Anteny\_i\_fale\_w2. Podstawowe zagadnienia elektromagnetyzmu i ruchu falowego. Równania Maxwella dla pól harmonicznych. Wektor Poyntinga. Równania falowe. Potencjał wektorowy. Rozwiązanie ogólne równania falowego. Straty mocy w polu e.m.

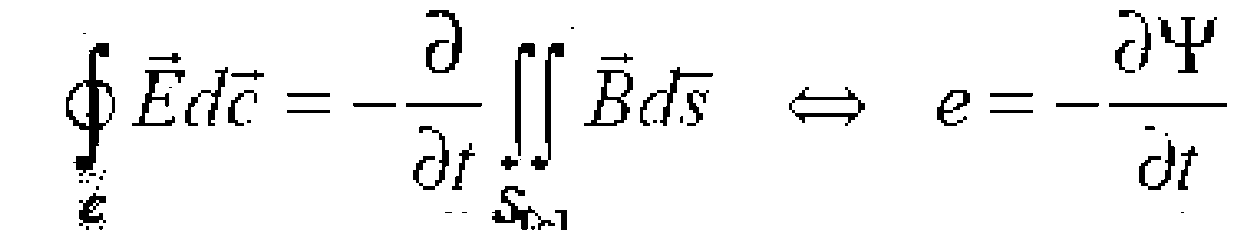
Dla zrozumienia zasady działania anten oraz rozchodzenia się fal radiowych w przestrzeni niezbędne jest omówienie lub przypomnienie podstawowych zagadnień elektromagnetyzmu i ruchu falowego.

Przypomnienie elektrostatyki (gęstość objętościowa, powierzchniowa i liniowa ładunku jako źródła pola elektrostatycznego, siła Coulomba, natężenie pola, praca, jaką musimy włożyć chcąc przesunąć dodatni ładunek próbny z nieskończoności do punktu P, pole zachowawcze (bezwirowe), potencjał, wektor indukcji elektrycznej, prawo Gaussa, równanie Laplace'a i Poissona).

Przypomnienie magnetostatyki (siła F, z jaką działa pole wektora indukcji magnetycznej B na przewodnik z prądem, natężenie pola magnetycznego H, prawo Biota-Savarta, prawo przepływu, zwane prawem Ampere'a, strumień magnetyczny, pole bezźródłowe).

Równania Maxwella, sformułowane po raz pierwszy w r. 1873, wyprowadzone zostały na podstawie wykonanych wielu doświadczeń z zakresu elektromagnetyzmu. Istnienie fal e.m. przewidzianych przez Maxwella eksperymentalnie potwierdził Hertz w r. 1888.

Prawo Faraday'a: Pod wpływem zmian strumienia magnetycznego indukuje się w ramce przewodzącej siła elektromotoryczna równa szybkości zmian strumienia, a jej zwrot jest taki, że indukowany prąd wywołuje pole magnetyczne przeciwdziałające zmianom pola zewnętrznego.



E (Y/m) electric field (electric field intensity)

B (T=Wb/m2) magnetic flux density

M (V/m ) magnetic current density\*

vF(Wb=Vs) magnetic flux

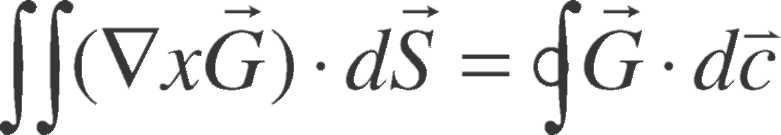
e (V) electromotive force

Prawo Faraday'a zapisane w powyższej postaci stanowi tzw. drugie równanie Maxwella. Jest to postać całkowa

drugiego równania Maxwella. Często posługujemy się równaniami Maxwella zapisanymi w postaci

