

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5810910号
(P5810910)

(45) 発行日 平成27年11月11日(2015.11.11)

(24) 登録日 平成27年10月2日(2015.10.2)

(51) Int.Cl. F I
H01Q 1/46 (2006.01) H01Q 1/46

請求項の数 8 (全 45 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2011-289700 (P2011-289700) | (73) 特許権者 | 000005223 富士通株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成23年12月28日(2011.12.28) | | 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 |
| (65) 公開番号 | 特開2013-141081 (P2013-141081A) | (74) 代理人 | 100074099 弁理士 大菅 義之 |
| (43) 公開日 | 平成25年7月18日(2013.7.18) | (74) 代理人 | 100133570 弁理士 ▲徳▼永 民雄 |
| 審査請求日 | 平成26年9月4日(2014.9.4) | (72) 発明者 | 山ヶ城 尚志 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 殿岡 旅人 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アンテナ設計方法、アンテナ設計装置、アンテナ設計プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アンテナと前記アンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計を行うアンテナ設計方法であって、

前記整合回路を含まない前記アンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力し、

前記アンテナと、前記整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される前記整合回路とを含むアンテナモデルを作成し、

作成された前記アンテナモデルのトータル効率を、前記アンテナ特性を用いて計算し、計算された前記トータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定し、

判定された結果を表示する

処理をコンピュータが実行するアンテナ設計方法。

【請求項2】

前記整合回路を構成する前記整合素子を、前記整合素子の使用条件に関するデータを含む整合素子データファイルを参照することにより選択する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする、請求項1に記載のアンテナ設計方法。

【請求項3】

作成された前記アンテナモデルの反射係数及び放射効率を、前記アンテナ特性を用いて計算する処理を前記コンピュータが更に実行することを特徴とする、請求項1に記載のアンテナ設計方法。

【請求項 4】

前記トータル効率が前記所望の規格値を満たさないと判定する場合には、前記整合回路を構成する整合素子の損失抵抗として許容される上限値を表示する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする、請求項 1 に記載のアンテナ設計方法。

【請求項 5】

前記整合回路を構成する整合素子の消費電力を、前記アンテナ特性を用いて計算し、計算された前記整合素子の消費電力を表示する処理を前記コンピュータが更に実行することを特徴とする、請求項 1 に記載のアンテナ設計方法。

【請求項 6】

前記アンテナ特性を電磁界シミュレーションを実行することにより取得することを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のアンテナ設計方法。

【請求項 7】

アンテナと前記アンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計を行うアンテナ設計装置であって、

前記整合回路を含まない前記アンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力する入力部と、

前記アンテナと、前記整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される前記整合回路とを含むアンテナモデルを作成する整合回路付きアンテナ作成部と、

前記整合回路付きアンテナ作成部により作成された前記アンテナモデルのトータル効率を、前記アンテナ特性を用いて計算するアンテナ特性計算部と、

前記アンテナ特性計算部により計算された前記トータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定する計算結果判定部と、

前記計算結果判定部により判定された結果を表示する表示部とを含むアンテナ設計装置。

【請求項 8】

アンテナと前記アンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計をコンピュータに行わせるアンテナ設計プログラムであって、

前記整合回路を含まない前記アンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力し、

前記アンテナと、前記整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される前記整合回路とを含むアンテナモデルを作成し、

作成された前記アンテナモデルのトータル効率を、前記アンテナ特性を用いて計算し、計算された前記トータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定し、

判定された結果を表示する

ことをコンピュータに実行させるアンテナ設計プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、アンテナ設計方法、アンテナ設計装置、およびアンテナ設計プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

携帯情報端末装置等の送受信装置に実装されるアンテナを設計する際には、以下のような処理が行われる。

まず、整合回路を含まないアンテナモデルを作成し、作成されたアンテナモデルのアンテナインピーダンスおよび電圧定在波比(voltage standing wave ratio、V S W R)等のアンテナ特性をシミュレーションにより算出する。

【0003】

10

20

30

40

50

次に、算出されたアンテナモデルの電圧定在波比が所望の規格を満たすか否かを判定する。

所望の規格を満たさないと判定する場合には、算出されたアンテナインピーダンスを参考に整合回路のモデルを作成し、作成された整合回路をアンテナモデルに追加する。そして、整合回路が追加されたアンテナモデルについて、電圧定在波比等のアンテナ特性をシミュレーションにより算出し、算出されたアンテナ特性が所望の規格を満たすか否かの評価を行う。

【0004】

算出されたアンテナ特性が所望の規格を満たすと評価する場合には、アンテナ設計を終了する。一方、算出されたアンテナ特性が所望の規格を満たさないと評価する場合には、

10

【0005】

なお、放射素子となる透明導電膜の導電率やマイクロストリップラインの導電率等を含む所定のパラメータを用いて、パッチアンテナの放射特性を測定する従来技術がある。

送信及び/又は受信モジュールの整合素子およびアンテナの放射効率を測定する従来技術がある。

【0006】

リアクタンス回路を含むノッチアンテナについて、周波数とリターンロスとの関係および周波数とアンテナ効率との関係を有限差分時間領域 (Finite Difference Time Domain Method、F T D T) 法等の電磁界シミュレーションで求める従来技術がある。

20

【0007】

放射アンテナ素子と給電線路との間の誘電空間の誘電率とマイクロストリップスロットアンテナの放射効率との関係を検討する従来技術がある。

ダイポールアンテナシステムの放射抵抗を、放射抵抗、誘導リアクタンス、容量性リアクタンス、および抵抗フィードポイントグラウンド損失と表皮効果を用いた近似式から算出する従来技術がある。

【0008】

ループアンテナの放射抵抗とループアンテナを構成する導電体の抵抗損失とからループアンテナの放射効率を算出する従来技術がある。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2008-306552号公報

【特許文献2】特表2005-516525号公報

【特許文献3】特開2010-62976号公報

【特許文献4】特表2006-522548号公報

【特許文献5】特開2004-32776号公報

【特許文献6】特開2010-98742号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0010】

近年、携帯情報端末装置は小型化および薄型化し、携帯情報端末装置に備えられるアンテナの搭載スペースも小型化および薄型化している。この結果、例えば、携帯情報端末装置の本体部に対して蓋部をスライド可能に取付けるスライド機構を有する携帯情報端末装置において、スライド機構に金属が使用された場合には、アンテナと金属とが近づく構造になり得る。アンテナの近くに金属が存在すると、アンテナ電流を打ち消すような電流が金属に流れるため、アンテナ性能の劣化を招く。

【0011】

アンテナの性能指標には、放射抵抗 R_r がある。アンテナ、整合回路、および給電線路等に含まれる損失抵抗を R_l とすると、アンテナに加えられた正味の電力とアンテナから

50

放射される電力との比である放射効率 は、以下の式で表される。

【 0 0 1 2 】

【数 1】

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_l} \quad \dots (1)$$

【 0 0 1 3 】

式(1)から明らかなように、アンテナの放射抵抗 R_r が小さい場合には、損失抵抗 R_l が僅かな値であっても、放射効率は大きく劣化する。そこで、放射抵抗 R_r が大きくなるようにアンテナを設計することが望ましい。

10

【 0 0 1 4 】

しかしながら、小型化および薄型化した携帯情報端末装置では、前述したようにアンテナの近くに金属が存在し得るため、電波を放射しにくい構造、すなわち、放射抵抗 R_r が小さい構造になり得る。そこで、放射抵抗 R_r が小さい構造のアンテナを設計する際には、僅かな値であっても損失抵抗 R_l に注意を払う必要がある。

【 0 0 1 5 】

放射抵抗 R_r が低いアンテナにおいて、入力インピーダンスが特性インピーダンス（例えば、50 Ω）からずれる場合には、整合回路によって整合を取る必要がある。

整合回路を構成する整合素子には、静電容量成分またはインダクタンス成分の他に、僅かながら抵抗成分が含まれる。このため、アンテナと送受信モジュールとの間に整合回路が実装され、整合回路に電流が流れた場合、整合回路を構成する整合素子の抵抗成分が損失抵抗 R_l を構成し得る。この結果、アンテナの放射抵抗 R_r が小さい場合には、整合回路により整合をとったとしても、整合素子の抵抗成分の影響によってアンテナの放射効率等のアンテナ特性が規格を満足しないケースが起こり得る。

20

【 0 0 1 6 】

そこで、放射抵抗 R_r が小さい構造のアンテナを設計する際には、整合回路を構成する各整合素子の静電容量成分またはインダクタンス成分、および寄生インダクタンス成分または寄生静電容量成分に加えて、損失抵抗成分を考慮してアンテナ特性を計算する必要がある。

30

【 0 0 1 7 】

この点、整合素子の損失抵抗成分をも考慮して、前述した従来のアンテナ設計処理を実行した場合には、以下のような処理が行われることになる。

まず、静電容量成分またはインダクタンス成分に加えて、寄生静電容量成分または寄生インダクタンス成分と損失抵抗成分とを含むように、整合回路を構成する整合素子の各成分のモデルを個別に作成する。また、作成された整合素子の各成分の値を個別に入力し設定する。そして、作成された整合回路を含むアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションにより算出する。

【 0 0 1 8 】

次に、算出されたアンテナ特性が所望の規格を満たすか否かを評価する。算出されたアンテナ特性が所望の規格を満たさないと評価する場合には、整合回路を構成する整合素子の各成分のモデルを作成する処理に戻り、アンテナ設計処理を継続する。

40

【 0 0 1 9 】

このように、従来のアンテナ設計処理では、整合回路を構成する整合素子について、静電容量成分またはインダクタンス成分に加えて、寄生静電容量成分または寄生インダクタンス成分と損失抵抗成分とを含むように各成分のモデルを個別に作成し、作成された各成分の値を個別に入力する必要がある。このため、整合素子に含まれる寄生静電容量成分、寄生インダクタンス成分、および損失抵抗成分を加味した整合回路付きのアンテナモデルの作成処理は煩雑である。

【 0 0 2 0 】

50

また、従来のアンテナ設計処理では、シミュレーション結果が所望の規格に適合するかどうかを評価することによってアンテナに付加する整合回路を構成する必要があり、整合回路を効率的に決定することができない。

【0021】

そこで、本発明は、整合素子に含まれる寄生静電容量成分、寄生インダクタンス成分、および損失抵抗成分を加味した整合回路付きのアンテナ設計処理を迅速かつ効率的に実行するアンテナ設計方法、アンテナ設計装置、およびアンテナ設計プログラムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0022】

実施形態に従ったアンテナ設計方法は、アンテナとアンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計を行うアンテナ設計方法であって、整合回路を含まないアンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力し、アンテナと、整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される整合回路とを含むアンテナモデルを作成し、作成されたアンテナモデルのトータル効率を、上記アンテナ特性を用いて計算し、計算されたトータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定し、判定された結果を表示する処理をコンピュータが実行する。

10

【0023】

実施形態に従ったアンテナ設計装置は、アンテナとアンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計を行うアンテナ設計装置であって、整合回路を含まないアンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力する入力部と、アンテナと、整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される整合回路とを含むアンテナモデルを作成する整合回路付きアンテナ作成部と、整合回路付きアンテナ作成部により作成されたアンテナモデルのトータル効率を、上記アンテナ特性を用いて計算するアンテナ特性計算部と、アンテナ特性計算部により計算されたトータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定する計算結果判定部と、計算結果判定部により判定された結果を表示する表示部とを含む。

20

【0024】

実施形態に従ったアンテナ設計プログラムは、アンテナと前記アンテナに接続される整合回路とを含む整合回路付きアンテナの設計をコンピュータに行わせるアンテナ設計プログラムであって、整合回路を含まないアンテナのアンテナ特性であるアンテナインピーダンス、反射係数、及び放射効率を入力し、アンテナと、整合回路であって、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合素子により構成される整合回路とを含むアンテナモデルを作成し、作成されたアンテナモデルのトータル効率を、上記アンテナ特性を用いて計算し、計算されたトータル効率が所望の規格値を満たすか否かを判定し、判定された結果を表示することをコンピュータに実行させる。

30

【発明の効果】

【0025】

実施形態に従えば、整合素子に含まれる寄生静電容量成分、寄生インダクタンス成分、および損失抵抗成分を加味した整合回路付きのアンテナ設計処理を迅速かつ効率的に実行することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】実施形態に従ったアンテナ設計装置の機能的構成図である。

【図2】実施形態に従ったアンテナ特性の計算に用いる各パラメータの説明図である。

【図3】整合回路として1つの整合素子が直列に挿入されたケースの回路モデル図である。

。

【図4】整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースの回路モデル図である。

。

50

【図 5】整合回路として 3 つの整合素子がパイ型に挿入されたケースの回路モデル図である。

【図 6】図 5 に示した等価回路を Z_{m1} 、 Z_{m2} および Z_{m3} を用いて表した等価回路図である。

【図 7】図 6 に示した等価回路を Z_{am1} を用いて表した等価回路図である。

【図 8】図 7 に示した等価回路を Z_{am2} を用いて表した等価回路図である。

【図 9】 $R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 < 0$ である場合の R_m と $F(R_m)$ との関係図である。

【図 10】 $R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 < 0$ である場合の R_m と $|S_{11}|$ との関係図である。

【図 11】整合回路として 1 つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係図である。

10

【図 12】整合回路として 1 つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と放射効率 η との関係図である。

【図 13】整合回路として 1 つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と η / R_m との関係図である。

【図 14】整合回路として 1 つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係図である。

【図 15】実施形態に従ったアンテナ設計方法の処理フローの例図である。

【図 16】整合回路付きアンテナモデルの作成および解析のためのツール画面の一例である。

【図 17】整合素子の種別がコンデンサの場合の整合素子データファイルの一例である。

20

【図 18】寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含むコンデンサの等価回路図である。

【図 19】整合素子の種別がインダクタの場合の整合素子データファイルの一例である。

【図 20】寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含むインダクタの等価回路図である。

【図 21】表示部による整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力データの表示例である。

【図 22】消費電力が大きい整合素子順に並べ替えられた整合素子の消費電力データの一例である。

【図 23】実施形態に従ったアンテナ設計プログラムを実行するコンピュータのハードウェア構成図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0027】

