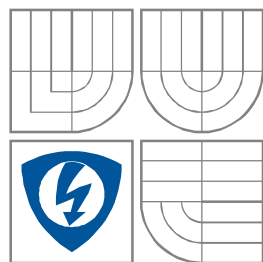


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV JAZYKŮ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF LANGUAGES

Komentovaný překlad
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Planý

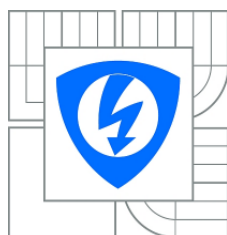
VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. PhDr. Milena Krhutová, Ph.D.

KUNZULTANT
CONSULTANT

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav jazyků

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Angličtina v elektrotechnice a informatice

Student: Martin Planý
Ročník: 3

ID: 143943
Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Komentovaný překlad

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Překlad odborného nebo populárně naučného textu s analýzou rozdílů a podobností v přístupu obou jazyků k přesnému přenosu zprávy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Krhutová: Parameters of professional discourse. Tribun EU, 2009
Knittlová: Překlad a překládání, Palacký University, 2010

Widdowson: Discourse analysis (vybrané části)

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: doc. PhDr. Milena Krhutová, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

doc. PhDr. Milena Krhutová, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRACT

This semestral thesis named Commented Translation includes the translation of a part of the university textbook for subject CAD in Microwaves. The thesis deals with linguistic aspects used in the translation and about theory connected with the style in which the translated text is written.

KEYWORDS

TRANSLATION * SCIENTIFIC WRITING STYLE * LINGUISTICS * COHESION * PASSIVE VOICE

ANOTACE

Semestrální projekt s názvem Komentovaný překlad skript obsahuje překlad části učebních materiálů pro předmět MCVT. Práce dále studuje jazykové prostředky použité při překladu a zabývá se také teorií spojenou se stylem, jakým je text psán.

KLÍČOVÁ SLOVA

PŘEKLAD * VĚDECKÝ STYL * LINGVISTIKA * KOHEZE * TRPNÝ ROD

PLANÝ, M. Komentovaný překlad. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav jazyků, 2015. 32 s., 16 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. PhDr. Milena Krhutová, Ph.D. Konzultant: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Komentovaný překlad jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. PhDr. Mileně Krhutové, Ph.D. a konzultantovi prof. Dr. Ing. Zbyňku Raidovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

TABLE OF CONTENTS

1	Introduction	8
	Translation	9
2	Numerical solution of Maxwell equations	9
2.1	Discretisation of analysed structure	9
2.2	Formal approximation of computed quantity	14
2.3	Substitution of formal approximation to solved equation	18
2.4	Minimisation of residuum.....	19
2.5	Solution of matrix equation	20
2.6	Substitution of coefficients to formal approximation	21
2.7	Frequency domain versus time domain	21
2.8	Conclusion	23
	Theory	24
3	Scientific style	24
3.1	Passive voice	24
3.2	Didactic approach	25
3.3	Monolog.....	27
4	Cohesion	28
4.1	Lexical cohesion	28
4.1.1	Repetition.....	28
4.1.2	Synonyms.....	29
4.1.3	Superordinates	29
4.1.4	General words	30
4.2	Grammatical cohesion	30
4.2.1	Reference	30
4.2.1.1	Proper nouns	31

4.2.1.2	Indefinite noun phrases	32
4.2.1.3	Definite noun phrases	33
4.2.1.4	Pronouns	33
4.2.2	Conjunctions	35
5	Conclusion	38
6	Bibliography	39
	Attachments	i
A	Original Czech text	ii
A.1	3 Numerické řešení Maxwellových rovnic	ii
A.1.1	3.1 Diskretizace analyzované struktury	ii
A.1.2	3.2 Formální aproximace hledané veličiny	vii
A.1.3	3.3 Dosazení formální aproximace do řešené rovnice	xiii
A.1.4	3.4 Minimalizace rezidua.....	xiv
A.1.5	3.5 Řešení maticové rovnice	xiv
A.1.6	3.6 Dosazení koeficientů do formální aproximace	xv
A.1.7	3.7 Kmitočtová versus časová oblast	xv
A.1.8	3.8 Závěr	xvii

1 INTRODUCTION

Nowadays, a progress of electronic industry is much faster than in the past. This fact leads to need of learning new theories and principles that are usually described by inventors through user's manuals, brochures, and scripts. Despite the fact that those texts are mostly written in one specific language, the language that is native to the inventor, they tend to be translated into other languages, so all people all over the world can read them.

English as a lingua franca is used as a common language for electro-engineering. Despite the fact that texts are translated from different languages into English, not everybody speaks English. In addition, not all texts are translated.

The reason for writing this thesis was to help with spreading these texts and enable approach to them to wider public. Professor Raida writes a university textbook for subjects teaching students about antennas. Moreover, because Brno University of Technology is as a part of EDUROAM, so it has many foreign students that do not speak Czech, there is a need for studying materials in English too.

This thesis is divided into two main parts. The first part includes the translation of a part of a script written by Professor Zbyněk Raida. The second part focuses on theory and it deals with the characteristics of a scientific writing style and its general differences between Czech and English. The theoretical part is then divided into several subchapters dealing with particular topics of the theory.

TRANSLATION

2 NUMERICAL SOLUTION OF MAXWELL EQUATIONS

We are able to solve Maxwell equations analytically only for very simple structures; for example for rectangular or circular waveguide with infinite length, while for more complex structures, we have to solve Maxwell equations numerically.

Due to the fact that the numerical solution of Maxwell equations in an integral form is much more complicated, in following paragraphs, we focus on the numerical solution of Maxwell equations in a differential form.

Let us describe basic steps of the numerical analysis briefly.

2.1 Discretisation of analysed structure

We divide an analysed structure into discretisation elements that do not overlap. However, discretisation elements have to include all points of the analysed structure.

In a case of longitudinal homogenous finline (Fig. 3.1), it is necessary to cover whole cross-section of the analysed structure by discretisation mesh. Therefore, discretisation elements are planar (triangle). We term the line as the longitudinal homogenous if its properties do not change in a longitudinal direction (length of the line is infinite and all cross-sections are identical).

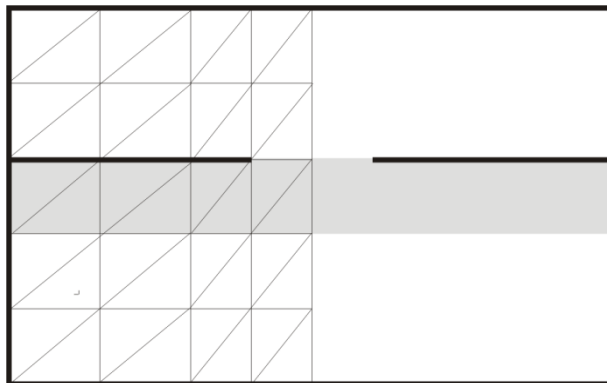


Fig. 3.1 Finline cross-section and its discretisation by rectangular elements.

There are contradictory conditions for making a discretisation mesh. To achieve the highest possible accuracy of analysis results, the discretisation mesh has to be very fine. However, a fine mesh consists of large number of discretisation elements; there are thus high computational requirements. Therefore, it is advantageous to use all symmetries of analysed structure and compute only a part of the mesh [3.3].

A suitable discretisation of the structure is a difficult task due to those contradictory requirements. Development of automatic generators of discretisation meshes is becoming very important discipline in numeric modelling of microwave structures.

For generation of discretisation meshes of two and three-dimensional structures is very often used so-called Delaunay discretisation [3.15], [3.16]. Delaunay triangularisation is used for planar structures.

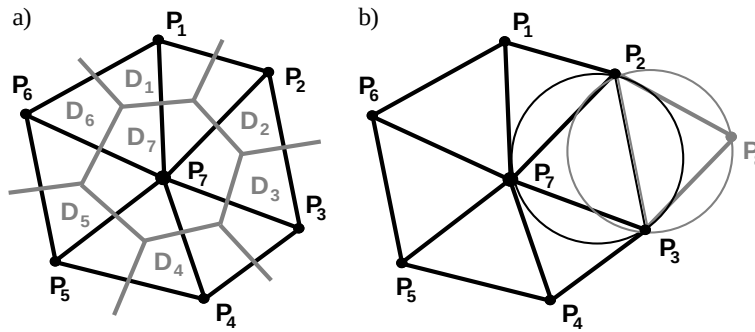


Fig. 3.2 Delaunay triangularisation properties: a) Dirichlet discretisation mesh (grey) and Delaunay discretisation mesh (black), b) circumscribed circles do not contain any point P .

Task of the triangularisation is to cover the space in which the specific number of points P is given by non-overlapping triangles whose vertices correspond to points P and whose surface covers the entire discretised space. There are many possible ways how to fulfil this task. Delaunay triangularisation is better than others for its specific properties [3.16]:

- Edges of Delaunay triangles connect such points P_i and P_j belong to neighbouring Dirichlet discretisation elements D_i and D_j ¹ Edges of Delaunay triangles always intersect an edge of two neighbouring Dirichlet discretisation elements as shown in the Fig. 3.2a.

¹ Dirichlet (or Voronoi) i th discretisation cell D_i is defined as a set of points, whose distance from the point P_i is less than or equal to a distance from all other points P_j (see Fig. 3.2).

- None of points P is located inside a circle circumscribed to any Delaunay element of the discretisation mesh., none of neighbouring points P_1, P_4, P_8 belong to the circle circumscribed to the Delaunay triangle $P_2 P_3 P_7$ and none of neighbouring points $P_2 P_3 P_7$ belong to the circle circumscribed to the Delaunay triangle P_1, P_4, P_8 (see Fig. 3.2b).
- The smallest angles of Delaunay triangles are bigger than the biggest angles of other possible triangularisations (we obtain very well shaped elements without extremely acute angles)

One of following three methods is usually used for generation Delaunay mesh:

- **Bowyer-Watson algorithm.** The algorithm is based on existing raw Delaunay mesh to which other points are inserted gradually. We test which circumcircles of already existing elements pass through a newly inserted point. The common edge of these elements is erased and the point is connected to existing points (Fig. 3.3)
- **Green-Sibson algorithm** is similar to Bowyer-Watson algorithm (gradual point inserting, testing using circumscribed circuits). The first step is to connect the inserted point to vertices of the triangle on which surface the point is located (for the mesh in the Fig. 3.3, the triangle $P_2 P_3 P_7$ would be divided into triangles $P_2 P_7 P_9$, $P_3 P_7 P_9$ and $P_2 P_3 P_9$). If all three new triangles meet the Delaunay criterion, the refinement is finished. Otherwise, it is necessary to modify the mesh. In our case, the edge $P_2 P_3$ would be replaced by the edge $P_8 P_9$. The final mesh would be then the same as the mesh made using the Bowyer-Watson algorithm.
- **Delaunay triangularisation of moving line.** Comparing to previous two algorithms, this algorithm is not based on existing raw mesh. The mesh is gradually made inwards from edges of a discretised structure in such a way that all conditions that define the Delaunay mesh are fulfil.

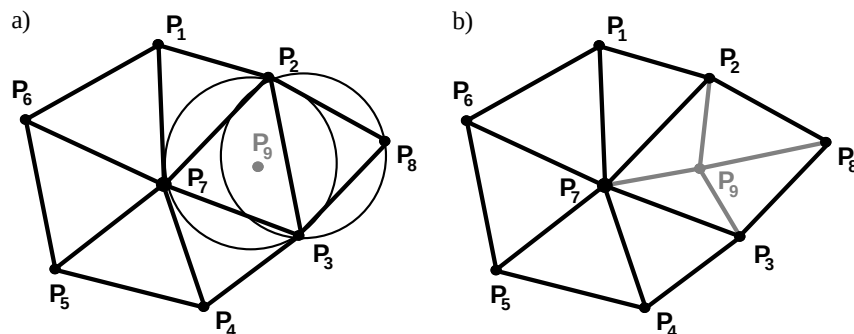


Fig. 3.3 Bowyer-Watson algorithm for generation Delaunay triangular meshes:
a) testing using circumscribed circuits, b) mesh refinement.

Mesh refinement process applied to an analysis of longitudinal homogenous lines using the method of discretisation elements is described in [3.4]. The process is based on a computation of a reaction of the electromagnetic field a to the field sources b^2

$$\langle a, b \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega \quad (3.1)$$

In the equation (3.1), $\mathbf{J}$ and $\mathbf{M}$ represent vectors of electric and magnetic current density; $\mathbf{E}$ and $\mathbf{H}$ represent electric and magnetic field intensity and Ω represents an analysed space.

