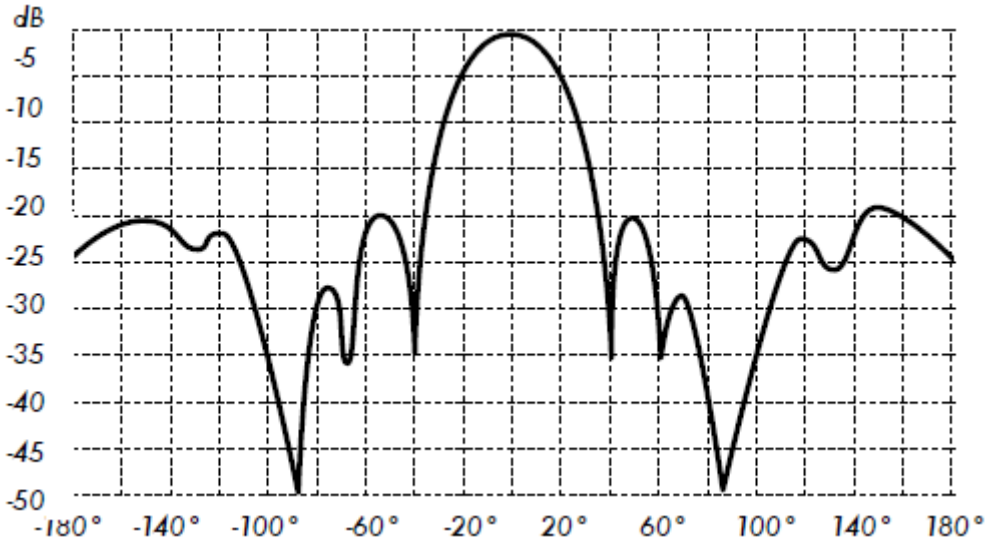


✓ الهوائيات ونمط الإشعاع

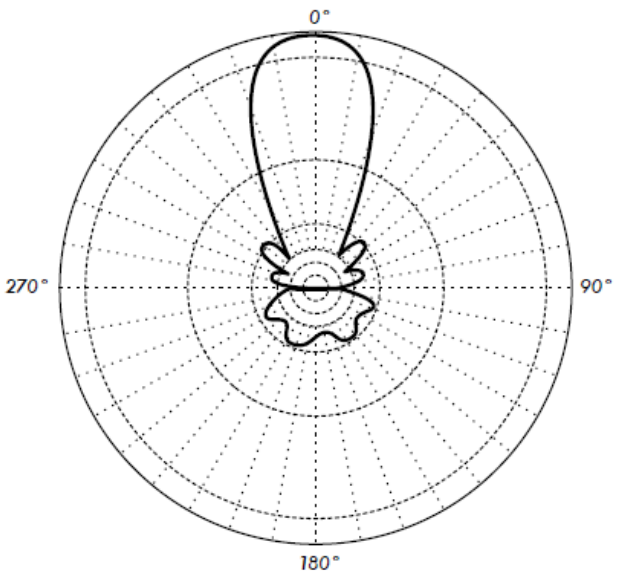
إن الهوائيات بالتعريف هي أجهزة تستخدم لإرسال على شكل أمواج كهرطيسية في الفضاء . وتعرف أيضاً بالتبادلية ,reciprocity وهذا يعني بأن الهوائي سيحتفظ بنفس المميزات سواء كان للإرسال أو للاستقبال .

إن أغلب الهوائيات هي أجهزة طنينية والتي تعمل بكفاءة في حزمة ترددات ضيقة . ويجب أن يضبط الهوائي على نفس حزمة الترددات لنظام الراديو المتصل به . وإلا لن يعمل الإرسال ولا الاستقبال.