różniczkowej. Stosując tzw. tożsamość Stokesa

S

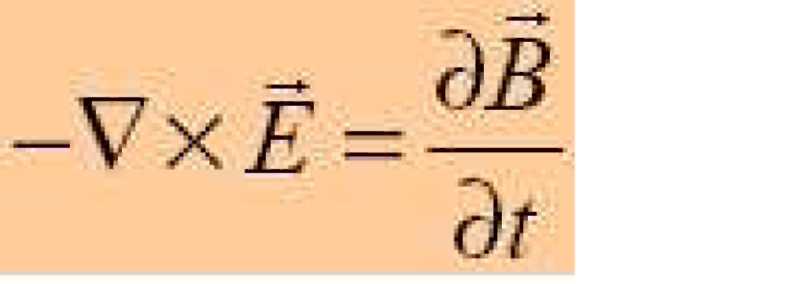


c

do równania opisującego prawo Faraday'a, otrzymujemy:

dD

Pierwsze równanie Maxwella, zapisane w postaci całkowej i różniczkowej, jest uogólnieniem prawa Ampere'a



dt

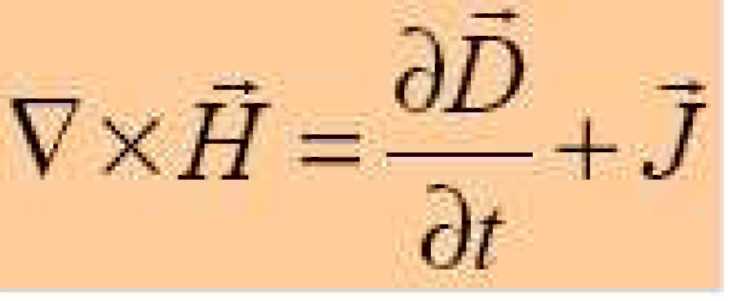
(w równaniu tym występuje gęstość prądu przesunięcia — ):

[cl

d>Hdc= (fi — + J Us & I = &Hdc

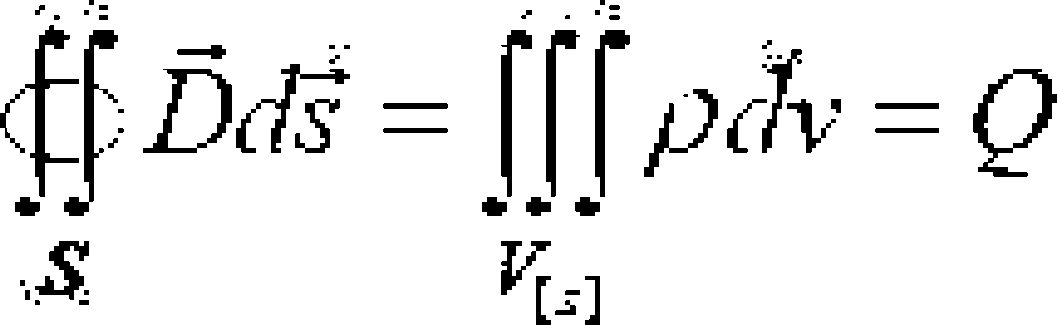


C



Tzw. trzecie wynika z prawa Gaussa:

VD = p

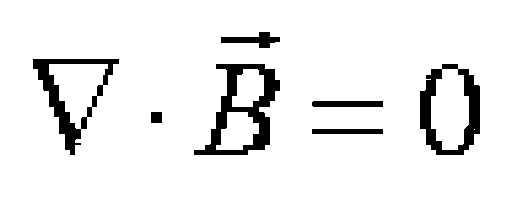


Postać różniczkową prawa Gaussa otrzymujemy z twierdzenia Gaussa- Ostrogradzkiego:

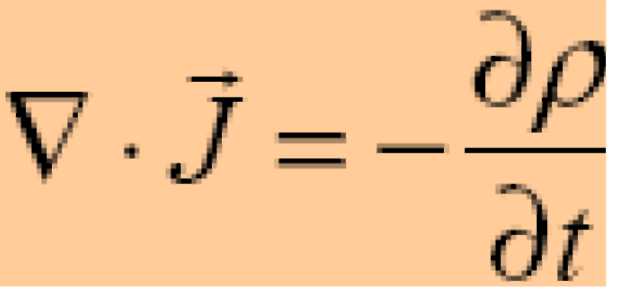
jjjV. G dV = j$G ■ dS

V S

Tzw. piąte:



Tzw. czwarte:

