

La propagation des ondes radio

Sommaire

1. Notions de puissance et de champ
2. Les 4 modes de propagation
3. Propagation en vue directe
4. Propagation par onde de sol
5. Propagation troposphérique
6. Propagation ionosphérique

1 Notions de puissance et de champ

Un émetteur est caractérisé par sa puissance d'émission, en Watts, qu'il émet depuis son antenne

En un lieu de réception donné, l'émetteur produit un champ électromagnétique dont l'intensité dépend de la puissance de l'émetteur, de la distance entre émetteur et lieu de réception, et d'autres paramètres (pertes, ...)

On s'intéresse la plupart du temps au champ électrique, en Volts/mètre (le champ magnétique s'en déduit par une relation simple)

La méthode de la force cymo-motrice permet d'évaluer aisément le champ électrique au lieu de réception en fonction de la puissance d'émission et de la distance émission-réception

$$\text{Force cymo-motrice} = (30 * \text{puissance})^{0,5} \text{ (en Volts)}$$

$$\text{Champ} = \text{Force cymo-motrice} / \text{distance (en volts/mètre)}$$

30 est un coefficient valable pour une antenne isotrope

1 Notions de puissance et de champ

Champ et antennes

Le calcul du champ électrique est indépendant de la fréquence de l'onde émise

Au champ électrique correspond une puissance par unité de surface selon la relation simple : $W/m^2 = E^2 / 120 \pi$

Une antenne se comporte comme un "filet à onde" qui capte une partie de la puissance

On peut caractériser une antenne par sa surface de réception, c'est facile à imaginer pour une antenne parabolique, plus elle est grande plus l'énergie captée est grande

La longueur d'onde influe proportionnellement sur la taille d'une antenne, et la surface de captation est grande pour les grandes longueurs d'ondes (fréquences basses), petite pour les petites longueurs d'ondes (fréquences élevées)

1 Notions de puissance et de champ

Exemple de calculs de champs et de puissance

L'émetteur d'Yvelines FM sur 98,4 MHz émet une puissance de 5 kW

D'où une force cymo-motrice de 400 V

Le champ électrique en réception s'élève à 4 V/m à 100 m et à 40 mV/m à 10 km

La puissance reçue dans l'antenne est de l'ordre de 3 μ W

Un émetteur du service amateur émet en direction de la lune une puissance de 1.000 W

D'où une force cymo-motrice de 173 V

A une distance de 800.000 km (après réflexion sur la lune et retour sur la terre) le champ électrique en réception s'élève à 0,25 μ V/m

La puissance reçue dans l'antenne est de l'ordre du milliardième de milliardième de W

2 Les 4 Modes de Propagation

Propagation en vue directe : les antennes de l'émetteur et le récepteur sont en vue directe, sans obstacles, les ondes se propagent quasiment en ligne droite

Propagation par onde de sol : les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au niveau du sol, les ondes suivent la courbure de la terre

Propagation troposphérique : les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au voisinage de la terre ou en altitude, les ondes se propagent dans les couches basses de l'atmosphère et sont légèrement courbées vers le bas

Propagation ionosphérique : les couches ionisées de l'atmosphère, entre 80 et 500 km d'altitude, réfléchissent les ondes et les renvoient sur terre ou sur mer

3 Propagation en vue directe

Propagation en vue directe : les antennes de l'émetteur et le récepteur sont en vue directe, les ondes se propagent quasiment en ligne droite

L'énergie reçue par l'antenne de réception se propage dans un fuseau de forme ellipsoïdale, l'ellipsoïde de Fresnel

Les obstacles sur la ligne de vision abaissent le niveau de signal en réception mais n'interrompent pas complètement la transmission

Le rayon de l'ellipsoïde de Fresnel se calcule par la formule suivante

Aux fréquences élevées le rayon de l'ellipsoïde est faible et le moindre obstacle interrompt la liaison

La propagation en vue directe concerne toutes les fréquences du spectre radio-électrique

3 Propagation en vue directe

7

Exemples de propagation en vue directe :

Toutes les communications à courte distance

Les communications entre avions et centre de contrôle

La réception de la télévision par satellite

4 Propagation par onde de sol

Propagation par onde de sol : les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au niveau du sol, les ondes suivent la courbure de la terre

A une distance moyenne de l'antenne d'émission, le champ produit est fort et proche de celui en vue directe

A partir d'une certaine distance le champ commence à s'affaiblir rapidement

La propagation par onde de sol concerne les fréquences du spectre radio-électrique inférieure à 2.000 kHz

4 Propagation par onde de sol

9

Exemple de propagation par onde de sol :

Les émissions de radio en Grandes Ondes jusqu'à 2.000 km

Les émissions de radio en Petites Ondes jusqu'à 300 km

5 Propagation troposphérique

Propagation troposphérique : les antennes de l'émetteur et du récepteur sont situées au voisinage de la terre ou en altitude, les ondes se propagent dans les couches basses de l'atmosphère et sont légèrement courbées vers le bas

