

Nízkofrekvenčné magnetické pole
-
prístroje, merania, nové technológie

© Oravec, M., Draganová, K., Lipovský, P., Witoś, M., Šmelko, M.

Nízkofrekvenčné magnetické pole - prístroje, merania, nové technológie

Na predkladanú prácu sa vzťahuje Autorský zákon. Kopírovanie v akejkoľvek forme, bez povolenia autorov je zakázané. Autori nepreberajú zodpovednosť za tlač materiálu. Nároky na odškodnenie na základe zmien sú vylúčené.

Recenzenti :

prof. Ing. Josef Blažek, CSc.

prof. Ing. Hana Pačaiiová, PhD.

prof. Ing. Miroslav Rimár, CSc.

Vydal : SPBI

ISBN : 978-80-7385-230-6

Tlač : Equilibria s.r.o.

Náklad : 150 ks

*Všetkým, ktorí nám umožnili
napísať túto publikáciu*

*Žiadna práca,
nebude nikdy dokončená,
vždy je možné pokračovať*

Samostatné poďakovanie patrí oponentom

*KBaKP Sjf TUKE
KLTP LF TUKE
ITWL Warszawa*

Publikácia vznikla na základe spolupráce TUKE, ITWL Warszawa. Je výsledkom výskumu podporovaného týmito projektami

ITMS 26220220182, Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - I. fáza,

APVV-17-0184, APVV-18-0248, projektu OP VaI Podpora výskumno-vývojového potenciálu v oblasti dopravných prostriedkov s ITMS kódom 313011T557 spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja,

ITWL 0648332, Rozwój bezprzewodowych sieci sensorów współpracujących z sieciocentrycznymi technologiami informatycznymi - etap I.

Predslov

Človek dnes využíva možnosti, ktoré mu poskytuje technika. Nejedná sa len o zložité mechanické zariadenia, ale predovšetkým o prístroje na prenos informácií. Menej známe sú už princípy, na ktorých je založená funkčnosť týchto prístrojov. Spravidla sa človek uspokojí s poznaním, že prístroje sprostredkujú prenos informácií. Nevníma ako, prečo a či tieto prenosi informácií majú aj iné možnosti, či existuje aj potenciál inej interpretácie týchto skutočností so širším využitím v technickej praxi.

Informácia, ako množina znakov využiteľná pre poznanie o dynamickom stave objektu, ktorý ju vysiela je základom pre opis kauzality. Rozhodovanie v dynamickom systéme, identifikovanie miery bezpečnosti, sú založené na poznaní zmien v kauzalite v sledovanom čase. Neznalosť skutočného stavu, dynamiky zmien, spôsobuje škody. Každý systém bez spätnej väzby je odsúdený na zánik, preto je nutné poznať kauzalitu v čase. Dôležité je poznať spôsob zmien, ktoré nastali, existujú a ich parametre. Tieto možnosti sú predpokladom pre to, aby boli základom pre identifikovanie javov v InTech (umelo vytvorených systémov človekom) a postupov v technickej praxi.

Magnetické polia sa dnes vnímajú prevažne ako súčasť elektromagnetických polí využívaných v technických systémoch. Magnetické polia poskytujú informácie nie len v podobe - množstve núl a jedničiek, textu, obrazového prenosu, resp. metafyzických dát. Poskytujú predovšetkým informáciu o stave objektu, ktorý vysiela tieto informácie. Nízkofrekvenčné magnetické polia existujú na našej Zemi od jej vzniku. Vlastnosti nízkofrekvenčných magnetických polí v rozsahu do 300 Hz formovali v minulosti väčšinu procesov na Zemi. Postupy pre identifikovanie zmien aj v technickej praxi je možné použiť aj dnes. Výhodou nízkofrekvenčných polí je ich prienik rôznym prostredím. Z tohto dôvodu je možné nimi identifikovať javy v tuhých, kvapalných a plynných štruktúrach systémov. Magnetickým poľom je možné identifikovať aj stavy, ktoré odrážajú reálne procesy v reálnom čase.

