

Vysvětlení pojmů, matematické vztahy, použité jednotky a symboly pro interval frekvencí od hodnoty 0 Hz do hodnoty $3 \cdot 10^{11}$ Hz

1. Fyzikální veličiny a jednotky

Používají se mezinárodně přijatá označení a jednotky SI:

Název veličiny	Označení	Jednotka	Název jednotky
proud (elektrický)	I	A	ampér
proudová hustota	J	A/m ²	ampér na čtverečný metr
intenzita elektrického pole	E	V/m	volt na metr
elektrická indukce	D	C/m ²	coulomb na čtverečný metr
elektrický náboj	q	C	coulomb
elektrická vodivost	σ	S/m	siemens na metr
frekvence (kmitočet)	f	Hz	hertz
magnetická indukce	B	T	tesla
intenzita magnetického pole	H	A/m	ampér na metr
permeabilita	μ	H/m	henry na metr
permitivita	ε	F/m	farad na metr
hustota zářivého toku *	S	W/m ²	watt na čtverečný metr
měrný absorbovaný výkon	SAR	W/kg	watt na kilogram
měrná absorbovaná energie	SA	J/kg	joule na kilogram
plošná hustota energie		J/m ²	joule na čtverečný metr
vlnová délka	λ	m	metr

* absolutní hodnota Poyntingova vektoru S ; v technické praxi se pro tuto veličinu častěji používá méně jednoznačný název „výkonová hustota“.

2. Fyzikální konstanty

Název	Označení	Hodnota	Jednotka	Název jednotky
rychlost světla	c	$2,997 \cdot 10^8$	m/s	metr za sekundu
permitivita vakua	ε_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	F/m	farad na metr
permeabilita vakua	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1,26 \cdot 10^{-6}$	H/m	henry na metr
impedance vakua	Z_0	$376,73 \approx 377$	Ω	ohm

3. Definice základních veličin

3.1 Intenzita elektrického pole (**E**)

Vektorová veličina, rovná vektoru **F** síly působící na bodový elektrický náboj dělenému velikostí q tohoto náboje:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$

Intenzita elektrického pole se udává ve voltech na metr (V/m).

U polí, která se v čase periodicky mění a jejichž průběh je možné popsat jako sinusový, vektor elektrického pole buď osciluje podél pevné přímky (lineární polarizace) nebo se otáčí a opisuje elipsu.

Protože průběh elektrického pole narušují blízké elektricky vodivé předměty (počítaje v to osoby), je nutné expoziční situaci charakterizovat neporušeným elektrickým polem (tj. polem, jaké by v daném místě bylo bez přítomnosti osob a bez přechodně umístěvaných nebo přenosných předmětů).

V tomto nařízení se termín intenzita elektrického pole používá pro velikost (absolutní hodnotu) vektoru **E** a označuje se symbolem E .

3.2 Magnetická indukce (**B**)

Vektorová veličina (**B**) popisující pole, které na elektrický náboj q pohybující se rychlostí \mathbf{v} působí silou **F** rovnou

$$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

(Operátorem \times je označen vektorový součin.) Jednotkou magnetické indukce je tesla (T). U pole, které se v čase periodicky mění a jehož průběh je možné popsat jako sinusový, vektor magnetického pole buď osciluje podél pevné přímky nebo se otáčí a opisuje elipsu. V tomto vládním nařízení se termín magnetická indukce používá pro velikost (absolutní hodnotu) vektoru **B** a označuje se symbolem B .

3.3 Intenzita magnetického pole (**H**)

Vektorová veličina (**H**), rovná vektoru (**B**) magnetické indukce dělenému permeabilitou prostředí μ :

$$\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu$$

Jednotkou intenzity magnetického pole je ampér na metr (A/m). V tomto vládním nařízení se termín intenzita magnetického pole používá pro velikost (absolutní hodnotu) vektoru **H** a označuje se symbolem H .

Při popisu biologických efektů způsobených magnetickým polem se místo intenzity magnetického pole častěji používá magnetická indukce. Ve vakuu a prakticky ve všech biologických objektech se tyto veličiny liší jen multiplikatívní konstantou: poměr B/H mezi magnetickou indukcí a intenzitou magnetického pole je rovný permeabilitě vakua $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ henry na metr (H/m). Ve feromagnetických materiálech se však poměr B/H od permeability vakua liší i o několik řádů.

