Sonderdruck aus Sonderheft

GAMM-Tagung 1982

Band 63 **1983**

gungsmatrix wird jetzt in Exponentialform aufgeschrieben

$$A = e^{Bl}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 & \varrho & \frac{1}{G} & 0 \\ \frac{-\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)G} \\ \frac{2G}{1-\nu} & 0 & 0 & \frac{\nu}{1-\nu} \\ 0 & 0 & -\varrho & 0 \end{bmatrix},$$

mit ν Querdehnungszahl, G Schubmodul, ϱ Argument der Hankel-Transformation, und

$$H_i F(r) = \int_0^\infty F(r)\, I_i(\varrho r)\, r \, dr .$$

Anschrift: Dr. EGON ÉLIÁS, Dipl. Ing., Kandidat der Technischen Wissenschaften, H-1016 Budapest I., Naphegy u. 19, Ungarn

ZAMM 63, T 155 – T 156 (1983)

K. FOCK / F. JUHÁSZ

Modellierung der Arbeit der magnetoelastischen Messwandler

Einleitung

Die zeitgemäße industrielle Meßtechnik und rechnergestützte Prozeßregelung erfordern zuverlässige Meßumwandler von großer Stabilität. Die Konstruktion solcher Meßumwandler kann die ausgedehnte Anwendung der zeitgemäßen meßtechnischen und rechentechnischen Mittel nicht entbehren.

Im Laufe der fast 50 Jahre alten meßtechnischen Anwendung der magnetoelastischen Meßwandler wurden die verschiedenen Meßwandlertypen [1] vor allem auf Grund von empirischen Ergebnissen hergestellt. Ihre einheitliche meßtechnische Auswertung und die Konstruktion neuer Typen erfordern aber eine solche Analyse der magnetoelastischen Erscheinung, die auch mathematisch verarbeitet werden kann.

Eine phänomenologische Beschreibung der magnetomechanischen Wechselwirkungen

Zu magnetoelastischen Meßwandlern werden weiche ferromagnetische Stoffe verwendet. Die elektrische Impedanz (Selbstinduktivität, Verlustwiderstand und, im Falle von mehreren Spulen, gegenseitige Induktivität) hängt vom mechanischen Spannungszustand des ferromagnetischen Stoffes ab [4].

Indem der magnetische Stoff durch die komplexe Stoffpermeabilität $\bar{\mu}$ charakterisiert wird [2], kann die Spannungsabhängigkeit der dynamischen Magnetisierungsfunktion mittels des folgenden Gleichungssystems angenähert werden:

$$\boldsymbol{B} = \mu_0\{[\boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{d}_2 s_I(\boldsymbol{T})]\, \boldsymbol{I} + (\boldsymbol{d}_1 - \boldsymbol{d}_2)\, \boldsymbol{T}\}\, \boldsymbol{H}\,, \tag{1}$$

wobei $\boldsymbol{H}$ — komplexer Momentanwert des magnetischen Feldstärkevektors im Falle der sinusoidalen Änderung, $\boldsymbol{B}$ — komplexer Momentanwert des magnetischen Induktionsvektors im Falle der sinusoidalen Änderung, μ_0 — Permeabilität des Vakuums, $\boldsymbol{T}$ — Spannungstensor, $s_I(\boldsymbol{T})$ — erste Invariante des Spannungstensors, $\boldsymbol{I}$ — Einheitstensor, $\boldsymbol{d}_1$, $\boldsymbol{d}_2$ — magnetoelastische Empfindlichkeit.

Aus Gleichung (1) ist ersichtlich, daß der Stoff im spannungsfreien Zustande magnetisch isotrop ist, aber anisotrop wird, wenn im Stoff Spannungen auftreten, z. B. durch Einwirkung einer mechanischen Belastung.

Die in Gleichung (1) erscheinende Form der dynamischen Magnetisierungsfunktion ist geeignet, in die Maxwellschen Gleichungen eingebaut zu werden, die zur Bestimmung des im Inneren des Meßwandlers auftretenden elektromagnetischen Feldes dienen [3]:

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{H} = \gamma \boldsymbol{E}\,, \qquad \operatorname{rot} \boldsymbol{E} = -j\omega \boldsymbol{B}\,, \tag{2}$$

wobei — $\boldsymbol{E}$ komplexer Momentanwert des elektrischen Feldstärkevektors im Falle der sinusoidalen Änderung, γ — elektrische Leitfähigkeit des Stoffes, ω — Kreisfrequenz.