As the electromagnetic field in resonance (harmonic steady-state) oscillates even without presence of sources, the field reaction to any source has to be zero [3.4]³

$$\langle a, a \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^a - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^a] d\Omega = 0 \quad (3.2)$$

We analyse the structure twice. One analysis is based only on electric field intensities and the other is based only on magnetic field intensities. After that, we substitute the sources in the equation (3.2) using Maxwell equations [1.4]

$$\mathbf{J}^a = \nabla \times \mathbf{H}^a - j\omega\epsilon \mathbf{E}^a \quad (3.3a)$$

$$\mathbf{M}^a = -[\nabla \times \mathbf{E}^a + j\omega\mu \mathbf{H}^a] \quad (3.3b)$$

In equations (3.3), the ω represents angular frequency, ϵ and μ represent permittivity and permeability of the analysed space

Now, we are able to calculate a relative error caused by n th element of the discretisation mesh [1.4]

$$\delta_n = \frac{\left\| \int_{\Omega_n} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^a - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^a] d\Omega \right\|}{\omega \int_{\Omega_n} \left[\frac{1}{2} \epsilon \|\mathbf{E}^a\|^2 + \frac{1}{2} \mu \|\mathbf{H}^a\|^2 \right] d\Omega} \quad (3.4)$$

² The product of created electric field intensity and source electric current density (the first element of the term) expresses a power density of external electric sources. The product of created magnetic field intensity and source magnetic current expresses a power density of external magnetic sources. Then a difference of both elements gives a total power density of external sources. Using an integration over space Ω the total power of external electromagnetic field sources is obtained [3.20].

³ The electromagnetic field contains only vortex components. The energy decants between the electric and the magnetic field. The field oscillates even if the total power of external electromagnetic field source is zero [3.20]. This theory holds true only if the space, where the field oscillates, is lossless. Losses would damp down the oscillation.

where Ω_n represents a space of n th discretisation element, other symbols represent same quantities as previously.

Due to the fact that for harmonic steady-state the field reaction to any source has to equal zero, the integral in the numerator of the (3.4) should equal zero. If we make any error in determining an electromagnetic field distribution during a numerical analysis, the numerator is nonzero. As we integrate the numerator over an n th discretisation element space Ω_n , the numerator is directly proportional to the n th element contribution to the total absolute solution error. The term in the denominator corresponds to the total electromagnetic field energy on the n th element surface (again integration over Ω_n). The quotient (3.4) represents a relative error caused by n th element.

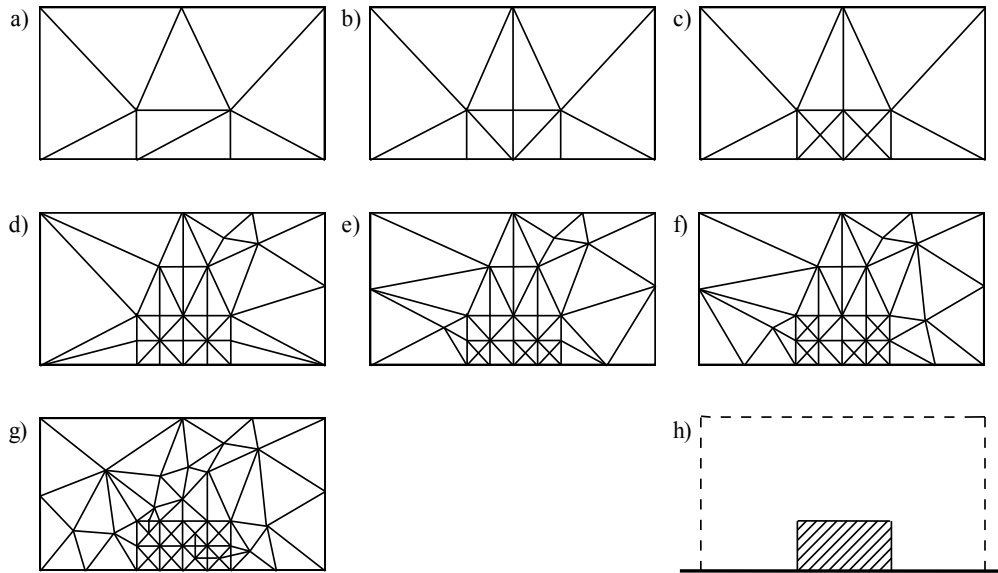


Fig. 3.4 Gradual discretisation mesh refinement (a to g) during an analysis of a dielectric waveguide on a ground plane (h) using the finite element method (FEM). For mesh refinement, Delaunay triangularisation combined with reaction concept was used. The image is taken from [3.4]

Knowing a magnitude of the relative error by which individual discretisation elements affect the total error, we can adaptively reduce the error of the solution by refinement of elements of the highest error until we obtain required solution error level.

Until now, we dealt only with the two-dimensional triangular discretisation mesh generation. However, described method can be relatively easily generalised for generation three-dimensional discretisation meshes consisting of tetrahedrons as discretisation elements [3.15], [3.16].

2.2 Formal approximation of computed quantity

Now, when the analysed structure is covered by superior discretisation mesh, we can discuss another step of numerical analysis: the formal approximation⁴ of computed field quantity behaviour over every element of discretisation mesh. We form the formal approximation from known basis functions f_i , that that are multiplied by unknown approximation coefficients c_i . Basis functions whose behaviour over a discretisation element is either constant (Fig. 3.5a), linear (Fig. 3.5b), or quadratic are the most frequently used.

The approximation is called formal because we do not know the behaviour of the approximated quantity (we do not know approximation coefficients c_i). Our task is to determine approximation coefficient in such a way that obtained approximation function meets the conditions in form of Maxwell equations applied to the description of analysed structure as precisely as possible.

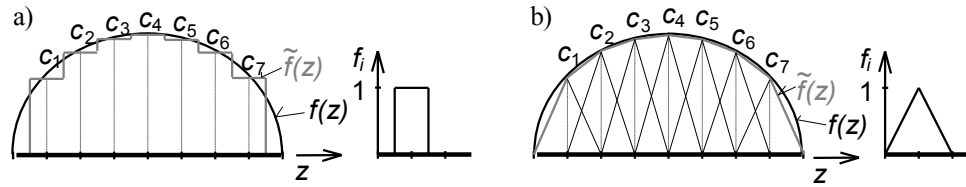


Fig. 3.5 Formal approximation of computed quantity:
a) piecewise constant, b) piecewise linear.

Linear functions are the most frequently used basis functions. There has been special types of basis functions worked out to achieve correct approximation of electromagnetic field at the interface of two discretisation elements. These functions has a vectorial character, or they are a combination of the scalar and the vector basis function.

In several following paragraphs, we shall describe two types of basis functions briefly. Firstly, the simplest nodal functions, that are used in finite element method (FEM) during analysis of structures consist only of perfectly conductive parts and vacuum, will be described. In this case the think is that we do not have to care for the correct continuity modelling at the interface of dielectric [3.3].

⁴ An approximation is considered to be formal because the behaviour of the approximated function is not known at the moment. That is why it is *formally* assumed that not known values of the function are known in certain points (not known approximation coefficients are considered as known). That allows to create general approximation. The behaviour of the approximation function can be changed by changing the values of approximation coefficients in the general approximation,

Consequently, we shall deal with hybrid vector base functions that are used by the finite element method during an analysis of longitudinal homogenous lines of general cross-section. Due to the fact that different dielectrics can be detected in the cross-section, it is necessary to use such a basis functions in transverse plane that ensure continuity at different dielectric interfaces.

Nodal functions are the simplest basis functions. Nevertheless, the term *node* is used for a vertex of a triangular discretisation element (points 1, 2, 3, in the Fig. 3.6). In the case of the nodal approximation, values of the computed field quantities represent the unknown approximation coefficients: we do not know spatial field quantity samples $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$ at the moment. Nodal basis functions approximate a field quantity distribution over the whole discretisation element space. In the case of the linear approximation, we interleave the plane by nodal values over element vertices $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$ (Fig. 3.6a). In the case of the formal approximation, the plane is the function of the unknown coefficients $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$.

The superscript in brackets declares the number of the discretisation element, over whose surface the quantity is approximated. The subscript declares the number of the node.

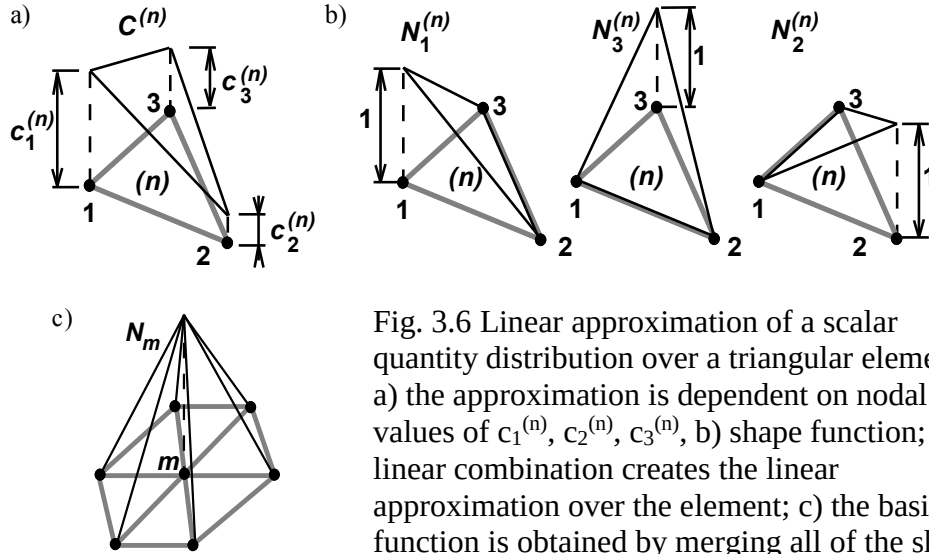


Fig. 3.6 Linear approximation of a scalar quantity distribution over a triangular element: a) the approximation is dependent on nodal values of $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$, b) shape function; their linear combination creates the linear approximation over the element; c) the basis function is obtained by merging all of the shape functions that are nonzero in the corresponding node.

The plane, by which we have approximated the field quantity distribution over the discretisation element plane, is called linear shape function. As shown in the Fig 3.6a, b, we form the linear approximation over the element from the sum of shape functions that have been multiplied by corresponding nodal values [3.3].

$$C^{(n)} = \sum_{m=1}^3 c_m^{(n)} N_m^{(n)} \quad (3.5)$$

In m th node of n th triangular element, of the linear shape function $N_m^{(n)}$ acquires the unit value. In other two nodes, the value equals zero. (see the Fig. 3.6b),

By merging all the shape functions that attain the unit value in the m th node, we obtain the basis function N_m of the m th node (see the Fig. 3.6c). Knowing the basis functions and the nodal values, we can then easily express the approximation of the scalar field quantity distribution over the whole analysed space [3.3]

$$C = \sum_{m=1}^M c_m N_m \quad (3.6)$$

where M represents the total number of nodes and c_m represents the global nodal value.

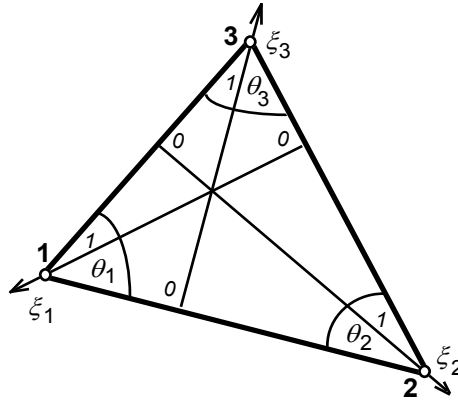


Fig. 3.7 Two-dimensional simplex coordinates.

Basis and shape functions are with advantage expressed by the simplex coordinates. In the case of two-dimensional triangular elements, the simplex coordinates are understood as triangle attitudes. The coordinate has the unit value in the triangle vertex that it passes and it is zero on the opposite edge (see the Fig. 3.7).

