

氏 名	上 芳 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 62 年 2 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 45 年 3 月 東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	伝送線路における外来電磁波の受信特性に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 高木 相

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

外来電磁波が伝送線路を励振し電流を誘導する現象は、環境電磁工学における基本課題のひとつである。これは漏話問題、電磁干渉、電磁妨害などと呼ばれる課題の基本モデルであり、電磁界中に置かれた導体に関する散乱問題の一種でもある。電気・電子機器内などの配線を考えるとき、外来電磁波の波長に比較して線路断面が非常に小さい例は多い。このとき誘導される電流の主伝搬モードは TEM と考えられ、従ってこの現象は外来電磁波の効果を線路電圧・電流に関する微分方程式(線路方程式)の強制項として近似表現することが可能である。しかしながらこの強制項の表現に混乱が生じており、実験による検証が無いままであった。

本論文では、外来電磁波で励振された伝送線路に成立する線路方程式、実験による理論の検証を軸に各種伝送線路系における周波数領域及び時間領域の受信現象を検討している。更に、線路方程式の拡張展開例として、従来平行配置の線路系が主で殆ど検討されていない立体交差した伝送線路系の結合問題、経験的には知られていたにもかかわらず従来無視されていた伝送線路からの放射現象の検討など、電磁波と伝送線路とに係わる環境電磁工学上の諸問題を伝送回路網的手法によって定量的に解析する手法を提案するものである。

第2章 外来電磁波で励振された伝送線路

外来電磁波で励振される無損失伝送線路系において外来電磁波の効果は線路に沿う分布電圧源・電流源として非同次形線路方程式の強制項で表現される。線路電圧 V ・電流 I を線路方向 (s) の電界成分に関する境界条件を満足するための電圧源によって発生する成分と考察点で垂直方向 (y) 電界成分が電圧源として重畳されることに因る成分からなる観測電圧・電流として定義することによって結合機構を説明し等価回路及び分布電源を電界成分だけで表示する線路方程式 (1) を提案している。

$$-\frac{d}{ds} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} 0 & L \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_f \\ I_f \end{bmatrix} \quad (1)$$

分布電源は、外来電界成分を上部添字 e で表した次式である。

$$\begin{bmatrix} V_f \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E_s^e(s, h) + \frac{d}{ds} \int_0^h E_y^e(s, y) dy \\ j\omega C \int_0^h E_y^e(s, y) dy \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで L , C は単位長当りのインダクタンス, 容量であり, h は線路高である。

取扱を簡潔にするために線路方程式を状態変数法で解き, 考察線路区間の縦続行列形基本式を求め, 外来電磁波の効果を考察区間の一点あるいは両区間端子での集中電源で表示する等価回路を求めている。これはカスケード形であるので各種形態の線路系で受信特性を求めるときに有用であり, 以降の章において頻繁に応用される回路である。

第3章 単線条線路における外来電磁波の受信特性

この章においては前章の線路区間の基本式を用いて, 終端負荷線路の負荷端子で受信される電流・電力特性について考察している。次いでモデル実験を行い, 次の考察結果を得ている。

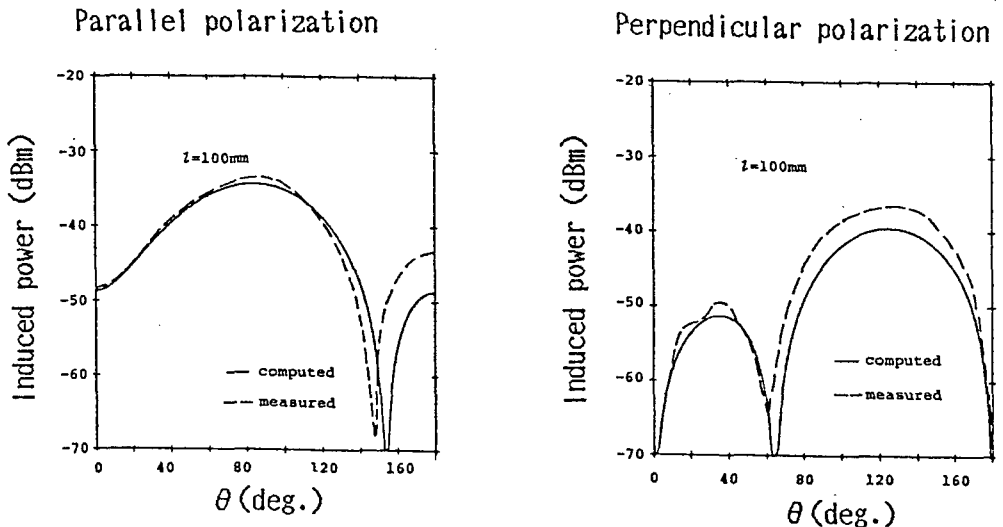


図1 終端負荷線路における受信特性(例)