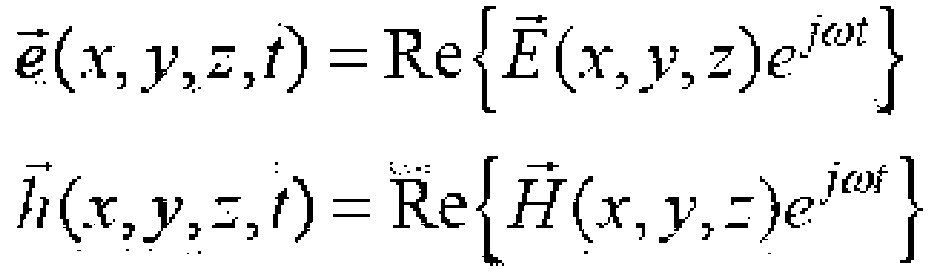


Równanie to występuje często pod nazwą równania ciągłości prądu.

Pola o harmonicznej zmienności od czasu i równania Maxwella dla wersorów pola E i H

(zapisane w dziedzinie liczb zespolonych):

VxH = j(o{£'- j£")E +<jE+J = joJeE + J, £ = £'-j



{ „ ^

£"+ —

0) )

a - przewodność ośrodka,

J = <jE

-Vx| = jaty'- j,u")H + M - jcojtH + M

\

£ = £

1-7

— + ; =£'

tan <5"rf +

V

W teorii anten mamy do czynienia na ogół z ośrodkiem izotropowym, jednorodnym i bezstratnym.

Gęstości objętościowe energii zmagazynowanej w polu elektrycznym i magnetycznym:

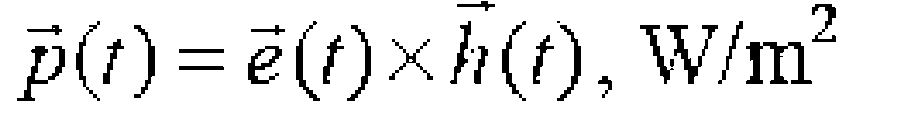
1 - - 1 - -

W =

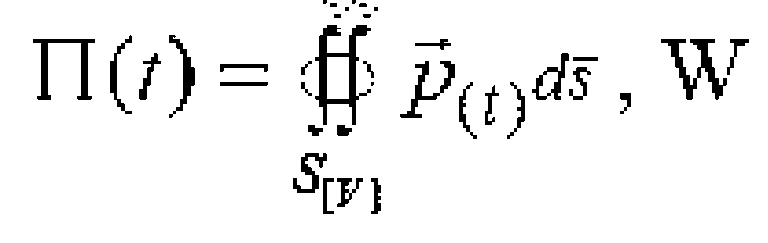
V

Gęstość powierzchniowa mocy i wektor Poyntinga:

W dziedzinie czasu, wektor Poyntinga definiuje następujące równanie



Zgodnie z twierdzeniem Poyntinga p jest wektorem gęstości powierzchniowej mocy opuszczającej pewną objętość V:



Dla pól harmonicznych

e{t) = Re{Ée}tM] = ^{Éej(0T + É\*e-Jat) h{t) = R.e{HeJ(,,T} = \* ( He'"' + H\*e~jù\* '

otrzymuje się

MM\* W

< z. '

PO,-

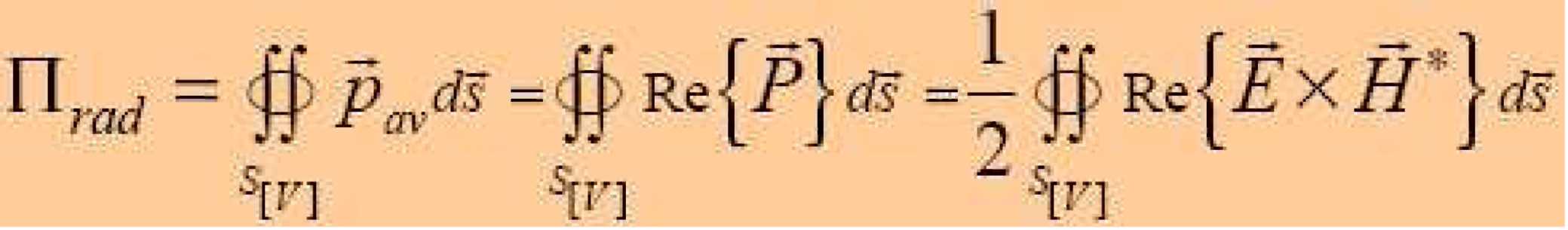
Pierwszy składnik określa średnią gęstość powierzchniową mocy (strumień wektora Poyntinga):

