ETH zürich

ETH Library

GMT & MMP applied to the computation of general periodic structures

Doctoral Thesis

Author(s):
Li, Jingming

Publication date:
1993

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000899288

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

22. Juli 1993

Diss. ETH No. 10154

GMT&MMP Applied to the Computation of General Periodic Structures

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

JINGMING LI

Master El.-Ing. Southeast University of China
born March 7, 1958

citizen of China

accepted on the recommendation of
Prof. H. Baggenstos, examiner
Prof. Dr. Y. Leviatan, co-examiner

Zürich 1993

Summary

This thesis is concerned with the numerical computation of electromagnetic scattering problems of general periodic structures under the illumination of a plane wave. It proposes a method for applying GMT and MMP to analyze and approximately compute the scattered field of infinite periodic structures, such as ideal gratings, arrays and fluctuated surfaces, which are composed of linear, pieceweise homogeneous and isotropic media.
The most interesting part of the work in this thesis is that it provides a way for constructing Floquet modes as a complete set of periodic expansion functions, based on the set of aperiodic expansion functions for unit cells. Because the aperiodic expansion functions for the unit cell are dependent on the material and geometry of the unit cell, which can be reasonably chosen, the constructed set of periodic expansion functions, based on them, are more or less the optimal expansion function base for the periodic structures to be dealt with. The approach presented in the thesis is quite flexible regarding the periodic structure itself , therefore quite efficient. The conception of Floquet modes as a complete set of periodic expansion functions has been used, but not its analytical form. The truncation is performed before the final form of the Floquet modes is obtained.
Meaningful comparisons have been made for checking the validation of the method and the related modified MMP. The excellent agreements show that the method proposed in this thesis for applying GMT to the scattering problem of general periodic structures is correct, and that the related modified MMP is reliable and accurate.
Modified MMP has been successfully used to deal with the scattering problems of general periodic structures. Just as original MMP compensates for some weaknesses regarding MoM for the aperiodic scattering problem, modified MMP also compensates for some shortcomings in the methods presented now for the periodic scattering problems.

There are six chapters in this thesis.
Chapter 1 gives a general description of Generalized Multipole Technique (GMT) and Multiple Multipole Programs (MMP) and points out their attractive properties.
Chapter 2 introduces the basic concept of a periodic structure, its scattered field and the general theory for dealing with periodic structures, Floquet's theorem and Floquet modes. The most widely used Floquet modes in the plane wave form are briefly introduced, i.e. those used for periodic structures composed of infinite thin patch embedded in free space or homogeneous material. As a part of the present thesis, Floquet modes in the combined plane wave form are then explained. These are used for periodic structures also composed of infinitely thin patch but embedded in the mono- or multi-layered substrate. Finally, the centre idea of the thesis is given, i.e. the principle for constructing the Floquet modes or the complete set of periodic expansion functions which is dependent on the geometry and material of the unit cell of the structure. And point out, the principle to apply GMT to the computation of periodic structure is to use those Floquet modes as its expansion functions.
Chapter 3 gives details for applying MMP to the analysis and computation of general periodic structures by adding the extra routine for constructing the periodic expansion function. The modified MMP is validated through two meaningful comparisons.

Chapter 4 is concerned with specializing the output of the scattered far field of general periodic structures.
Chapter 5 gives the mathematical model and formulae for using the Floquet modes in plane wave form and Floquet modes in combined plane wave form as the periodic expansion functions of GMT to deal with those periodic structures with infinitely thin or very thin patches as their elements in free space or embedded in the mono- or multilayered substrate. Comparison has been made for checking the mathematical model and formulae. At last, an FSS on monolayered substrate is computed.
Chapter 6 provides several typical periodic structures as examples to show the capability of the method proposed in this thesis and the related modified program to apply to analysis and computation of the scattering problems of general periodic structures.

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der numerischen Berechnung der Streuung einer ebenen elektromagnetischen Welle an periodischen Strukturen. Bei der vorgeschlagenen Berechnungsmethode werden als Basis die Multiple Multipol-Programme verwendet, eine Implementation der verallgemeinerten Multipol-Technik (GMT, Generalized Multipole Technique). Die untersuchten Strukturen bestehen aus einer ein- oder zweidimensional-periodischen, bis ins unendliche wiederholten Anordnung von Einzelzellen (Gitter, Muster oder strukturierte Oberflächen). Die Materialien der Einzelzellen und der angrenzenden Umgebung sind linear und in homogene und isotrope Teilgebiete unterteilbar. Damit können Probleme mit ideal leitenden, dielektrischen und verlustbehafteten Teilgebieten behandelt werden.
Der zentrale Teil der Arbeit behandelt die Konstruktion der Floquet-Moden als vollständige Menge periodischer Basisfunktionen, basierend auf den Basisfunktionen, die zur Lösung des Problems der Einzelzelle gebraucht werden. Diese wiederum sind mit der GMT durch beschränkte Reihen analytischer Feldfunktionen angenähert, die vielseitig und effizient auswertbar sind. Das klassische Vorgehenskonzept von Floquet wird nur teilweise benützt.
Die zahlreichen Berechnungen und Vergleiche zur Überprüfung und Validierung werden an zwei Beispielen ausführlich dargestellt. Ihre gute Übereinstimmung und hohe Genauigkeit zeigt, dass die vorgeschlagene Methode prinzipiell richtig ist und dass das dazu erweiterte Programm zuverlässig und genau rechnet.
Die Vorteile von GMT und MMP gegenüber anderen Feldberechnungsmethoden können mit dieser Erweiterung auch im Bereich von periodischen Strukturen ausgenützt werden.

Die sechs Kapitel behandeln folgende Schwerpunkte:
Das erste Kapitel beschreibt allgemein GMT und MMP mit ihren Vorzügen.
Im zweiten Kapitel wird das Grundkonzept periodischer Strukturen, das Floquet-Theorem und die Floquet-Modi eingeführt. Die häufig verwendeten Moden für die Streuung ebener Wellen an unendlich dünnen, idealleitenden Elementen im homogenen Raum werden kurz erläutert. Dann folgt die Form für kombinierte ebene Wellen, die für Elemente in geschichteten Materialien benötigt wird. Schliesslich wird das Konstruktionsprinzip der Floquet-Moden für Elementarzellen mit anderen Formen und Materialien hergeleitet.
Kapitel drei befasst sich ausführlich mit der Erweiterung zur Konstruktion der periodischen Entwicklungsfunktionen. Die Anwendung von MMP für die Analyse und Berechnung periodischer Strukturen wird ausführlich behandelt und an zwei repräsentativen Beispielen dargestellt.
In Kapitel vier wird die Streufeldberechnung allgemeiner periodischer Strukturen in Hinblick auf die allgemein übliche Verwendung von Fernfeld-Parametern behandelt. Und im fünften
Kapitel wird das Vorgehen bei sehr dünnen Elementen in homogenen und geschichteten Medien gezeigt.
Das letzte Kapitel enthält weitere typische Beispiele für die Anwendung dieser Methode bei der Analyse und Berechnung von Streufeldern.