U pole, které se v čase periodicky mění a jehož průběh je možné popsat jako sinusový, vektor magnetického pole buď osciluje podél pevné přímky nebo se otáčí a opisuje elipsu.

3.4 Proudová hustota (J)

Intenzita elektrického proudu procházejícího kolmo k zvolené ploše, dělená velikostí této plochy. Jednotkou proudové hustoty je ampér na čtverečný metr (A/m^2)

3.5 Hustota zářivého toku (výkonová hustota) (S)

Výkon přenášený elektromagnetickou vlnou skrz jednotkovou plochu kolmou ke směru šíření vlny. Je roven absolutní hodnotě Poyntingova vektoru $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ a vyjadřuje se zpravidla v jednotkách W/m^2 .

U rovinné elektromagnetické vlny je možné hustotu zářivého toku určit z intenzity E elektrického pole nebo z intenzity magnetického pole H , případně z magnetické indukce B s použitím impedance vakua (377Ω). Platí

$$S = \frac{E^2}{377} = 377 H^2 = E \cdot H = \frac{E \cdot B}{\mu} .$$

E a H jsou v jednotkách V/m , respektive A/m , B v jednotkách tesla (T), S je ve W/m^2 .

3.6 Měrná absorbovaná energie (SA)

Podíl diferenciálního množství energie dW a diferenciálního množství látky dm obsaženého v objemovém elementu dV s hustotou látky ρ :

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho} \frac{dW}{dV} .$$

Měrná absorbovaná energie se vyjadřuje v jednotkách joule na kilogram (J/kg)

3.7 Měrný absorbovaný výkon (SAR).

Časová derivace podílu diferenciálního množství energie dW a diferenciálního množství látky dm obsažené v objemovém elementu dV s hustotou látky ρ :

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\rho} \frac{dW}{dV} \right) .$$

Měrný absorbovaný výkon (SAR) je možné vyčíslit podle těchto rovnocenných vzorců:

$$SAR = \frac{\sigma \cdot E_i^2}{\rho} , \quad (1)$$

$$SAR = c_i \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

$$SAR = \frac{J^2}{\rho \cdot \sigma} . \quad (3)$$

Jednotlivé symboly označují:

E_i ... intenzitu elektrického pole *uvnitř* tělesné tkáně v jednotkách volt na metr (V/m),

σ ... elektrickou vodivost tkáně těla v jednotkách siemens na metr (S/m),

c_i ... měrnou tepelnou kapacitu tělesné tkáně v joulech na kilogram na stupeň Celsia,

$\frac{dT}{dt}$... časovou derivaci teploty v tělesné tkáni ve stupních celsia za sekundu ($^{\circ}\text{C/s}$),

J ... indukovanou proudovou hustotu v tělesné tkáni v jednotkách ampér na čtverečný metr (A/m^2).

Vztahy (1) a (2) se používají pro vyšší frekvence ($f > 10 \text{ MHz}$). Při nižších frekvencích je nutné vzít v úvahu také přímý (netepelný) vliv indukované proudové hustoty J na procesy v tkáni a při srovnávání expozice s přípustnou hodnotou případně započítat současně SAR i indukovanou proudovou hustotu.

3.8 Plošná hustota energie

Množství energie, které dopadlo na rovinnou plochu (nebo prošlo rovinnou plochou) kolmou ke směru šíření elektromagnetické vlny, dělené obsahem této plochy. Vyjadřuje se v jednotkách joule na čtverečný metr (J/m^2).

3.9 Kontaktní proud (I)

Proud tekoucí tělem při kontaktu člověka s vodivým předmětem, který je v elektrickém nebo střídavém magnetickém poli. S referenční hodnotou se srovnává časový průměr efektivní hodnoty kontaktního proudu středované za dobu jedné sekundy.

3.10 Indukovaný proud (i)

Proud tekoucí tělem v důsledku přímé expozice osoby elektrickému nebo střídavému magnetickému poli.

4. Vysvětlení obecných pojmů a definic

4.1 Špičková hodnota

Maximální hodnota časově proměnné veličiny (například intenzity pole nebo hustoty zářivého toku) v daném časovém intervalu.

4.2 Absolutní hodnota

Absolutní hodnota (velikost) vektoru intenzity elektrického pole $\mathbf{E}(t)$ v okamžiku t je definována vztahem

$$E(t) = |\mathbf{E}(t)| = \sqrt{E_x^2(t) + E_y^2(t) + E_z^2(t)}.$$

$E_x(t)$, $E_y(t)$ a $E_z(t)$ jsou okamžité hodnoty pravoúhlých složek časově proměnného vektoru $\mathbf{E}(t)$ pole. Stejný vztah platí pro vektor magnetické indukce $\mathbf{B}(t)$ a pro kteroukoli jinou vektorovou veličinu.