n m = § Par\*

Zespolony wektor Poyntinga



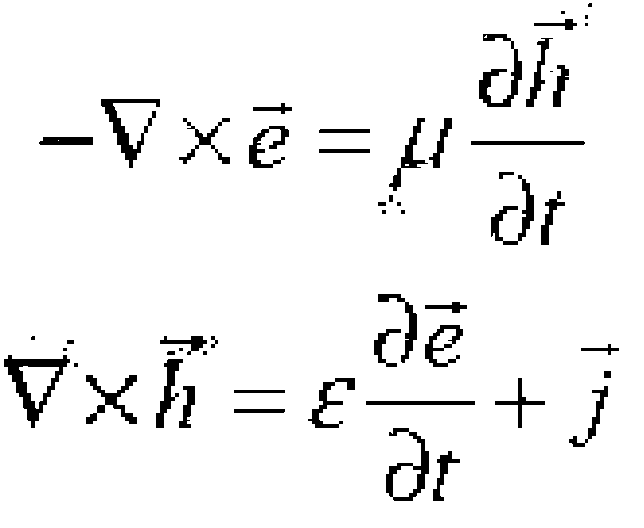
2



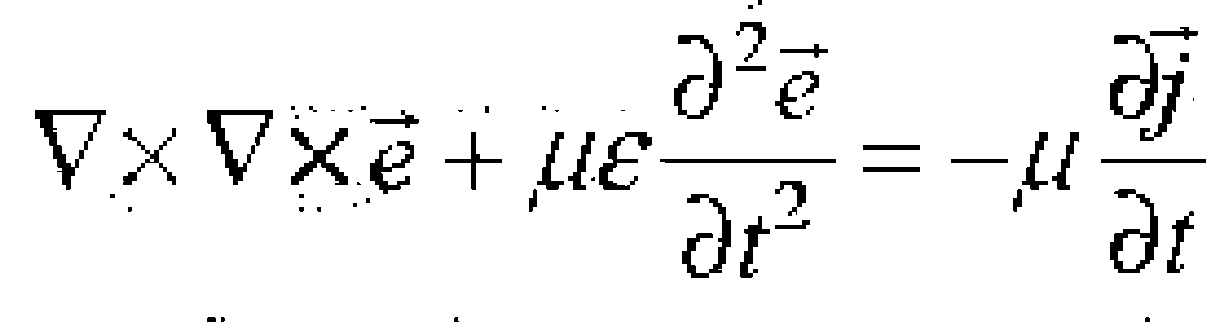
Moc wypromieniowaną przez antenę możemy obliczyć ze wzoru:

Równania falowe

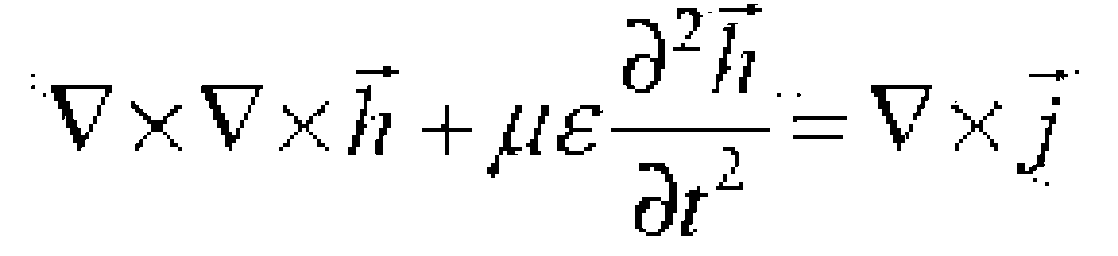
Załóżmy, że ośrodek jest nieograniczony, liniowy, jednorodny, niedyspersyjny i bezstratny (a = 0):