以下、図面を参照しながら、実施形態を詳細に説明する。

図 1 は、実施形態に従ったアンテナ設計装置の機能的構成図である。

アンテナ設計装置 100 には、入力部 110、記憶部 120、処理部 130、および表示部 140 が含まれる。

【0028】

入力部 110 は、アンテナ設計に必要な各種データを入力する装置である。入力部 110 は、例えば、キーボードやマウス等である。

入力部 110 により入力される各種データには、アンテナモデルの形状、モデルの材質、波源、回路部品、解析条件、および解析出力項目に関するデータが含まれる。

40

【0029】

モデルの材質に関するデータは、例えば、導電率、誘電率、透磁率、および各種損失等に関するデータである。解析条件に関するデータは、例えば、解析する周波数の上限および下限、周波数の刻み、および高速処理設定の有無等に関するデータである。解析出力項目に関するデータは、例えば、放射効率、トータル効率、アンテナインピーダンス、および S パラメータ (Scattering parameter) 等に関するデータである。

【0030】

なお、放射効率とは、図 2 を示して後述するように、整合回路の挿入位置でアンテナ側へ入る正味の電力とアンテナからの放射電力との比を指す。ただし、整合回路を含まないアンテナモデルでは、整合回路に含まれる損失を考慮する必要がないため、放射効率は、

50

アンテナに入る正味の電力とアンテナからの放射電力との比ということになる。

【 0 0 3 1 】

また、トータル効率とは、波源からの全入力電力とアンテナからの放射電力との比を指す。

記憶部 1 2 0 は、処理部 1 3 0 による処理データが格納される解析結果ファイル 1 2 1 および分析結果ファイル 1 2 2 を含む記憶装置である。

【 0 0 3 2 】

また、実施形態によっては、記憶部 1 2 0 は、整合素子データファイル 1 2 3 をさらに含む。整合素子データファイル 1 2 3 には、例えば、回路部品メーカー等により市販されている整合素子の各種データが格納される。格納される整合素子の各種データの一例としては、整合素子の種別、整合素子の静電容量またはインダクタンス、整合素子のサイズ、寄生インダクタンスまたは寄生静電容量、損失抵抗、耐圧、および価格等に関するデータが挙げられる。

10

【 0 0 3 3 】

記憶部 1 2 0 は、例えば、Read Only Memory (R O M)、Random Access Memory (R A M)、およびハードディスクドライブ (H D D) 等である。

処理部 1 3 0 は、実施形態に従ったアンテナ設計を実行する処理装置である。処理装置 1 3 0 は、例えば、Central Processing Unit (C P U) である。

【 0 0 3 4 】

表示部 1 4 0 は、処理部 1 3 0 による処理結果を表示する装置である。表示部 1 4 0 は、例えば、液晶ディスプレイ装置である。

20

処理部 1 3 0 には、アンテナ素子特性解析部 1 3 1 および整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 が含まれる。

【 0 0 3 5 】

アンテナ素子特性解析部 1 3 1 は、入力部 1 1 0 からの入力データに従って作成された、整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションにより解析する。なお、以下の説明では、整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性を、単に「アンテナのアンテナ特性」と称する場合がある。

【 0 0 3 6 】

アンテナ素子特性解析部 1 3 1 には、アンテナモデル作成部 1 3 1 a、シミュレーション解析部 1 3 1 b、シミュレーション結果判定部 1 3 1 c が含まれる。

30

アンテナモデル作成部 1 3 1 a は、入力部 1 1 0 からの入力データに従って、整合回路を含まないアンテナモデルを作成する。

【 0 0 3 7 】

シミュレーション解析部 1 3 1 b は、アンテナモデル作成部 1 3 1 a により作成された整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションにより解析する。

シミュレーション解析部 1 3 1 b により実行されるシミュレーションは、例えば、モーメント法、有限要素法、および有限差分時間領域法等を用いた電磁界シミュレーションである。

【 0 0 3 8 】

40

また、シミュレーション解析部 1 3 1 b の解析により得られるアンテナ特性には、入力部 1 1 0 の入力により設定された周波数ごとの放射効率、アンテナインピーダンス、および S パラメータが含まれる。これらのアンテナ特性は、記憶部 1 2 0 の解析結果ファイル 1 2 1 に格納される。

【 0 0 3 9 】

シミュレーション結果判定部 1 3 1 c は、シミュレーション部 1 3 1 b の解析により取得された電圧定在波比が所望の規格値以下か否かを判定する。なお、電圧定在波比の所望の規格値は、入力部 1 1 0 による入力等によってシミュレーション結果判定部 1 3 1 c に取得される。

【 0 0 4 0 】

50

シミュレーション結果判定部 1 3 1 c による判定結果は、解析結果ファイル 1 2 1 に格納される。

整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 は、整合回路を付加したアンテナモデルのアンテナ特性を実施形態に従った計算方法を用いて解析する。

【 0 0 4 1 】

整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 による解析は、整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性が所望の規格値を満たさない場合に実行される。

実施形態によっては、シミュレーション結果判定部 1 3 1 c による判定の結果、対象となる周波数での電圧定在波比が所望の規格値を越える場合に、整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 による解析が実行される。

10

【 0 0 4 2 】

また、実施形態によっては、シミュレーション結果判定部 1 3 1 c による判定結果に関係なく、整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 による解析が実行される。例えば、アンテナ素子特性解析部 1 3 1 以外の電磁界シミュレータによって、整合回路を含まないアンテナモデルが作成され、作成されたアンテナモデルのアンテナ特性が得られている場合には、得られているアンテナ特性を用いて整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 による解析が実行される。

【 0 0 4 3 】

整合回路付きアンテナ特性解析部 1 3 2 には、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a、アンテナ特性計算部 1 3 2 b、および計算結果判定部 1 3 2 c が含まれる。

20

整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、解析結果ファイル 1 2 1 に格納された整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性をインポートする。すなわち、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、対象となる周波数ごとの放射効率、アンテナインピーダンス、および S パラメータをインポートする。また、実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、入力部 1 1 0 により入力された対象となる周波数ごとの放射効率、アンテナインピーダンス、および S パラメータをインポートする。

【 0 0 4 4 】

整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、インポートされた S パラメータに基づいて、整合回路の回路構成を算出する。また、実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、入力部 1 1 0 により入力された整合回路の回路構成のデータを取得する。

30

【 0 0 4 5 】

整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、算出または取得された回路構成に従って、サイズや耐圧等の使用条件に適合する、整合回路を構成する整合素子を決定する。サイズや耐圧等の使用条件のデータは、入力部 1 1 0 による入力等によって予め与えられる。

【 0 0 4 6 】

実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、整合素子データファイル 1 2 3 に格納された整合素子のデータを参照することによって、整合回路を構成する整合素子を決定する。また、実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、入力部 1 1 0 から入力された整合素子のデータに基づいて、使用条件に適合する整合素子を決定する。

40

【 0 0 4 7 】

整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、決定された整合素子の静電容量またはインダクタンスに加えて、寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と損失抵抗とを取得する。

【 0 0 4 8 】

寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と損失抵抗とは、実施形態によっては、整合素子データファイル 1 2 3 に格納された該当する整合素子のデータを参照することによって取得される。また、実施形態によっては、入力 1 1 0 から入力されることによって、整合

50

素子の寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と損失抵抗とが取得される。

【 0 0 4 9 】

このように、実施形態では、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合回路付きのアンテナモデルが整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a によって作成される。また、作成された整合回路を構成する整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む各値は、整合素子データファイル 1 2 3 から取得され、または入力部 1 1 0 からの入力により指定される。

【 0 0 5 0 】

したがって、実施形態では、整合回路を構成する各整合素子の静電容量またはインダクタンスに加えて、寄生リアクタンスおよび損失抵抗の各モデルを個別に作成したり、それらの値を個別に設定したりする必要がない。このため、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きアンテナモデルを迅速かつ効率的に作成することができる。

10

【 0 0 5 1 】

アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により作成された整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を計算する。実施形態では、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加えた整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションによらないで計算する。

【 0 0 5 2 】

計算されるアンテナ特性には、Sパラメータ、放射効率、およびトータル効率等の整合回路を付加したアンテナモデルの整合状態を表すパラメータと、整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力とが含まれる。

20

【 0 0 5 3 】

実施形態に従った、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加えた整合回路が付加されたアンテナモデルのアンテナ特性の計算方法を以下に説明する。

説明の前提として、実施形態に従ったアンテナ特性の計算に用いる各パラメータをまず説明する。

【 0 0 5 4 】

図 2 は、実施形態に従ったアンテナ特性の計算に用いる各パラメータの説明図である。

30

図 2 に示すように、実施形態に従った整合回路付きアンテナモデルの等価回路 2 0 0 には、波源 2 1 0、整合回路 2 2 0、およびアンテナ 2 3 0 が含まれる。

図 2 に示される Z_0 は、波源 2 1 0 の内部インピーダンスである。波源 2 1 0 の内部インピーダンス Z_0 は、例えば 50 オーム () である。

【 0 0 5 5 】

図 2 に示される R_m は、整合回路 2 2 0 を構成する整合素子の損失抵抗である。整合素子のリアクタンスを X_m とすると、整合素子のインピーダンス Z_m は、次の式 (2) で表される。

【 0 0 5 6 】

【数 2】

$$Z_m = R_m + jX_m \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

40

【 0 0 5 7 】

図 2 に示される R_r は、アンテナ 2 3 0 の放射抵抗である。また、 R_L は、アンテナ 2 3 0 の損失抵抗である。整合回路を含まないアンテナ 2 3 0 単体のインピーダンスを Z_a とすると、アンテナインピーダンス Z_a は、アンテナの放射抵抗 R_r およびアンテナの損失抵抗 R_L の関数であり、次の式 (3) で表される。

【 0 0 5 8 】

【数3】

$$Z_a(R_r, R_L) = R_a + jX_a \quad \dots (3)$$

【0059】

式(3)中の R_a は、アンテナインピーダンス Z_a の実数部であり、 X_a は、アンテナインピーダンス Z_a の虚数部である。

【0060】

前述したように、実施形態では、アンテナインピーダンス Z_a の実数部 R_a および虚数部 X_a は、既知の値である。すなわち、アンテナインピーダンスの実数部 R_a および虚数部 X_a は、実施形態によっては、シミュレーション解析部 131b のシミュレーションにより求められ、また、実施形態によっては、入力部 110 による入力により取得される。

10

【0061】

図2中の P_{in} は、波源 210 から送り出される電力である。 P_r は、反射電力である。 P_{net} は、整合回路 220 の位置でアンテナ 230 側に入る正味の電力であり、関係式 $P_{net} = P_{in} - P_r$ で表される。

【0062】

P_m は、整合回路 220 に含まれる損失によって失われる電力である。 P_{ant} は、アンテナ 230 に入る正味の電力であり、関係式 $P_{ant} = P_{net} - P_m$ で表される。

P_L は、誘電損および導体損等のアンテナ 230 に含まれる損失によって失われる電力である。 P_{rad} は、放射電力であり、関係式 $P_{rad} = P_{ant} - P_L$ で表される。

20

【0063】

実施形態では、放射効率 η とは、整合回路 220 の挿入位置でアンテナ 230 側へ入る電力 P_{net} とアンテナ 230 からの放射電力 P_{rad} との比を指し、次の式(4)で表される。

【0064】

【数4】

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{net}} \quad \dots (4)$$

【0065】

なお、前述したとおり、整合回路を含まないアンテナモデルでは、整合回路に含まれる損失を考慮する必要がないので、放射効率 η は、アンテナに入る正味の電力 P_{ant} とアンテナからの放射電力 P_{rad} との比ということになる。

30

【0066】

また、トータル効率 η_t とは、全入力電力 P_{in} とアンテナ 230 からの放射電力 P_{rad} との比を指し、次の式(5)で表される。

【0067】

【数5】

$$\eta_t = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \quad \dots (5)$$

40

【0068】

図2に示して前述した各パラメータの説明を前提として、実施形態に従ったアンテナ特性の計算方法を、整合回路 220 として1つの整合素子がアンテナモデルに直列に挿入されたケース、整合回路 220 として1つの整合素子がアンテナモデルに並列に挿入されたケース、および整合回路 220 として3つの整合素子がアンテナモデルにパイ()型に挿入されたケースを一例として説明する。

【0069】

図3は、整合回路として1つの整合素子が直列に挿入されたケースの回路モデル図である。

図3では、整合回路 220 として、1つの整合素子 320 がアンテナモデルの等価回路

50

中に直列に挿入されている。

【 0 0 7 0 】

まず、実施形態に従った、整合回路 2 2 0 の挿入位置における入力側の反射係数 S_{11} の計算について説明する。反射係数 S_{11} は、次の式(6)により表わすことができる。

【 0 0 7 1 】

【数 6】

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

10

【 0 0 7 2 】

但し、式(6)中の Z_{in} は、波源 2 1 0 から見た入力インピーダンスであり、図 3 に示した等価回路モデルにおいては、次の式(7)で表される。

【 0 0 7 3 】

【数 7】

$$Z_{in} = Z_a + Z_m \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

【 0 0 7 4 】

ここで、アンテナインピーダンス Z_a の実数部 R_a および虚数部 X_a は、前述したように既知の値である。

20

【 0 0 7 5 】

また、前述したように、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、整合回路 2 2 0 を構成する整合素子の静電容量またはインダクタンスに加えて、寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と損失抵抗とを取得している。整合素子の静電容量および寄生インダクタンス、または整合素子のインダクタンスおよび寄生静電容量は、整合素子のリアクタンス X_m に相当する。このため、整合回路 2 2 0 を構成する整合素子のリアクタンス X_m および損失抵抗 R_m についても既知の値である。

【 0 0 7 6 】

したがって、式(7)における Z_a および Z_m は、既知の値であるため、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、図 3 に示したアンテナモデルの反射係数 S_{11} を式(6)によって計算できる。

30

【 0 0 7 7 】

次に、実施形態に従った放射効率 の計算について説明する。

整合回路を含まないアンテナモデルにおけるアンテナの放射効率 η_a は、次の式(8)により表される。

【 0 0 7 8 】

【数 8】

$$\eta_a = \frac{P_{rad}}{P_{net}} = \frac{P_{rad}}{P_{ant}} \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

40

【 0 0 7 9 】

整合回路を含まないアンテナの放射効率 η_a は、前述したように既知の値である。すなわち、整合回路を含まないアンテナモデルの放射効率 η_a は、実施形態によっては、シミュレーション解析部 1 3 1 b のシミュレーションにより求められ、また、実施形態によっては、入力部 1 1 0 により入力される。