For triangular elements, the linear shape functions can be expressed as [3.3]:

$$N_1^{(n)} = \xi_1, \quad N_2^{(n)} = \xi_2, \quad N_3^{(n)} = \xi_3 \quad (3.7)$$

where ξ_1 , ξ_2 , and ξ_3 represent simplex coordinates (see the Fig. 3.7). More information about nodal approximation and simplex coordinates can be found in [3.3] and [3.17]

As mentioned above, the nodal approximation is not able to fulfil continuity conditions at interfaces of dielectrics. That affects the final result in such a way that besides real existing solutions there are also so called spurious solutions. Spurious solutions comply the first and the second Maxwell equation but they do not meet the third and the fourth Maxwell equation (so-called divergence-free condition). Using the nodal approximation, there are only two possible ways how to avoid these solution:

- We use the non-modified first and second Maxwell equations for the calculation [3.18]. Therefore, a system of six equations with six unknowns (field components $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$) is used in such a way that the spatial distribution of every single components is approximated separately using nodal functions. Consequently, requirements for computation and memory are very high.
- We use A wave equation that results from combination of the first and the second Maxwell equation. It is sufficient to solve only three scalar equations for three field components. A special divergence number has to be added to ensure that we meet the divergence-free conditions [3.19]. However, that element complicates the final matrix equations solution (it makes matrixes denser and it disrupts their band character).

The problem has been solved using vector edge base/basis functions. In the case of longitudinal homogenous lines, when it is necessary to take care of conditions at the interface of dielectrics to be met only in the plane xy , we apply the edge approximation only on transverse component of electric field vector E_x and E_y . We can approximate the longitudinal field component E_z using standard nodal functions [3.4].

According to equations (3.5) and (3.7), we can then express the longitudinal field component distribution over an n th discretisation element as [3.4]

$$E_z^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} N_{z,m}^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} \xi_m \quad (3.8)$$

where $e_{z,m}^{(n)}$ represents the unknown nodal values and $N_{z,m}^{(n)} = \xi_m$ is the linear shape function in simplex coordinates form.

We express the transverse field vector distribution as a linear combination of unknown scalar approximation coefficients and known vector basis functions [3.4]

$$\begin{aligned} \vec{E}_t^{(n)} &= \vec{N}_{t,12}^{(n)} e_{t,12}^{(n)} + \vec{N}_{t,23}^{(n)} e_{t,23}^{(n)} + \vec{N}_{t,31}^{(n)} e_{t,31}^{(n)} \\ &= \sum_{i,j} \vec{N}_{t,ij}^{(n)} e_{t,ij}^{(n)}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

On the discretisation element edge, the direction of vector base/basis function is

the same as the direction of the edge. That is why that those discretisation elements are called edge discretisation elements. Using simplex coordinates, we can express them by the relation [3.4]

$$\vec{N}_{t,ij}^{(n)} = \xi_i \nabla_t \xi_j - \xi_j \nabla_t \xi_i \quad (3.10)$$

where ∇_t is the transverse differential operator nabla. If the z_0 direction of the Cartesian coordinates system is assumed to be longitudinal, the transverse operator nabla can be expressed as

$$\nabla_t = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{x}_0 + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{y}_0 \quad (3.11)$$

Due to the fact that neighbouring discretisation elements shares the same edge and that electric and magnetic properties of a material have to be invariant in the space of discretisation element, the usage of prismatic elements ensures the tangential field quantity continuity at interfaces.

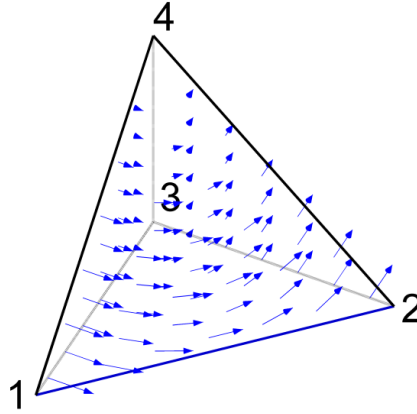


Fig. 3.8 Vector base/basis function of horizontal edge. The vector of base/basis function is unit on an edge. On other two edges, it is zero (it is perpendicular to them).

2.3 Substitution of formal approximation to solved equation

We express the solved equation symbolically.

$$F[\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = 0 \quad (3.12)$$

where F represents the general differential operator, $\mathbf{E}$ represents the wanted field distribution (in this case represented by electric field intensity vector), $\mathbf{r}$ represents the position vector of a point in which we compute the intensity, and s represents either the frequency (if we analyse the structure in the harmonic steady-state) or the time (if

we analyse the transient condition). The function $f(\mathbf{r}, s)$ describes known sources of the wanted electromagnetic field.

By substitution of the accurate solution $\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)$ in the equation (3.12) by the formal approximation $\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)$, we obtain the following equation.

$$\begin{aligned} F[\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) &= F\left[\sum_{m=1}^M c_m \mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)\right] - f(\mathbf{r}, s) = \\ &= \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = R(\mathbf{r}, s). \end{aligned} \quad (3.13)$$

The approximation is expressed as the sum of the product of the not known scalar approximation coefficient c_m and the not known vector basis function $\mathbf{N}_m$ on the m th discretisation element. We sum the products of c_m and $\mathbf{N}_m$ over all M discretisation elements to which the analysed structure is divided.

Since the operator F is linear, we can change the order of the operator application and the sum. Due to the fact that the c_m is a constant (even though it is not known at the moment), we can put it before the operator. Thereby, we obtain the sum of M unknown coefficients c_m multiplied by the known functions $F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)]$.

It cannot be overlooked that after the substitution of the approximation to the function $R(\mathbf{r}, s)$ whose value depends on the position of the $\mathbf{r}$ the zero side of the solved equation (3.12) has changed. We call this function residuum (residual function). It reflects the fact that the approximation differs from an exact solution and that the deviation magnitude depends on the position and the frequency or the time (see the Fig. 3.5).

In the next step, we try to find such values of approximation coefficients c_m so that the residuum attains as precise values as possible. By that, we reach the highest possible accuracy.

2.4 Minimisation of residuum

For minimisation of the residuum, we usually use the weighted residua method. This method is based on a multiplication of the function $R(\mathbf{r}, s)$ by an appropriate weighed function $W_m(\mathbf{r}, s)$ in the integration of the product over the whole analysed space, and set the integration result to zero

$$\iiint_V [W_n(\mathbf{r}, s) R(\mathbf{r}, s)] dV(\mathbf{r}) = 0 \quad (3.14)$$

That practically expresses the requirement for the mean weighed error of the solution over the whole analysed space to be zero.

If a basis function is the weighted function, the method being used is called Galerkin method [3.7]

$$\begin{aligned}
& \iiint_V \left\{ N_n(\mathbf{r}, s) \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] + N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \right\} dV(\mathbf{r}) = \\
& = \sum_{m=1}^M c_m \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] \} dV(\mathbf{r}) + \\
& + \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \} dV(\mathbf{r}) = 0.
\end{aligned} \tag{3.15}$$

The (3.15) is one equation for M not known coefficients c_m . In integrals over the analysed space V , there are only the known basis functions and the known operator. Therefore, the integral can be expressed by one exact number. Since it is an integral of the product of the known weighted function and the known source function, we can express the second element by one exact number too.

If we gradually multiply the residuum by M different weighted function, we obtain the system of M algebraic equation with M unknowns approximation coefficients c_m .

2.5 Solution of matrix equation

We can express the final matrix equation symbolically as

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \int N_1 F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_1 F(\mathbf{N}_2) dV & \dots & \int N_1 F(\mathbf{N}_M) dV \\ \int N_2 F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_2 F(\mathbf{N}_2) dV & \dots & \int N_2 F(\mathbf{N}_M) dV \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \int N_M F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_M F(\mathbf{N}_2) dV & \dots & \int N_M F(\mathbf{N}_M) dV \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_M \end{bmatrix} = \\
& = - \begin{bmatrix} \int N_1 f dV \\ \int N_2 f dV \\ \vdots \\ \int N_M f dV \end{bmatrix}.
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Solving this equation, we obtain the unknown approximation coefficients c_m .

2.6 Substitution of coefficients to formal approximation

By substituting the calculated approximation coefficients to the formal approximation, we obtain the approximation function (now the informal) that describes an approximate solution of the problem in all points of the analysed space with the minimal total error.

Thereby, the numerical analysis is complete.

We describe the numerical analysis in more details in following paragraphs. We shall show how the electromagnetic field analysis in harmonic steady-state actually looks (if we talk about the analysis in a frequency domain) and how it differs from the calculation of transient phenomena during the field stabilisation (if we talk about the analysis in time domain).

2.7 Frequency domain versus time domain

We understand the numerical analysis of microwave structure in frequency domain as a calculation of the electromagnetic field distribution of this structure in harmonic steady-state. That means that we consider the time dependence of the quantities' time dependence to be expressed as

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \quad (3.17)$$

where $\mathbf{r}$ represents a position vector of the point in which the intensity is calculated, ω represents an angular frequency used for the analysis, j stands for the imaginary unit, t represents the time, and $\mathbf{E}$ represents the electric field intensity vector, is took into account.

The analysis in the frequency domain is relatively easy because we can substitute the time derivative of a harmonic quantity by multiplying the quantity by the coefficient $j\omega$. The integral of a harmonic quantity with respect to time can be substituted by dividing the quantity by the coefficient $j\omega$.

Nevertheless, the analysis in time domain has also disadvantages.

From a theoretical point of view, the harmonic steady-state does not according to physical conditions, exist, because the electromagnetic field in harmonic steady-state would have to exist infinitely (time restriction – multiplying the waveform by a rectangular window – would cause a creation of other spectral components). Moreover, the infinite electromagnetic field existence is associated with infinite energy that is, unfortunately, not available.

In the practically point of view, the harmonic field is a field that exist long enough.

If we want to analyse the microwave structure in sufficiently wide frequency band, we have to perform the analysis repeatedly on so many frequencies so that whole band is covered by a sufficient resolution while formulating the problem in the frequency domain. Every single analysis is running independently to each other (there is no relevant information transmission between particular calculations) which is quite ineffective.

The microwave structure analysis in the time domain has complementary properties compared to the analysis in the frequency domain.

Since it is not possible to presume the harmonic steady-state for the time analysis, the time differentiations and integrations cannot be substituted by multiplication or division by the $j\omega$. Computed quantities changes in time, so the analysis has another dimension. Therefore the analysis is mathematically more complicated and it requires higher computer performance.

For the analysis in the time domain, we presume an excitation of the analysed structure by a narrow drive pulse. Therefore, excitation and excited electromagnetic fields has final duration and final energy. In addition, the narrow drive pulses have relatively wide frequency spectrum so using only one calculation we obtain information about the structure behaviour for whole frequency band at once. The electromagnetic field distribution in a future moment is calculated from the field distribution in previous moments. It is the same like if the structure behaviour in frequency domain for new frequency would be computed using results of previous frequencies. Consequently, comparing to the analysis in the frequency domain, the analysis in the time domain is more effective [3.8]–[3.11].

2.8 Conclusion

In the introductory chapter, we repeated the integral and the differential formulation of Maxwell equations that are used for mathematical description of analysed structure in whole text book.

Since we cannot solve the final equations analytically, we described the general process of numerical solution. The largest part of the chapter focused on the description of the discretisation of analysed structures using the triangular discretisation mesh. We also focused on the description of the basis functions that help us to create the formal approximation of the field quantity distribution over the analysed structure. Both the discretisation and the formal approximation are, in fact, the same for all numerical methods (except for the finite difference method).

At the end of the chapter, there has been the comparison of the analysis in the frequency domain and the analysis in the time domain.

In following chapters, we shall specify the general principles mentioned in this chapter will be using the finite element method and the integral equation method. In addition, the difference of the general described scheme and the finite difference method will be able to be compared.

THEORY

This chapter focuses on a theory associated to the translated text. Linguistic issues connected to the translated text will be described and supplemented by examples taken from the text. Some differences between Czech and English expression describing same thing to keep the meaning of expressions and definitions will be also compared. Since there is no difference in working of particular electronic component nor calculation process in different languages, therefore, the description has to be the same. Due to the fact that the translated text is a chapter of a university textbook, characteristic features of the scientific writing style will be described. Described features of the Czech scientific writing style and the English scientific writing style will be also compared.

3 SCIENTIFIC STYLE

Since the text translated in this thesis above is a part of a university textbook, it is written using the style of science and technology. According to Grygová, the main purpose of the scientific writing style “*is to convey knowledge or information that is precise, clear, and relatively complete*” (Knittlová, 2010, s. 206). Therefore, the scientific writing style can be said to be a basic style for writing educational texts.