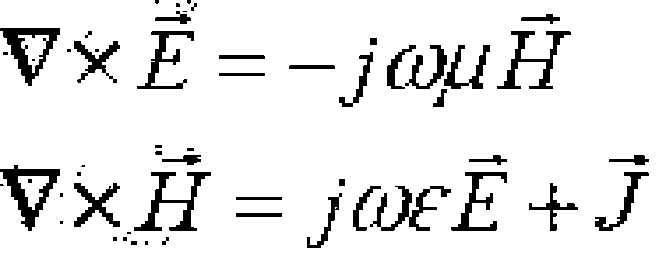
Po dokonaniu operacji rotacji drugiego równania i podstawieniu do równania pierwszego otrzymuje się pojedyncze równanie różniczkowe drugiego rzędu, tzw. równanie falowe dla wektorowego pola elektrycznego



Źródłem pola e.m., a ściślej promieniowania, jest gęstość powierzchniowa prądu J. Musi być to prąd zmienny, w którym ładunki są przyspieszane i opóźniane. Można powiedzieć, że jeśli ładunki nie pozostają w ruchu lub poruszają się ze stałą prędkością, nie ma promieniowania. I odwrotnie, jeśli ładunki są przyspieszane lub opóźniane z powodu występujących nieciągłości, takich jak zakrzywienia, zakończenia toru, krzywizny, promieniowanie to występuje.



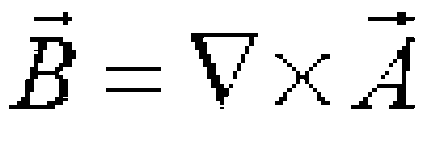
Podobnie dla wektorowego pola magnetycznego



i po wprowadzeniu magnetycznego potencjału wektorowego A, zdefiniowanego następująco:

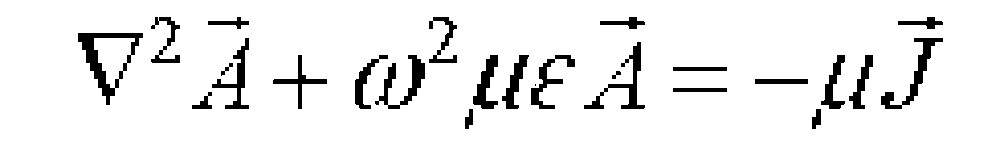
Z równań Maxwella zapisanych w dziedzinie zespolonej

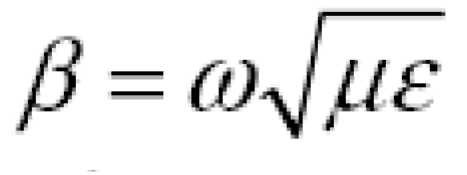
można otrzymać równanie falowe, zwane niejednorodnym równaniem falowym Helmholtza, w postaci:

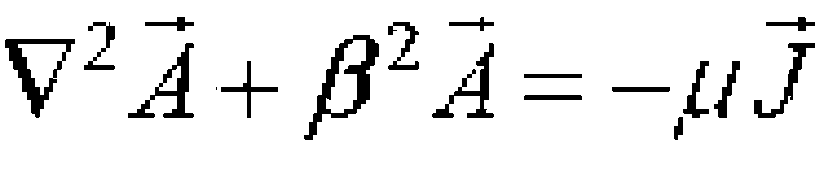


skoro div B = 0

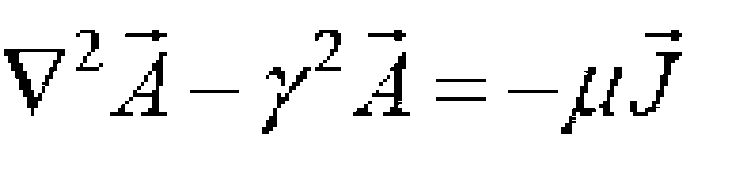
Równanie to zapisujemy - dla ośrodka bezstratnego