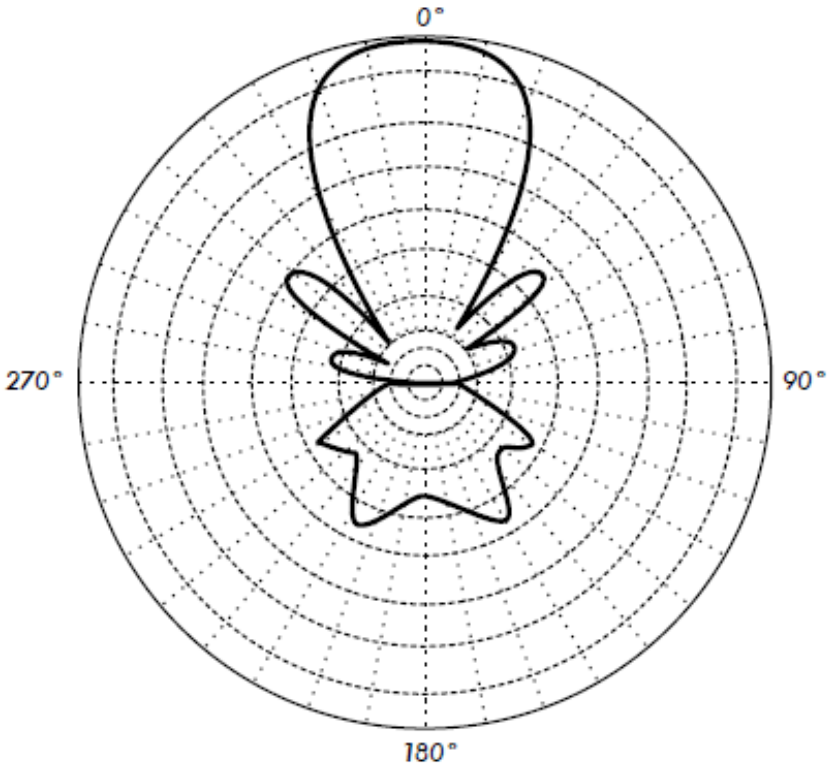
عندما يغذى الهوائي بموجة فإنه سيرسلها ويوزعها في الهواء بطريقة معينة . إن التمثيل البياني أو الرسم التخطيطي للتوزيع النسبي للطاقة المرسلة في الفضاء يدعى بنمط الإشعاع (*radiation pattern*.).



نمط الإشعاع لهوائي ياغي Yagi



قطبي لوغاريتمي ١



قطبي خطي ١

صناعة هوائي بسيط

Collinear omni

الأدوات المطلوبة:

- ✓ مفك براغي
- ✓ ٥٠ سم من سلك نحاسي بمقطع ٢ مم.
- ✓ ١٠×١٠ سم أو أكبر من صفيحة معدنية مربعة.
- ✓ مسطرة
- ✓ كماشة
- ✓ ملزمة

- ✓ مبرد
- ✓ أداة لحام
- ✓ مطرقة
- ✓ مفتاح عزقات.

طريقة العمل:

١- قوم السلك باستخدام الملزمة.

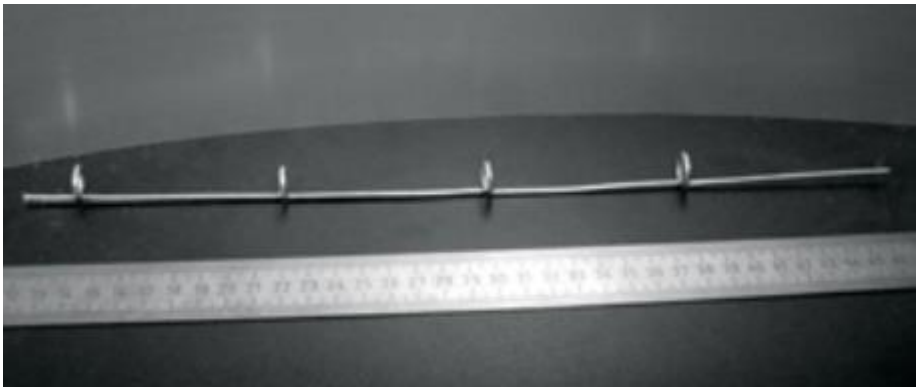
٢- ضع علامة عند ٢.٥ سم بدءاً من إحدى نهايتي السلك ، وعند هذه العلامة اثن السلك بزاوية ٩٠ درجة مستخدماً الملزمة والمطرقة.