3.1 Passive voice

Scientific texts have to be formal and objective. The formality and the objectivity are reasons for another feature of scientific style to be used, the passive voice (Knittlová, 2010). The passive voice in English is made by verb *to be* + *past participle* (Broukal, 2010). This makes an object of a sentence to become an agent. Therefore, another reason for using the passive voice could be that if text describes some technical process, it is not important who performs the process but how it actually works - which component controls a given action or which action may affect which component. In the Czech language, the passive voice is considered more precise and formal but it is not used as frequently as in English (Knittlová, 2010).

An example of typical usage of passive voice can be demonstrated on the first sentence of the paragraph that follows after the Fig 3.7 in the chapter 2.2 of translated text:

“Basis and shape functions are with advantage expressed by the simplex coordinates.”

The original Czech sentence is:

„Bázové a tvarové funkce se s výhodou vyjadřují pomocí simplexních souřadnic.“
(see attachment A.1.2).

While there is only one possible way how to make a passive voice (*to be + past participle*) in English language, in Czech language, there are two possibilities how a passive voice can be made. One of the possibilities how a passive voice can be made is use the verb *být + passive participle*. The second form of a passive voice is made using the reflexive pronoun *se*. In the sentence mentioned above (*“Bázové a tvarové funkce se...”*), professor Raida decided to use the form with the reflexive pronoun (Sochrová, 2007). If he would use the *být + passive participle* form, the sentence would probably be:

“Bázové a tvarové funkce jsou s výhodou vyjadřovány pomocí simplexních souřadnic.”

In this case, the author of the original Czech text chose to use the passive voice probably due to the fact that basis and shape functions are with advantage expressed by the simplex function in general. I believe that if it would not be valid in general but it would be an advantage to express those functions by the function only for the author of the text and for its readers, the author would use rather use a different approach. The Czech sentence would then be:

“Bázové a tvarové funkce s výhodou vyjadřujeme pomocí simplexních souřadnic.”

This sentence would be then translated as:

“We express basis and shape functions with advantage by the simplex coordinates.”

3.2 Didactic approach

However, as it has been mentioned, the translated text is a part of a university textbook. To ensure that a reader (student) will not feel stressed by reading the text full of instructions and given statements, there is the pronoun *we* used in sentences and the text is partially written using the active voice. It makes a personal approach of the text to a reader that helps reader to feel more familiar with the text. Personal approach is usually used in didactic texts to make reader feel that he/she is not alone

who is dealing with problematics mentioned in a text. It can also make reader feel that without him would described processed not be possible and that he/she is needed (Knittlová, 2010).

Professor Raida used the didactic approach in the original Czech text. It has been decided to keep this approach in the translated text too. The whole third paragraph of the chapter 2.6 in the translated text, where we is used four times, can be used as an example of an active voice usage:

“We describe the numerical analysis in more details in following paragraphs. We shall show how the electromagnetic field analysis in harmonic steady-state actually looks (if we talk about the analysis in a frequency domain) and how it differs from the calculation of transient phenomena during the field stabilisation (if we talk about the analysis in time domain).”

Since the original Czech text of this paragraph is:

“V dalších odstavcích se budeme numerické analýze věnovat podrobněji. Ukážeme si, jak konkrétně vypadá analýza elektromagnetického pole v ustáleném harmonickém stavu (hovoříme o analýze v kmitočtové oblasti) a jak se od ní odlišuje výpočet přechodných jevů při ustalování pole (hovoříme o analýze v oblasti časové).” (see the attachment A.1.6),

this paragraph is also an example didactic approach keeping.

If professor Raida would decide to use the passive voice instead of the didactic approach, he would probably write the previously mentioned paragraph as:

“V následujících odstavcích je numerická analýza vysvětlena podrobněji. Bude uveden příklad, jak konkrétně vypadá analýza elektromagnetického pole v ustáleném harmonickém stavu (analýze v kmitočtové oblasti) a jak se od ní odlišuje výpočet přechodných jevů při ustalování pole (analýze v oblasti časové).”

Translation of this paragraph would then be:

“The numerical analysis is described in more details in following paragraphs. There is an example of how the electromagnetic field analysis in harmonic steady-state actually looks (the analysis in a frequency domain) and how it differs from the calculation of transient phenomena during the field stabilisation (the analysis in time domain).”

Another style used to convey information is called popular scientific. Besides the texts written using the scientific style whose readers are assumed to be professionals in the field discussed in the text, the popular scientific texts are written for wider public.

Typical features of popular scientific style are: shorter sentences; described problems are simplified; technical terms are described and explained. These features ensure that wider public can understand the topic (Knittlová, 2010).

3.3 Monolog

The primary feature of the style of science and technology is the form in which the text is written. Texts written in the style of science and technology are written as a monologue. Knittlová says that the monolog does not allow writer neither to have a feedback from reader nor to use gestures and intonation, therefore, the utterance has to be comprehensive in both formal and content way (Knittlová, 2010).

Since the scientific texts are full of technical terms, the translations have to be precise and unambiguous. It also has to be fluent. To make a text fluent, we use cohesive devices (Knittlová, 2010).

4 COHESION

Krhutová says that the cohesion is “*the formal tie that connects up units of language to form a text*” (Krhutová, 2009, s. 186). She also agrees with Halliday and Hasan that the cohesion can be understood as “*a semantic phenomenon referring to relations of meaning that exist within the text, and that define it as a text. Cohesion occurs where the interpretation of some element in the discourse is dependent in that of another. The one presupposes the other, in the sense that it cannot be effectively decoded except by recourse to it. When this happens, a relation of cohesion is set up, and the two elements, the presupposing and the presupposed, are thereby at least potentially integrated into a text*” (Krhutová, 2009 p. 65). It can be also understood as a syntactic connectedness of a text that makes text fluent. Cohesion also reminds reader what is discussed. The cohesion could be either lexical or grammatical.

4.1 Lexical cohesion

Lexical cohesion means a reiteration of a lexical item. It is done by a composition of lexical units (Urbanová, 2002). It means to mention a lexical unit again. Lexical cohesive devices that are used for the reiteration are: **repetition**, **synonyms**, **superordinates**, and **general words** (Krhutová, 2009).

4.1.1 Repetition

Repetition in scientific text is used to help reader to remember what is written in the text. Another reason for that is to make reader sure what the text describes (Knittlová, 2010). In addition, it can help reader to remember new terminology connected with a topic. As an example of the repetition used in translated text can be used the very first paragraph of the translated text:

“We are able to solve Maxwell equations analytically only for very simple structures; for example for rectangular or circular waveguide with infinite length, while for more complex structures, we have to solve Maxwell equations numerically.”

In this paragraph, there is a repetition of the *Maxwell equations*.

The original Czech text of this paragraph, in which the repetition of the *Maxwell equations/Maxwellovy rovnice* is also used, is:

“Maxwellovy rovnice umíme řešit analyticky pouze pro velmi jednoduché struktury, jako je např. nekonečně dlouhý vlnovod obdélníkového či kruhového průřezu. U struktur komplikovanějších musíme Maxwellovy rovnice řešit numericky.” (see the attachment A.1)

The expression *Maxwell equations* is mentioned for the first time at the beginning of the paragraph. At the end of the paragraph, the Maxwell equations are mentioned again. Considering Maxwell equations in the name of the chapter, there is the expression *Maxwell equations* mentioned three times on first four lines. This is a typical example of the repetition in a scientific text that can definitely help reader to remember *Maxwell equations* as a new term.

4.1.2 Synonyms

Since scientific texts are full of technical terms that are unique (synonyms do not exist for them). Therefore, in text written in scientific style, synonyms are used for reiteration of the terms that are not that unique, e.g. equation – formula – theorem.

Synonym usage in the scientific text would lower the preciseness of the information. Therefore, there are no synonyms used in the translated text.

4.1.3 Superordinates

Subordinates are lexical units that are used to name more expression using one specific expression (Krhutová, 2009).

As an example of superordinate usage we can use the first sentence of the third paragraph in the chapter 2.2 in the translated text:

“*Linear functions are the most frequently used basis functions.*”

In this sentence the *basis functions* is the superordinate of the *linear function*.

Original Czech sentence, in which the superordinate was used too, is:

“*Nejčastěji používanými základními funkcemi bývají funkce lineární.*” (see the attachment A.1.2)

4.1.4 General words

General words are usually represented by pronouns.

Pronouns are used in the same way as the repetition there where it is not that necessary to remember the term. (Knittlová, 2010)

As an example of pronoun usage in the translated text we can use the second sentence of the paragraph follows after the fig 3.7 in the chapter 2.2 in the translated text:

“The coordinate has the unit value in the triangle vertex that it passes and it is zero on the opposite edge.”

The original Czech sentence is:

“Souřadnice je jednotková ve vrcholu trojúhelníka, kterým prochází, a nulová na protilehlé hraně.”

There is the pronoun *it* in the sentence that represents the expression *the coordinates*. In Czech, the expression *souřadnice* would be represented by the pronoun *ona* but Czech language allows to omit it.

4.2 Grammatical cohesion

As the lexical cohesion mentioned above, the grammatical cohesion helps to connect up language units of a text and to form a text. The grammatical cohesion can be divided into several types according to grammatical device that is used for cohesion making. These types are: **reference**, **ellipsis**, **substitution**, and **conjunctions**. Since the ellipsis and substitution are primarily used in a spoken discourse, we focus only on the reference and conjunctions (Krhutová, 2009) (Urbanová, 2002).

4.2.1 Reference

As the name suggests, this type of cohesion uses grammatical devices that refer to a text. Using the reference, a writer of a text enables reader to identify things mentioned in a text. To do that, a writer uses so-called referring expression. As the referring expressions can be used: **proper nouns**, **indefinite** and **definite noun phrases**, and **pronouns** (Yule, 1996).

4.2.1.1 Proper nouns

As it emerges from the translated text, the style of science and technology uses proper nouns that are mainly connected with some specific principles. These principles are mostly based on some general principles but they can be modified to be used under specific conditions. A name of such principle is then usually derived from a name of a person who modified it.

An example of usage of a proper noun as a referring expression in the translated text, we can again use the second sentence of the first chapter of the text:

“Due to the fact that the numerical solution of Maxwell equations in an integral form is much more complicated, following paragraphs focus on the numerical solution of Maxwell equations in a differential form.”

This paragraph has been translated from the second sentence of original Czech text:

“V následujících odstavcích se zaměříme na numerické řešení Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru. Numerické řešení rovnic integrálních je totiž mnohem komplikovanější.” (see attachment A.1).

In this sentence, there is the proper noun *Maxwell equations*. The term *equation* is a general term that can represent any equation. Nevertheless, the term *Maxwell equations* represents equations of specific form that are used for mathematic solutions in electromagnetic fields (Raida, 2015). In the text, the term *Maxwell equations* refers to those specific equations, therefore a reader knows which equations the author of the text is talking about.

An example that shows the specific form of one of Maxwell equations could be:

$$\oiint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

Another example of usage of a proper noun as a referring expression in the translated text can be demonstrated on the first sentence of the fifth paragraph in the chapter 2.1 in the translated text:

“For generation of discretisation meshes of two and three-dimensional structures is very often used so-called Delaunay discretisation [3.15], [3.16].”

In this paragraph, there is the proper noun *Delaunay discretisation* which represents the specific discretisation process invented by Delaunay. There are probably mode principles of discretisation existing, but the most suitable discretisation that can

be used for the generation of discretisation meshes is said to be the specific discretisation named Delaunay discretisation which probably differs from the others.

Original Czech text of this example is:

“Pro generování diskretizačních sítí u dvoj- a trojrozměrných struktur se velmi často používá tzv. Delaunayho diskretizace [3.15], [3.16].” (see attachment A.1.1)

4.2.1.2 Indefinite noun phrases

Indefinite noun phrases used as reference uses the indefinite article *a/an*. The English indefinite article *a/an* is used before nouns that are general or that are not specified (Yule, 1996). For instance, if there is some description of electronic component operation (e.g. a diode) and the operation is the same for all components of that type, a noun representing that component is used with the indefinite article because it is not specified what exact diode an author of a text is talking about. It can be a diode which is used in some reader's device or a diode which a reader can buy in some store. Operation of both diodes is the same.

As an example of the indefinite noun phrase usage we can use the first sentence of the first paragraph in the chapter 2.1 in the translated text:

“We divide an analysed structure into discretisation elements that do not overlap.”

In this sentence, the indefinite article stands before the noun phrase *analysed structure*. It is due to the fact that the phrase *analysed structure* refer to every structure that is about to be analysed.