【 0 0 8 0 】

P_{ant} / P_{net} は、次の式(9)により表される。

【 0 0 8 1 】

【数 9】

$$\frac{P_{\text{ant}}}{P_{\text{net}}} = \frac{R_a}{R_m + R_a} \quad \dots (9)$$

【0082】

式(8)および式(9)を前提にすると、整合素子320を付加したアンテナモデルにおけるアンテナの放射効率 は、次の式(10)のように表すことができる。

【数 10】

$$\eta = \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{net}}} = \frac{P_{\text{ant}}}{P_{\text{net}}} \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{ant}}} = \frac{R_a}{R_m + R_a} \eta_a \quad \dots (10)$$

10

【0083】

式(10)中の η_a 、 R_a 、および R_m は、前述したように既知の値である。したがって、アンテナ特性計算部132bは、整合素子320を付加したアンテナモデルのアンテナの放射効率 を式(10)によって計算できる。

【0084】

さらに、実施形態に従ったトータル効率 η_t の計算について説明する。整合回路を付加したアンテナモデルのトータル効率 η_t は、次の式(11)のように表される。

20

【数 11】

$$\eta_t = \eta (1 - |S_{11}|^2) \quad \dots (11)$$

【0085】

式(11)中のアンテナの放射効率 および反射係数 S_{11} は、前述した計算により既知の値である。したがって、アンテナ特性計算部132bは、整合素子320を付加したアンテナモデルのトータル効率 η_t を式(11)によって計算できる。

【0086】

図4は、整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースの回路モデル図である。

30

図4では、整合回路220として、1つの整合素子420がアンテナモデルの等価回路中に並列に挿入されている。

【0087】

まず、実施形態に従った、整合回路220の挿入位置における入力側の反射係数 S_{11} の計算について説明する。

反射係数 S_{11} は、前述した式(6)によって計算することができる。ただし、図4に示したアンテナモデルの等価回路では、式(6)中に記載される、波源210から見た入力インピーダンス Z_{in} は、次の式(12)で示すように表される。

【0088】

40

【数 12】

$$Z_{in} = \frac{Z_m Z_a}{Z_m + Z_a} \quad \dots (12)$$

【0089】

R_a 、 X_a 、 X_m 、および R_m は、前述したように全て既知の値であるため、式(12)で示される Z_{in} を得ることができる。したがって、アンテナ特性計算部132bは、式(6)によって図4に示したアンテナモデルの反射係数 S_{11} を計算できる。

【0090】

50

次に、実施形態に従った放射効率 の計算について説明する。

図 4 に示したアンテナモデルでは、 P_{ant} / P_{net} は、次の式(13)により表される。

【 0 0 9 1 】

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned} \frac{P_{ant}}{P_{net}} &= \frac{I_a^2 R_a}{I_m^2 R_m + I_a^2 R_a} \\ &= \frac{\frac{V^2}{R_a^2 + X_a^2} R_a}{\frac{V^2}{R_m^2 + X_m^2} R_m + \frac{V^2}{R_a^2 + X_a^2} R_a} \\ &= \frac{(R_m^2 + X_m^2) R_a}{(R_a^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_a} \quad \dots (13) \end{aligned}$$

10

20

【 0 0 9 2 】

なお、図 4 に示すとおり、式(13)中の I_a は、アンテナ 2 3 0 に流れる電流であり、 I_m は、整合素子 4 2 0 に流れる電流である。また、図 4 に示すとおり、式(13)中の V は、アンテナ 2 3 0 および整合素子 4 2 0 の両端の電圧である。

【 0 0 9 3 】

式(8)および式(13)を前提にすると、図 4 に示したアンテナモデルのアンテナの放射効率 は、次の式(14)のように表すことができる。

【 0 0 9 4 】

【 数 1 4 】

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{net}} = \frac{P_{ant}}{P_{net}} \frac{P_{rad}}{P_{ant}} = \frac{(R_m^2 + X_m^2) R_a}{(R_a^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_a} \eta_a \quad \dots (14)$$

30

【 0 0 9 5 】

式(14)中の R_a 、 X_a 、 X_m 、および R_m は、前述したように既知の値である。したがって、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、図 4 に示したアンテナモデルのアンテナの放射効率 を式(14)によって計算できる。

【 0 0 9 6 】

さらに、トータル効率 η_t は、前述した式(11)のように表される。式(11)中のアンテナの放射効率 および反射係数 S_{11} は、前述した計算により既知の値である。したがって、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、整合素子 4 2 0 を付加したアンテナモデルのアンテナのトータル効率 η_t を式(11)によって計算できる。

40

【 0 0 9 7 】

以上のように、実施形態に従えば、整合回路 2 2 0 を構成する整合素子がアンテナモデルに直列に挿入されたケースであっても、並列に挿入されたケースであっても、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加えた整合回路付のアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションによらないで計算することができる。

【 0 0 9 8 】

なお、整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子がアンテナモデルの等価回路に挿入されたケースを図 3 および図 4 を参照しながら説明した。しかしながら、整合回路 2 2 0 として

50

複数の整合素子がアンテナモデルの等価回路に挿入されるケースについても、1つの整合素子が挿入されたケースと同様に計算可能である。その一例として、整合回路220として3つの整合素子がパイ()型にアンテナモデルの等価回路に挿入されたケースを以下に説明する。

【0099】

図5は、整合回路として3つの整合素子がパイ型に挿入されたケースの回路モデル図である。

図5では、整合回路220として、3つの整合素子521～523がアンテナモデルの等価回路中にパイ()型に挿入されている。

【0100】

図5中の X_{m1} は、整合素子521のリアクタンスである。 R_{m1} は、整合素子521の損失抵抗である。 X_{m2} は、整合素子522のリアクタンスである。 R_{m2} は、整合素子522の損失抵抗である。 X_{m3} は、整合素子523のリアクタンスである。 R_{m3} は、整合素子523の損失抵抗である。

【0101】

まず、実施形態に従った、整合回路220の挿入位置における入力側の反射係数 S_{11} の計算について説明する。

反射係数 S_{11} は、前述した式(6)により表わすことができる。そして、図5に示した回路モデルにおける式(6)中の Z_{in} は、図3および図4を用いて前述した整合回路として1つの整合素子が挿入されたケースにおける式(7)および式(12)と同様の計算方法により得ることができる。

【0102】

すなわち、整合素子521のインピーダンスを Z_{m1} 、整合素子522のインピーダンスを Z_{m2} 、および整合素子523のインピーダンスを Z_{m3} とすると、 Z_{m1} 、 Z_{m2} および Z_{m3} は、 $Z_{m1} = R_{m1} + jX_{m1}$ 、 $Z_{m2} = R_{m2} + jX_{m2}$ 、および $Z_{m3} = R_{m3} + jX_{m3}$ とそれぞれ表わすことができる。図6は、図5に示した等価回路を Z_{m1} 、 Z_{m2} および Z_{m3} を用いて表した等価回路図である。

【0103】

図6において、 Z_a および Z_{m1} の和 Z_{am1} は、前述した1つの整合素子420が並列に挿入されたケースの式(12)と同様に次の式(15)のように表される。

【0104】

【数15】

$$Z_{am1} = \frac{Z_{m1}Z_a}{Z_{m1} + Z_a} \quad \dots (15)$$

【0105】

図7は、図6に示した等価回路を Z_{am1} を用いて表した等価回路図である。

図7において、 Z_{am1} および Z_{m2} の和 Z_{am2} は、前述した1つの整合素子320が直列に挿入されたケースの式(7)と同様に次の式(16)のように表される。

【0106】

【数16】

$$Z_{am2} = \frac{Z_{m1}Z_a}{Z_{m1} + Z_a} + Z_{m2} \quad \dots (16)$$

【0107】

図8は、図7に示した等価回路を Z_{am2} を用いて表した等価回路図である。

図8において、 Z_{am2} および Z_{m3} の和 Z_{am3} 、すなわち式(6)中の Z_{in} は、前述した1つの整合素子420が並列に挿入されたケースの式(12)と同様に次の式(17)のように表さ

10

20

30

40

50

れる。

【 0 1 0 8 】

【 数 1 7 】

$$Z_{am3} = \frac{Z_{am2} Z_{m3}}{Z_{m3} + Z_{am2}} \quad \dots (17)$$

【 0 1 0 9 】

式(17)における Z_{am2} および Z_{m3} は、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により取得された既知の値から構成される。したがって、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、図 5 に示したアンテナモデルの反射係数 S_{11} を式(6)によって計算できる。

10

【 0 1 1 0 】

次に、実施形態に従った放射効率 の計算について説明する。

図 5 に示すアンテナモデルにおける放射効率 は、次の式(18)により表すことができる。

【 0 1 1 1 】

【 数 1 8 】

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{|i_r|^2 R_r}{|i_{m3}|^2 R_{m3} + |i_{m2}|^2 R_{m2} + |i_{m1}|^2 R_{m1} + |i_a|^2 R_a} \\ &= \frac{|i_a|^2 R_a}{|i_{m3}|^2 R_{m3} + |i_{m2}|^2 R_{m2} + |i_{m1}|^2 R_{m1} + |i_a|^2 R_a} \frac{|i_r|^2 R_r}{|i_a|^2 R_a} \\ &= \frac{|i_a|^2 R_a}{|i_{m3}|^2 R_{m3} + |i_{m2}|^2 R_{m2} + |i_{m1}|^2 R_{m1} + |i_a|^2 R_a} \eta_a \quad \dots (18) \end{aligned}$$

20

30

【 0 1 1 2 】

ここで、式(18)中の i_r は、放射抵抗 R_r に流れる電流である。また、 i_a は、図 6 に示すようにアンテナ 2 3 0 に流れる電流であり、 i_{m1} は、整合素子 5 2 1 に流れる電流であり、 i_{m2} は、整合素子 5 2 2 に流れる電流であり、 i_{m3} は、整合素子 5 2 3 に流れる電流である。

【 0 1 1 3 】

式(18)に示すように、放射効率 は、整合素子を含まないアンテナモデルのアンテナ放射効率 η_a を用いて表すことができ、放射抵抗 R_a は、既知の値であるから、電流 i_r を求める必要はない。また、式(18)中の電流 i_{m1} および i_{m2} は、次のように表すことができる。

40

【 0 1 1 4 】

まず、図 8 において、整合素子 5 2 1、整合素子 5 2 2 およびアンテナ 2 0 3 の和に流れる電流を i_{am2} は、次の式(19)により表される。

【 0 1 1 5 】

【 数 1 9 】

$$i_{am2} = \frac{Z_{m3}}{Z_{am2}} i_{m3} \quad \dots (19)$$

【 0 1 1 6 】

50

図7を参照すると明らかなように、この i_{am2} は、整合素子 5 2 2 に流れる電流 i_{m2} と等しい。したがって、整合素子 5 2 2 に流れる電流 i_{m2} は、次の式(20)により表される。

【 0 1 1 7 】

【数 2 0】

$$i_{m2} = \frac{Z_{m3}}{Z_{am2}} i_{m3} \quad \dots (20)$$

【 0 1 1 8 】

また、図6において、整合素子 5 2 1 に流れる電流 i_{m1} およびアンテナ 2 0 3 に流れる電流 i_a は、次の式(21)および式(22)によりそれぞれ表される。

【 0 1 1 9 】

【数 2 1】

$$i_{m1} = \frac{Z_a}{Z_{m1} + Z_a} i_{m2} = \frac{Z_a}{Z_{m1} + Z_a} \frac{Z_{am3}}{Z_{am2}} i_{m3} \quad \dots (21)$$

【 0 1 2 0 】

【数 2 2】

$$i_a = \frac{Z_{m1}}{Z_{m1} + Z_a} i_{m2} = \frac{Z_{m1}}{Z_{m1} + Z_a} \frac{Z_{am3}}{Z_{am2}} i_{m3} \quad \dots (22)$$

【 0 1 2 1 】

以上の式(20)～式(22)を式(18)に代入すると、式(18)の分母および分子の両方に存在する i_{m3} を消去することができる。そして、消去後の式(18)に存在する各値は、既知であることから、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、図5に示したアンテナモデルの放射効率を式(18)により計算することができる。

【 0 1 2 2 】

そして、図5に示したアンテナモデルのトータル効率 η_t については、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、式(11)により既知の値から計算することができる。

このように、アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加えた整合回路が付加されたアンテナモデルのアンテナ特性を上述した計算方法に従って計算する。すなわち、実施形態では、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を、整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性を用いてシミュレーションによらずに計算する。

【 0 1 2 3 】

したがって、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を短時間で取得することができ、所望のアンテナ設計を効率的に行なうことができる。

【 0 1 2 4 】

アンテナ特性計算部 1 3 2 b は、整合素子ごとの消費電力について、既知の値である波源 1 1 0 の電圧値および整合素子のインピーダンスの値等を用いて計算する。

計算結果判定部 1 3 2 c は、整合回路付きのアンテナモデルが所望の規格を満足するかどうかを、アンテナ特性計算部 1 3 2 b により計算されたトータル効率を用いて判定する。

【 0 1 2 5 】

計算結果判定部 1 3 2 c による判定にトータル効率が用いられる理由を以下に説明する。その説明として、整合回路 2 2 0 として1つの整合素子が直列に挿入されたケース、および整合回路 2 2 0 として1つの整合素子が並列に挿入されたケースを一例として、整合

10

20

30

40

50

回路 2 2 0 を構成する整合素子に含まれる損失抵抗 R_m とアンテナ特性である反射係数 S_{11} 、放射効率、およびトータル放射効率 η_t との関係の説明する。

【 0 1 2 6 】

まず、図 3 に示した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 3 2 0 が直列に挿入されたケースを説明する。なお、説明を明確にするために、アンテナ 2 3 0 に損失がない ($R_L = 0$) と仮定して説明する。

【 0 1 2 7 】

図 3 に示したモデル図において、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係は、以下のように説明できる。

整合素子 3 2 0 に含まれる損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} の絶対値 $|S_{11}|$ との関係の説明するために、 $|S_{11}|^2$ を計算すると、 $|S_{11}|^2$ は、前述した式 (2)、式 (3)、および式 (6) を用いて次の式 (23) のように表される。