Opis každého javu je založený na opise kauzality. Kauzalita sa doposiaľ opisuje len ako sled konkrétnych udalostí v konkrétnom čase, bez zohľadnenia vzájomných časových súvislostí. Aj dnes preferovaný digitálny svet je len zmesou digitálnych okamihov. V ňom sa hľadajú súvislosti prevažne metódami založenými na lineárnych závislostiach. Kauzalita v dnešnom ponímaní teórie rizík sa skladá ako sled snímok, ktoré sú pospájané ako film. Dnešný stav techniky umožňuje identifikovať kauzalitu javov komplexne, dynamicky. Umožňuje to vidieť parametre javov v inom svetle. Teória rizík by mohla zohľadniť dynamiku kauzality javov a to ako pre procesy dynamicky pomalé, tak aj pre procesy s potenciálom rýchlych zmien.

Magnetické pole, zvlášť nízkofrekvenčné, je doposiaľ málo prebádané. Toto tvrdenie je možné dokázať na niektorých pokusoch, ktoré boli matematikom a fyzikom dávno známe, ale neboli k dispozícii meracie prístroje, ktorými by sa dali preukázať príslušné tvrdenia. Orientácia 80 % živočíchov, vrátane človeka je založená na magnetickom poli Zeme. Dnes sa tieto adaptačné vymoženosti využívajú a napriek tomu nie sú známe tak, aby sa využili v prospech ďalšieho rozvoja technickej praxe.

Autorský kolektív, ktorý vytvoril túto publikáciu je interdisciplinárny. Snaha po poznaní kauzality technických javov spojených s priemyselnou praxou v širšom kontexte, umožnila spojiť vzájomné sily za účelom prezentovania získaných poznatkov, ako z oblasti nízkofrekvenčných magnetických polí, tak aj z pohľadu posudzovania rizík.

Publikácia je určená pre rozšírenie vedomostí v oblasti pôsobenia nízkofrekvenčných magnetických polí. Podrobne poukazuje na prístrojové vybavenie pre meranie magnetických polí. Rozširuje poznanie z oblasti bezkontaktnéj diagnostiky založenej na identifikovaní procesov technickej praxe magnetickým poľom. V neposlednom rade poukazuje na možný vplyv nízkofrekvenčného magnetického poľa na človeka.

Predpokladá sa, že čitateľ má minimálne základné znalosti z oblasti elektromagnetizmu.