Original Czech text of this sentence is:

“Analyzovanou strukturu rozdělíme na diskretizační prvky, které se vzájemně nepřekrývají.” (see attachment A.1.1)

As you can see, the Czech language do not use any articles. The definiteness of a reference in Czech texts results from a context. According to the context, the indefinite article was used in the English translation. If the text would be originally written in English and if the phrase *analysed structure* would be used with the definite article, then due to the fact that the definiteness of a reference in Czech texts results from a context the Czech translation of this sentence would be the same as it is now.

4.2.1.3 Definite noun phrases

Besides indefinite noun phrases, there are also definite noun phrases that can be used as a reference. While indefinite noun phrases use the indefinite article which is used only in singular, definite noun phrases use the definite article *the*. In addition, the definite article is used also in plural. The English definite article stands before nouns which represent something that is unique or if a thing is the exact one (Yule, 1996). The thing that is referred using a definite noun phrase should be specified at first to ensure that a reader knows which exact thing an author means.

A use of definite noun phrase for referring can be demonstrated on the first sentence of the sixth paragraph in the chapter 2.1 in the translated text.

“Task of the triangularisation is to cover the space in which the specific number of points P is given by non-overlapping triangles whose vertices correspond to points P and whose surface covers the entire discretised space.”

Due to the fact that the term *triangularisation* was mentioned in the second sentence of the fifth paragraph in the chapter 2.1 and that it has been also said there that its name is the Delaunay triangularisation and that it is the Delaunay discretisation used for planar structures, the term *triangularisation* used in the first sentence of the sixth paragraph in the chapter 2.1 is used with the definite article. In this case, a reader knows that this triangularisation is the Delaunay triangularisation.

The Czech original of this sentence is:

“Úkolem triangularizace je pokrýt prostor, v němž je dán určitý počet bodů P , vzájemně se nepřekrývajícími trojúhelníky, jejichž vrcholy leží v daných bodech P a jejichž plocha pokrývá celý diskretizovaný prostor.” (see attachment A.1.1)

4.2.1.4 Pronouns

Pronouns used for referring can either be personal (for example *he, she, it, they*) or demonstrative (Yule, 1996). As it emerges from the translated text, personal pronouns usually refer to things or principles.

A personal pronoun that refers to a thing is used in the second sentence of the eleventh paragraph in the chapter 2.2 in the translated text:

“The coordinate has the unit value in the triangle vertex that it passes and it is zero on the opposite edge.”

The personal pronoun *it* is used twice in this sentence and both refer to the term *the coordinate*. In this sentence, the repetition could be also used. In that case, there would be *the coordinate* instead of the *it*.

Due to the fact that the Czech language uses the declension every gender in Czech have its own rules how it should be declined, there is not any pronoun that would refer to those coordinates (Sochrová, 2007). Czech version previous example is:

“Souřadnice je jednotková ve vrcholu trojúhelníka, kterým prochází, a nulová na protilehlé hraně.” (see attachment A.1.2)

As you can see, there is not any Czech pronoun *ono* (Czech translation of *it*) because it results from the form of phrase *kterým prochází* that the coordinate is what passes through the triangle vertex.

Since demonstrative pronouns are used for pointing they are connected with the term **Deixis**. Deixis is a linguistic term that came from Greek and it means ‘pointing via language’. Deixis is made by so-called deictic expressions. According to what we are pointing at we divide deixis to personal, spatial, and temporal (Yule, 1996).

4.2.1.4.1 Personal deixis

Personal deixis is used for pointing to persons and things (Krhutová, 2009). As it has been mentioned above, in scientific texts is not usually important who performs an action. Therefore, in scientific texts, the personal deixis pointing to persons are used rarely. Nevertheless, the personal deixis pointing to thing is used quite often in scientific texts.

The example of personal deixis can be demonstrated on the first and the second sentence of the paragraph that follows after the equation (3.9) in the chapter 2.2 in the translated text:

“On the discretisation element edge, the direction of vector base/basis function is the same as the direction of the edge. That is why that those discretisation elements are called edge discretisation elements.”

There is the demonstrative pronoun *those* in the second sentence of the example that points to the elements that are mentioned in the first sentence of the example.

4.2.1.4.2 Spatial deixis

Another type of deixis is the spatial deixis that is used for pointing to places. If a thing that is discussed is in some place and we want to refer to that place we use the spatial deixis. The most often used pronouns that point to a space are *here* and *there* (Yule, 1996).

In the translated text, the spatial deixis is used for example in the second sentence of the paragraph that follows after the equation (3.15) in the chapter 2.4 in the translated text:

“In integrals over the analysed space V , there are only the known basis functions and the known operator.”

In this sentence, there is the pronoun *there* which point to place in the integral equation used over the analysed space mentioned at the beginning of the sentence.

This sentence was translated from Czech sentence:

“ V integrálech přes analyzovanou oblast V totiž vystupují pouze známé báze funkce a známý operátor.” (see attachment A.1.4)

4.2.1.4.3 Temporal deixis

The last type of deixis is the temporal deixis. The temporal deixis is used for referring to time. It means that if there is an action that happened or that is going to happen and we want to refer to that time we use temporal deixis (Krhutová, 2009). As it emerges from the translated text the temporal deixis is used relatively often. It is due to the fact that scientific texts usually describe some processes or working principles in which one action follows another.

An example of temporal deixis can be demonstrated on the first sentence of the first paragraph in the chapter 2.2 in the translated text:

“Now, when the analysed structure is covered by superior discretisation mesh, we can discuss another step of numerical analysis: the formal approximation of computed field quantity behaviour over every element of discretisation mesh.”

In this sentence, there is the deictic expression *now* that refers to the time that is specified immediately that expression – *when the analysed structure is covered*. It means that that reader have covered the analysed structure and after he have finished it (now) he can do the formal approximation.

4.2.2 Conjunctions

Conjunctions are the most frequent cohesive devices in a text. Comparing to the spoken discourse in which the most frequently used conjunctions are *and*, *but*, *so*, and *or*, the written discourse uses wider scale of conjunctions (Urbanová, 2002).

Conjunctions used in written discourse can be distinguished to be either formal or informal (Urbanová, 2002). As it has been mentioned at the very beginning of the chapter 3.1 in the theory, scientific text have to formal. Therefore, there should be formal conjunctions used in there.

An example of formal conjunction usage can be demonstrated on the first of the fifth in the chapter 2.2 in the transited text:

“Consequently, we shall deal with hybrid vector base functions that are used by the finite element method during an analysis of longitudinal homogenous lines of general cross-section.”

There is the conjunction *consequently* used at the very beginning of the sentence. This conjunction would be replaced by the informal conjunction *then*.

On the other hand, conjunctions can be distinguished whether they make time, spatial, circumstantial, or causal relation between sentences (Urbanová, 2002).

An example of conjunction usage that make a time relation between sentences can be demonstrated on the second sentence of the fourteenth paragraph in the chapter 2.2 in the translated text:

“In the case of longitudinal homogenous lines, when it is necessary to take care of conditions at the interface of dielectrics to be met only in the plane xy , we apply the edge approximation only on transverse component of electric field vector E_x and E_y .”

The conjunction that makes the time relation between the clauses in this sentence is *when*.

An example of conjunction usage that make a spatial relation between sentences can be demonstrated on the text that follows after the equation (3.4) in the chapter 2.1 in the translated text:

“where Ω_n represents a space of n th discretisation element, other symbols represent same quantities as previously.”

In this sentence, the conjunction *where* makes the spatial relation between the sentence and the equation (3.4).

An example of conjunction usage that make a circumstantial relation between sentences can be demonstrated on the first sentence of the fourth paragraph in the chapter 2.3 in the translated text:

“Since the operator F is linear, we can change the order of the operator application and the sum.”

The conjunction *since* is the conjunction that makes the circumstantial relation between the clauses of the sentence.

An example of conjunction usage that make a causal relation between sentences can be demonstrated on the first and the second sentence of the second paragraph in the chapter 2.1 in the translated text:

“In a case of longitudinal homogenous finline (Fig. 3.1), it is necessary to cover whole cross-section of the analysed structure by discretisation mesh. Therefore, discretisation elements are planar (triangle).”

There is the conjunction *therefore* at the beginning of the second sentence. This conjunction makes the causal relation between the first and the second sentence.

5 CONCLUSION

The text that has been translated in this bachelor thesis has been considered to be a scientific text. Characteristic features of the style of science and technology have been described. One of the main feature of the scientific texts is that those texts are written using the passive voice. The principles of how to make the passive voice in both English and Czech language has been described. In addition, these principles have demonstrated on the examples. Due to the fact that the text has been translated from Czech, which uses two forms of the passive voice, there has been also the example of the second form of the Czech passive voice applied to sentence that professor Raida wrote using the first principle. These examples demonstrate the difference between Czech and English form of the passive voice.

There is another feature of the style of science and technology – the approach of an author to a reader. Since the text is a part of the university textbook there is the didactic approach used. Professor Raida decided to write the text with didactic approach that uses the pronoun *we*. The same approach has been used in the translation as well. Approach description has been demonstrated on the examples in both English and Czech language and it has been demonstrated using the other examples how the text should look like if it would be written using only the passive voice.

As it has been mentioned in the theory describing the style of science and technology, the scientific texts have to be fluent. The linguistic phenomenon that makes texts fluent is the cohesion. It has been told that there are two types of cohesion – lexical and grammatical cohesion. Both types has been described. Both lexical and grammatical cohesion use its own cohesive devices. Cohesive devices that have been used in the translated text has been described and demonstrated using the examples of the text.

6 BIBLIOGRAPHY

BROUKAL, Milada. 2010. *Grammar form and function*. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill ESL/ELT. ISBN 978-007-7192-235. Dostupné z: http://www.cambridge.org/servlet/file/Grammar_Form_and_Function_L3_Unit8.pdf?ITEM_ENT_ID=7412688

KNITTLOVÁ, Dagmar. 2010. *Překlad a překládání*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 291 s. ISBN 978-802-4424-286.

KRHUTOVÁ, Milena. 2009. *Parameters of professional discourse: English for electrical engineering*. 1st ed. in Tribun EU. Brno: Tribun EU, 197 s. ISBN 978-80-7399-867-7.

RAIDA, Zbyněk. 2015. *CAD v mikrovlnné technice*. Brno.

SOCHROVÁ, Marie. 2007. *Český jazyk v kostce: pro střední školy*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 224 s. ISBN 978-802-5301-890.

URBANOVÁ, Ludmila. 2002. *Úvod do anglické stylistiky*. Blansko: Tisk Reprocentum Blansko. 80-86598-33-0.

YULE, George. 1996. *Pragmatics*. Oxford: Oxford University Press. 0-19-437207-3.

ATTACHMENTS

A Original Czech text

ii

A ORIGINAL CZECH TEXT

A.1 3 Numerické řešení Maxwellových rovnic

Maxwellovy rovnice umíme řešit analyticky pouze pro velmi jednoduché struktury, jako je např. nekonečně dlouhý vlnovod obdélníkového či kruhového průřezu. U struktur komplikovanějších musíme Maxwellovy rovnice řešit numericky.

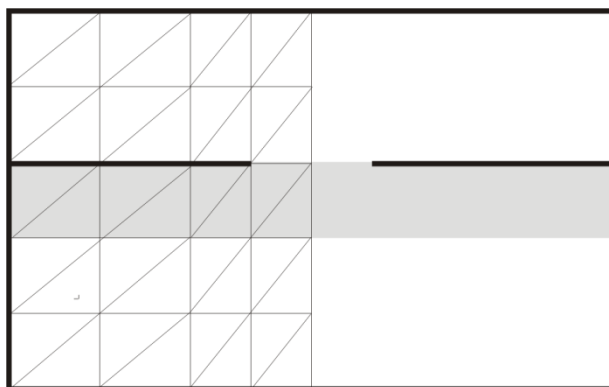
V následujících odstavcích se zaměříme na numerické řešení Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru. Numerické řešení rovnic integrálních je totiž mnohem komplikovanější.

Stručně si popíšeme základní kroky, z nichž numerická analýza sestává.

A.1.1 3.1 Diskretizace analyzované struktury

Analyzovanou strukturu rozdělíme na diskretizační prvky, které se vzájemně nepřekrývají. Diskretizační prvky přitom musejí současně zahrnovat všechny body analyzované struktury.

V případě podélně homogenního ploutvového vedení (obr. 3.1) je zapotřebí diskretizační sítě pokrýt celý průřez analyzované struktury. Diskretizační prvky jsou tudíž dvojrozměrné (trojúhelníky). Vedení označujeme jako podélně homogenní, pokud se jeho vlastnosti v podélném směru nemění (vedení je nekonečně dlouhé a každý příčný průřez je stejný).