【 0 1 2 8 】

【 数 2 3 】

$$|S_{11}|^2 = \frac{R_m^2 + 2(R_r - Z_0)R_m + (R_r - Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2}{R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + (R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2}$$

$$\equiv \frac{R_m^2 + bR_m + c}{R_m^2 + \beta R_m + \gamma} \quad \dots (23)$$

【 0 1 2 9 】

ただし、式 (23) 中の b 、 c 、および γ は、次の式 (24) ~ 式 (27) のとおりである。

【 0 1 3 0 】

【 数 2 4 】

$$b = 2(R_r - Z_0) \quad \dots (24)$$

【 0 1 3 1 】

【 数 2 5 】

$$c = (R_r - Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2 \quad \dots (25)$$

【 0 1 3 2 】

【 数 2 6 】

$$\beta = 2(R_r + Z_0) \quad \dots (26)$$

【 0 1 3 3 】

【 数 2 7 】

$$\gamma = (R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2 \quad \dots (27)$$

【 0 1 3 4 】

損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} の絶対値 $|S_{11}|$ との関係の説明するために $|S_{11}|^2$ を R_m で微分すると、次の式 (28) のように表される。

【 0 1 3 5 】

10

20

30

40

【数28】

$$\begin{aligned} \frac{\partial |S_{11}|^2}{\partial R_m} &= \frac{(2R_m + b)(R_m^2 + \beta R_m + \gamma) - (2R_m + \beta)(R_m^2 + bR_m + c)}{(R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \\ &= 4Z_0 \frac{R_m^2 + 2R_r R_m + [R_r^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2]}{(R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \\ &= 4Z_0 \frac{F(R_m)}{(R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \quad \dots (28) \end{aligned}$$

10

【0136】

ただし、式(28)中の $F(R_m)$ は、次の式(29)に示すとおりである。

【0137】

【数29】

$$F(R_m) \equiv R_m^2 + 2R_r R_m + [R_r^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2] \quad \dots (29)$$

20

【0138】

式(28)の分母は常に正の値であるから、 $F(R_m)$ と R_m の関係を調べればよい。

$F(R_m)$ は、 R_m についての2次式になっている。また、 R_m^2 の係数は、正の値であるから、 $F(R_m)$ は下向きに凸状の放物線を描く。そして、 $F(R_m)$ の第3項である $[R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2]$ が正の値になるか負の値になるかによって、 $F(R_m)$ の特性が変わる。

【0139】

まず、 $R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 > 0$ である場合、 $F(R_m)$ は、常に正の値になる。したがって、 R_m が大きくなるに従って $|S_{11}|$ は大きくなる、すなわち悪くなる。

一方、 $R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 < 0$ である場合、図9に示すように、 $F(0)$ は、常に負の値になる。そして、 $F(R_m)$ は、 R_m が0から大きくなるに従って、負の値から正の値に変化する。また、図10に示すように、 $|S_{11}|$ は、 R_m が0から大きくなるに従って、小さくなった後大きくなる。すなわち、 $|S_{11}|$ は、良くなった後悪くなる。

30

【0140】

R_m と $|S_{11}|$ との関係の関係をより明確に説明するために $X_a + X_m$ を0に近似すると、 $R_a^2 - Z_0^2 > 0$ である場合、すなわち、 $R_a > Z_0$ である場合、 R_m が大きくなるに従って、 $|S_{11}|$ は大きくなる、すなわち悪くなる。また、 $R_a^2 - Z_0^2 < 0$ である場合、すなわち、 $R_a < Z_0$ である場合、 R_m が大きくなるに従って、 $|S_{11}|$ は、良くなった後悪くなる。

【0141】

したがって、図3に示したような整合回路220として1つの整合素子320が直列に挿入されたケースでは、整合素子320の損失抵抗 R_m が大きくなるに従って整合は良くなる場合も悪くなる場合もあると説明できる。

40

【0142】

次に、図3に示したモデル図において、整合素子320の損失抵抗 R_m と放射効率との関係は以下のように説明できる。

P_{rad}/P_{net} 整合に依存しない放射効率 は、次の式(30)のように表される。

【0143】

【数 3 0】

$$\eta = \frac{I_r^2 R_r}{I_r^2 R_m + I_r^2 R_r}$$

$$= \frac{R_r}{R_m + R_r} \quad \dots (30)$$

【 0 1 4 4 】

10

なお、図 3 に示すように、式(30)中の I_r は、整合素子 3 2 0 およびアンテナ 2 3 0 に流れる電流を指す。

式(30)より、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m が増えると、放射効率 η は、小さくなる、すなわち悪くなることがわかる。

【 0 1 4 5 】

さらに、図 3 に示したモデル図において、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係は以下のように説明できる。

トータル効率 η_t を計算するために、 $1 - |S_{11}|^2$ を計算すると、 $1 - |S_{11}|^2$ は、次の式(31)のように表すことができる。

【 0 1 4 6 】

20

【数 3 1】

$$1 - |S_{11}|^2 = \frac{4(R_m + R_r)Z_0}{(R_m + R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2} \quad \dots (31)$$

【 0 1 4 7 】

式(30)および式(31)より、トータル効率 η_t は、次の式(32)のように表すことができる。

【 0 1 4 8 】

【数 3 2】

30

$$\eta_t = \eta(1 - |S_{11}|^2)$$

$$= \frac{R_r}{R_m + R_r} 4Z_0 \frac{R_m + R_r}{R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + (R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2}$$

$$= \frac{4Z_0 R_r}{R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + (R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2} \quad \dots (32)$$

【 0 1 4 9 】

式(32)において、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m は、分母にのみ含まれる。したがって、式(32)を参照すると、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m が増えると、トータル効率 η_t は、小さくなる、すなわち悪くなることがわかる。

40

【 0 1 5 0 】

以上の説明のように、図 3 に示したような整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 3 2 0 が直列に挿入されたケースでは、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m が増えると、整合は悪くなる場合も良くなる場合もあると説明できる。また、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m が増えると、たとえ整合が良くなったとしても、放射効率 η およびトータル効率 η_t が悪くなると説明できる。

【 0 1 5 1 】

次に、図 4 に示した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 4 2 0 が並列に挿入されたケ

50

ースについて説明する。なお、説明を明確にするために、アンテナ 2 3 0 に損失がない ($R_L = 0$) と仮定して説明する。

【 0 1 5 2 】

まず、図 4 に示したモデル図において、整合素子 4 2 0 の損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係は、以下のように説明できる。

並列に 1 つの整合素子 4 2 0 を実装した場合の反射係数 S_{11} は、次の式 (33) のように表すことができる。

$$S_{11} = \frac{1 - Z_0 Y_{in}}{1 + Z_0 Y_{in}} \quad \dots (33)$$

10

【 0 1 5 4 】

ここで、式 (33) 中の Y_{in} は、次の式 (34) ~ 式 (36) に示すとおりである。

【 0 1 5 5 】

【 数 3 4 】

$$Y_{in} = \frac{1}{Z_{in}} \quad \dots (34)$$

$$= Y_r - jY_i$$

20

【 0 1 5 6 】

【 数 3 5 】

$$Y_r = \frac{R_r}{R_r^2 + X_a^2} + \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2} = \frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{|Z_m|^2} \quad \dots (35)$$

【 0 1 5 7 】

【 数 3 6 】

$$Y_i = \frac{X_a}{R_r^2 + X_a^2} + \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2} = \frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{|Z_m|^2} \quad \dots (36)$$

30

【 0 1 5 8 】

なお、 Y_r は、アンテナ 2 3 0 および整合素子 4 2 0 を合計した入力アドミッタンスの実数部である。また、 Y_i は、アンテナ 2 3 0 および整合素子 4 2 0 を合計した入力アドミッタンスの虚数部である。

【 0 1 5 9 】

整合素子 4 2 0 に含まれる損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} の絶対値 $|S_{11}|$ との関係を説明するために、まず $|S_{11}|^2$ を計算すると、 $|S_{11}|^2$ は、次の式 (37) のように表される。

40

【 0 1 6 0 】

【数 3 7】

$$\begin{aligned}
|S_{11}|^2 &= \frac{(1 - Z_0 Y_r)^2 + Z_0^2 Y_i^2}{(1 + Z_0 Y_r)^2 + Z_0^2 Y_i^2} \\
&= \frac{1 - 2Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{|Z_m|^2} \right) + Z_0^2 \left(\frac{1}{|Z_a|^2} + \frac{1}{|Z_m|^2} + 2 \frac{R_r R_m + X_a X_m}{|Z_a|^2 |Z_m|^2} \right)}{1 + 2Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{|Z_m|^2} \right) + Z_0^2 \left(\frac{1}{|Z_a|^2} + \frac{1}{|Z_m|^2} + 2 \frac{R_r R_m + X_a X_m}{|Z_a|^2 |Z_m|^2} \right)} \\
&= \frac{|Z_a|^2 |Z_m|^2 - 2Z_0 |Z_m|^2 R_r - 2Z_0 |Z_a|^2 R_m + Z_0^2 |Z_m|^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 R_r R_m + 2Z_0^2 X_a X_m}{|Z_a|^2 |Z_m|^2 + 2Z_0 |Z_m|^2 R_r + 2Z_0 |Z_a|^2 R_m + Z_0^2 |Z_m|^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 R_r R_m + 2Z_0^2 X_a X_m} \\
&= \frac{\left(|Z_a|^2 - 2Z_0 R_r + Z_0^2 \right) R_m^2 + 2 \left(Z_0^2 R_r - Z_0 |Z_a|^2 \right) R_m + |Z_a|^2 X_m^2 - 2Z_0 R_r X_m^2 + Z_0^2 X_m^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 X_a X_m}{\left(|Z_a|^2 + 2Z_0 R_r + Z_0^2 \right) R_m^2 + 2 \left(Z_0^2 R_r + Z_0 |Z_a|^2 \right) R_m + |Z_a|^2 X_m^2 + 2Z_0 R_r X_m^2 + Z_0^2 X_m^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 X_a X_m}
\end{aligned}$$

10

$$\equiv \frac{aR_m^2 + bR_m + c}{\alpha R_m^2 + \beta R_m + \gamma} \quad \dots (37)$$

【0 1 6 1】

20

ただし、式(37)中のa、b、c、 α 、 β 、 γ 、および Z_0 は、それぞれ式(38)～式(43)に示すとおりである。

【0 1 6 2】

【数 3 8】

$$a = |Z_a|^2 - 2Z_0 R_r + Z_0^2 \quad \dots (38)$$

【0 1 6 3】

【数 3 9】

$$b = 2 \left(Z_0^2 R_r - Z_0 |Z_a|^2 \right) \quad \dots (39)$$

30

【0 1 6 4】

【数 4 0】

$$c = |Z_a|^2 X_m^2 - 2Z_0 R_r X_m^2 + Z_0^2 X_m^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 X_a X_m \quad \dots (40)$$

【0 1 6 5】

【数 4 1】

$$\alpha = |Z_a|^2 + 2Z_0 R_r + Z_0^2 \quad \dots (41)$$

40

【0 1 6 6】

【数 4 2】

$$\beta = 2 \left(Z_0^2 R_r + Z_0 |Z_a|^2 \right) \quad \dots (42)$$

【0 1 6 7】

【数 4 3】

$$\gamma = |Z_a|^2 X_m^2 + 2Z_0 R_r X_m^2 + Z_0^2 X_m^2 + Z_0^2 |Z_a|^2 + 2Z_0^2 X_a X_m \quad \dots (43)$$

【0 1 6 8】

50

R_m と $|S_{11}|$ との関係を説明するために $|S_{11}|^2$ を R_m で微分すると、次の式(44)のように表される。

【 0 1 6 9 】

【 数 4 4 】

$$\begin{aligned} \frac{\partial |S_{11}|^2}{\partial R_m} &= \frac{(2aR_m + b)(\alpha R_m^2 + \beta R_m + \gamma) - (2\alpha R_m + \beta)(aR_m^2 + bR_m + c)}{(\alpha R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \\ &= \frac{2a\alpha R_m^3 + b\alpha R_m^2 + 2a\beta R_m^2 + b\beta R_m + 2a\gamma R_m + b\gamma - 2a\alpha R_m^3 - a\beta R_m^2 - 2b\alpha R_m^2 - \beta b R_m - 2c\alpha R_m - c\beta}{(\alpha R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \\ &= \frac{(a\beta - b\alpha)R_m^2 + 2(a\gamma - c\alpha)R_m + b\gamma - c\beta}{(\alpha R_m^2 + \beta R_m + \gamma)^2} \quad \dots (44) \end{aligned}$$

10

【 0 1 7 0 】

式(44)の分母は常に正であるから、分子と R_m との関係を調べればよい。また、式(44)の分子は、 R_m についての2次式になっている。

【 0 1 7 1 】

反射係数 S_{11} は、式(37)中の係数 a 、 b 、 c 、 α 、 β 、 γ 、および ϵ の相互の関係に従って、様々な振る舞いをするのが式(44)によりわかる。そこで、係数 a 、 b 、 c 、 α 、 β 、 γ 、および ϵ の相互の関係に従った、損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係を図11に示す。

20

【 0 1 7 2 】

図11は、整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係図である。

図11に示したとおり、損失抵抗 R_m が大きくなるに従って、反射係数 S_{11} は良くなる場合も悪くなる場合もある。

【 0 1 7 3 】

したがって、整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースでは、損失抵抗 R_m が大きくなるに従って整合は良くなる場合も悪くなる場合もあると説明できる。

【 0 1 7 4 】

次に、図4に示したモデル図において、整合素子420の損失抵抗 R_m と放射効率 η との関係は、以下のように説明できる。

30

P_{rad}/P_{net} 整合に依存しない放射効率 η は、次の式(45)のように表される。

【 0 1 7 5 】

【数45】

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{I_a^2 R_r}{I_m^2 R_m + I_a^2 R_r} \\
 &= \frac{\frac{V^2}{R_r^2 + X_a^2} R_r}{\frac{V^2}{R_m^2 + X_m^2} R_m + \frac{V^2}{R_r^2 + X_a^2} R_r} \\
 &= \frac{(R_m^2 + X_m^2) R_r}{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r} \quad \dots (45)
 \end{aligned}$$