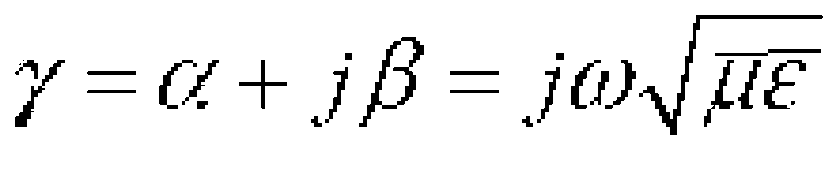


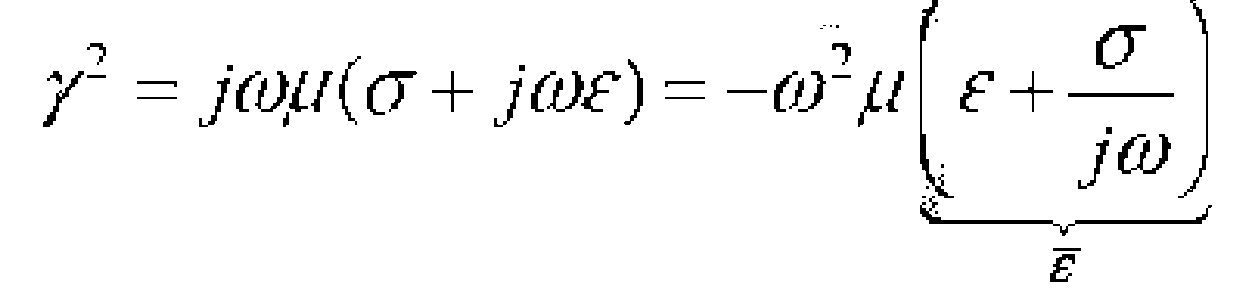


gdzie

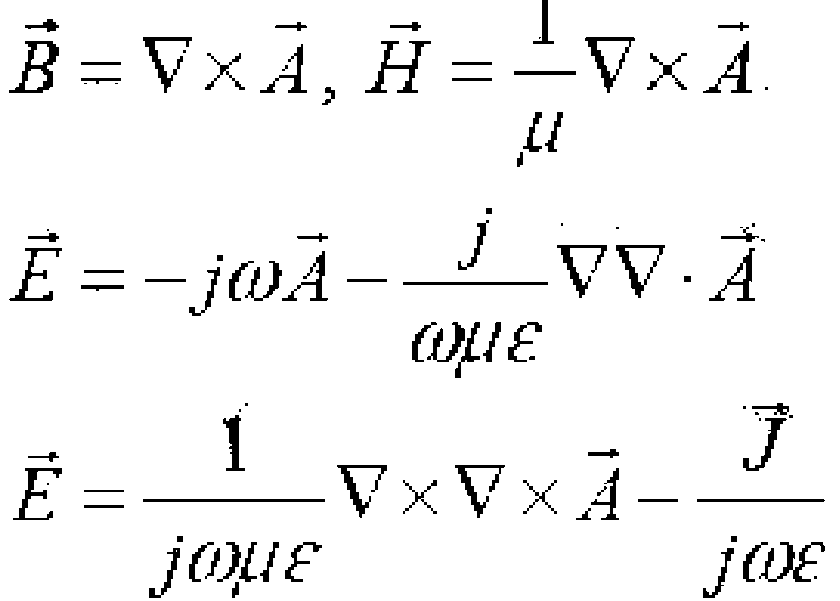


jeśli ośrodek jest stratny

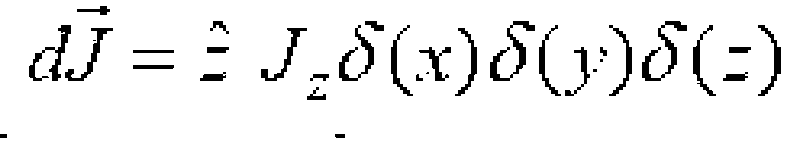




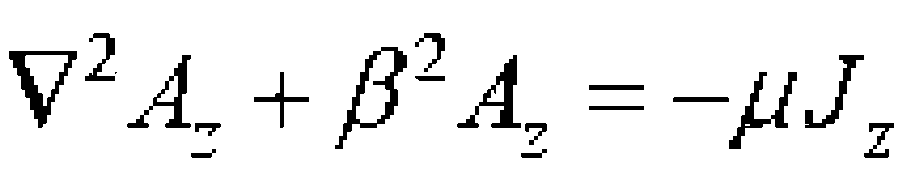
Po jego rozwiązaniu pola wektorów B i E (i tym samym H i D) wyznaczamy następująco