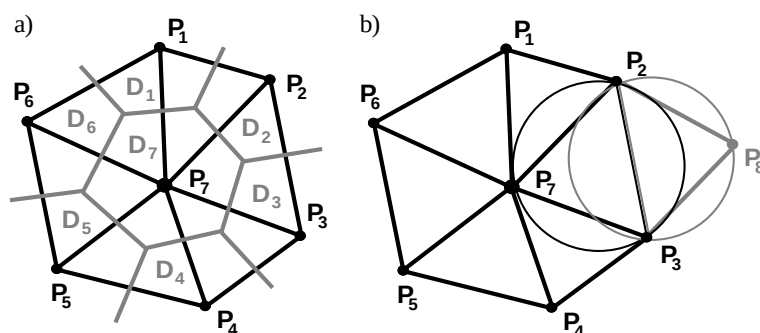


Obr. 3.1 Příčný průřez ploutvového vedení a jeho diskretizace obdélníkovými prvky.

Na diskretizační síť jsou kladeny protichůdné požadavky. Chceme-li dosáhnout co možná nejvyšší přesnosti výsledků analýzy, musí být diskretizační síť hodně jemná. Jemná síť ovšem sestává z velkého počtu diskretizačních prvků, a tudíž vykazuje velmi vysoké výpočetní nároky. Proto je výhodné využít všech symetrií analyzované struktury a počítat vždy jen její část [3.3].

Vhodná diskretizace struktury je vzhledem k uvedeným protichůdným požadavkům obtížným úkolem. Vývoj automatických generátorů diskretizačních sítí se stává velmi důležitou disciplínou v rámci numerického modelování mikrovlnných struktur.

Pro generování diskretizačních sítí u dvoj- a trojrozměrných struktur se velmi často používá tzv. Delaunayho diskretizace [3.15], [3.16]. V případě dvojrozměrných struktur hovoříme o Delaunayho triangularizaci.



Obr. 3.2 Vlastnosti Delaunayho triangularizace: a) Dirichletova diskretizační síť (šedá) a Delaunayho diskretizační síť (černá), b) opsané kružnice ne-obsahují žádný bod P .

Úkolem triangularizace je pokrýt prostor, v němž je dán určitý počet bodů P , vzájemně se nepřekrývajícími trojúhelníky, jejichž vrcholy leží v daných bodech P a jejichž plocha pokrývá celý diskretizovaný prostor. Tento úkol lze splnit mnoha různými způsoby. Delaunayho triangularizace mezi nimi vyniká následujícími specifickými vlastnostmi [3.16]:

- Hrany Delaunayho trojúhelníků spojují takové body P_i a P_j , které patří sousedním diskretizačním prvkům D_i a D_j Dirichletovy diskretizace⁵. Jak je ukázáno na obr.

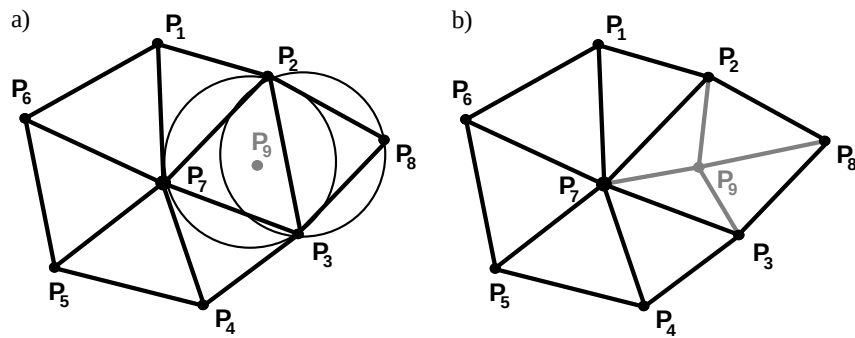
⁵ Dirichletova (nebo Voronoiova) i -tá diskretizační buňka D_i je definována jako množina bodů, jejichž vzdálenost od bodu P_i je menší nebo rovna vzdálenosti od všech ostatních bodů P_j (viz obr. 3.2).

3.2a, hrany Delaunayho trojúhelníků vždy protínají společnou hranici dvojice sousedních Dirichletových diskretizačních prvků.

- Žádný z bodů P neleží uvnitř kružnice opsané libovolnému Delaunayho prvku diskretizační sítě. Jak je vidět na obr. 3.2b, kružnice opsaná Delaunayho trojúhelníku $P_2 P_3 P_7$ neobsahuje žádný ze sousedních bodů P_1, P_4, P_8 , a dále, kružnice opsaná Delaunayho trojúhelníku $P_2 P_3 P_8$ neobsahuje žádný ze sousedních bodů P_1, P_4, P_7 .
- Nejmenší úhly Delaunayho trojúhelníků jsou největší ve srovnání s nejmenšími úhly všech možných ostatních triangularizací (získáváme velmi dobře tvarované prvky bez velmi ostrých úhlů).

Při generování Delaunayho sítě se obvykle využívá jeden ze tří následujících postupů:

- **Bowyerův-Watsonův algoritmus.** Algoritmus vychází z existující hrubé Delaunayho sítě, do níž se postupně vkládají další body. U vloženého bodu zjišťujeme, které kružnice opsané stávajícím prvkům jej obsahují. Společná hranice takových prvků je vymazána a nový bod je napojen na body existující (obr. 3.3).
- **Greenův-Sibsonův algoritmus** je podobný Bowyerovu-Watsonovu algoritmu (postupné vkládání bodů, testování opsanými kružnicemi). V prvním kroku se vložený bod spojí s vrcholy toho trojúhelníku, na jehož ploše se bod nachází (pro síť z obr. 3.3 by došlo k rozdělení trojúhelníku $P_2 P_3 P_7$ na trojúhelníky $P_2 P_7 P_9$, $P_3 P_7 P_9$ a $P_2 P_3 P_9$). Pokud všechny tři nové trojúhelníky vyhovují Delaunayho kritériu, je zjemňování ukončeno. V opačném případě je třeba provést modifikaci sítě. V naší situaci by byla odstraněna hrana $P_2 P_3$ a byla by nahrazena hranou $P_8 P_9$. Výsledek by byl tedy stejný jako při použití Bowyerova-Watsonova algoritmu.
- **Delaunayho triangularizace postupující fronty** na rozdíl od předchozích dvou algoritmů nevychází z existující hrubé sítě. Síť je postupně budována od okrajů diskretizované struktury směrem dovnitř, a to tak, aby byly splněny všechny požadavky definující Delaunayho síť.



Obr. 3.3 Bowyerův-Watsonův algoritmus pro generování Delaunayho trojúhelníkové sítě:

a) testování opsanými kružnicemi, b) zjemnění sítě.

Postup zjemňování sítě aplikovaný na analýzu podélně homogenních vedení metodou diskretizačních prvků byl popsán v [3.4]. Postup byl založen na výpočtu reakce elektromagnetického pole a na zdroje pole b ⁶

$$\langle a, b \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega \quad (3.1)$$

Ve vztahu (3.1) značí $\mathbf{J}$ a $\mathbf{M}$ vektory elektrické a magnetické proudové hustoty, $\mathbf{E}$ a $\mathbf{H}$ jsou vektory intenzit elektrického a magnetického pole a Ω značí prostor, který analyzujeme.

Jelikož v rezonanci (v ustáleném harmonickém stavu) elektromagnetické pole kmitá i bez přítomnosti zdrojů, musí být reakce pole na libovolný zdroj nulová [3.4]⁷

$$\langle a, a \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega = 0 \quad (3.2)$$

⁶ Součin intenzity vytvořeného elektrického pole a hustoty zdrojového elektrického proudu (první člen výrazu) vyjadřuje hustotu výkonu vnějších elektrických zdrojů. Součin intenzity vytvořeného magnetického pole a zdrojového magnetického proudu vyjadřuje hustotu výkonu vnějších magnetických zdrojů. Rozdíl obou členů pak dává celkovou hustotu výkonu vnějších zdrojů. Integrací přes oblast Ω pak získáme celkový výkon vnějších zdrojů elektromagnetického pole [3.20].

⁷ Elektromagnetické pole obsahuje pouze vírové složky. Energie se přelévá mezi elektrickým polem a polem magnetickým. Pole kmitá, i když je celkový výkon vnějších zdrojů elektromagnetického pole nulový [3.20]. To samozřejmě platí jen v případě, kdy je prostředí, v němž pole kmitá, je bezeztrátové. Ztráty by kmity postupně utlumily.

Strukturu analyzujeme dvakrát. Jednou vycházíme z formulace založené na intenzitách elektrického pole a jednou využíváme formulaci, v níž vystupují pouze intenzity pole magnetického. Dále dosadíme za zdroje v (3.2) z Maxwellových rovnic [1.4]

$$\mathbf{J}^a = \nabla \times \mathbf{H}^a - j\omega\epsilon \mathbf{E}^a \quad (3.3a)$$

$$\mathbf{M}^a = - \left[\nabla \times \mathbf{E}^a + j\omega\mu \mathbf{H}^a \right] \quad (3.3b)$$

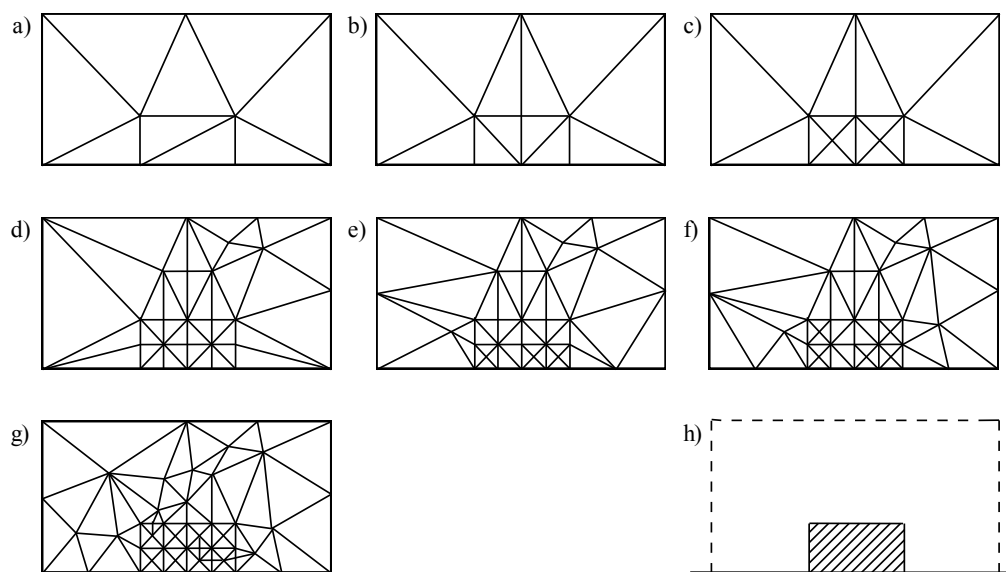
Ve vztazích (3.3) značí ω úhlový kmitočet, ϵ je permitivita a μ permeabilita prostoru, v němž se analýza provádí.

Nyní můžeme vypočítat relativní chybu, kterou způsobuje n -tý prvek diskretizační sítě [1.4]

$$\delta_n = \frac{\left\| \int_{\Omega_n} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^a - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^a] d\Omega \right\|}{\omega \int_{\Omega_n} \left[\frac{1}{2} \epsilon \|\mathbf{E}^a\|^2 + \frac{1}{2} \mu \|\mathbf{H}^a\|^2 \right] d\Omega} \quad (3.4)$$

kde Ω_n značí prostor n -tého diskretizačního prvku a význam ostatních symbolů je týž, jako v předchozím.

Integrál v čitateli (3.4) by měl být nulový, protože reakce pole na libovolný zdroj musí být v ustáleném harmonickém stavu nulová. Pokud se při numerické analýze dopustíme chyby v určení rozložení elektromagnetického pole, bude čítec nenulový. Jelikož integrujeme v čitateli nad plochou n -tého diskretizačního prvku Ω_n , je čítec úměrný příspěvku n -tého prvku k celkové absolutní chybě řešení. Výraz ve jmenovateli odpovídá celkové energii elektromagnetického pole na ploše n -tého prvku (opět integrujeme přes Ω_n). Podíl (3.4) dává relativní chybu řešení způsobenou n -tým prvkem.