【0176】

整合素子420の損失抵抗 R_m と放射効率 η との関係を説明するために、式(45)で表された η を R_m で微分すると、次の式(46)のように表される。

【0177】

【数46】

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \eta}{\partial R_m} &= \frac{2R_m R_r \{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r\} - \{2R_m R_r + (R_r^2 + X_a^2)\} (R_m^2 + X_m^2) R_r}{\{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r\}^2} \\
 &= \frac{R_m^2 R_r (R_r^2 + X_a^2) - R_r X_m^2 (R_r^2 + X_a^2)}{\{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r\}^2} \\
 &= \frac{(R_m^2 - X_m^2) (R_r^2 + X_a^2) R_r}{\{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r\}^2} \quad \dots (46)
 \end{aligned}$$

【0178】

式(46)において、分子に存在する $(R_m^2 - X_m^2)$ を除く部分は、常に正の値である。このため、 R_m が $|X_m|$ より大きい場合には、式(46)は正の値になり、 R_m が $|X_m|$ より小さい場合には、式(46)は負の値になる。

【0179】

すなわち、図12に示すように、整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースでは、放射効率 η は、整合素子の損失抵抗 R_m が大きくなるに従って小さくなり、損失抵抗 R_m が整合素子420のリアクタンスの絶対値 $|X_m|$ より大きくなるに従って大きくなる。

【0180】

ただし、整合回路220を構成する整合素子として現実的に選択される整合素子の損失抵抗 R_m は、整合素子のリアクタンスの絶対値 $|X_m|$ より小さい値である場合が多い。

したがって、整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースでは、整合素子420の損失抵抗 R_m が大きくなるに従って、放射効率 η は悪くなると説明できる。

【0181】

さらに、図4に示したモデル図において、整合素子420の損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係は以下のように説明できる。

トータル効率 η_t を計算するために、 $1 - |S_{11}|^2$ を計算すると、 $1 - |S_{11}|^2$ は、前述

10

20

30

40

50

の式(37)を用いて次の式(47)のように表すことができる。

【 0 1 8 2 】

【 数 4 7 】

$$1 - |S_{11}|^2 = 1 - \frac{(1 - Z_0 Y_r)^2 + Z_0^2 Y_i^2}{(1 + Z_0 Y_r)^2 + Z_0^2 Y_i^2}$$

$$= \frac{4Z_0 Y_r}{(1 + Z_0 Y_r)^2 + Z_0^2 Y_i^2} \quad \dots (47)$$

10

【 0 1 8 3 】

式(45)および式(47)より、トータル効率 η_t は、次の式(48)のように表すことができる。

【 0 1 8 4 】

【 数 4 8 】

$$\eta_t = \eta (1 - |S_{11}|^2)$$

$$= \frac{(R_m^2 + X_m^2) R_r}{(R_r^2 + X_a^2) R_m + (R_m^2 + X_m^2) R_r} \frac{4Z_0 Y_r}{1 + 2Z_0 Y_r + Z_0^2 Y_r^2 + Z_0^2 Y_i^2}$$

$$= \frac{R_r}{|Z_a|^2} \frac{4Z_0}{\left(1 + Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)\right)^2 + Z_0^2 \left(\frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)^2} \quad \dots (48)$$

20

【 0 1 8 5 】

整合素子 4 2 0 の損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係を示明するために、 η_t を R_m で微分すると、次の式(49)のように表される。

【 0 1 8 6 】

【 数 4 9 】

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial R_m} = - \frac{4Z_0 R_r}{|Z_a|^2} \frac{2 \left(1 + Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)\right) Z_0 \frac{X_m^2 - R_m^2}{(R_m^2 + X_m^2)^2} - 4Z_0^2 \left(\frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2}\right) \frac{X_m R_m}{(R_m^2 + X_m^2)^2}}{\left(\left(1 + Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)\right)^2 + Z_0^2 \left(\frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)^2\right)^2}$$

$$= \frac{8Z_0^2 R_r}{|Z_a|^4 |Z_m|^4} \frac{\left(|Z_a|^2 + Z_0 R_r\right) \left[R_m^2 + Z_0 \frac{|Z_a|^2 + 2X_a X_m R_m - X_m^2}{|Z_a|^2 + Z_0 R_r} R_m - X_m^2\right]}{\left(\left(1 + Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)\right)^2 + Z_0^2 \left(\frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2}\right)^2\right)^2} \quad \dots (49)$$

40

【 0 1 8 7 】

式(49)において、分子以外の項は、全て正の値であるから、式(49)中の分子の振る舞いを調べれば、整合素子 4 2 0 の損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係を示明できる。

【 0 1 8 8 】

50

式(49)の分子は、 R_m についての2次式になっている。また、 R_m^2 の係数は、正の値であるから、式(49)の分子は、下向きに凸状の放物線を描く。さらに R_m^2 が0であるとき、式(49)の分子の値は、 $-X_m^2$ となり、負の値になる。

【0189】

R_m と η / R_m との関係、および R_m と η との関係をそれぞれ模式的に示すと図13および図14のようになる。

図13および図14中の R_{m0} は、式(49)の分子、すなわち、 R_m に関する2次方程式の解であり、次の式(50)のように表される。

【0190】

【数50】

$$R_{m0} = \frac{-Z_0(|Z_a|^2 + 2X_a X_m) \pm \sqrt{Z_0^2(|Z_a|^2 + 2X_a X_m)^2 + 4(|Z_a|^2 + Z_0 R_r)^2 X_m^2}}{2(|Z_a|^2 + Z_0 R_r)} \dots (50)$$

10

【0191】

図14を参照すると、 R_m が R_{m0} より小さい場合には、 R_m が大きくなるに従って、トータル効率 η は悪くなる。また、 R_m が R_{m0} より大きくなるに従って、トータル効率 η は、改善していく。

【0192】

ただし、整合回路220を構成する整合素子として現実的に選択される整合素子の損失抵抗 R_m は、 R_{m0} より小さい値である。

20

したがって、整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースでは、整合素子420の損失抵抗 R_m が大きくなるに従って、トータル効率 η は悪くなると説明できる。

【0193】

以上の説明のように、図4に示したような整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースでは、整合素子420の損失抵抗 R_m が増えるに従って、整合は、悪くなる場合も良くなる場合もある。一方、放射効率 およびトータル効率 η は、整合回路220を構成する整合素子として現実的に選択される整合素子420の損失抵抗 R_m の範囲では、整合素子420の損失抵抗 R_m が増えるに従って、たとえ整合が良くなったとしても悪くなる。

30

【0194】

整合素子の損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} 、放射効率、およびトータル放射効率 η との関係について、整合回路220として1つの整合素子320が直列に挿入されたケース、および整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースを一例として説明した。しかしながら、整合素子の損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} 、放射効率、およびトータル放射効率 η との関係は、整合回路220を構成する整合素子の数および回路構成を変えたとしても同様である。

【0195】

すなわち、整合素子の損失抵抗 R_m が増えるに従って、整合は、悪くなる場合も良くなる場合もあるが、放射効率 およびトータル放射効率 η は、悪くなると説明できる。

40

したがって、整合回路を構成する整合素子の損失抵抗 R_m を考慮してアンテナ設計を行なう場合には、損失抵抗 R_m が増えるに従って悪くなる場合も良くなる場合もある反射係数 S_{11} は、整合回路を構成する整合素子を決定する基準としては適切でない。そこで、整合回路を構成する整合素子を決定する基準としては、放射効率 またはトータル放射効率 η を用いることが考えられる。

【0196】

実施形態では、計算結果判定部132cは、整合回路付きのアンテナモデルが所望の規格を満足するか否かを、波源210、整合回路220、およびアンテナ230を含むアンテナモデル全体の性能指標であるトータル効率 η を用いて判定する。

50

【 0 1 9 7 】

具体的には、実施形態によっては、計算結果判定部 1 3 2 c は、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により作成された整合回路付きのアンテナモデルのトータル効率 η_t が所望の規格値 η_r を満足しているか否かを判定する。トータル効率の所望の規格値 η_r は、入力部 1 1 0 による入力等によって取得される。

【 0 1 9 8 】

実施形態によっては、計算結果判定部 1 3 2 c は、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により選択された整合素子の損失抵抗が、トータル効率の所望の規格値 η_r から得られる許容上限値を満足しているか否かを判定する。

【 0 1 9 9 】

例えば、図 3 を参照しながら前述した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 3 2 0 が直列に挿入されたケースでは、トータル効率は、前述の式(32)によって表すことができる。そこで、トータル効率の所望の規格値 η_r から得られる、整合素子の損失抵抗の許容上限値は、式(32)中の η_t を η_r に置き換えた上で、式(32)を損失抵抗 R_m について解いた値で表される。

【 0 2 0 0 】

また、例えば、図 4 を参照しながら前述した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 4 2 0 が並列に挿入されたケースでは、トータル効率は、前述の式(48)によって表すことができる。そこで、トータル効率の所望の規格値 η_r から得られる、整合素子の損失抵抗の許容上限値は、式(48)中の η_t を η_r に置き換えた上で、式(48)を損失抵抗 R_m について解いた値で表される。

【 0 2 0 1 】

実施形態によっては、計算結果判定部 1 3 2 c は、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により選択された整合素子の損失抵抗 R_m が、トータル効率を基に算出される整合素子の損失抵抗 R_m の閾値を満足しているか否かを判定する。

【 0 2 0 2 】

すなわち、前述したように、整合素子の損失抵抗 R_m が増えるとトータル効率は悪くなるといえるので、損失抵抗 R_m がある値を越えると、整合素子を入れた後のトータル効率が整合素子を入れる前のトータル効率よりも悪くなるケースが起こり得る。そこで、計算結果判定部 1 3 2 c は、整合素子を入れた後のトータル効率が整合素子を入れる前のトータル効率よりも悪くなる時の整合素子の損失抵抗 R_m の値を閾値として設定し、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a により選択された整合素子の損失抵抗 R_m が設定された閾値より小さいか否かを判定する。

【 0 2 0 3 】

例えば、図 3 を参照しながら前述した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 3 2 0 が直列に挿入されたケースでは、整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m の閾値は以下のように設定することができる。

【 0 2 0 4 】

まず、整合回路 2 2 0 が付加されていないアンテナモデルのトータル効率 η_t は、アンテナ 2 3 0 に損失がないと仮定した場合には不整合のみから決まるので、次の式(51)により表すことができる。

【 0 2 0 5 】

【数 5 1】

$$\eta_t = 1 - |S_{11}|^2$$

$$= 4Z_0 \frac{R_r}{(R_r + Z_0)^2 + X_a^2} \dots (51)$$

10

20

30

40

50

【 0 2 0 6 】

一方、整合素子 3 2 0 を付加したアンテナモデルのトータル効率 η_t は、前述した式 (32) により表すことができる。

【 0 2 0 7 】

そこで、整合をとることによりトータル効率が良くなるための条件は、次の式 (52) に示すように、式 (32) と式 (51) とを比較することにより求めることができる。

【 0 2 0 8 】

【 数 5 2 】

$$4Z_0 \frac{R_r}{(R_r + Z_0)^2 + X_a^2} < 4Z_0 \frac{R_r}{R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + (R_r + Z_0)^2 + (X_a + X_m)^2} \quad 10$$

$$X_a^2 > R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + (X_a + X_m)^2$$

$$0 > R_m^2 + 2(R_r + Z_0)R_m + 2X_a X_m + X_m^2 \quad \dots (52)$$

【 0 2 0 9 】

式 (52) が成り立つための条件は、次の式 (53) に示すとおりである。

【 0 2 1 0 】

【 数 5 3 】

$$R_m < -(R_r + Z_0) + \sqrt{(R_r + Z_0)^2 - 2X_a X_m - X_m^2} \quad \dots (53) \quad 20$$

【 0 2 1 1 】

式 (53) を変形すると、 $X_a < 0$ の場合には、式 (53) は、次の式 (54) のように表される。

【 0 2 1 2 】

【 数 5 4 】

$$R_m < -(R_r + Z_0) + \sqrt{(R_r + Z_0)^2 - 4\pi f L (X_a + \pi f L)} \quad \dots (54)$$

【 0 2 1 3 】

一方、 $X_a > 0$ の場合には、式 (53) は、次の式 (55) のように表される。

【 0 2 1 4 】

【 数 5 5 】

$$R_m < -(R_r + Z_0) + \sqrt{(R_r + Z_0)^2 + \frac{1}{\pi f C} \left(X_a - \frac{1}{4\pi f C} \right)} \quad \dots (55)$$

【 0 2 1 5 】

したがって、整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 3 2 0 が直列に挿入されたケースにおける整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m の閾値は、式 (54) および式 (55) により得ることができる。すなわち、整合回路 2 2 0 がないときのアンテナインピーダンス Z_a と整合素子 3 2 0 の値がわかれば、許容される整合素子 3 2 0 の損失抵抗 R_m を計算することができる。

。

40

【 0 2 1 6 】

同様に、例えば、図 4 を参照しながら前述した整合回路 2 2 0 として 1 つの整合素子 4 2 0 が並列に挿入されたケースについても、整合素子 4 2 0 の損失抵抗 R_m の閾値は以下のように設定することができる。

【 0 2 1 7 】

まず、整合回路 2 2 0 が付加されていないアンテナモデルのトータル効率 η_t は、アンテナ 2 3 0 に損失がないと仮定した場合には不整合のみから決まるので、次の式 (56) により表すことができる。

【 0 2 1 8 】

【数56】

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - |S_{11}|^2 \\ &= 1 - \frac{(R_r - Z_0)^2 + X_a^2}{(R_r + Z_0)^2 + X_a^2} \\ &= \frac{4R_r Z_0}{(R_r + Z_0)^2 + X_a^2} \quad \dots (56) \end{aligned}$$

10

【0219】

一方、整合素子420を付加したアンテナモデルのトータル効率 η_t は、前述した式(48)により表すことができる。

【0220】

そこで、整合をとることによりトータル効率が良くなるための条件は、次の式(57)に示すように、式(48)と式(56)とを比較することにより求めることができる。

【0221】

【数57】

$$\begin{aligned} \frac{4R_r Z_0}{(R_r + Z_0)^2 + X_a^2} &< \frac{R_r}{|Z_a|^2} \frac{4Z_0}{\left(1 + Z_0 \left(\frac{R_r}{|Z_a|^2} + \frac{R_m}{|Z_m|^2} \right)\right)^2 + Z_0^2 \left(\frac{X_a}{|Z_a|^2} + \frac{X_m}{|Z_m|^2} \right)^2} \\ R_m &< - \frac{2X_a X_m + |Z_a|^2}{2 \left(\frac{|Z_a|^2}{Z_0} + R_r \right)} \quad \dots (57) \end{aligned}$$