Autorský kolektív
marec 2020

Obsah

	<i>Skratky</i>	...10
	<i>Označenia</i>	...12
	<i>Úvod</i>	...16
<i>I</i>	<i>VLASTNOSTI, CHYBY A KALIBRÁCIA MAGNETICKÝCH SENZOROV</i>	...18
1.1	<i>Vlastnosti senzorov</i>	...18
1.2	<i>Chyby senzorov</i>	...21
1.3	<i>Testovanie a kalibrácia senzorov</i>	...22
1.3.1	<i>Priamkový kalibračný model</i>	...23
1.3.2	<i>Všeobecne lineárne a nelineárne kalibračné modely</i>	...24
1.4	<i>Základné metódy linearizácie</i>	...24
1.4.1	<i>Linearizácia založená na korekčnej tabuľke</i>	...24
1.4.2	<i>Linearizácia založená na úsekovej lineárnej interpolácii</i>	...26
1.4.3	<i>Linearizácia založená na úsekovej polynomickej, splajnovej interpolácii</i>	...27
1.4.4	<i>Linearizácia založená na aproximácii krivky</i>	...28
1.4.5	<i>Linearizácia založená na minimalizácii chýb</i>	...29
1.5	<i>Charakteristika metód konvenčnej kalibrácie magnetických senzorov podľa miesta implementácie</i>	...29
1.6	<i>Kalibrácia magnetických senzorov pomocou neurónových sietí</i>	...30
1.6.1	<i>Modelovanie a výsledky simulácie</i>	...32
1.6.2	<i>Experiment a výsledky meraní</i>	...33
1.7	<i>Diskusia</i>	...35
<i>II</i>	<i>MAGNETICKÉ POLIA A ICH MERANIE</i>	...42
2.1	<i>Vybrané princípy používané v magnetometrii</i>	...44
2.1.1	<i>Princíp magnetometra so vzduchovými cievkami</i>	...44
2.1.2	<i>Princíp magnetometra s Hallovým sensorom</i>	...45
2.1.3	<i>Princíp magnetometra s magnetorezistívnymi senzormi</i>	...47
2.1.3.1	<i>Princíp magnetometra s AMR senzormi</i>	...48
2.1.3.2	<i>Princíp magnetometra s GMR senzormi</i>	...50
2.1.4	<i>Princíp fluxgate magnetometra</i>	...52
2.1.5	<i>Princíp relaxačného magnetometra</i>	...53
2.2	<i>Magnetometer VEMA-041</i>	...55
2.2.1	<i>Konštrukcia magnetometra VEMA-041</i>	...55
2.2.2	<i>Vlastnosti magnetometra VEMA-041</i>	...58
2.2.3	<i>Šumové vlastnosti magnetometra VEMA-041</i>	...59
2.3	<i>Súčasný vývoj magnetometrov série VEMA</i>	...59
2.3.1	<i>Mikrodrôtové magnetometre VEMA-MW</i>	...60
2.4	<i>Diskusia</i>	...62
<i>III</i>	<i>PROGRESÍVNE TECHNOLOGIE S VYUŽITÍM VLASTNOSTÍ MAGNETICKÉHO POLA</i>	...66
3.1	<i>Nanodrôty</i>	...66
3.1.1	<i>Fyzikálna podstata snímača mechanického napätia z mikrodrôtu</i>	...67
3.1.2	<i>Použitie vzorky mikrodrôtov a ich vlastnosti</i>	...68
3.1.3	<i>Metrologické vlastnosti snímača z mikrodrôtu</i>	...70
3.1.3.1	<i>Šumové vlastnosti snímača</i>	...70
3.1.3.2	<i>Jednosmerné posunutie prevodovej charakteristiky</i>	...72
3.1.3.3	<i>Prevodová charakteristika mikrodrôtového snímača</i>	...74

3.2	<i>Letectvo a kozmonautika</i>	...74
3.2.1	<i>Konštrukčné riešenie satelitu skCUBE</i>	...74
3.2.2	<i>Návrh magnetického obvodu aktuátorov skCUBE</i>	...75
3.2.3	<i>Výroba aktuátorov skCUBE</i>	...77
3.2.4	<i>Testovanie aktuátorov po výrobe</i>	...79
3.2.5	<i>Testovanie aktuátorov po montáži do satelitu skCUBE</i>	...79
3.2.6	<i>Testovanie aktuátorov po štarte satelitu</i>	...80
3.3	<i>Diskusia</i>	...80
IV	PRIEMYSELNÉ VYUŽITIE MAGNETOMETRIE	...86
4.1	<i>Mapovanie magnetického poľa v priestoroch a objektoch</i>	...86
4.2	<i>Objektové zabezpečenie magnetickým poľom</i>	...89
4.2.1	<i>Zabezpečenie interiérov a objektov</i>	...89
4.2.2	<i>Ochrana priestoru v interiéri</i>	...90
4.2.2.1	<i>Identifikácia zmien magnetického pozadia</i>	...90
4.2.2.2	<i>Detegovanie zmien magnetickým poľom v interiéroch</i>	...93
4.2.3	<i>Koncepcia zabezpečovacieho systému s magnetometrom pre interiér</i>	...95
4.2.4	<i>Detekcia narušenia vonkajšieho perimetra objektov</i>	...96
4.2.4.1	<i>Magnetické polia v okolí UAV</i>	...96
4.2.4.2	<i>Experimentálne meranie magnetického obrazu malého UAV</i>	...98
4.2.5	<i>Koncepcia zabezpečovacieho subsystému pre exteriér</i>	...100
4.3	<i>Použitie magnetometra pre diagnostiku malého prúdového motora</i>	...101
4.4	<i>Diskusia</i>	...103
V	NÍZKOFREKVENČNÉ MAGNETICKÉ POLIA V PRACOVNOM PROSTREDÍ	...106
5.1	<i>Vývoj normatívov pre limitné hodnoty magnetického poľa</i>	...106
5.2	<i>Súčasný stav poznania v oblasti hygieny práce v prostredí s magnetickými poľami</i>	...107
5.3	<i>Merania magnetických polí vo vybraných mobilných prostrediach a činnostiach človeka</i>	...109
5.3.1	<i>Mobilné zariadenia - elektromobil</i>	...109
5.3.1.1	<i>Prenos a transformovanie elektrickej energie</i>	...112
5.3.1.2	<i>Nabíjanie elektromobilu</i>	...113
5.3.1.3	<i>Jazda elektromobilom</i>	...113
5.4	<i>Diskusia</i>	...118
VI	MAGNETOMECHANICKÉ JAVY A ICH VYUŽITIE V TECHNICKEJ DIAGNOSTIKE	...126
6.1	<i>Využitie magnetomechanických javov v technickej diagnostike</i>	...132
6.2	<i>Meranie parametrov magnetickej hysteréznej slučky</i>	...135
6.3	<i>Meranie distribúcie magnetického poľa</i>	...137
6.4	<i>NDT metódy s využitím komplexných prístupov</i>	...141
6.4.1	<i>Identifikácia skutočného stavu a zvyškovej životnosti ocelových konštrukcií metódou MMM</i>	...141
6.5	<i>Expertné systémy pre monitorovanie stavu leteckých motorov</i>	...143
6.5.1	<i>Expertný a diagnostický systém SNDĽ-1b/SPĽ-2b</i>	...144
6.6	<i>Diskusia</i>	...149
VII	IDENTIFIKOVANIE JAVOV NÍZKOFREKVENČNÝM MAGNETICKÝM POĽOM	...154
7.1	<i>Možnosti diagnostikovania technických zariadení, procesov nízkofrekvenčným magnetickým poľom</i>	...155