Obr. 3.4 Postupné zjemňování diskretizační sítě (a až g) při analýze dielektrického vlnovodu na kovové zemní desce (h) metodou konečných prvků. Ke zjemňování sítě bylo použito Delaunayho triangularizace ve spojení s reakčním konceptem. Obrázek je převzat z [3.4].

Známe-li velikost relativní chyby, kterou se na celkové chybě podílejí jednotlivé diskretizační prvky, můžeme jemnějším dělením prvků s největší chybou adaptivně snižovat chybu řešení tak dlouho, dokud nedosáhneme požadované úrovně chyby řešení.

Dosud jsme se zabývali pouze generováním dvojrozměrných trojúhelníkových diskretizačních sítí. Popsaný postup však lze relativně snadno zobecnit i na generování trojrozměrných diskretizačních sítí sestávajících ze čtyřtěsnů jako diskretizačních prvků [3.15], [3.16].

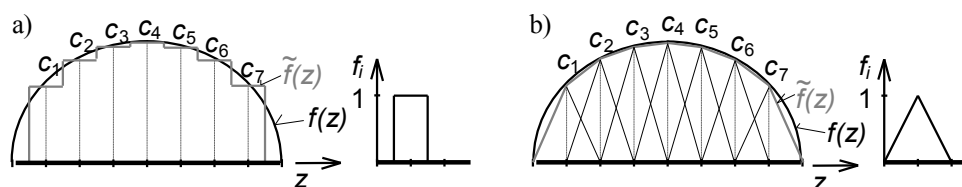
A.1.2 3.2 Formální aproximace hledané veličiny

Nyní, když je analyzovaná struktura pokryta kvalitní diskretizační sítí, můžeme přistoupit k dalšímu kroku numerické analýzy. Tímto krokem je formální aproximace⁸

⁸ Aproximaci označujeme jako formální, protože v tuto chvíli neznáme průběh aproximované funkce. Proto *formálně* předpokládáme, že hodnoty neznámé funkce v určitých bodech známe (s neznámými aproximačními koeficienty pracujeme, jako bychom je znali). To nám umožní vytvořit obecnou aproximaci, u níž můžeme změnou hodnoty aproximačních koeficientů libovolně měnit průběh

průběhu počítané veličiny pole nad každým prvkem diskretizační sítě. Formální aproximaci sestavujeme ze známých bazových funkcí f_i , které násobíme neznámými aproximačními koeficienty c_i . Nejčastěji se používají bazové funkce, které mají nad diskretizačním prvkem konstantní (obr. 3.5a), lineární (obr. 3.5b) nebo kvadratický průběh.

Aproximace je formální z toho důvodu, že průběh aproximované veličiny neznáme (neznáme aproximační koeficienty c_i). Naším úkolem je aproximační koeficienty určit tak, aby získaná aproximační funkce co možná nejpřesněji splňovala Maxwellovy rovnice aplikované na popis analyzované struktury.



Obr. 3.5 Formální aproximace hledané veličiny:

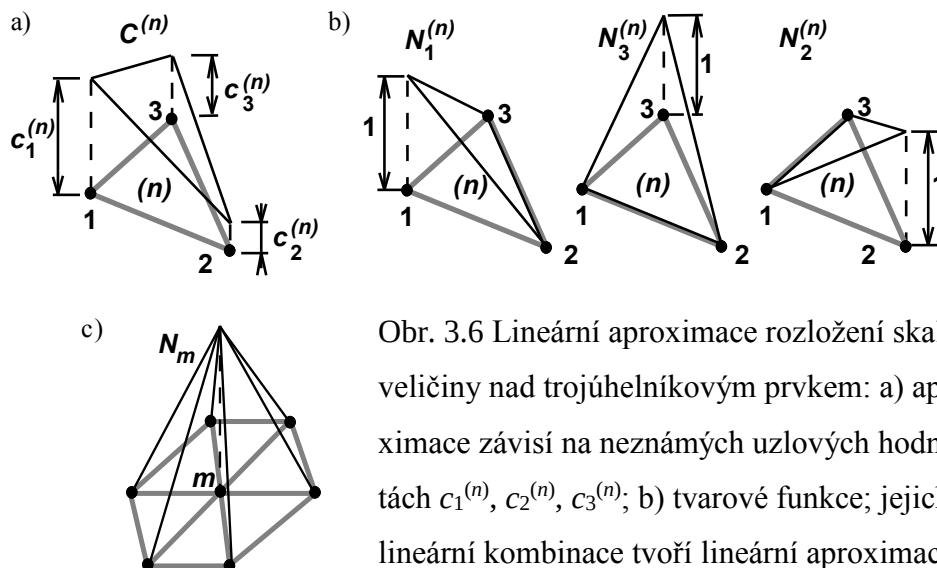
a) po částech konstantní, b) po částech lineární.

Nejčastěji používanými bazovými funkcemi bývají funkce lineární. Aby bylo dosaženo korektní aproximace elektromagnetického pole na rozhraní dvou diskretizačních prvků, byly vyvinuty speciální typy bazových funkcí, které mají vektorový charakter nebo které kombinují skalární a vektorové bazové funkce.

V následujících několika odstavcích si stručně popíšeme dva typy bazových funkcí. Nejprve to budou nejjednodušší uzlové funkce, které se používají v metodě konečných prvků při analýze struktur sestávajících pouze z dokonale vodivých částí a z vakua. V tomto případě se totiž nemusíme starat se o korektní modelování spojitosti pole na rozhraních dielektrik [3.3].

Dále se budeme věnovat hybridním vektorovým bazovým funkcím, které využívá metoda konečných prvků při analýze podélně homogenních vedení s obecným příčným průřezem. V příčném průřezu mohou vystupovat různá dielektrika, a proto je zapotřebí v příčné rovině použít takové bazové funkce, které zajišťují spojitost pole na rozhraních různých dielektrik [3.4].

Nejjednoduššími báзовými funkcemi jsou funkce uzlové. Slovem *uzel* přitom označujeme vrchol trojúhelníkového diskretizačního prvku (body 1, 2, 3 v obr. 3.6). V uzlové aproximaci hrají roli neznámých aproximačních koeficientů hodnoty počítané veličiny pole v uzlech; jedná se o prostorové vzorky veličiny pole $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$, které v tuto chvíli neznáme. Uzlové báзовé funkce na základě uzlových hodnot aproximují rozložení veličin pole nad celou plochou diskretizačního prvku. V případě lineární aproximace proložíme uzlovými hodnotami nad vrcholy prvku $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$, rovinu (obr. 3.6a). Aproximační rovina se v případě formální aproximace stává funkcí neznámých koeficientů $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$. Horní index v závorce udává číslo diskretizačního prvku, nad jehož plochou veličinu aproximujeme, a dolní index udává číslo uzlu.



Obr. 3.6 Lineární aproximace rozložení skalární veličiny nad trojúhelníkovým prvkem: a) aproximace závisí na neznámých uzlových hodnotách $c_1^{(n)}$, $c_2^{(n)}$, $c_3^{(n)}$; b) tvarové funkce; jejich lineární kombinace tvoří lineární aproximaci rozložení veličiny nad prvkem; c) báзовou funkci získáme sloučením všech tvarových funkcí, které jsou nenulové v příslušném uzlu.

Rovinu, kterou jsme aproximovali rozložení veličiny pole nad plochou diskretizačního prvku, nazýváme lineární tvarovou funkcí. Lineární aproximaci nad prvkem potom vytvoříme násobením tvarových funkcí odpovídajícími uzlovými hodnotami a jejich sečtením [3.3], jak je naznačeno na obr. 3.6a, b

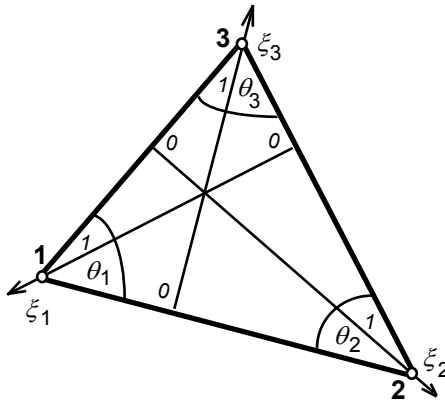
$$C^{(n)} = \sum_{m=1}^3 c_m^{(n)} N_m^{(n)} \quad (3.5)$$

Lineární tvarová funkce $N_m^{(n)}$ nabývá v m -tém uzlu n -tého trojúhelníkového prvku jednotkové hodnoty a v ostatních dvou uzlech je nulová (viz obr. 3.6b).

Sloučíme-li všechny tvarové funkce, které nabývají v m -tém uzlu jednotkové hodnoty, dostaneme bázovou funkci (*basis function*) m -tého uzlu N_m (viz obr. 3.6c). Na základě bázových funkcí a uzlových hodnot potom můžeme snadno vyjádřit aproximaci rozložení skalární veličiny pole nad celou analyzovanou oblastí [3.3]

$$C = \sum_{m=1}^M c_m N_m \quad (3.6)$$

kde M je celkový počet uzlů a c_m je globální uzlová hodnota.



Obr. 3.7 Dvojměrné simplexní souřadnice.

Bázové a tvarové funkce se s výhodou vyjadřují pomocí simplexních souřadnic. Simplexní souřadnice mají v případě dvourozměrných trojúhelníkových prvků směr výšek trojúhelníku. Souřadnice je jednotková ve vrcholu trojúhelníka, kterým prochází, a nulová na protilehlé hraně (viz obr. 3.7).

Lineární tvarové funkce pro trojúhelníkový prvek lze vyjádřit následovně [3.3]:

$$N_1^{(n)} = \xi_1, \quad N_2^{(n)} = \xi_2, \quad N_3^{(n)} = \xi_3 \quad (3.7)$$

kde ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 značí simplexní souřadnice (viz obr. 3.7). Více informací o uzlových aproximacích a simplexních souřadnicích lze nalézt v [3.3] a [3.17].

Jak bylo řečeno, uzlová aproximace není schopna zajistit podmínky spojitosti na rozhraních dielektrik. To se ve výsledcích projeví tím, že vedle reálně existujících řešení se objevují i řešení fyzikálně neexistující (tzv. *spurious solutions*). Fyzikálně

neexistující řešení vyhovují první a druhé Maxwellově rovnici, avšak nesplňují třetí a čtvrtou Maxwellovu rovnici (tzv. *divergence-free conditions*). Těmto řešením se lze při použití uzlové aproximace vyhnout jen dvěma způsoby:

- K výpočtu použijeme přímo první a druhou Maxwellovu rovnici [3.18]. Pracujeme tedy se soustavou šesti skalárních rovnic pro šest neznámých složek pole E_x , E_y , E_z , H_x , H_y , H_z , přičemž prostorové rozložení každé složky je zvlášť aproximováno pomocí uzlových funkcí. Výpočetní a paměťové nároky tohoto přístupu jsou tudíž velmi vysoké.
- Pracujeme s vlnovou rovnicí, která je výsledkem kombinace první a druhé Maxwellovy rovnice. Stačí nám řešit jen tři skalární rovnice pro tři složky pole. Abychom však zajistili splnění divergenčních podmínek, musíme do vlnové rovnice přidat speciální divergenční člen [3.19]. Ten však komplikuje řešení výsledných maticových rovnic (zvyšuje hustotu matic a narušuje jejich pásový charakter).

Problém se podařilo vyřešit pomocí vektorových hranových bázových funkcí. V případě podélně homogenních vedení, kdy je nutné postarat se o splnění podmínek na rozhraních dielektrik pouze v příčné rovině xy , použijeme vektorovou hranovou aproximaci pouze pro příčné složky vektoru intenzity elektrického pole E_x a E_y . Rozložení podélné složky pole E_z můžeme aproximovat pomocí klasických uzlových funkcí [3.4].

Rozložení podélné složky pole nad n -tým diskretizačním prvkem tedy můžeme vyjádřit podle (3.5) a (3.7) jako [3.4]

$$E_z^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} N_{z,m}^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} \xi_m \quad (3.8)$$

kde $e_{z,m}^{(n)}$ jsou neznámé uzlové hodnoty a $N_{z,m}^{(n)} = \xi_m$ je lineární tvarová funkce vyjádřená v simplexních souřadnicích.

