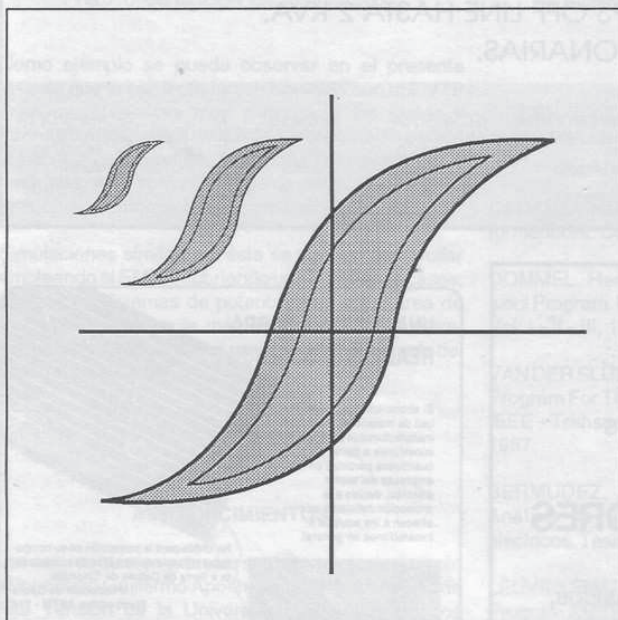


La actualidad del ferromagnetismo aplicado



nueva generación de materiales magnéticos blandos - las aleaciones amorfas, las cuales activamente se utilizan en la práctica. Además, aparecieron nuevos tipos de amplificadores y suiches magnéticos que podrían transformar algunos campos de la técnica.

El diseño y análisis de equipos con componentes magnéticos no puede ser realizado solamente con base en las características integrales del núcleo. También es necesario tener en cuenta los valores instantáneos de la velocidad de variación de la densidad de flujo, reluctancia y otros parámetros determinados por los efectos dinámicos de la histéresis. Por lo anterior, es oportuno brindar mayor atención a la investigación de los principios del ferromagnetismo aplicado y a la utilización de las características positivas de los métodos de transformación y amplificación magnéticos.

□ Vladimir Sitnikov, Ph.D.
Ingeniero Electromecánico
Profesor Visitante
Departamento de Aparatos
Eléctricos y Electrónicos
Instituto Energético de Moscú

□ Héctor Cadavid R., M.Sc.
Ingeniero Electromecánico
Profesor Asociado
Departamento de Electricidad
Universidad del Valle

RESUMEN

Los modernos equipos electrónicos y electrotécnicos operan en un amplio rango de frecuencia y con distintas formas de voltajes y corrientes.

Ellos demandan un alto nivel de exigencia en calidad y confiabilidad de los componentes magnéticos. El desarrollo de la tecnología en esta dirección, trajo consigo una

ABSTRACT

Modern devices of the power electronics and electrotechnics are working on the wide range of the frequency and with the different forms of voltages and currents. They are requiring a high level remains of the quality and reliability of the magnetic components. The development of technology in this direction have been received of the new gen-

eration of the soft magnetic materials - amorphous alloys which are using activity in practice. Besides, new types of the magnetic amplifiers and magnetic switches which can convert some directions of techniques, are appeared.

Design and the analysis of the devices with the magnetic components can't be performed only on the basis of the integral characteristics of the cores, such as the constant current flux reset. It is necessary to take into account the instantaneous values of the rate of change of the magnetic induction, the value of the magnetization resistance and the others parameters determined due to the dynamic hysteresis effects. Opportunity of the more important relation in the research of applied ferromagnetism's principles for the using of the positive qualities of the methods of the magnetic conversion and amplification is considered.

INTRODUCCION

El magnetismo ha permeado toda nuestra vida. La energética, electrotecnia, electrónica, telecomunicaciones, técnicas computacionales, sistemas automáticos de control industrial y muchos otros campos de la técnica no podrían existir sin la utilización de distintos fenómenos, materiales y dispositivos magnéticos. El magnetismo más ampliamente se introduce en la medicina, la biología, la técnica espacial y la subacuática.

