

[2] 各層準整合法

まず、図 4.4-3 の下に示すように、 $N$  層の層状損失材料(各層の厚さ  $d$  はすべて等しい)で構成された多層形電波吸収体を考える。この場合、前面から第  $n$  層目の特性インピーダンスおよび伝搬定数をそれぞれ  $Z_{cn}$ 、 $\gamma_n$  (前面は無損失媒質で、その特性インピーダンスを  $Z_{c0}$ 、伝搬定数を  $\gamma_0 = j\beta_0$ ) とする。なお、図中の  $E_n^+$  および  $E_n^-$  はそれぞれ第  $n$  層中の進行波電界および反射電界である。そして、図中の曲線はその材料中での変化のおよその形を示している。

(1) 各層・定数の決定法

この設計法は、 $n$  層目の後境界面  $B_n$  で生じた反射電界がその板を逆行する間に、ほとんど減衰させるようにすることが波計の基本的考え方である。そこで、その板の前面  $B_{n-1}$  に達したときに、その大きさがある一定の微小量  $\delta$  になるように、各層の定数を決定する方法である( $\delta$  の大きさについては後述)。これによると、各層でほぼ整合がとれているので、従来の設計法に比べて整合条件が完全である保障がある。

まず、境界面  $B_n$  の特性インピーダンスの不連続による反射係数  $\hat{S}_n$  および透過係数  $T_n$  は、次のように表される。

$$\hat{S}_n = \frac{Z_{cn+1} - Z_{cn}}{Z_{cn+1} + Z_{cn}} \quad (4)$$

( $n=0, 1, 2, \dots, N-1$ )

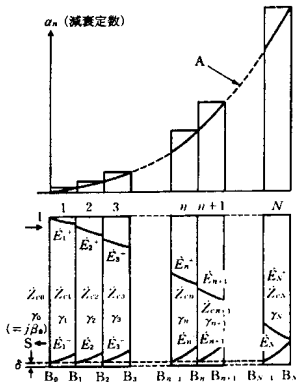


図 4.4-3 多層形電波吸収体

$$T_n = 1 + \hat{S}_n = \frac{2Z_{cn+1}}{Z_{cn+1} + Z_{cn}} \quad (5)$$

この整合負荷の表面に入射する電界の大きさを 1 と仮定すると、境界面  $B_n$  に達する進行波電界  $E_n^+$  は、近似的に次式で示される(これは、各境界面で、 $T_n$  倍に小さくなり、各媒質中で減衰  $\gamma_n d$  を受けるを考慮することによって求められる)。

$$E_n^+ = \prod_{k=0}^{n-1} T_k e^{-\sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d} \quad (6)$$

そこで、境界面  $B_n$  で生じた反射電界が境界面  $B_{n-1}$  まですりかかると、それは次に示す  $E_n^-$  となる。

$$E_n^- = \hat{S}_n E_n^+ e^{-\sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d} = \hat{S}_n \prod_{k=0}^{n-1} T_k e^{-(\sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d) + \sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d} \quad (7)$$

この  $E_n^-$  が、上述のある一定微小量  $\delta$  に等しいと置いて次式が得られる。

$$\left| \hat{S}_n \prod_{k=0}^{n-1} T_k e^{-(\sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d) + \sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d} \right| = \delta \quad (8)$$

これが各層の定数を決定する条件式である。ところで、ここでは誘電性電波吸収材料を扱っているので、透磁率は自由空間の透磁率  $\mu_0$  に等しくすべての層にわたって一定である。したがって、特性インピーダンス  $Z_{cn}$  は、伝搬定数  $\gamma_n$  を用いて次のように表される。

$$Z_{cn} = \frac{j\omega\mu_0}{\gamma_n} \quad (9)$$

この関係式および式(4)、式(5)を式(8)に代入することによって次の式が得られる。

$$\left| \frac{\gamma_n - \gamma_{n+1}}{\gamma_n + \gamma_{n+1}} \prod_{k=0}^{n-1} \left| \frac{\gamma_k - \gamma_{k+1}}{\gamma_k + \gamma_{k+1}} \right| \right| |a_n| = \delta \quad (10)$$

( $n=0, 1, 2, \dots, N-1$ )

ただし、 $a_0 = -1$   

$$a_n = -\prod_{k=0}^{n-1} \left( \frac{2\gamma_{k+1}}{\gamma_{k+1} + \gamma_k} \right) e^{-(\sum_{k=0}^{n-1} \gamma_k d)} \quad (11)$$
 上式は、伝搬定数  $\gamma_n$  だけを含んでいるので、これは各層の  $\gamma_n$  を決定する式(漸化式)である。ところで、 $\gamma_n$  は複素数であるから式(10)だけでは  $\gamma_n$  は決定されない。