20

30

【0222】

式(57)において損失抵抗 R_m が0となる ($R_m = 0$) ための条件は、次の式(58)に示すとおりである。

【0223】

【数58】

$$2X_a X_m < -|Z_a|^2 \quad \dots (58)$$

【0224】

また、式(58)において関係式 $X_m = -X_a$ が成り立つ場合、すなわち、アンテナ230のリアクタンス成分を完全に打ち消すことができる場合に損失抵抗 R_m が0となる ($R_m = 0$) ための条件は、次の式(59)のように表すことができる。

40

【0225】

【数59】

$$R_r^2 < X_a^2 \quad \dots (59)$$

【0226】

式(57)を変形すると、 $X_a < 0$ の場合には、式(57)は、次の式(60)のように表される。

【0227】

50

【数60】

$$R_m < - \frac{4\pi X_a fL + |Z_a|^2}{2 \left(\frac{|Z_a|^2}{Z_0} + R_r \right)} \quad \dots (60)$$

【0228】

一方、 $X_a > 0$ の場合には、式(57)は、次の式(61)のように表される。

10

【0229】

【数61】

$$R_m < \frac{X_a \frac{1}{\pi fC} - |Z_a|^2}{2 \left(\frac{|Z_a|^2}{Z_0} + R_r \right)} \quad \dots (61)$$

20

【0230】

したがって、整合回路220として1つの整合素子420が並列に挿入されたケースにおける整合素子420の損失抵抗 R_m の閾値は、式(60)および式(61)により得ることができる。すなわち、整合回路220がないときのアンテナインピーダンス Z_a と整合素子420の値がわかれば、許容される整合素子420の損失抵抗 R_m を計算することができる。

【0231】

以上の説明のように、計算結果判定部132cは、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きアンテナモデルが所望の規格を満足するか否かをトータル効率を用いて判定する。このため、整合素子の損失抵抗を考慮したアンテナ設計処理において、アンテナに接続される整合回路を構成する各整合素子を迅速かつ適切に決定することができる。

30

【0232】

整合回路付きアンテナモデルが所望の規格を満足すると判定する場合には、計算結果判定部132cは、判定結果を表示部140に表示させる。また、計算結果判定部132cは、判定結果を分析結果ファイル122に格納する。

【0233】

一方、整合回路付きアンテナモデルが所望の規格を満足しないと判定する場合には、計算結果判定部132cは、整合回路220を構成する整合素子ごとの消費電力を表示部140に表示させる。また、実施形態によっては、計算結果判定部132cは、整合素子の損失抵抗の許容される上限値または閾値を表示部140に表示させる。整合素子ごとの消費電力は、前述したように、アンテナ特性計算部132bにより計算され、分析結果ファイル122に格納されている。

40

【0234】

また、計算結果判定部132cは、整合回路220を構成する整合素子と同じ静電容量またはインダクタンスであって損失抵抗の低い整合素子を探索し、整合回路220を構成する整合素子を、探索した整合素子に置き換える。実施形態によっては、計算結果判定部132cによる探索は、整合素子データファイル123を参照することにより行なわれる。また、実施形態によっては、入力部110により入力された整合素子の素子特性データを参照して行なわれる。

50

【 0 2 3 5 】

計算結果判定部 1 3 2 c により整合素子が置き換えられた整合回路を含むアンテナモデルのアンテナ特性は、アンテナ特性計算部 1 3 2 b により計算される。アンテナ特性計算部 1 3 2 b によりアンテナ特性が計算された後、計算結果判定部 1 3 2 c は、置き換えられた整合素子を含む整合回路付きアンテナモデルが所望の規格を満足するか否かを再度判定する。

【 0 2 3 6 】

このように、実施形態では、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きのアンテナモデルが所望のトータル効率を満足するか否かを計算結果判定部 1 3 2 c が判定することによって、整合回路を構成する各整合素子が決定される。

10

【 0 2 3 7 】

したがって、実施形態に従えば、整合回路を構成する各整合素子を迅速かつ効率的に決定することができ、整合素子の損失抵抗を考慮した所望のアンテナ設計を効率的に行なうことができる。

【 0 2 3 8 】

実施形態に従ったアンテナ設計方法の処理フローの一例を説明する。

図 1 5 は、実施形態に従ったアンテナ設計方法の処理フローの例図である。

step 1 5 0 1 において、アンテナモデル作成部 1 3 1 a は、入力部 1 1 0 により入力されたアンテナモデルの条件データに従って、整合回路を含まないアンテナモデルを作成する。前述したように、入力部 1 1 0 により入力されるアンテナモデルの条件データには、アンテナモデルの形状、モデルの材質、波源、回路部品、解析条件、および解析出力項目に関するデータが含まれる。

20

【 0 2 3 9 】

step 1 5 0 2 において、シミュレーション解析部 1 3 1 b は、アンテナモデル作成部 1 3 1 a により作成されたアンテナモデルのアンテナ特性をシミュレーションにより取得する。シミュレーション部 1 3 1 b の解析により得られるアンテナ特性には、入力部 1 1 0 の入力により設定された周波数ごとの放射効率 η_a 、アンテナインピーダンス Z_0 、および反射係数 S_{11} が含まれる。これらのアンテナ特性は、解析結果ファイル 1 2 1 に格納される。

【 0 2 4 0 】

step 1 5 0 3 において、シミュレーション結果判定部 1 3 1 c は、シミュレーション解析部 1 3 1 b の解析結果から取得される電圧定在波比が所望の規格値以下であるか否かを判定する。

30

【 0 2 4 1 】

step 1 5 0 3 において電圧定在波比が所望の規格値以下であると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1 5 1 7 に進み、アンテナ設計を終了する。そして、アンテナモデル作成部 1 3 1 a により作成されたアンテナモデルに基づいて、アンテナの試作または製造が行なわれる。

【 0 2 4 2 】

step 1 5 0 3 において電圧定在波比が所望の規格値を越えると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1 5 0 4 に進む。

40

step 1 5 0 4 において、整合回路付きアンテナモデル作成部 1 3 2 a は、解析結果ファイル 1 2 1 に格納された対象となる周波数ごとの放射効率 η_a 、アンテナインピーダンス Z_0 、反射係数 S_{11} をインポートする。

【 0 2 4 3 】

また、表示部 1 4 0 は、整合回路を付加したアンテナモデルを作成および解析するためのツール画面を表示する。

【 0 2 4 4 】

図 1 6 は、整合回路付きアンテナモデルの作成および解析のためのツール画面の一例である。

50

図16に示すように、実施形態に従ったツール画面1600には、対象周波数を表示する領域1601と、アンテナインピーダンスの実数部 R_a および虚数部 X_a 、および整合回路付加前の放射効率 η_a を表示する領域1602とが含まれる。

【0245】

入力部110により対象周波数が入力されると、整合回路付きアンテナモデル作成部132aによりインポートされた対象周波数のアンテナインピーダンスの実数部 R_a および虚数部 X_a 、および整合回路付加前の放射効率 η_a が表示部140により領域1601および領域1602に表示される。または、入力部110により入力された対象周波数、アンテナインピーダンスの実数部 R_a および虚数部 X_a 、および整合回路付加前の放射効率 η_a が表示部140により領域1601および領域1602に表示される。

10

【0246】

整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、インポートされた反射係数 S_{11} に基づいて、所望の整合回路の回路構成を算出する。または、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、入力部110により入力された整合回路の回路構成のデータを取得する。

【0247】

図16に示すように、整合回路付きアンテナモデル作成部132aにより算出または取得された整合回路の回路構成は、整合回路付きのアンテナモデルの等価回路表示する領域1603に表示部140によって表示される。

【0248】

整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、算出または取得された回路構成に従って、使用条件に適合する、整合回路を構成する整合素子を決定する。整合素子の使用条件は、入力部110からの入力により整合回路付きアンテナモデル作成部132aに取得されている。

20

【0249】

実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、整合素子データファイル123に格納された整合素子のデータを参照することによって整合回路を構成する整合素子を決定する。

【0250】

図17は、整合素子の種別がコンデンサの場合の整合素子データファイルの一例である。図18は、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含むコンデンサの等価回路図である。図19は、整合素子の種別がインダクタの場合の整合素子データファイルの一例である。図20は、寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含むインダクタの等価回路図である。

30

【0251】

図17に示すように、整合素子の種別がコンデンサの場合の整合素子データファイル1700には、整合素子名1701、メーカー名1702、サイズ1703、静電容量1704、等価直列インダクタンス(Equivalent Series Inductance、ESL)1705、等価直列抵抗(Equivalent Series Resistance、ESR)1706、耐圧1707、および価格1708に関するデータが含まれる。

【0252】

整合素子の種別がコンデンサの場合、図18に示すように、コンデンサ1800には、静電容量成分1801の他に、損失抵抗成分である等価直列抵抗成分1802と寄生リアクタンス成分である等価直列インダクタンス成分1803とが含まれる。実施形態では、静電素子の静電容量成分に加えて等価直列インダクタンスおよび等価直列抵抗を考慮して、整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を計算する。そこで、等価直列インダクタンスおよび等価直列抵抗に関するデータが整合素子データファイル1700に格納されるようにする。

40

【0253】

図19に示すように、整合素子の種別がインダクタの場合の整合素子データファイル1900には、整合素子名1901、メーカー名1902、サイズ1903、インダクタンス1904、付随静電容量1905、付随抵抗1906、耐圧1907、および価格19

50

08に関するデータが含まれる。

【0254】

整合素子の種別がインダクタの場合、図20に示すように、インダクタ2000には、インダクタンス成分2001の他に、損失抵抗成分である付随抵抗成分2002と寄生リアクタンス成分である付随静電容量成分2003とが含まれる。実施形態では、インダクタのインダクタンス成分に加えて付随静電容量成分および付随抵抗成分を考慮して、整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を計算する。そこで、付随静電容量および付随抵抗に関するデータが整合素子データファイル1900に格納されるようにする。

【0255】

整合素子データファイル123を参照して整合素子を決定する場合には、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、まず、整合素子データファイル123を静電容量またはインダクタンスについて昇順または降順に並べ替える。また、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、静電容量またはインダクタンスが同じ整合素子が存在する場合には、整合素子の価格について昇順または降順に並べ替える。そして、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、整合素子データファイル123の中から、サイズおよび耐圧が整合素子の使用条件に適合する静電素子を選択する。サイズおよび耐圧が同じ整合素子が整合素子データファイル123中に存在する場合には、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、価格の値が小さい整合素子を選択する。

10

【0256】

整合回路を構成するアンテナ素子が整合回路付きアンテナモデル作成部132aによって整合素子データファイル123に従い決定されると、決定された整合素子の種別、静電容量またはインダクタンス、損失抵抗、および寄生リアクタンスがツール画面1600中の領域1604に表示される。

20

【0257】

なお、実施形態によっては、入力部110により入力された整合素子の種別、静電容量またはインダクタンス、損失抵抗、および寄生リアクタンスがツール画面1600中の領域1604に表示される。この場合、整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、入力部110から入力された整合素子のデータに基づいて、使用条件に適合する整合素子を決定する。

【0258】

整合回路付きアンテナモデル作成部132aは、決定された整合素子の寄生リアクタンスである等価直列インダクタンスまたは付随静電容量と、損失抵抗である等価直列抵抗または付随抵抗とを取得する。

30

【0259】

実施形態によっては、寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と等価直列抵抗または付随抵抗とは、整合素子データファイル123を参照することにより取得される。また、実施形態によっては、入力110から入力されることによって、整合素子の寄生インダクタンスまたは寄生静電容量と等価直列抵抗または付随抵抗とが取得される。

【0260】

step1505において、アンテナ特性計算部132bは、整合回路付きアンテナモデル作成部132aにより決定された整合回路の整合素子を含むアンテナモデルのアンテナ特性を図3～図8を参照しながら前述した計算手法に従って計算する。計算されるアンテナ特性には、放射効率、トータル効率 η_t 、反射係数 S_{11} 、および整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力が含まれる。これらのアンテナ特性は、分析結果ファイル122に格納される。

40

【0261】

図16に示すように、アンテナ特性計算部132bにより計算された整合回路付きアンテナモデルの放射効率、トータル効率 η_t 、および反射係数 S_{11} は、ツール画面1600中の領域1605に表示部140によって表示される。

【0262】

50

step 1506において、計算結果判定部132cは、アンテナ特性計算部132bにより計算されたトータル効率 η が所望の規格値以上であるか否かを判定する。

step 1506においてトータル効率 η が所望の規格値以上であると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1517に進み、アンテナ設計を終了する。そして、整合回路付きアンテナモデル作成部132aにより作成されたアンテナモデルに基づいて、アンテナの試作または製造が行なわれる。

【0263】

step 1506においてトータル効率 η が所望の規格値未満であると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1507に進む。

step 1507において、計算結果判定部132cは、分析結果ファイル122に格納されている、整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力データを表示部140に表示させる。なお、実施形態によっては、整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力を、アンテナ設計装置100に接続された印刷装置(図示せず)に印刷させる。

【0264】

図21は、表示部による整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力データの表示例である。

図21に示すように、整合回路を構成する整合素子ごとの消費電力データ2100には、素子番号2101、回路名2012、種別2103、消費電力2104、静電容量またはインダクタンス2105、および部品名2106が含まれる。

【0265】

step 1508において、計算結果判定部132cは、整合素子の消費電力データ2100を消費電力2104が大きい整合素子順に並べ替える。そして、計算結果判定部132cは、消費電力順に並べ替えられた整合素子の素子番号2101を昇順に振り直す。

【0266】

図22は、消費電力が大きい整合素子順に並べ替えられた整合素子の消費電力データの一例である。図21と比較すると明らかであるように、図22に示した整合素子の消費電力データ2200では、整合素子が消費電力2104の大きい順に並び替えられ、並び替えられた整合素子に素子番号2101が昇順に振られている。

【0267】

step 1509において、計算結果判定部132cは、素子番号2101のカウント値*i*を1に設定する。そして、step 1510において、計算結果判定部132cは、素子番号2101のカウント値*i*番目の整合素子と同じ静電容量またはインダクタンスであって損失抵抗が小さい整合素子を探索する。実施形態によっては、計算結果判定部132cは、整合素子データファイル123の中から該当する整合素子を探索する。