Los pensamientos acerca del tema del magnetismo pueden llevar a analogías supremamente curiosas. Así, por ejemplo, explicando el magnetismo de la tierra el académico Kopylov llegó a un modelo del globo terrestre como el de una máquina eléctrica ideal donde el papel del rotor lo cumple el núcleo de la tierra y el del estator, la corteza terrestre [1].

FERROMAGNETISMO APLICADO

Continuando con la analogía, expresamos el supuesto, donde el magnetismo de un núcleo toroidal nos lleva al modelo cerrado de la galaxia. Exactamente, bajo la acción de agentes externos, los cuales actúan sobre nuestra galaxia, aparece en movimiento - el flujo magnético - y ocurre una conversión estructural bajo este efecto: evacuación de calor y enfriamiento del núcleo - el calentamiento de la galaxia, reestructuración de los dominios con desplazamiento y movimiento de las fronteras - movimiento del planeta y de los continentes, rotación de los spines atómicos - rotación de los planetas alrededor del eje magnético, dispersión de energía (flujo de dispersión) - integración con el mundo circundante, localización de los pasos atómicos - acercamientos de los polos de distinto signo y repulsión de los de igual signo, Heterogeneidad estructural que impide el paso de flujo - los huecos negros y los colapsos. Pero lo más importante de este supuesto es que el movimiento del flujo magnético corresponde a la relatividad del tiempo para el hombre, el cual vive en un sistema de automovimiento. Con ésto, el movimiento rápido del flujo crea la ilusión de rotación en un plano, lo que finalmente conlleva al modelo de la galaxia en forma de disco.

En otras palabras, el magnetismo desde lo cósmico hasta lo utilitario está relacionado con el hombre. Y así como una persona no se parece a otra, tampoco se parecen los materiales magnéticos que tienen una composición química igual, pero obtenidos en condiciones tecnológicas distintas. Con ésto, la estadística del magnetismo, incluyendo su histéresis, nos recuerda la sociedad humana cuya vida también está determinada por leyes estadísticas.

En la década de los años setenta disminuyó ostensiblemente el interés por los componentes magnéticos en las áreas técnicas. Esto está relacionado, ante todo, por los grandes avances en la tecnología de la producción de los elementos semiconductores, lo que aceleró el desarrollo de los microprocesadores.

Además, la relativa alta inversión de trabajo manual en la producción de componentes magnéticos, el insuficiente desarrollo de las sustentaciones teóricas relacionadas, con la gran variedad de procesos de magnetización en un amplio rango de frecuencias y en distintos regímenes, se convirtieron en factores que frenaron la aplicación de las grandes ventajas y conocidas propiedades de los componentes magnéticos en dispositivos eléctricos y electrónicos.

Pero seguramente el mayor aporte como freno del desarrollo de las aplicaciones del magnetismo en la técnica moderna, es que los investigadores e ingenieros de desarrollo y aplicación creyeron inconscientemente en la solución de todos los problemas técnicos sin la utilización de componentes magnéticos, para escapar de la multifuncionalidad de las estructuras magnéticas a las formas lógicas utilitarias de los esquemas semiconductores, donde cada componente cumple una única función.

Sin embargo esta visión, en relación con los componentes magnéticos en la electricidad y electrónica, no se prolongó por mucho tiempo. Y es natural, ya que la lógica nos lleva a que ningún esquema electrónico se concibió ni se concibe sin componentes magnéticos. Así como la posibilidad, solamente como ejemplo, de obtener una desconexión galvánica del orden de kilovatios para aplicaciones prácticas en el futuro visible, lo

tendrá solamente el transformador y no los sistemas ópticos o de cuarzo.