7.2	<i>Spôsob vyhodnotenia stavu zariadení, procesov nízkofrekvenčným magnetickým poľom</i>	...155
7.3	<i>Zdroje nízkofrekvenčného poľa v domácnostiach</i>	...159
7.4	<i>Zdroje nízkofrekvenčného poľa v priemysle</i>	...163
7.4.1	<i>Stabilné zdroje nízkofrekvenčného poľa v priemysle</i>	...163
7.4.1.1	<i>Elektrické stroje</i>	...163
7.4.1.2	<i>Stabilné stroje s elektrickými a mechanickými prvkami</i>	...165
7.4.1.3	<i>Mobilné stroje</i>	...169
7.4.1.4	<i>Lietajúce zariadenia - vrtulník</i>	...174
7.5	<i>Diskusia</i>	...175
	<i>Doslov</i>	...180
	<i>Záver</i>	...182
	<i>Zoznam tabuliek</i>	...184
	<i>Zoznam obrázkov, schém, grafov</i>	...184

Skratky	Popis
A	aperiodická zložka signálu magnetického poľa
AC	Alternating Current, striedavé pole
AGNIR	Advisory Group on Non-Ionising Radiation
AMR	Anisotropic Magnetoresistance, anizotropná magnetorezistivita
AÚ	akčné úrovne
B_{total}	výsledný vektor magnetickej indukcie
BTT	Blade Tip Timing
CCD	Charge Coupled Device, nábojovo viazaná štruktúra
CNS	centrálna nervová sústava
CPLD	Complex Programmable Logic Device, komplexné programovateľné logické zariadenie
D/A	Digital / Analog, digitálne / analógový
DAÚ	dolné akčné úrovne
DC	Direct Current, jednosmerné pole
DFFT	Discrete Fast Fourier Transform, diskrétna Fourierova transformácia
DOF	Degree of Freedom, stupeň voľnosti
DPM	Discrete Phase Method, diskrétna fázová metóda
DPS	doska plošných spojov
EEG	elektroencefalografia
ELF	Extremely Low Frequency, extrémne nízka frekvencia
EMAT	elektromagnetické skúšanie šumu
EMC	Electro Magnetic Compatibility, elektromagnetická kompatibilita
EMG	elektromagnetické polia
ESC	Electronic Speed Controller
FPGA	Field Programmable Gate Array, programovateľné logické obvody
FSI	Full Scale Input, vstupný rozsah
FSO	Full Scale Output, výstupný rozsah
GFÚ SAV	Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied
GLE	Ground Level Events
GMR	Giant Magnetoresistance, obrovská magnetorezistencia
GPIO	General Purpose Input Output, bežné vstupy a výstupy
HAÚ	horné akčné úrovne
HCF	High Cycle Fatigue, vysokocyklová únava
HRV	Heart Rate Variability
I	Input, zložka šumu signálu magnetického poľa
I/O	Input / Output, vstupno / výstupný (-é)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IDW	Inverse Distance Weighting
IEA	International Energy Agency
IMU	Inertial Measurement Unit, inerciálna meracia jednotka
InTech	umelo vytvorené technológie a produkty človekom
ITWL	Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
JA	Jiles-Atherton
JAS	Jiles-Atherton-Sablik
LAN	Local Area Network, lokálna počítačová sieť
LCF	Low Cycle Fatigue, nízkokycklová únava