伝送線路の線路高が外来電磁波の波長に比較して十分に低く、線路端末部の効果が無視できる範囲内（実験的考察結果から線路高は波長の約2.5%以下）であれば、理論値は実験値と良く一致しており理論の妥当性が確認できる。実験結果の一例を図1に示す。

また、線路高が波長の約10%程度の範囲内であれば、線路の端末効果による等価リアクタンス分を線路長の増加分として補償してやることによってこの理論の適用が可能となることが確認された。

第4章 単線路におけるインパルス性外来電磁波の過渡応答特性

この章では外来電磁波が過渡的であるモデルを取り上げている。従来このようなモデルでの過渡応答電流は、伝送線路系が無損失であっても高速フーリエ変換の手法を用いる解表示しか与えられず、物理的応答機構の解釈に困難を伴っていた。

本論文ではラプラス変換の手法を用い時間領域の応答電流を解析解で導出し、結合機構、等価回路を検討している。この解表示は観測電流が線路の両端子で受信される成分と多重反射成分とで表現されている。この結果外来波の効果が等価電圧・電流源として両端子で表現できる等価回路を導出している。またラプラス変換領域の等価電源回路は第2章の等価回路と同じ形式で求められ、各種の伝送線路系における応答電流は、これらの等価回路を用いて機械的に求められる利点を有する。

第5章 二線路における外来電磁波の受信特性

この章では多線路線路のうち基本的な2線路線路について、8端子方程式、平衡・不平衡モード線路方程式を導出し、プリント基板の配線や高周波帯で分布定数素子として使用される各種モデル線路の受信特性を検討している。更に妨害排除能力の高い撚り線路における平衡モード伝送時の受信特性についてツイスト座標系による解析から無条件に有効であるとは言えないことを明らかにしている。

第6章 交差伝送線路における結合特性

この章では伝送線路が立体的に交差している線路間の誘導・結合問題を解析するために第2章の線路方程式を基に交差伝送線路系における線路方程式を導出し、これによって結合現象を検討している。

受信線路（誘導を受ける側）における分布電源は

$$\begin{bmatrix} V_f \\ I_f \end{bmatrix} = j\omega G \begin{bmatrix} 0 & \mu_0 / 4\pi \cos\theta \\ -C_1 C_2 / 4\pi \epsilon_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G(s) = \ln \frac{(h_2 + h_1) + (s \cdot \sin\theta)^2}{(h_2 - h_1) + (s \cdot \sin\theta)^2} \quad (4)$$

ここで添字 $i=1, 2$ は励振線路及び受信線路を意味している。

この線路方程式の分布電圧源は誘導結合を、分布電流源は容量結合を意味しており、これから直

交配置の線路系であっても容量結合成分が残っており、無結合の状態ではないことを明らかにしている。

第2章の手法を適用して励振線路から受信線路への効果を等価な電圧・電流源として表示する等価回路、更に外来電磁波の効果を考察線路区間内の任意点で表現する等価回路を用いて、従来相互インダクタンスと相互容量とで行われている結合機構の説明及び等価表現は不十分であり、一般にはこれらに変成器が付加されなければならないことを導出している。次いで各種交差伝送線路系モデルの結合特性を検討し、不整合線路系におけるモデル実験を行い、その考察結果から導出理論の有用性を確認している。励振線路に過渡電源が接続されているときの受信線路における過渡応答電流の解析には、ラプラス変換による手法を用い結合機構を検討し考察を加えている。

第7章 有限長伝送線路からの放射電磁界

この章では従来無視されていた有限長伝送線路からの放射電磁界を伝送回路論的に検討する手法を提案している。

伝送線路系の両端子とアンテナ端子とからなる6端子網を考え、相反定理を仮定して外来電磁波で励振された伝送線路の基本式を基に、伝送線路から放射される電力をアンテナ端子で求めた理論値と測定値とが良い一致を示した。これによって放射電磁界が解析的に求められる。伝送線路がカスケード接続された線路系の放射電磁界についても第2章で検討した理論との可逆性を利用することによって求められる。図2は水平曲がり線路での測定結果例である。