Rozložení příčného vektoru pole vyjádříme jako lineární kombinaci neznámých skalárních aproximačních koeficientů a známých vektorových bázových funkcí [3.4]

$$\begin{aligned}\vec{E}_t^{(n)} &= \vec{N}_{t,12}^{(n)} e_{t,12}^{(n)} + \vec{N}_{t,23}^{(n)} e_{t,23}^{(n)} + \vec{N}_{t,31}^{(n)} e_{t,31}^{(n)} \\ &= \sum_{i,j} \vec{N}_{t,ij}^{(n)} e_{t,ij}^{(n)}.\end{aligned}\quad (3.9)$$

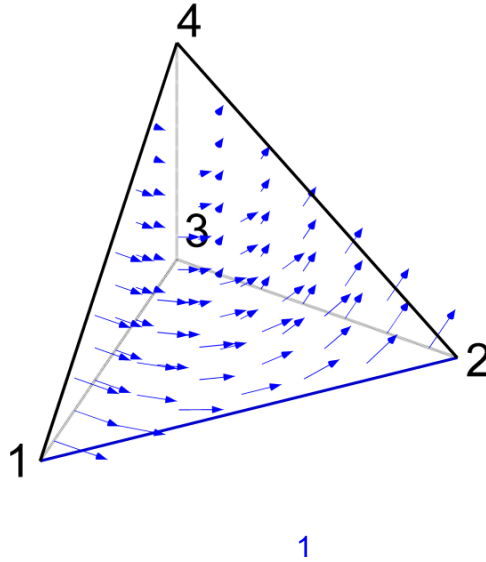
Vektorové bázové funkce mají na hranách diskretizačního prvku směr těchto hran. Proto hovoříme o hranových diskretizačních prvcích. Pomocí simplexních souřadnic je můžeme vyjádřit vztahem [3.4]

$$\vec{N}_{t,ij}^{(n)} = \xi_i \nabla_t \xi_j - \xi_j \nabla_t \xi_i \quad (3.10)$$

kde ∇_t je transversální diferenciální operátor *nabla*. Pokud v kartézském souřadném systému považujeme směr $\mathbf{z}_0$ za směr podélný, můžeme transversální operátor *nabla* vyjádřit vztahem:

$$\nabla_t = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{x}_0 + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{y}_0 \quad (3.11)$$

Jelikož dva sousední diskretizační prvky sdílejí stejnou hranu a jelikož elektrické a magnetické vlastnosti materiálů musejí být v oblasti diskretizačního prvku neměnné, použití hranových prvků automaticky zaručuje tangenciální spojitost veličin polí na rozhraních.



Obr. 3.8 Vektorová bázová funkce vodorovné hrany. Vektor bázové funkce je ve vodorovné hraně jednotkový a v ostatních dvou hranách nulový (je na ně kolmý).

A.1.3 3.3 Dosazení formální aproximace do řešené rovnice

Řešenou rovnici vyjádříme symbolicky:

$$F[\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = 0 \quad (3.12)$$

V této rovnici značí F obecný diferenciální operátor, $\mathbf{E}$ je hledané rozložení pole (zde reprezentované vektorem intenzity elektrického pole), $\mathbf{r}$ značí polohový vektor bodu, v němž intenzitu pole počítáme, a s hraje roli kmitočtu (analyzujeme-li strukturu v ustáleném harmonickém stavu) nebo času (analyzujeme-li neustálený, přechodný děj). Funkce $f(\mathbf{r}, s)$ popisuje známé zdroje hledaného elektromagnetického pole.

Dosazením formální aproximace $\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)$ do vztahu (3.12) namísto přesného řešení

$\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)$ dospějeme ke vztahu

$$\begin{aligned} F[\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) &= F\left[\sum_{m=1}^M c_m \mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)\right] - f(\mathbf{r}, s) = \\ &= \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = R(\mathbf{r}, s). \end{aligned} \quad (3.13)$$

Aproximace je vyjádřena jako součet součinu neznámého skalárního aproximačního koeficientu c_m a známé vektorové báze funkce $\mathbf{N}_m$ na m -tém diskretizačním prvku. Součiny $c_m \mathbf{N}_m$ sčítáme přes všech M diskretizačních prvků, na něž je analyzovaná struktura rozdělena.

Jelikož operátor F je lineární, můžeme zaměnit pořadí aplikace operátoru a sčítání. Protože c_m je konstanta (i když v tuto chvíli neznámá), můžeme ji vytknout před operátor. Tím dostáváme součet M neznámých koeficientů c_m násobených známými funkcemi $F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)]$.

Nelze si nevšimnout skutečnosti, že nulová pravá strana řešené rovnice (3.12) se změnila po dosazení aproximace na nenulovou funkci $R(\mathbf{r}, s)$, jejíž hodnota závisí na poloze $\mathbf{r}$. Tuto funkci nazýváme reziduem (zbytkovou funkcí). V podstatě jí vyjadřujeme skutečnost, že aproximace se od přesného řešení odchyluje a že velikost této odchylky závisí na poloze a na kmitočtu nebo čase (viz obr. 3.5).

V dalším kroku se budeme snažit nalézt takové hodnoty aproximačních koeficientů c_m , aby zbytková funkce nabývala co možná nejmenších hodnot. Tím dosáhneme co možná nejvyšší přesnosti aproximace řešení.

A.1.4 3.4 Minimalizace rezidua

K minimalizaci zbytkové funkce používáme obvykle metodu vážených reziduí. Tato metoda spočívá ve vynásobení zbytkové funkce $R(\mathbf{r}, s)$ vhodnou váhovou funkcí $W_m(\mathbf{r}, s)$, v integraci součinu přes celou analyzovanou oblast a v položení výsledku integrace nule

$$\iiint_V [W_n(\mathbf{r}, s) R(\mathbf{r}, s)] dV(\mathbf{r}) = 0 \quad (3.14)$$

Tím v podstatě vyjadřujeme požadavek, aby střední vážená chyba řešení přes celý analyzovaný prostor byla nulová.

Je-li váhovou funkcí funkce bázová, mluvíme o Galerkinově metodě [3.7]

$$\begin{aligned} \iiint_V \left\{ N_n(\mathbf{r}, s) \sum_{m=1}^M c_m F[N_m(\mathbf{r}, s)] + N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \right\} dV(\mathbf{r}) = \\ = \sum_{m=1}^M c_m \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) F[N_m(\mathbf{r}, s)] \} dV(\mathbf{r}) + \\ + \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \} dV(\mathbf{r}) = 0. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Vztah (3.15) je jednou rovnicí pro M neznámých koeficientů c_m . V integrálech přes analyzovanou oblast V totiž vystupují pouze známé bázové funkce a známý operátor, takže lze tento integrál vyjádřit jediným konkrétním číslem. I druhý člen můžeme vyjádřit konkrétním číslem, neboť se jedná o určitý integrál součinu známé váhové funkce a známé funkce zdrojové.

Pokud reziduum postupně násobíme M různými váhovými funkcemi, dospějeme k soustavě M lineárních algebraických rovnic pro M neznámých aproximačních koeficientů c_m .

A.1.5 3.5 Řešení maticové rovnice

Výslednou maticovou rovnici můžeme symbolicky vyjádřit ve tvaru

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \int N_1 F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_1 F(\mathbf{N}_2) dV & \cdots & \int N_1 F(\mathbf{N}_M) dV \\ \int N_2 F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_2 F(\mathbf{N}_2) dV & \cdots & \int N_2 F(\mathbf{N}_M) dV \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \int N_M F(\mathbf{N}_1) dV & \int N_M F(\mathbf{N}_2) dV & \cdots & \int N_M F(\mathbf{N}_M) dV \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_M \end{bmatrix} = \\
& = - \begin{bmatrix} \int N_1 f dV \\ \int N_2 f dV \\ \vdots \\ \int N_M f dV \end{bmatrix}.
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Jejím řešením získáme doposud neznámé aproximační koeficienty c_m .

A.1.6 3.6 Dosazení koeficientů do formální aproximace

Dosazením vypočtených aproximačních koeficientů do formální aproximace získáme (nyní již neformální) aproximační funkci, která popisuje přibližné řešení úlohy ve všech bodech analyzovaného prostoru, a to s minimální chybou v globálním významu.

Tím je úkol numerické analýzy splněn.

V dalších odstavcích se budeme numerické analýze věnovat podrobněji. Ukážeme si, jak konkrétně vypadá analýza elektromagnetického pole v ustáleném harmonickém stavu (hovoříme o analýze v kmitočtové oblasti) a jak se od ní odlišuje výpočet přechodných jevů při ustalování pole (hovoříme o analýze v oblasti časové).

A.1.7 3.7 Kmitočtová versus časová oblast

Numerickou analýzou mikrovlnné struktury v kmitočtové oblasti rozumíme výpočet rozložení elektromagnetického pole v této struktuře v ustáleném harmonickém stavu. To znamená, že uvažujeme časovou závislost veličin vyjádřenou ve tvaru

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \tag{3.17}$$

kde $\mathbf{r}$ je polohový vektor bodu, v němž intenzitu pole počítáme, ω je úhlový kmitočet, na němž pole analyzujeme, j značí imaginární jednotku, t je čas a $\mathbf{E}$ je vektor intenzity elektrického pole.

Analýza v kmitočtové oblasti je relativně snadná. Časovou derivaci veličiny s harmonickým průběhem totiž můžeme nahradit vynásobením veličiny koeficientem $j\omega$, integraci harmonické veličiny podle času můžeme nahradit dělením veličiny koeficientem $j\omega$.

Nicméně analýza v kmitočtové oblasti má i své nevýhody.

Z teoretického pohledu ustálený harmonický stav fyzikálně neexistuje. Elektromagnetické pole by totiž muselo v harmonickém stavu existovat nekonečně dlouho (časové omezení – vynásobení časového průběhu obdélníkovým oknem – by totiž způsobilo vznik dalších spektrálních složek). Navíc nekonečně dlouhé trvání elektromagnetického pole je spojeno s nekonečně velkou energií, kterou bohužel nemáme k dispozici.

Z praktického hlediska lze za harmonické pole považovat pole, které trvá dostatečně dlouho.

Pokud chceme analyzovat mikrovlnnou strukturu v dostatečně širokém pásmu kmitočtů, musíme při formulování problému v kmitočtové oblasti provádět analýzu opakovaně na tolika frekvencích, aby bylo s dostatečným rozlišením pokryto celé toto pásmo. Jednotlivé analýzy přitom běží nezávisle na sobě (nedochází k přenosu relevantní informace mezi jednotlivými výpočty), což je dosti neefektivní.

Co se týká analýzy mikrovlnných struktur v časové oblasti, ta vykazuje při srovnání s analýzou v oblasti kmitočtové komplementární vlastnosti.

U časové analýzy nelze předpokládat ustálený harmonický stav, a proto nelze časová derivování a integrování nahradit násobením či dělením koeficientem $j\omega$. Počítané veličiny se v čase mění, a tudíž přibývá analýze další rozměr. Analýza je proto matematicky komplikovanější a náročnější na výpočetní výkon.

Při analýze v časové oblasti předpokládáme buzení analyzované struktury úzkým budícím impulzem. Budící a vybudené elektromagnetické pole proto vykazují konečné trvání a konečnou energii. Navíc úzké budící impulzy mají relativně široké kmitočtové spektrum, takže během jednoho jediného výpočtu získáme informaci o chování analyzované struktury v celém pásmu kmitočtů najednou. Při časové analýze se rozložení elektromagnetického pole v budoucím okamžiku počítá z rozložení pole v

okamžicích předešlých. To je stejné, jako bychom v kmitočtové oblasti počítali chování struktury na novém kmitočtu s využitím výsledků získaných pro kmitočty staré. Analýza v časové oblasti tedy bývá efektivnější nežli analýza v oblasti kmitočtové [3.8]–[3.11]

A.1.8 3.8 Závěr

V úvodní kapitole jsme zopakovali integrální a diferenciální formulaci Maxwellových rovnic, které používáme v celé knize pro matematický popis analyzované struktury.

Jelikož výsledné rovnice neumíme řešit analyticky, popsali jsme obecný postup jejich numerického řešení. Největší prostor jsme věnovali popisu diskretizace analyzovaných struktur pomocí trojúhelníkové diskretizační sítě a popisu bazových funkcí, s jejichž pomocí můžeme formálně aproximovat rozložení veličiny pole nad analyzovaným prostorem. Jak diskretizace, tak formální aproximace jsou totiž pro všechny numerické metody (vyjma metody konečných diferencí) shodné.

Kapitola byla uzavřena stručným srovnáním analýzy v kmitočtové oblasti a v oblasti časové.

V následujících kapitolách budeme obecné principy popsané v této části konkretizovat při použití v metodě konečných prvků a v metodě integrálních rovnic. Dále budeme moci pozorovat, jak se od popsaného obecného schématu odlišuje metoda konečných diferencí.