しかし、実際は一般に材料が定まると  $\gamma_n$  の実数部、虚数部の間にはある定まった関係があるので、その条件を加えることによって  $\gamma_n = \alpha_n + j\beta$  を求めることができる。そして、この設計法によって得られる各層の  $a_n$  の分布はおよそ図 4.4-3 の上に示すような形となる。

この図からわかるように、一般に前面近くではゆるやかであるが、後層にいくほど急激に変化する。また、各層の厚さ  $d$  が非常に小さくなった場合には、 $a_n$  の分布は

図 4.4-3 の曲線 A のようになる。

(2) 設計の手順

設計手順は次のとおりである。いま、適当に  $\delta$  および  $d/\lambda_c$  を決めて式(10)、(11)を満たすように各層の  $\gamma_n$  を定め、そのたびごとに  $a_n$  を求める。 $a_n$  はしだいに小さくなるが、第  $n$  層目で

$$|a_n| \leq \delta \quad (12)$$

となつたとすれば、次に示す理由で、この  $n$  が整合負荷の層数  $N$  になる。

ここで、 $a_n$  の定性的意味を考えてみる。実は、これは式(7)で  $\hat{S}_n$  を  $-1$  と置いたとき(つまり境界面  $B_n$  に短絡板を置いたときの)の反射電界  $E_n^-$  にほかならない。そこで  $n$  層目の境界面  $B_n$  に仮に短絡板を置いたとすると、その反射係数 ( $-1$ ) はそこでの最大値である。

そのため、この場合の  $B_{n-1}$  での反射電界  $a_n$  が式(12)のように  $\delta$  より小さければ、層数  $n$  としてはそれで十分と考えられる(すなわち、 $n=N$  となる)。したがって、この整合負荷の全体の厚さ  $D$  は次のようになる。

$$D = Nd \quad (13)$$

(3) 数値計算の結果

ここでは、設計周波数  $f_c$  以上の周波数で、定在波比が 1.1 以下となる電波吸収体の設計例を述べる。

1)  $a_n$  の分布と電波吸収体

式(10)において、 $\delta = 0.05$  (VSWR = 1.1) とすると、 $\delta = 0.5d/\lambda_c$  となるので、与えるパラメータとして次の 3 つを選び選んでいる。

- $d/\lambda_c = 0.1$        $\delta = 0.05$
- $d/\lambda_c = 0.05$      $\delta = 0.025$
- $d/\lambda_c = 0.02$      $\delta = 0.01$

これらのパラメータに対して、減衰定数  $a_n$  の空間的分布の結果を図 4.4-4 に示す。ここで注目すべき点は、図からわかるように、各層の厚さ  $d$  を変えても、電波吸収体の前面からの距離(図では  $1/\lambda_c$ ) に対する  $a_n$  の分布は、全部ほとんど重なって現れている。

したがって、この種の電波吸収体を与えられた反射係数に設計する場合、層形構造にしても連続的分布としても結果的には変わらない。また、さらに、各層の厚さ  $d$  があまり大きくなければ、層数  $N$  にかかわらず、全体の厚さはほぼ一定(約  $0.6\lambda_c$ ) になる。

2) 周波数特性

この設計された電波吸収体の前面の反射係数  $\hat{S}$  を求めた結果を図 4.4-5 に示す(ただし、図(b)は図(a)の中心部の拡大図である)。また、定在波比の周波数特性を図 4.4-6 に示す。これらの図からわかるように、周波数に対す

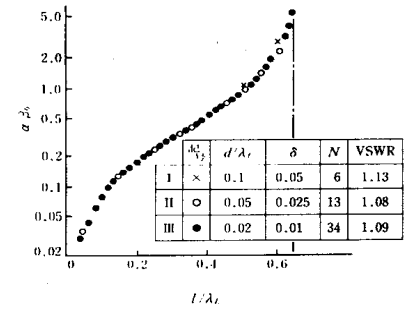
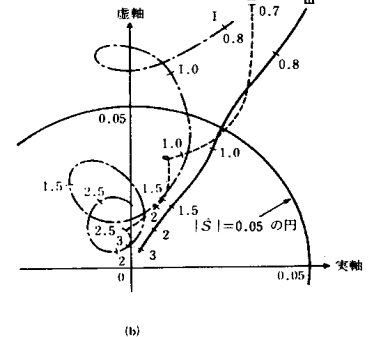
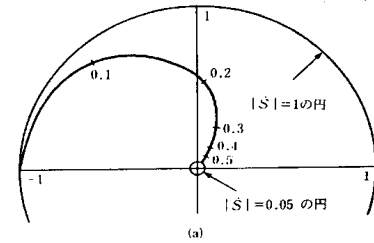


図 4.4-4  $a_n$  の空間的分布の結果



(数字の大きさは  $f/f_c$  を示す。  $f_c$ : 設計周波数)

図 4.4-5 反射係数の周波数特性