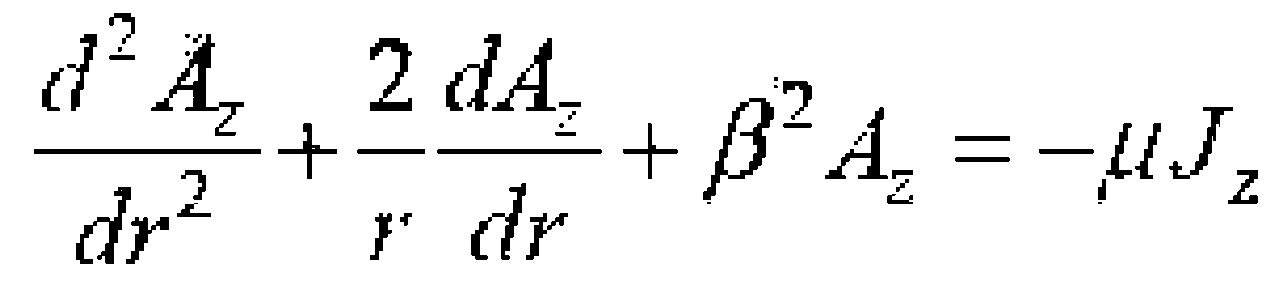
Przyjmijmy nieskończenie mały element prądowy, będący źródłem pola:



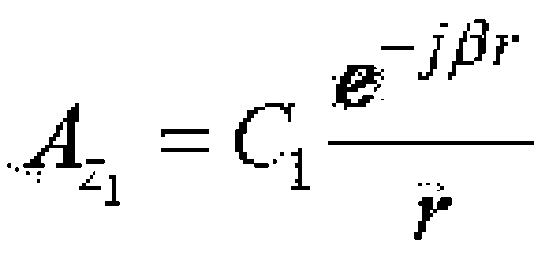
Równanie Helmholtza można zapisać w postaci trzech równań skalarnych - dla składowej z:



Składowe Az, Ax i Ay mają symetrię sferyczną (brak zależności od współrzędnych kątowych 0 i 9). Równanie to redukuje się do zwyczajnego równania różniczkowego ze względu na zmienną r:



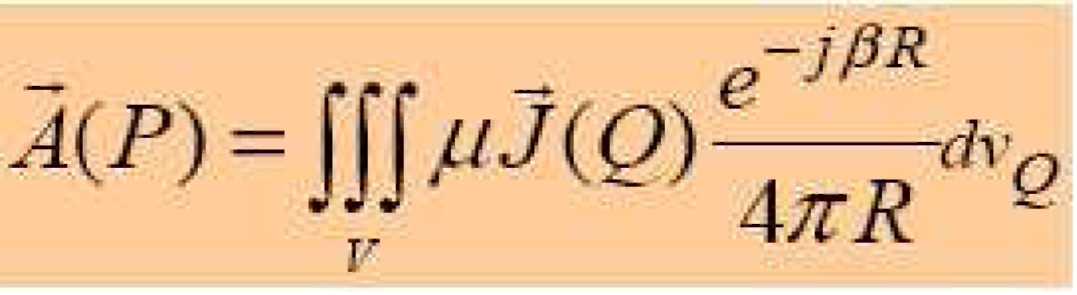
Dla przypadku obszaru nieograniczonego, całka ogólna tego równania