4.3 Efektivní hodnota

Efektivní hodnota E_{eff} intenzity elektrického pole a efektivní hodnota B_{eff} magnetické indukce v daném místě je rovna odmocnině z časového průměru kvadrátu intenzity pole $E(t)$ a kvadrátu magnetické indukce $B(t)$ přes periodu:

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} E^2(t) dt}; \quad B_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} B^2(t) dt};$$

stejný vztah se použije pro výpočet efektivní hodnoty elektrického proudu a efektivní hodnoty proudové hustoty.

Efektivní hodnota hustoty zářivého toku (výkonové hustoty) je časový průměr hustoty zářivého toku přes periodu:

$$S_{\text{eff}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} S(t) dt.$$

$T = 1/f$ je perioda příslušné oscilující veličiny.

4.4 Časový průměr (způsoby středování)

S referenčními úrovněmi pro nepřetržitou expozici stanovenými v příloze č. 3 se zjištěné hodnoty odpovídajících veličin srovnávají různě podle biologických mechanismů, kterými

elektrické a magnetické pole různých frekvencí působí na tkáň lidského těla:

4.4.1 U veličin charakterizujících pole s frekvencí vyšší než 1 kHz a u hustoty zářivého toku se s referenčními úrovněmi srovnávají časové průměry E_{st} , B_{st} a S_{st} vypočtené ze zjištěných efektivních hodnot

a) u pole s frekvencí nižší než 100 kHz nebo rovnou 100 kHz podle vztahů

$$E_{st} = \frac{1}{T_c} \sum_i E_i t_i, \quad \text{případně} \quad E_{st} = \frac{1}{T_c} \int_t^{t+T_c} E_{\text{eff}}(t) dt \quad \text{a}$$

$$B_{st} = \frac{1}{T_c} \sum_i B_i t_i, \quad \text{případně} \quad B_{st} = \frac{1}{T_c} \int_t^{t+T_c} B_{\text{eff}}(t) dt$$

s dobou středování $T_c = 1$ sekunda,

b) u pole s frekvencí vyšší než 100 kHz a nižší než 10 GHz nebo rovnou 10 GHz podle vztahů

$$E_{st} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \sum_i E_i^2 t_i}, \quad \text{případně} \quad E_{st} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} E_{\text{eff}}^2(t) dt}$$

$$B_{st} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \sum_i B_i^2 t_i}, \quad \text{případně} \quad B_{st} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} B_{\text{eff}}^2(t) dt} \quad \text{a}$$

$$S_{st} = \frac{1}{T_s} \sum_i S_i t_i, \quad \text{případně} \quad S_{st} = \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} S_{\text{eff}}(t) dt$$

s dobou středování $T_s = 6$ minut a pro frekvenci z intervalu od 10 GHz do 300 GHz s dobou středování $T_s = 68/(10^{-9} \cdot f)^{1,05}$. Frekvence je v jednotkách Hz, doba T_s vyjde v minutách.

E_i a B_i jsou efektivní hodnoty intenzity elektrického pole a magnetické indukce, S_i je efektivní hustota zářivého toku pro i -tou expozici trvající dobu t_i . Výrazy s integrály se použijí, byl-li v časovém úseku, přes který se středuje, zaznamenán spojitě proměnný časový průběh okamžitých efektivních hodnot $E_{\text{eff}}(t)$, $B_{\text{eff}}(t)$ a $S_{\text{eff}}(t)$ intenzity elektrického pole, magnetické indukce nebo hustoty zářivého toku.

4.4.2 U pole s frekvencí nižší než 1 kHz není časové středování přípustné. S referenčními úrovněmi se v tomto případě srovnávají zjištěné efektivní hodnoty elektrického pole a magnetické indukce přímo.