En los últimos diez años ha ocurrido un cambio brusco en las áreas relacionadas con la utilización de elementos magnéticos en equipos eléctricos y electrónicos. Todo esto está ligado al gran desarrollo en la tecnología de producción de materiales magnéticos y particularmente, a la aparición de una nueva clase de materiales magnéticos blandos -las aleaciones amorfas (AA) magnéticas [2].

La particularidad de su tecnología, la combinación única de propiedades magnéticas, eléctricas y mecánicas de las A.A (por muchos parámetros ellas superan los tradicionales materiales cristalinos magnético-blandos, incluyendo al Permalloy), y también los altos índices de eficiencia de los equipos con componentes magnéticos, los parámetros técnicoeconómicos relacionados con su utilización en un rango de altas frecuencias (del orden de megaherzios), determinaron la tendencia del desarrollo activo de la técnica de conversión magnética del así llamado *Ferromagnetismo aplicado*.

El desarrollo del ferromagnetismo aplicado también se caracteriza por la demostración de las posibilidades de realizar el principio de integración de los componentes magnéticos en transformadores, reactores, amplificadores magnéticos con base en estructuras geométricas no tradicionales, reactores saturables con geometría predeterminada del núcleo, y con la aparición de un nuevo tipo de amplificador magnético -un amplificador con control por canal óptico de comunicación- denominado amplificador optomagnético [3].

El principal elemento de un amplificador optomagnético, es un

reactor monodevanado con núcleo de material magnético, que posee un ciclo rectangular de histéresis. Estos son amplificadores de potencia (hasta 10^6) y conservan las propiedades fundamentales del amplificador magnético multidevanado; la disponibilidad de existencia de varias entradas desconectadas galvánicamente con salidas no conectadas galvánicamente entre sí. Además, el control óptico de estos amplificadores amplía las posibilidades funcionales de los esquemas tradicionales con componentes magnéticos, ya que adicionalmente a la retroalimentación magnética y eléctrica, se ejecuta la retroalimentación óptica utilizando las técnicas optoelectrónicas conocidas.

¿REACTOR - INDUCTANCIA O RESISTENCIA ?

La tarea de utilizar todas las posibilidades y ventajas del ferromagnetismo aplicado prácticamente se reduce al estudio de los regímenes y operaciones multifuncionales que desarrollan los componentes magnéticos en esquemas eléctricos y electrónicos. Así, por ejemplo, con el esquema dado de un elemento simple -el reactor (Fig. 1)- tenemos el derecho de responder a la pregunta, ¿qué es esto?, con la respuesta: No sé y lanzar una contrarrespuesta: ¿Qué forma de la curva de histéresis tiene el material de su núcleo?