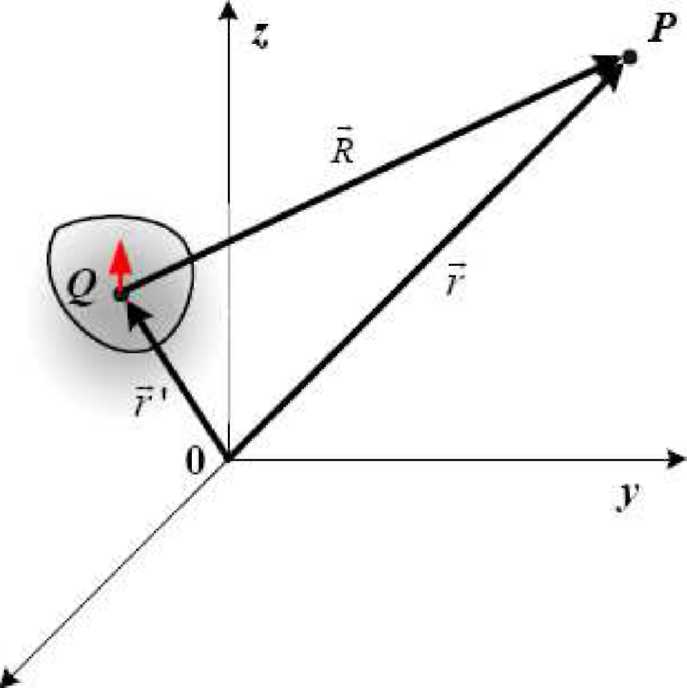


W rezultacie

AnR

a w przypadku tylko prądu powierzchniowego





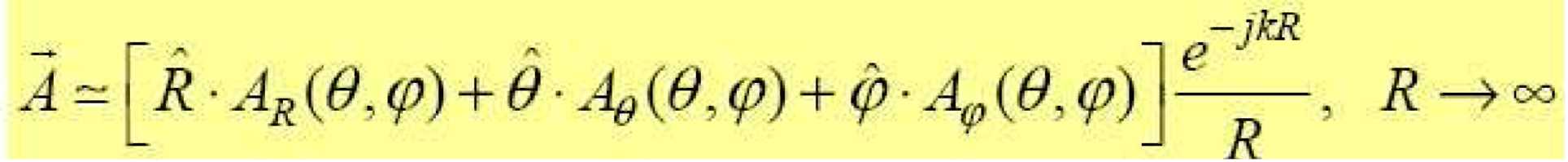
tm = [f

e

AkR

Anteny są źródłami o skończonych wymiarach fizycznych. W dużej odległości antena może być rozpatrywana jako promieniujące źródło fali sferycznej. Dla strefy pól dalekich

•



Podstawiając rozwiązanie to do równań określających pola E i H, można wykazać, że dla strefy dalekiej

Er = Hr = 0

pole jest polem TEM.

•

Wektory E i H są wzajemnie ortogonalne i ortogonalne do kierunku propagacji.

• Amplitudy E i H wiąże zawsze zależność |E| = r)|H|. rj - impedancja falowa wolnej przestrzeni równa 120 n \* 377 Q.

Przestrzeń otaczającą antenę można podzielić na trzy obszary:

• Obszar reaktywnego pola bliskiego (reactive near-field region), określony kulą o promieniu

0.62.

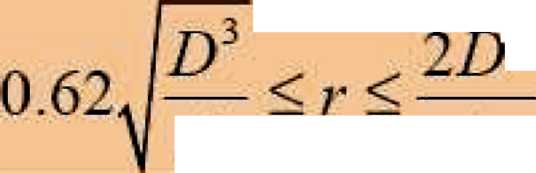
D - największy wymiar anteny.

Najlepiej sprawdza się w przypadku anten drutowych i aperturowych, źle jest na ogół wyznaczony dla dużych anten reflektorowych. W obszarze tym składowe H i E są w kwadraturze, tj przesunięte są w fazie o 90 stopni.

•

Obszar promieniowania w polu bliskim (radiating near-field (Fresnel) region):

) )

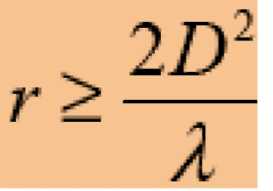


¿9.

Obszar między obszarem reaktywnym i pola dalekiego, w którym kątowy rozkład pola zależy wciąż od odległości od anteny.

Obszar pola w strefie dalekiej (far-field (Fraunhofer) region).

Pole jest poprzeczne do kierunku rozchodzenia się fali (promieniowania). Dla większości anten obszar ten wyznacza promień:



Pole w tym obszarze charakteryzuje się następującymi właściwościami:

* brak składowych wzdłużnych Er i Hr
* rozkład kątowy pola nie zależy od zmiennej r

oraz