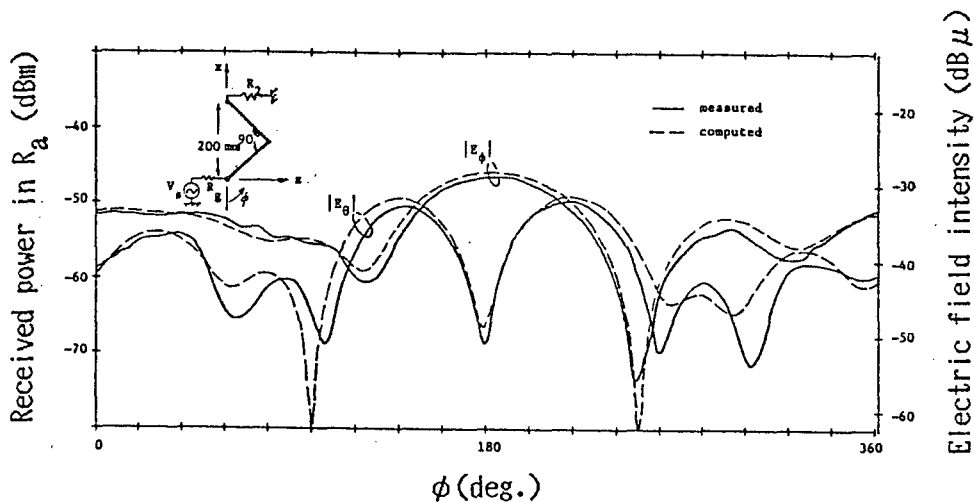


図2 90度曲がり線路からの放射特性

第8章 結 論

本論文では、外来電磁波と伝送線路とに係わる環境電磁工学上の課題についてモデル線路系を取り上げ、伝送回路論的に解析する手法を提案した。

第2章において外来電磁波で励振された伝送線路の線路方程式，等価回路を検討し，これを基礎として終端負荷線路の受信特性を考察し，実験によって検証した。過渡電磁波による応答特性についてはラプラス変換の手法から従来求められていない解析解表示，解析に有用な等価回路などを導出している。更に交差伝送線路系における結合特性，伝送線路からの放射電磁界などを検討した。

審 査 結 果 の 要 旨

伝送線路が外来電磁波によって励振され、その受信端子に複雑な誘導電流が流れる現象は、従来、漏話、電磁妨害などの問題として検討されてきたが、不十分な点が多く、現在なお環境電磁工学における基本課題の一つとして研究されている。

著者は、伝送線路における外来電磁波の受信特性に関する理論を確立してその正当性を多くの実験によって確認し、従来扱われていなかった線路系の結合や線路からの放射に対する検討など、外来電磁波と伝送線路にかかわる環境電磁工学上の諸問題を伝送回路網の手法によって定量的に解析し、検討した。本論文はこれらの成果をまとめたもので全文8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、外来電磁波によって励振された伝送線路の特性を表現する非同次形微分方程式を導き、その結果を従来の理論と比較し検討している。またこの理論を多線条線路へ拡張するとともに、線路の等価回路表示を導いて定量的な解析法を確立している。これらは実用上有用な成果である。

第3章では、単線条線路における受信特性を前章の結果を用いて検討し、多くのモデル実験を行って理論の妥当性を確認している。

第4章では、単線条線路におけるインパルス性外来電磁波の過渡応答特性について述べている。ここでは時間領域における応答電流を導出して結合の機構とその等価回路について詳細な検討を行っている。

第5章では、2線条線路における外来電磁波の受信特性について述べている。即ち、2線条線路に対して8端子回路方程式および平衡・不平衡モード方程式を導出し、各種線路の受信特性を検討するとともに、妨害排除能力のすぐれた撚り線路を解析して興味ある結果を得ている。

第6章では、立体的に交差する線路間の結合特性を検討している。ここでは第2章の結果をもとに、交差線路系の線路方程式を導出して結合機構を明らかにし、実用上有用な等価回路表示を導いている。またこれらの妥当性をモデル実験によって確認している。

第7章は有限長伝送線路からの放射電磁界を伝送回路論的に検討する手法の提案であり、その妥当性を実験によって確かめている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、外来電磁波と伝送線路にかかわる環境電磁工学上の諸問題に対し、伝送回路論的解析手法を確立して詳細な検討を行ったもので、環境電磁工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。