En los esquemas eléctricos los componentes magnéticos pueden

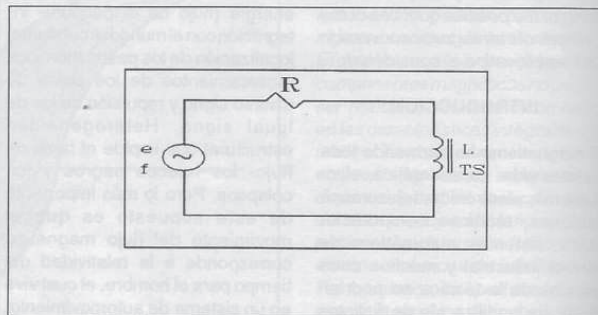


Fig. 1 Esquema simple con un reactor

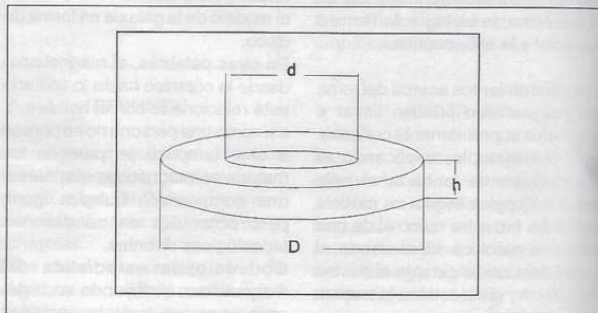


Fig. 2 Dimensiones del núcleo

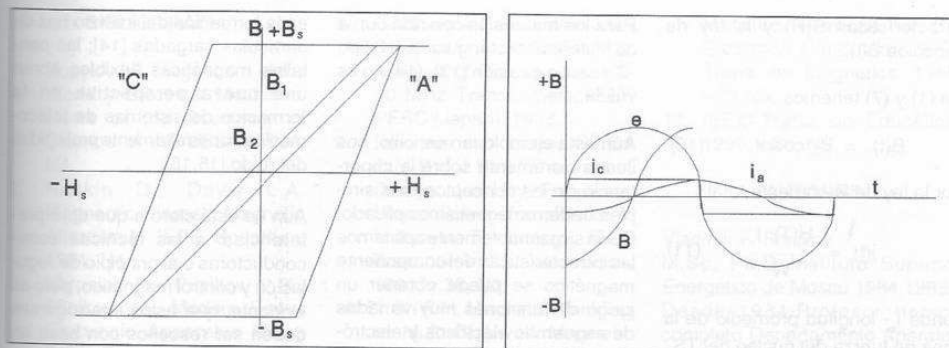


Fig. 3 Características de los distintos materiales

ser llamados L o TS. Dependiendo del tipo de característica B(H) del núcleo del reactor, un circuito de corriente alterna puede caracterizarse como un elemento que tiene carácter inductivo o resistivo, cuando el reactor se alimenta de una f.e.m. variable sinusoidalmente.

$$e = E_m \sin \omega t \quad (1)$$

El núcleo del reactor se caracteriza por las dimensiones geométricas d, D, h , (Fig. 2) el número de espiras W , su resistencia activa R_w ; la resistencia R es totalmente activa (la resistencia ohmica del circuito).

La influencia del material del núcleo en la característica del reactor como un dipolo positivo la veremos para dos materiales idealizados con características B(H) (Fig. 3), simbolizados en la figura como "A" y "C". Ambos materiales tienen igual inducción de saturación B_s . La variación de la densidad de flujo en los límites $-B_s \leq B \leq +B_s$ se caracteriza por la intensidad de campo magnético $-H_s \leq H \leq +H_s$.

La variación del estado magnético del material "A" en los límites $\pm B_s$ se somete a la relación lineal:

$$B = \mu \mu_0 H \quad (2)$$

El material "C" en los límites de $\pm B_s$

se somete a la condición: el aumento de B desde $-B_s$ hasta $+B_s$ transcurre con H positivo, la disminución de B desde $+B_s$ hasta $-B_s$ con H negativo.

Si bajo cierto efecto en el material "A" se alcanza una densidad $B = B_1$, entonces después de desaparecer el efecto (Corriente ó f.e.m.) el nivel de densidad varía y por su propia cuenta se mueve al punto $B_2 \approx 0$.

En el material con una característica "C" después de desaparecer el efecto, el nivel de densidad no varía $B = B_1$ y puede conservarse infinitamente, es decir, el material con característica B(H) tipo "C" posee memoria.

El reactor que posee material del núcleo con característica B(H), (TS) tipo "C" se le llama reactor saturable. Para un circuito con TS escribimos la ecuación de Kirchoff.

$$e = iR + \frac{d\psi}{dt} \quad (3)$$

Vamos a suponer, que la condición

$$\frac{d\psi}{dt} \neq 0 \quad (4)$$

es válida la siguiente relación

$$iR \ll \frac{d\psi}{dt} \quad (5)$$

o sea:

$$e \approx \frac{d\psi}{dt} = WS \frac{dB}{dt} \quad (6)$$

$$\text{ó} \quad \frac{dB}{dt} \approx \frac{e}{WS} \quad (7)$$

S - sección transversal del núcleo

De esta manera, de acuerdo a (7) el proceso de magnetización (variación de la densidad del flujo) transcurre con una velocidad dada por la fuente de alimentación e y no depende del material del núcleo.