4.5 Časový interval pro stanovení průměru (T_c , T_{st})

Doba, za kterou je středována příslušná veličina, například absorbovaný výkon nebo intenzita elektrického pole. Pro frekvence od 1000 Hz do 100 kHz je časový interval pro stanovení průměru 1 sekunda, pro frekvence vyšší než 100 kHz a nižší než 10 GHz – 6 minut, pro frekvence od 10 GHz do 300 GHz je $T_{st} = 1,92 \cdot 10^{11}/f^{1,05}$ (f je frekvence v Hz, T_{st} je doba středování v minutách). Veličiny (intenzita elektrického pole, magnetická indukce, hustota indukovaného elektrického proudu) s frekvencí nižší než 1000 Hz se pro srovnání s referenční úrovní nebo s nejvyšší přípustnou hodnotou nestředují.

4.6 Střední absorbovaný výkon (P_{st})

Časově středovaný absorbovaný výkon definovaný vztahem

$$P_{st} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

kde t_1 a t_2 označuje počáteční a konečný čas středování časově proměnného výkonu $P(t)$.

4.7 Statické pole

Pro účely tohoto nařízení – elektrické nebo magnetické pole, jehož časová změna má frekvenci nižší než 1 Hz.

4.8 Pole s několika frekvencemi

Superpozice dvou nebo více fázově nekoherentních složek elektromagnetického pole s různými frekvencemi.

4.9 Oblast blízkého pole

Oblast nacházející se blízko zdroje vysokofrekvenčního pole, v které nemá elektrické a magnetické pole charakter rovinné vlny. Oblast blízkého pole se dále dělí na reaktivní oblast, která je k vyzařující struktuře nejbližší a obsahuje skoro všechnu uloženou energii, a na oblast vyzařování, kde již radiační pole převažuje nad reaktivním polem, má však složitou strukturu. Pro většinu antén se obvykle za vnější hranici reaktivního blízkého pole bere vzdálenost od povrchu antény rovná polovině vlnové délky.

4.10 Oblast vzdálené zóny

V této oblasti převládá u pole charakter rovinné vlny, kdy vektory jeho elektrické složky a magnetické složky jsou navzájem kolmé a leží v rovině kolmé ke směru šíření vlny.

4.11 Vlnová impedance (Z)

Poměr intenzity elektrického pole k intenzitě magnetického pole v elektromagnetické vlně. Vlnová impedance pro rovinnou vlnu šířící se ve vakuu je $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$, tedy přibližně 377 Ω .

4.12 Dielektrická konstanta – viz permitivita

4.13 Pracovní cyklus (u periodicky přerušovaného pole)

Poměr doby trvání pulsu pole k periodě opakování pulsů. Pracovní cyklus rovný jedné odpovídá nepřerušovanému poli.

4.14 Elektrická indukce (D)

Veličina, rovná intenzitě elektrického pole (E) násobené permitivitou:

$$D = \epsilon E$$

Elektrická indukce se vyjadřuje v jednotkách coulomb na čtverečný metr (C/m^2).

4.15 Permeabilita (μ).

Magnetická permeabilita materiálu (prostředí) je definována jako poměr mezi velikostí magnetické indukce B a intenzitou magnetického pole H :

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Jednotkou permeability je henry na metr (H/m). Pro všechny neferomagnetické materiály, počítaje v to tkáň lidského těla, je permeabilita dostatečně přesně rovná $4\pi \cdot 10^{-7}$ henry/metr.

4.16 Permittivita (ε)

Charakteristika dielektrického materiálu (například biologické tkáně) definovaná jako podíl velikosti elektrické indukce D a intenzity elektrického pole E :

$$\varepsilon = \frac{D}{E}$$

Jednotkou permitivity je farad na metr.

4.17 Vlnová délka (λ)

Vlnová délka (λ) elektromagnetické vlny souvisí s frekvencí f a rychlostí c vlny vztahem $c = f \cdot \lambda$. Ve vakuu je rychlost elektromagnetické vlny rovna rychlosti světla. Vlnová délka se vyjadřuje v metrech (m).

4.18 Odražené záření

Elektromagnetické pole vyvolané vodivými nebo posuvnými proudy indukovanými ve vodivém nebo dielektrickém předmětu elektromagnetickými vlnami dopadajícími na tento předmět z jednoho nebo několika zdrojů. Odrážející objekt je někdy nazýván sekundárním zářičem.

4.19 Polarizace

Směr vektoru elektrického pole; v užším smyslu – prostorová křivka, kterou opisuje koncový bod vektoru elektrického nebo magnetického pole. (Vektor pole opisuje obecně elipsu buď ve směru hodinových ručiček nebo proti němu. Kruhová nebo lineární polarizace nastává, jestliže se elipsa změní v kružnici nebo v přímku.)