LHV	limitné hodnoty vystavenia
LSD	Linear Spectral Density, lineárna spektrálna hustota
MEMS	MicroElectroMechanical Systems, mikroelektromechanický systém
MsM	snímače magnetostrikcie
MWA	Moving Window Average, plávajúci priemer
NDT	Non-Destructive Testing, nedeštruktívne diagnostické techniky
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences
NORAD	North American Aerospace Defense Command
NRL	Národné referenčné laboratórium
NRPB	National Radiological Protection Board
OMP	obraz magnetického poľa
P	periodická zložka signálu magnetického poľa
Par_i	parameter signálu i
PLD	Programmable Logic Device
ppm	Pers Par Milion
PSD	Power Spectral Density, spektrálna výkonová hustota
RMS	Root Mean Square
SEU	Single Event Upset
SHM	Structural Health Monitoring, monitorovanie stavu štruktúry
SjF	Strojnícka fakulta
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device, supravodivý kvantový magnetometer
THP	Technicko hospodársky pracovník
TR	Technical Requirements, technické požiadavky
TUKE	Technická univerzita v Košiciach
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, bezpilotný prostriedok
UKCCSI	UK Childhood Cancer Study Investigators
UXO	Unexploded Ordnance
VEMA MW	VEktorový MAGnetometer s magnetickými mikrodrôťmi (microwires)
VEMA-041	štvorkanálový VEktorový MAGnetometer
WHO	World Health Organization, Svetová zdravotnícka organizácia
X, Y, Z	označenie osí kartézkeho súradnicového systému
- M_S	hodnota zápornej saturačnej magnetizácie
+ M_S	hodnota kladnej saturačnej magnetizácie
D	deklinácia
I_n	inklinácia, uhol medzi rovinou a vektorom magnetického poľa
R	rádus
S	výstupná veličina
δ	chyba merania
ε	amplitúda napätia
ν	Poissonova konštanta
c_s	citlivosť senzora
r_s	rozlíšenie senzora
s	vstupná veličina