Wenn das elektromagnetische Feld bekannt ist, läßt sich der von der mechanischen Belastung abhängige Teil der Impedanz eines Meßwandlers mit geschlossenem magnetischen Kreis durch folgenden Zusammenhang bestimmen:

$$R(\boldsymbol{T}) + j\omega L(\boldsymbol{T}) = \frac{1}{\hat{\boldsymbol{I}}^2} \oint_A (\hat{\boldsymbol{E}} \times \hat{\boldsymbol{H}}^*) \, \mathrm{d}A \,, \tag{3}$$

wobei $R(\boldsymbol{T})$ — belastungsabhängiger Verlustwiderstand, $L(\boldsymbol{T})$ — belastungsabhängiger Selbstinduktionskoeffizient, $\hat{\boldsymbol{I}}$ — komplexer Höchstwert des Erregerstroms, $\hat{\boldsymbol{E}}$ — komplexer Höchstwert des elektrischen Feldstärkevektors, $\hat{\boldsymbol{H}}^*$ — konjugiert-komplexer Höchstwert des magnetischen Feldstärkevektors, A — die Fläche des Meßwandlers.

Bestimmung der komplexen magnetischen Stoffkennwerte

Die Kenntnis der komplexen magnetischen Stoffkennwerte $\boldsymbol{\mu}$, $\boldsymbol{d}_1$ und $\boldsymbol{d}_2$ ist die Bedingung der Durchführbarkeit der Berechnungen. Es wurde eine auf Meßergebnissen beruhende Berechnungsmethode ausgearbeitet, die sich zur Bestimmung dieser Stoffkennwerte eignet.

Das Wesentliche der Methode ist, daß das elektromagnetische Feld und der mechanische Spannungszustand eines zweckmäßig gewählten Versuchsmodells mit der Annahme des Flächenproblems mit sehr guter Annäherung berechnet werden kann. Auf diese Weise lassen sich $\boldsymbol{\mu}$, $\boldsymbol{d}_1$ und $\boldsymbol{d}_2$ aus der durch Messung bestimmten Impedanz $R(\boldsymbol{T}) + jL(\boldsymbol{T})$ mit Hilfe der Gleichungen (1) ... (3) berechnen. Die Berechnungen können nur numerisch vorgenommen werden. Die Stoffkennwerte sind von der Frequenz und der Erregung abhängig. Wenn sie im Laufe weiterer Forschungen in großer Anzahl zur Verfügung stehen werden, wird es möglich sein, neue Meßwandlertypen mit Hilfe von Rechenanlagen zu konstruieren. Die makroskopischen Kennwerte einiger magnetoelastischer Stoffe, die zu meßtechnischen Zwecken geeignet sind, werden in Tafel 1 angegeben.

Stoffe	$\hat{\boldsymbol{H}}_\varphi(r_0)$ [A/m]	ω [1/s]	$\mu = \mu_1 - j\mu_2$	$\boldsymbol{d}_1$ [10^{-6} m²/N]	$\boldsymbol{d}_2$ [10^{-6} m²/N]
A	2	400π	$5230-j5584$	$-293-j145$	$129+j30{,}3$
B	40	400π	$483-j58$	$-26{,}7+j1{,}85$	$-7{,}79-j3{,}04$
C	80	400π	$135-j86$	$0{,}572-j0{,}705$	$2{,}99-j1{,}62$

A: Vacoperm—100 (70—80% Ni, 30—20% Fe),
B: Vacoflux—50 (49% Co, 2% V, 49% Fe),
C: Permendur—65 (65% Co, 35% Fe),

Literatur

1 E. Baumann, Elektrische Kraftmeßtechnik, VEB Verlag Technik, Berlin, 1976.
2 E. Kneller, Ferromagnetismus, Berlin/Göttingen/Heidelberg—Springer Verlag, 1962.
3 K. Simonyi, Elméleti villamosságtan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1958.
4 K. Fock, Meßtechnische Eigenschaften neuer magnetoelastischer Kraftmessgeräte und ihre Anwendung in industriellen Anlagen, Messen—Steuern—Regeln **12**, (1976). 278—280.

Anschriften: K. Fock, Oberassistent, Technische Universität Budapest, Lehrstuhl für Prozeßregelung, H-1111 Budapest, Müegyetem rkp. 9, Ungarn; F. Juhász, wiss. Mitarbeiter, MTA-SZTAKI (Forschungsinstitut für Rechentechnik und Automatisierung), H-1111 Budapest, Kende u. 13—17, Ungarn

ZAMM 63, T 156 – T 158 (1983)

A. Franěk / J. Kratochvíl / L. Trávníček

On Inverse Problem in Elasticity and Plasticity

The progress in computational methods in non-linear continuum mechanics emphasizes the need for mathematical models of materials of the matching accuracy. One has to test the specimens of the material and use measured data for the specification of the unknown material functions in the assumed general form of the constitutive equation, i.e. to solve the so called inverse problem. To get adequate data for sufficiently accurate mathematical model represented by the constitutive equation a rather complex testing program is usually required.

The classical approach is to run a number of tests where the specimens are homogeneously deformed. The obtained multiaxial stress-strain diagrams are used as input data of the inverse problem (see [1]). Theoretically there is another attractive possibility (see [2]): to deform the tested body inhomogeneously. Ideally each point