【0268】

step 1510において該当する整合素子が存在する場合、step 1511の処理に進む。

step 1511において、アンテナモデル作成部132aは、整合回路を構成するカウント値*i*番目に対応する整合素子を、計算結果判定部132cにより探索された、その整合素子と同じ静電容量またはインダクタンスであって損失抵抗が小さい整合素子に交換する。

【0269】

step 1512において、アンテナ特性計算部132bは、アンテナモデル作成部132aにより整合素子が交換された整合回路を含むアンテナモデルのアンテナ特性を前述した実施形態に従った計算方法により計算する。

【0270】

step 1513において、計算結果判定部132cは、整合素子が交換された整合回路を含むアンテナモデルのトータル効率 η が所望の規格値以上であるか否かを判定する。

【0271】

10

20

30

40

50

step 1513において整合素子が交換された整合回路を含むアンテナモデルのトータル効率 η が所望の規格値以上であると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1517に進み、アンテナ設計を終了する。そして、整合回路付きアンテナモデル作成部 132aにより作成された、整合素子が交換された整合回路付きのアンテナモデルに基づいて、アンテナの試作または製造が行なわれる。

【0272】

step 1513において整合素子が交換された整合回路を含むアンテナモデルのトータル効率 η が所望の規格値未満であると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1514に進む。

【0273】

step 1510において該当する整合素子が存在しない場合には、アンテナ設計処理は、step 1514に進む。

step 1514において、計算結果判定部 132cは、カウント値*i*を1つインクリメントする。そして、step 1515において、カウント値*i*が整合回路を構成する整合素子の数*n*以下であるか否かを判定する。

【0274】

step 1515においてカウント値*i*が整合回路を構成する整合素子の数*n*以下であると判定される場合には、step 1511に戻り、アンテナ設計処理が継続する。

step 1515においてカウント値*i*が整合回路を構成する整合素子の数*n*を越えると判定される場合には、アンテナ設計処理は、step 1516に進み、計算結果判定部 132cは、アンテナモデルの再構成を要する旨を表示部 140に表示させる。

【0275】

step 1516に進んだ後のアンテナ設計処理としては、実施形態によっては、step 1501に戻って入力部 110により入力されるアンテナモデルの条件データを変更し、実施形態に従ったアンテナ設計処理を再度行う。また、実施形態によっては、step 1504に戻り、整合素子のサイズ等の整合素子の使用条件を変更し、実施形態に従ったアンテナ設計処理を再度行う。

【0276】

なお、図15を参照しながら前述したアンテナ設計処理フローは、一例にすぎず、実施形態がこれに限定されることを意図するものではない。例えば、前述したアンテナ設計処理フローに以下の変更を追加することも可能である。

【0277】

まず、アンテナ設計処理フローのstep 1501では、入力部 110は、アンテナモデルの条件データとして、前述した各種データに加えて、整合回路の回路構成に関するデータを入力する。

【0278】

step 1504では、整合回路付きアンテナモデル作成部 132aは、入力部 110により入力された整合回路の回路構成に関するデータに従って、寄生リアクタンス成分および損失抵抗成分を含まない整合素子により構成される整合回路のモデルを作成する。そして、整合回路付きアンテナモデル作成部 132aは、作成された整合回路付きのアンテナモデル対するシミュレーション解析をシミュレーション解析部 131bに実行させ、最適な回路定数を取得する。

【0279】

整合回路付きアンテナモデル作成部 132aは、シミュレーション解析部 131bによる解析により取得された回路定数に従って、整合回路を構成する整合素子を決定する。実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 132aは、整合素子データファイルを参照して整合素子を決定する。また、実施形態によっては、整合回路付きアンテナモデル作成部 132aは、入力部 110から入力された整合素子のデータに基づいて整合素子を決定する。

【0280】

10

20

30

40

50

step 1505では、アンテナ特性計算部132bは、整合回路付きアンテナモデル作成部132aにより決定された整合素子により構成される整合回路を含むアンテナモデルのアンテナ特性を、前述した実施形態に従った計算方法によって計算する。

【0281】

また、前述した実施形態では、アンテナ設計装置100によるアンテナ設計方法を説明した。しかしながら、前述したアンテナ設計装置100が有する構成および処理機能を、アンテナ設計プログラムというソフトウェアによって実現することも可能である。したがって、アンテナ設計装置100と同様のアンテナ設計処理を、アンテナ設計プログラムを実行するコンピュータによって実現することも可能である。

【0282】

図23は、実施形態に従ったアンテナ設計プログラムを実行するコンピュータのハードウェア構成図である。

図23に示すように、コンピュータ2300には、入力装置2301、読み取り装置2302、通信インタフェース2303、ハードディスク(HDD)2304、Central Processing Unit(CPU)2305、Random Access Memory(RAM)2306、Read Only Memory(ROM)2307、表示装置2308、およびバス2309が含まれる。コンピュータ2300に含まれる装置2301~2308は、バス2309によって相互に接続される。

【0283】

入力装置2301は、コンピュータ2300のユーザが行なった操作を検出する装置であり、例えば、マウスおよびキーボードである。

読み取り装置2302は、磁気ディスク、光ディスク、および光磁気ディスク等の可変記録媒体に含まれるプログラムおよびデータを読み出す装置であり、例えば、Compact Disc/Digital Versatile Disc(CD/DVD)ドライブである。通信インタフェース2303は、Local Area Network(LAN)等の通信ネットワークにコンピュータ2300を接続するためのインタフェースである。HDD2304は、CPU2305が実行するプログラムおよびデータを記憶する記憶装置である。

【0284】

実施形態に従ったアンテナ設計プログラムは、可変記録媒体に記録されたアンテナ設計プログラムを読み取り装置2302が読み取ることによって、HDD2304にインストールされる。または、実施形態に従ったアンテナ設計プログラムは、他のコンピュータ装置(図示せず)に格納されたアンテナ設計プログラムが通信インタフェース2303を介してコンピュータ2300が取得することによって、HDD2304にインストールされる。

【0285】

CPU2305は、アンテナ設計プログラムをHDD2304からRAM2306に読み出してアンテナ設計プログラムを実行することによって、実施形態に従ったアンテナ設計処理を実行する処理装置である。

【0286】

RAM2306は、HDD2304から読み出されたアンテナ設計プログラムの実行途中結果を記憶するメモリである。ROM2307は、定数データ等を記憶する読み出し専用メモリである。

【0287】

表示装置2308は、CPU2305の処理結果等を表示する装置であり、例えば、液晶ディスプレイ装置である。

以上で説明したように、実施形態では、整合回路付きアンテナモデルを作成する際に、整合素子の静電容量またはインダクタンスと共に、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む整合回路付きのアンテナモデルが作成される。また、作成された整合回路を構成する整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む各値は、整合素子データファイルから取得され、または入力部からの入力により指定される。すなわち、実施形態に従

10

20

30

40

50

えば、アンテナ設計処理を実行する際に、整合回路を構成する各整合素子の静電容量またはインダクタンスに加えて、寄生リアクタンスおよび損失抵抗の各モデルを個別に作成し、それらの値を個別に設定する必要がない。したがって、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きアンテナ設計処理を迅速かつ容易に行なうことができる。

【 0 2 8 8 】

また、実施形態では、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を、整合回路を含まないアンテナモデルのアンテナ特性を用いてシミュレーションによらずに計算する。したがって、整合素子の寄生リアクタンスおよび損失抵抗を加味した整合回路付きのアンテナモデルのアンテナ特性を短時間で取得することができ、所望のアンテナ設計を効率的に行なうことができる。

10

【 0 2 8 9 】

さらに、実施形態では、整合素子の損失抵抗を考慮した整合回路付きのアンテナモデルが所望のトータル効率を満足するか否かによって、整合回路を構成する各整合素子が決定される。したがって、アンテナに接続される整合回路を構成する各整合素子を迅速かつ適切に決定することができ、整合素子の損失抵抗を考慮したアンテナ設計処理を効率的に行なうことができる。

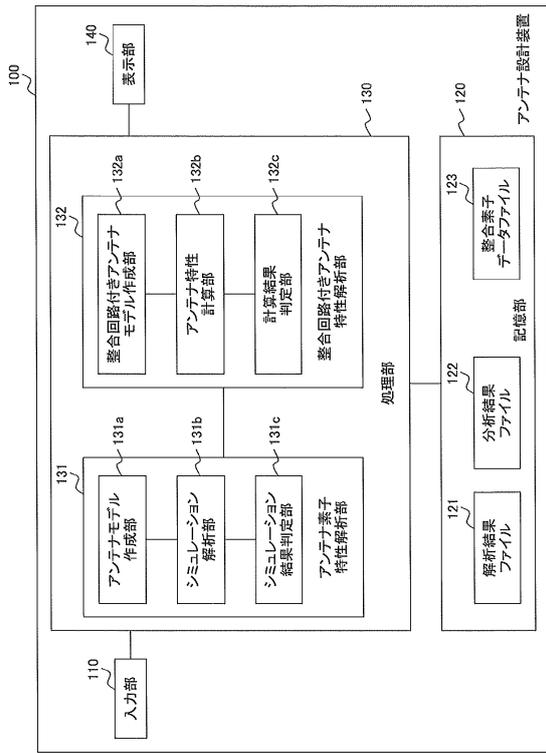
【 符号の説明 】

【 0 2 9 0 】

| | | |
|-------------------------------|--------------------|----|
| 1 0 0 | アンテナ設計装置 | 20 |
| 1 1 0 | 入力部 | |
| 1 2 0 | 記憶部 | |
| 1 2 1 | 解析結果ファイル | |
| 1 2 2 | 分析結果ファイル | |
| 1 2 3 | 整合素子データファイル | |
| 1 3 0 | 処理部 | |
| 1 3 1 | アンテナ素子特性解析部 | |
| 1 3 1 a | アンテナモデル作成部 | |
| 1 3 1 b | シミュレーション解析部 | |
| 1 3 1 c | シミュレーション結果判定部 | 30 |
| 1 3 2 | 整合回路付きアンテナ特性解析部 | |
| 1 3 2 a | 整合回路付きアンテナモデル作成部 | |
| 1 3 2 b | アンテナ特性計算部 | |
| 1 3 2 c | 計算結果判定部 | |
| 1 4 0 | 表示部 | |
| 2 0 0 | 整合回路付きアンテナモデルの等価回路 | |
| 2 1 0 | 波源 | |
| 2 2 0 | 整合回路 | |
| 2 3 0 | アンテナ | |
| 3 2 0、4 2 0、5 2 1、5 2 2、5 2 3 | 整合素子 | 40 |
| 2 3 0 0 | コンピュータ | |
| 2 3 0 1 | 入力装置 | |
| 2 3 0 2 | 読み取り装置 | |
| 2 3 0 3 | 通信インタフェース | |
| 2 3 0 4 | H D D | |
| 2 3 0 5 | C P U | |
| 2 3 0 6 | R A M | |
| 2 3 0 7 | R O M | |
| 2 3 0 8 | 表示装置 | |
| 2 3 0 9 | バス | 50 |

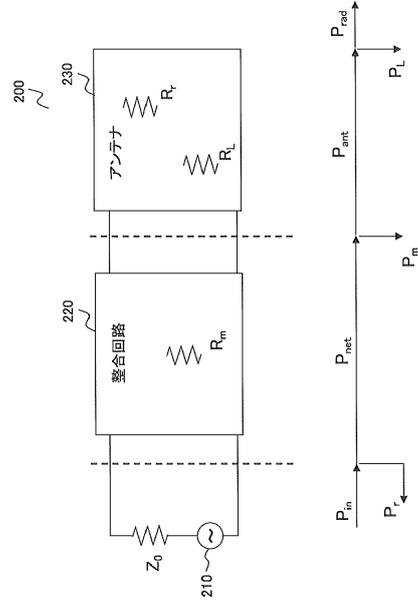
【 図 1 】

実施形態に従ったアンテナ設計装置の機能的構成図



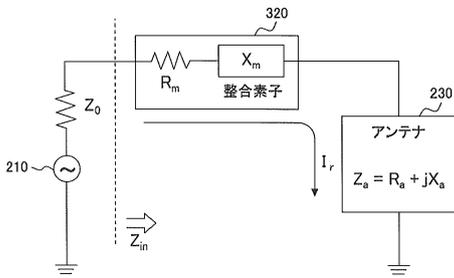
【 図 2 】

実施形態に従ったアンテナ特性の計算に用いる各パラメータの説明図



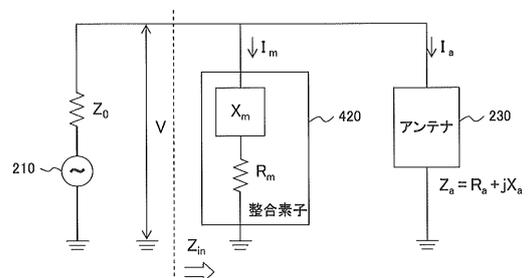
【 図 3 】

整合回路として1つの整合素子が直列に挿入されたケースの回路モデル図



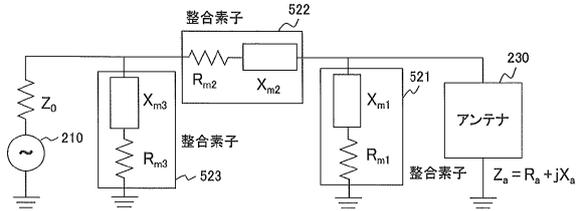
【 図 4 】

整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースの回路モデル図



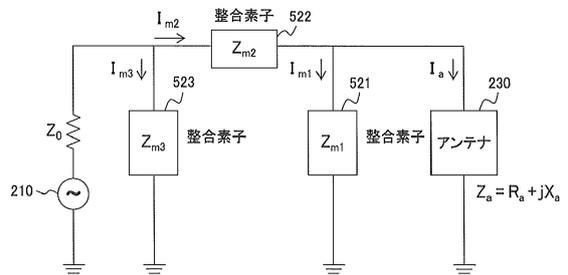
【 図 5 】

整合回路として3つの整合素子がパイ型に挿入されたケースの回路モデル図



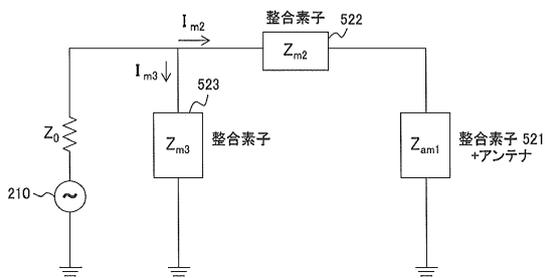
【 図 6 】

図5に示した等価回路を Z_{m1} 、 Z_{m2} および Z_{m3} を用いて表した等価回路図



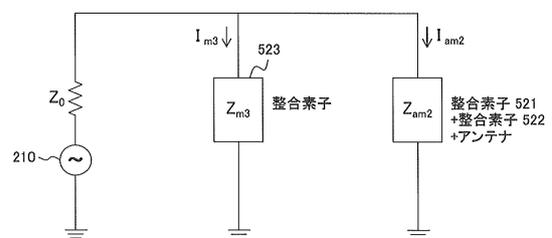
【 図 7 】

図6に示した等価回路を Z_{am1} を用いて表した等価回路図



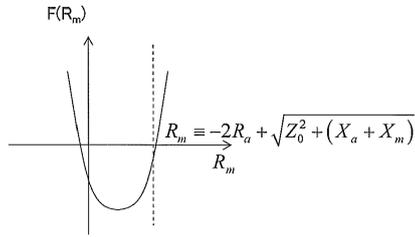
【 図 8 】

図7に示した等価回路を Z_{am2} を用いて表した等価回路図



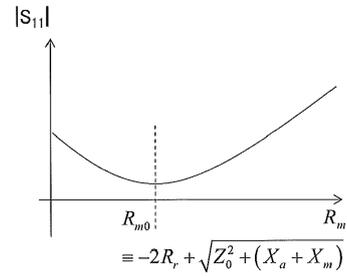
【図 9】

$R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 < 0$ 場合の
 R_m と $F(R_m)$ との関係図