Označenie	Popis	Jednotka
A	plocha prierezu jadra	$[m^2]$
A_v	výmenná konštanta	
B	magnetická indukcia	$[T]$
$B_{(n,i)}$	normála magnetickej indukcie v i -tom prvku	$[T]$
B_E	magnetická indukcia alternujúceho budiaceho poľa vo feromagnetickom jadre	$[T]$
B_i	zložka indukovaného magnetického poľa	$[T]$
B_{mag}	hodnota magnetickej indukcie vznikajúva odozvou na vonkajšie magnetické pole	$[T]$
B_{mech}	hodnota magnetickej indukcie vznikajúva mechnickým namáhaním	$[T]$
B_{rem}	zložka remanentného magnetického poľa	$[T]$
B_x	hodnota magnetickej indukcie v smere osi X	$[T]$
B_y	hodnota magnetickej indukcie v smere osi Y	$[T]$
B_z	hodnota magnetickej indukcie v smere osi Z	$[T]$
C_x, C_y, C_z	konštanta kompenzácie chýb linearity	$[-]$
D	elektrická indukcia	$[C.m^{-2}]$
E	intenzita elektrického poľa	$[V.m^{-1}]$
E_t	modul pružnosti v ťahu	$[Pa]$
F	sila	$[N]$
f	frekvencia	$[Hz]$
F_{mn}	Lorentzova sila	$[N]$
H	intenzita magnetického poľa	$[A.m^{-1}]$
H	vektor intenzity vonkajšieho magnetického poľa	$[A.m^{-1}]$
$H_{(n,i)}$	tangenciálna zložka sily magnetického poľa v i -tom prvku	$[A.m^{-1}]$
H_0	intenzita meraného magnetického poľa	$[A.m^{-1}]$
H_E	intenzita budiaceho poľa	$[A.m^{-1}]$
H_m	amplitúda budiaceho vonkajšieho poľa s konkrétnym tvarom	$[A.m^{-1}]$
H_t	sila magnetického poľa	$[A.m^{-1}]$
$H_t(t)$	tangenciálna zložka sily magnetického poľa v čase	$[A.m^{-1}]$
H_x	merané magnetické pole, v smere osi X	$[A.m^{-1}]$
H_y	merané magnetické pole, v smere osi Y	$[A.m^{-1}]$
H_{SW}^σ	magnetoelastická interakcia	$[A.m^{-1}]$
I	prúd	$[A]$
i_0	počiatočný prúd	$[A]$
I_B	budiaci prúd	$[A]$
i_D	prúd tečúci diódou	$[A]$
J_n	prúdová hustota	$[A.m^{-2}]$
K	koeficient väzby jadra k poľu H_0	$[-]$
k_l	koeficient proporcionality lineárnej magnetostrikcie	$[-]$
L	indukčnosť	$[H]$
l	dĺžka ferosondy	$[m]$
L_z	moment hybnosti	$[kg.m^2.s]$
M	magnetizácia	$[A.m^{-1}]$
M_K	krútiaci moment	$[Nm]$
M_S	saturačná magnetizácia	$[A.m^{-1}]$

$M\sigma$	zvyškový magnetizmus vplyvom namáhania	[A.m ⁻¹]
$M\sigma^{irr}$	ireverzibilná zložka zvyškového magnetizmu po namáhaní	[A.m ⁻¹]
N	počet závitov snímacieho vinutia, počet závitov cievky	[-]
N_D	koeficient demagnetizácie	[-]
Q_a^{-1}	tlmenie makroprúdu	[-]
Q_h^{-1}	tlmenie magnetoelastickej hysterézie	[-]
Q_M^{-1}	celkové magnetomechanické tlmenie	[-]
Q_{PHT}^{-1}	tlmenie pri magnetických transformáciách	[-]
Q_d^{-1}	tlmenie dislokácie	[-]
Q_{tot}^{-1}	celkové tlmenie feromagnetických vysoko tlmiacich materiálov	[-]
Q_μ^{-1}	tlmenie mikroprúdmi	[-]
q	elektrický náboj	[C]
q_n	elementárny náboj	[C]
R	odpor	[Ω]
R_{anti}	ohmický odpor pri antiparalelnej orientácii magnetizácií vrstiev	[Ω]
$R_{e0.2}$	medza klzu	[MPa]
R_{par}	ohmický odpor pri paralelnej orientácii magnetizácií vrstiev	[Ω]
r_H	Hallov faktor rozptýlenia	[m ³ .C ⁻¹], [Ω .cm.G ⁻¹]
t	čas	[sek.]
t^-	časový interval trvania záporného relaxačného impulzu	[s]
t^+	časový interval trvania kladného relaxačného impulzu	[s]
t_0	čas odoznenia budiaceho impulzu, počiatkový čas	[s]
u_D	napätová strata na dióde	[V]
U_H	Hallove napätie	[V]
U_i	indukované napätie	[V]
U_i	elektrické napätie	[V]
U_T	prahové napätie diódy	[V]
V	objem jadra ferosondy	[m ⁻³]
W	energia	[J]
W_a	energia anomálií	[J]
W_e	energia vírivých prúdov	[J]
W_{ex}	výmenná energia	[J]
W_h	energia hysterézie	[J]
W_K	magnetokryštalická anizotropná energia	[J]
W_m	magnetostatická energia	[J]
W_W	energia magnetických doménových stien	[J]
W_λ	magnetoelastická alebo magnetostrikčná energia	[J]
α	koeficient teplotnej vodivosti kovových materiálov	[K ⁻¹]
μ	permeabilita magnetika	[H.m ⁻¹]
ρ	objemová hustota elektrického náboja	[C.m ⁻³]
σ	mechanické napätie	[Pa]
μ_0	permeabilita vákua	[H.m ⁻¹]
μ_ρ	relatívna permeabilita magnetika	[-]
μ_r	relatívna permeabilita materiálu jadra	[-]