L'atmosphère n'est pas homogène, quand on s'élève la densité de l'air diminue progressivement, et l'humidité change ; l'indice de réfraction des ondes en dépend, diminue avec l'altitude et provoque une légère courbure vers le bas des ondes radio, augmentant la portée par rapport à la vue optique

L'indice de réfraction est très proche de 1, valeur typique 1,000300, on utilise la grandeur n plus manipulable (ici $n = 300$)

Selon les conditions atmosphériques, la courbure des ondes est plus ou moins prononcée

Des conditions anticycloniques particulières peuvent conduire à la création de véritables tunnels de passage des ondes à grande distance (cas de réception de la télévision anglaise à Paris)

5 Propagation troposphérique

Exemple de propagation troposphérique :

La réception de la radio FM et de la télévision à distance moyenne de l'émetteur (30-200 km)

La réception peut être affectée par les conditions météorologiques dans le sens d'une atténuation plus ou moins importante, ou du brouillage par un autre émetteur qui habituellement n'est pas reçu

On distingue 3 zones autour de l'émetteur :

- * la zone de couverture
- * la zone de signal insuffisant mais susceptible de brouiller un autre émetteur
- * la zone où l'on peut réutiliser la fréquence

6 Propagation ionosphérique

Propagation ionosphérique : les couches ionisées de l'atmosphère, entre 80 et 500 km d'altitude, réfléchissent les ondes et les renvoient sur terre ou sur mer

Découverte par les radioamateurs dans les années 20, la propagation ionosphérique permet des communications radio à grande distance

Les ondes se réfléchissent sur les couches ionisées situées l'une vers 100 km d'altitude (couche E), l'autre entre 200 et 350 km (couche F)

Par une succession de réflexions sur l'ionosphère et sur la terre ou la mer, les ondes peuvent parcourir des distances jusqu'à 40.000 km

La propagation ionosphérique concerne les fréquences du spectre radio-électrique inférieure à 30.000 kHz et dépend de multiples facteurs dont le moment dans la journée, la saison, et l'activité solaire (cycle de 11 ans)

La première couche (couche D) est très dense dans la journée, ne réfléchit pas les ondes mais atténue les fréquences basses

6 Propagation ionosphérique

Origine de l'ionisation :

La haute atmosphère est composée d'atomes d'azote et d'oxygène en quantité très faible.

Les rayonnements solaires enlèvent des électrons aux atomes qui constituent des zones ionisées réfléchissant les ondes

Les atomes et les électrons se recombinent pour former des noyaux neutres

Dans la journée on distingue 3 zones appelées couches (D, E et F)

La nuit les atomes et les électrons se recombinent et seule la couche F subsiste

L'intensité des rayonnements solaires varie au cours du temps selon un cycle de 11 ans, et l'ionisation varie également

Le nombre de taches solaires ou nombre de Wolf(f) est une image de l'activité solaire, observé par des astronomes depuis plus de 250 ans

6 Propagation ionosphérique

Conséquence de l'ionisation :

Les couches réfléchissent les ondes de fréquence inférieure à la fréquence critique

Les ondes de fréquence supérieure à la fréquence critique traversent les couches et se perdent dans l'espace

La fréquence critique dépend de l'ionisation

Si l'ionisation est basse (cas actuel), seules les fréquences basses sont réfléchies et les distances parcourues sont faibles

Si l'ionisation est élevée (d'ici 2 à 4 ans), les fréquences élevées sont aussi réfléchies permettant des communications à très grande distance

Pour la radio en ondes courtes, il y a donc de bonnes années et de mauvaises années

Nous sommes au début d'un nouveau cycle solaire avec de bonnes années entre 2012 et 2015 environ

6 Propagation ionosphérique

Exemple de propagation ionosphérique :

La radiodiffusion en ondes courtes, qui couvre de grands pays (Afrique, Amérique du Sud, Australie, ...), des continents entiers ou l'ensemble du globe (radiodiffusion intercontinentale)

Le trafic radio aéronautique, maritime et du service amateur

6 Particularités

Propagation des ondes moyennes :

Dans la journée un seul mode de propagation : onde de sol
Réception de stations de radiodiffusion à distance régionale (300 km)

Dans la soirée et la nuit deux modes de propagation : onde de sol et réflexion ionosphérique
Réception de stations de radiodiffusion à moyenne et grande distance, avec parfois des interférences entre onde de sol et onde ionosphérique

Propagation des ondes courtes :

Réception de deux ondes, l'une ayant suivi le trajet court, l'autre le trajet long
Effet d'écho du fait du décalage temporel de 130 ms (vitesse de la lumière sur 40.000 km)

Le spectre radioélectrique

17

Merci pour votre attention