【図 10】

$R_a^2 - Z_0^2 - (X_a + X_m)^2 < 0$ 場合の
 R_m と $|S_{11}|$ との関係図



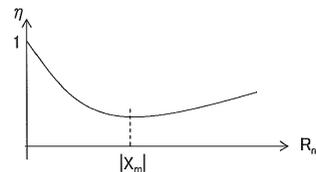
【図 11】

整合回路として1つの整合素子が並列に挿入された
ケースにおける損失抵抗 R_m と反射係数 S_{11} との関係図

| | | | |
|------------------------|---|--|--|
| $a\beta - b\alpha > 0$ | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta < 0$ | $\frac{a\gamma - ca - \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} > 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は悪化 → 改善 → 悪化の順に変化。 |
| | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta > 0$ | $\frac{a\gamma - ca - \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} < 0$ $\lambda \rightarrow \frac{a\gamma - ca + \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} > 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は改善 → 悪化の順に変化。 |
| $a\beta - b\alpha < 0$ | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta > 0$ | $\frac{a\gamma - ca + \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} < 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は悪化する。 |
| | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta < 0$ | $\frac{a\gamma - ca + \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} > 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は改善する。 |
| $a\beta - b\alpha < 0$ | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta > 0$ | $\frac{a\gamma - ca - \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} > 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は改善 → 悪化 → 改善の順に変化。 |
| | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta < 0$ | $\frac{a\gamma - ca - \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} < 0$ $\lambda \rightarrow \frac{a\gamma - ca + \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} > 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は悪化 → 改善の順に変化。 |
| | $-\frac{(a\gamma - ca)^2}{a\beta - b\alpha} + b\gamma - c\beta < 0$ | $\frac{a\gamma - ca + \sqrt{(a\gamma - ca)^2 - (a\beta - b\alpha)(b\gamma - c\beta)}}{a\beta - b\alpha} < 0$ | R_m が大きくなるにつれ、 S_{11} は改善する。 |

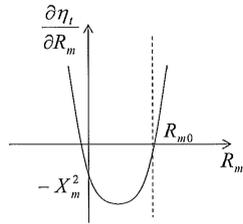
【図 12】

整合回路として1つの整合素子が並列に
挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と
放射効率 η との関係図



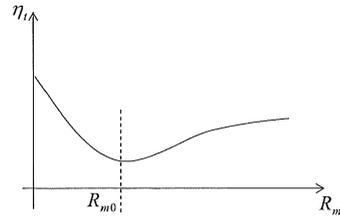
【図13】

整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m と $\partial \eta_t / \partial R_m$ との関係図



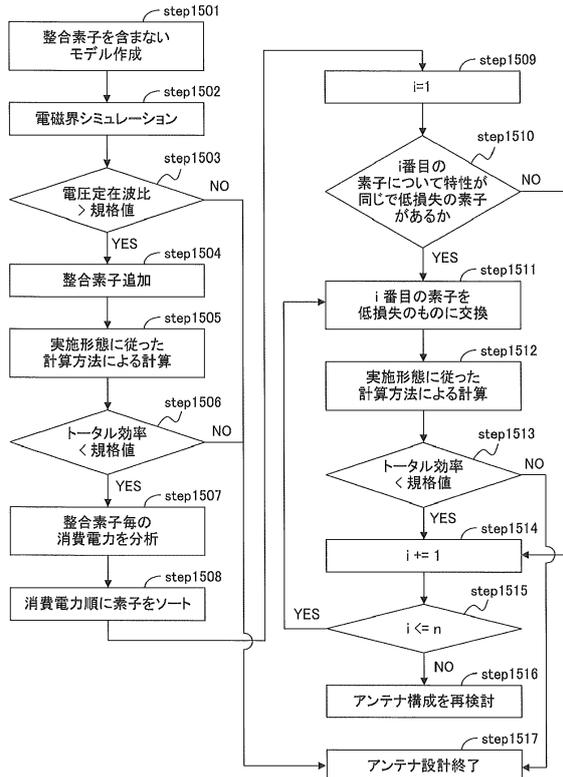
【図14】

整合回路として1つの整合素子が並列に挿入されたケースにおける損失抵抗 R_m とトータル効率 η_t との関係図



【図15】

実施形態に従ったアンテナ設計方法の処理フローの例図



【図17】

整合素子の種別がコンデンサの場合の整合素子データファイルの一例

| | | | | | | | |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 1701 | 1702 | 1703 | 1704 | 1705 | 1706 | 1707 | 1708 |
| 素子名 | メーカー名 | サイズ | 容量 | ESL | ESR | 耐圧 | 価格 |

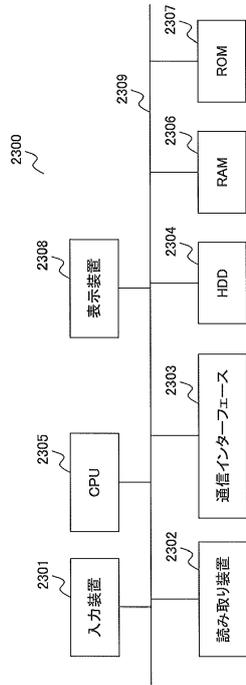
【図19】

整合素子の種別がインダクタの場合の整合素子データファイルの一例

| | | | | | | | |
|------|-------|------|---------|------|------|------|------|
| 1901 | 1902 | 1903 | 1904 | 1905 | 1906 | 1907 | 1908 |
| 素子名 | メーカー名 | サイズ | インダクタンス | 付随C | 付随R | 耐圧 | 価格 |

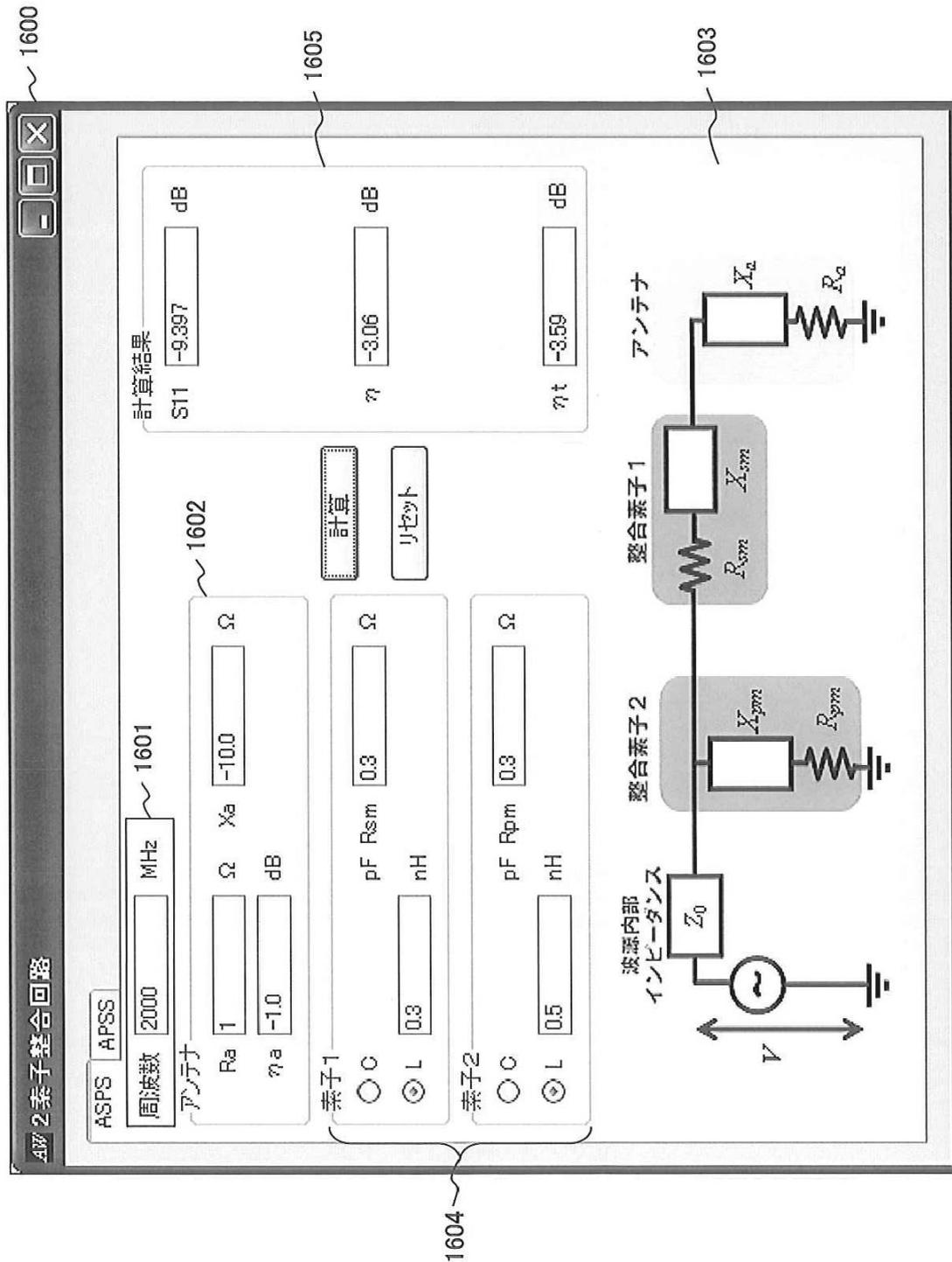
【図 23】

実施形態に従ったアンテナ設計プログラムを
実行するコンピュータのハードウェア構成図



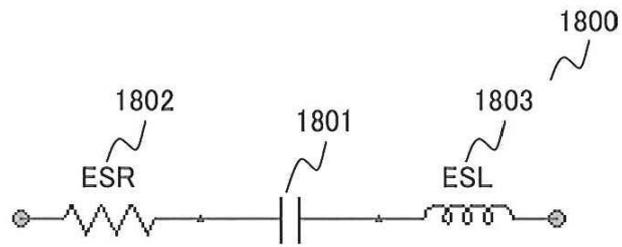
【図16】

整合回路付きアンテナモデルの作成および解析のためのツール画面の一例



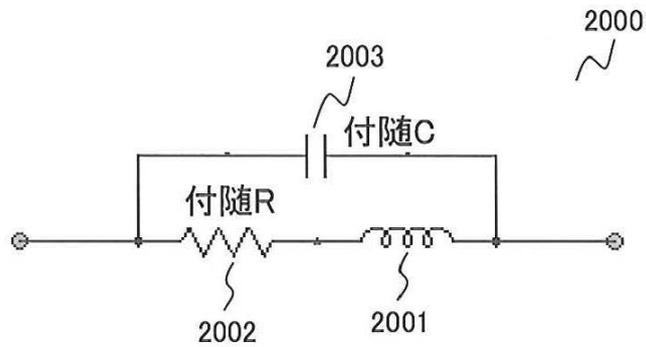
【図18】

寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む
コンデンサの等価回路図



【図20】

寄生リアクタンスおよび損失抵抗を含む
インダクタの等価回路図



【図 2 1】

表示部による整合回路を構成する
整合素子ごとの消費電力データの表示例

| | A | B | C | D | E | F |
|---|------|-----|----|----------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 素子番号 | 回路名 | 種別 | 消費電力[mW] | 容量[pF] インダクタンス[nH] | 部品名 |
| 2 | 1 | C1 | C | 0.02 | 0.2 | GJM0335C1ER20WB01 |
| 3 | 2 | L1 | L | 0.03 | 3.1 | LQP03TN3N1B02 |
| 4 | 3 | C2 | C | 0.01 | 0.5 | GJM0335C1ER60WB01 |

【図 2 2】

消費電力が大きい整合素子順に並べ替えられた
整合素子の消費電力データの一例

| | A | B | C | D | E | F |
|---|------|-----|----|----------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 素子番号 | 回路名 | 種別 | 消費電力[mW] | 容量[pF] インダクタンス[nH] | 部品名 |
| 2 | 1 | L1 | L | 0.03 | 3.1 | LQP03TN3N1B02 |
| 3 | 2 | C1 | C | 0.02 | 0.2 | GJM0335C1ER20WB01 |
| 4 | 3 | C2 | C | 0.01 | 0.5 | GJM0335C1ER60WB01 |
| 5 | | | | | | |

フロントページの続き

(72)発明者 登坂 正喜

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通アドバンステクノロジー株式会社内

審査官 岩井 一央

(56)参考文献 特開2000-078032(JP,A)

特開2008-085987(JP,A)

特開平11-088201(JP,A)

国際公開第2006/126320(WO,A1)

特表2011-515832(JP,A)

米国特許出願公開第2003/0103011(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01Q 1/00 - 1/10

H01Q 1/27 - 1/52