٣- ضع علامة أخرى عند ٣.٦ سم واثن ثانيةً باستخدام المطرقة والملزمة بـ ٩٠ درجة بالاتجاه المعاكس للمرة الأولى فيصبح شكلها "Z" .

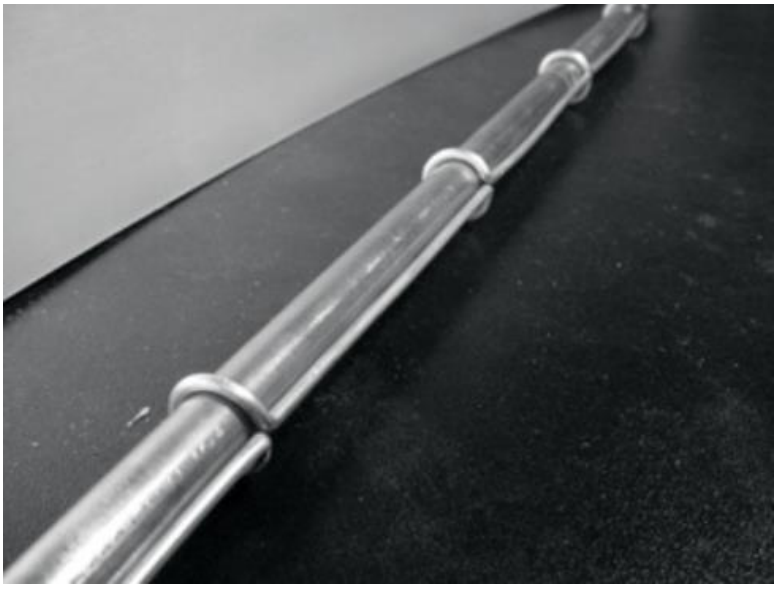
٤- الان سوف نثني حافة Z لنصنع ملف بقطر ١ سم . وذلك باستخدام الملزمة والكماشة ونلفها على أنبوب .

الملف سيظهر كما في هذا الشكل:

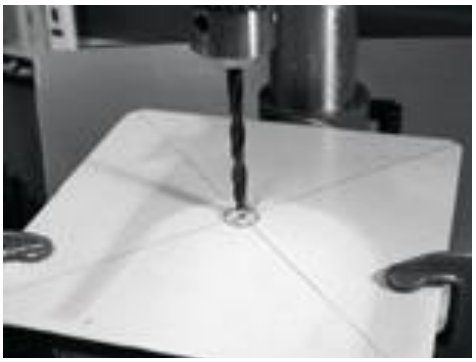
٥- الان نصنع ملف أخر على بعد ٧.٨ سم من الأول بحيث يكون لكلا الملفين نفس اتجاه الدوران وبجهة واحدة بالنسبة للسلك ، ثم نصنع الملف الثالث والرابع بنفس الطريقة.



وبنفس البعد بينها وهو ٧.٨ سم ، ثم ندخل خلالها أنبوب.



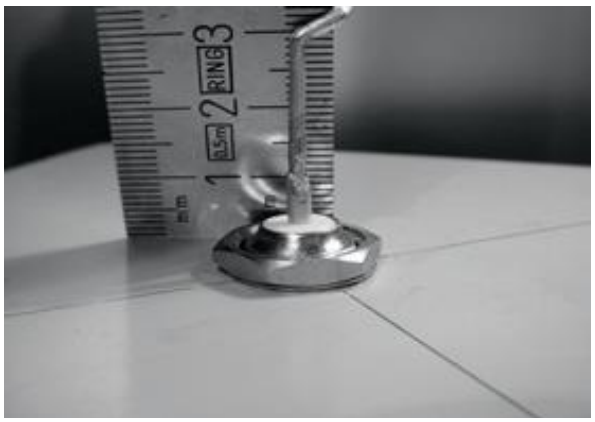
٦- ثم نحدد مركز الصفيحة المربعة برسم أقطارها. ثم باستخدام المثقب نحفر ثقباً كعلامة ثم نوسعه باستخدام المبرد وبقطر أكبر من قطر الثقب.