μ_i	<i>magnetická permeabilita v i-tom prvku</i>	<i>[H.m⁻¹]</i>
v_{dn}	<i>priemernou driftovou rýchlosťou nosičov náboja</i>	<i>[m.s⁻¹]</i>
θ	<i>uhol medzi magnetizáciou dvoch feromagnetických vrstiev</i>	<i>[rad]</i>
λ_S	<i>saturačná magnetostrikcia</i>	<i>[μm.m⁻¹]</i>
ρ_k	<i>ohmický odpor v smere kolmom na smer magnetizácie</i>	<i>[Ω]</i>
ρ_r	<i>ohmický odpor v smere paralelnom k smeru magnetizácie</i>	<i>[Ω]</i>

Úvod

Magnetické polia, zvlášť nízkofrekvenčné sú širokospektrálnym zdrojom informácií vysielaných objektmi v čase. Doposiaľ si aj technická komunita predstavuje prenos informácií o kauzalite javov len prostredníctvom textu, čísel, limitných hodnôt definovaných normatívmi, ktoré určujú prevažne výrobcovia. Nepoznanie javov, ich dynamických zmien v čase a priestore je nepostačujúce ak dnes existujú nástroje na ich identifikovanie a interpretovanie. Otázne je, čo sa riadi ak sa nepozná kauzalita.

Limitné hodnoty magnetických polí v oblasti hygieny práce, kompatibility, za ostatné obdobie odrážajú predovšetkým komerčný stav. Rýchlo sa zvyšuje v technickom svete počet zariadení s použitím elektromotorov, zariadení pohybujúcich sa v poli Zeme s potenciálom rýchlych zmien a možnosti ovplyvňovania okolia. Normatívy pre oblasť magnetických polí túto skutočnosť nezohľadňujú. Len v poslednom období normatívy začali uvažovať o rýchlosti zmeny magnetického poľa, t.j. dB/dt . Parametre pre opis magnetického poľa prostredníctvom zaužívaných parametrov nie sú postačujúce. Normatívy, ani technické, doposiaľ nepoznajú parameter dB/dt ani v oblasti nízkofrekvenčných polí. Zmena, rýchlosť zmeny, spôsob zmeny, sú základnými ukazovateľmi pre opis kauzality v akomkoľvek systéme, od jednoduchých mechanických systémov až po biologické a sociálne systémy. Nepochopenie mechanizmu zmien vedie k nepochopeniu kauzality a nesprávnym reakciám potrebným pre riadenie procesov.

Interpretácia informácií vysielaných objektom prostredníctvom magnetického poľa umožňuje poznať zmenu štruktúr zdroja. Toto poznanie a jeho interpretácia je základom pre komplexnosť opisu kauzality, zmien v čase, ktorými prechádzal a prechádza objekt.

V predkladanej publikácii sa poukazuje na tieto možnosti, nástroje interpretácie javov v magnetickom poli vysielanom technickými zariadeniami v priemysle, domácnostiach. Jedná sa predovšetkým o zariadenia umelo vytvorené človekom - InTech zariadenia. Poznanie kauzality je základom pre identifikovanie, diagnostikovanie, riadenie, údržbu, vo všetkých oblastiach riadenia procesov.

Publikácia má snahu upozorniť na skutočnosť, že doposiaľ neexistuje vedný odbor, ktorý by sa zaoberal kvantifikovaním kauzalít s cieľom interdisciplinárneho skúmania, nie parciálneho, informácií z charakteristík magnetického poľa. Parciálne tieto problémy rieši fyzika, synergetika, ale aj jednoduché oblasti v technickej praxi, ako je meranie bežných pol'ových parametrov. Tieto prístupy nedávajú komplexný pohľad na kauzalitu javov.