يجب على الثقب أن يناسب الموصل تماماً

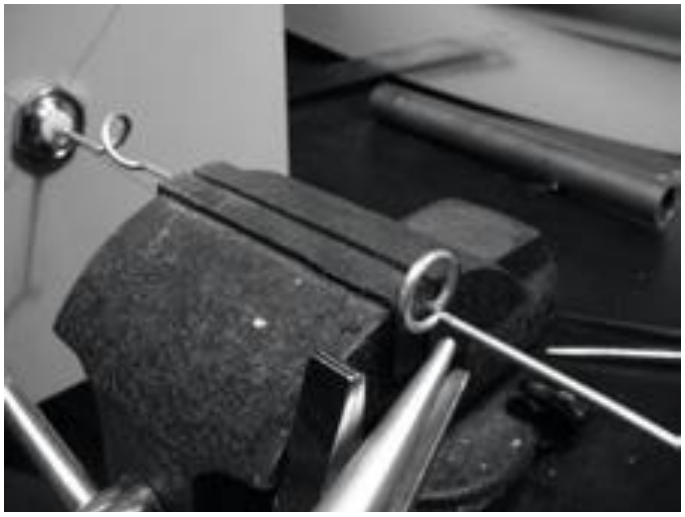
٧- للحصول على مقاومة هوائي بقدر ٥٠ أوم ، من المهم أن يكون القسم الظاهرمن العازل الداخلي عى نفس مستوى سطح الصفيحة .
لهذا السبب نقص ٠.٥ سم من الأنبوب النحاسي عند ٢ سم من القطر الخارجي ونضعه بين الموصل والصفيحة.

٨- ثم نحنيه على الشكل التالي



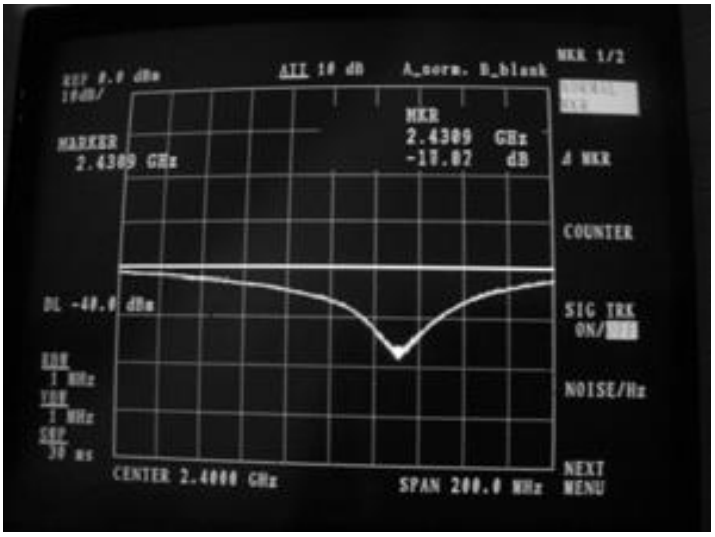
٩- الان سوف نقوم بشد الملفات ونكون بذلك قد زدنا من طول السلك باستخدام الكماشة والملزمة ، وينبغي أن نشد السلك ليصبح طول الملف ٢ سم.

١٠- كرر العملية السابقة لجميع الملفات حتى يصبح طول كل منها ٢ سم.



١١- يصبح طول السلك بدءاً من سطح الصفيحة ٤٢.٥ سم .

١٢- إذا كان لديك راسم إشارة مع مولد ووصلة ، تستطيع رؤية منحني الطاقة المنعكسة عن الهوائي كما في الصورة.



--انتهى--