En el transcurso de un semiperíodo de tensión ($dB/dt > 0$) la inductancia puede solamente incrementarse. Supongamos que en este semiperíodo la densidad varía desde $-B_s$ hasta B_s y la expresión (7) para un valor por período tiene la siguiente forma:

$$\frac{2B_s}{0.5T} = \frac{E}{WS} \quad (8)$$

de donde

$$E = E_s = 4 f WS B_s \quad (9)$$

En este caso la tensión E_s se llama de saturación y su valor es uno de los principales parámetros del TS.

La forma y valor de la corriente del circuito se determina por el tipo de

características $B(H)$ y la ley de variación $B(t)$.

De (1) y (7) tenemos.

$$B(t) = B_m \cos \omega t \quad (10)$$

Por la ley de la corriente total:

$$i(t) = \frac{H(T) \cdot l_c}{W} \quad (11)$$

donde l_c - longitud promedio de la línea de fuerza del núcleo del TS

Si para el caso de la magnetización total, presentamos la dependencia de $B(H)$, $B(t)$, $i_A(t)$, $i_c(t)$, tenemos que $i_c(t)$ es una función sinusoidal y coincide en fase con la f.e.m de la fuente de alimentación e , lo que corresponde al carácter activo del circuito (o sea el carácter activo de la resistencia de magnetización del TS), y la corriente $i_A(t)$ tiene forma senooidal y está retrasada de la tensión e en 90° lo que corresponde al carácter inductivo del circuito.

Resaltamos que para el material "A" la ecuación (6) considerando (2) y (11) cambia:

$$L = \frac{W^2 S}{l_c} \mu \mu_0 \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (12)$$

donde

$$L = \frac{W^2 S}{l_c} \mu \mu_0 \quad - \text{ inductancia.}$$

Debido a que la forma de la corriente y la tensión son sinusoidales, el valor medio de la corriente se puede determinar como:

$$I = \frac{E}{X_L} \quad (13)$$

donde

$$X_L = 2\pi f \frac{S}{l_c} W^2 \frac{B}{H} \quad (14)$$

Para los materiales con una curva de histéresis rectangular ($B(H)$ tipo "C") esta expresión (13), (14) no es válida.

Aún este ejemplo tan sencillo, nos ilustra claramente sobre la importancia de los conceptos más simples del ferromagnetismo aplicado. O sea si razonablemente aplicamos las características del componente magnético se puede obtener un juego de funciones muy variadas de esquemas eléctricos y electrónicos. Y al contrario, el no evaluar suficientemente las características magnéticas nos pueden llevar a resultado cuando un transformador no transmite potencia y el reactor representa una ruptura o un corto circuito.

En la actualidad el mundo vivencia literalmente el segundo nacimiento del ferromagnetismo aplicado: surge una nueva generación de fuentes con reguladores magnéticos, en particular en la electromedicina [4,5]; prácticamente ha cambiado la ideología de construcción de máquinas y accionamientos eléctricos -regulación PWM, máquinas de inducción, utilización de imanes de tierras raras, etcétera, (se ha usado conservado prácticamente sólo el aspecto externo) [6,7]; se desarrollan transformadores de potencia capaces de operar en frecuencias de hasta 10 MHz [8,9]; se construyen potentes suiches magnéticos (moduladores) para el bombeo de energía láser [10]; los reactores de aleaciones amorfas han desplazado los balastos de las lámparas [11] y los estabilizadores ferro sonantes altamente efectivos [13]; los componentes magnéticos prácticamente no dejan alternativas para los aceleradores lineales en la excitación de la reacción nuclear y

en la formación del intenso haz de partículas cargadas [14]; las pantallas magnéticas flexibles abren una nueva perspectiva en la formación de sistemas de telecomunicaciones altamente protegidos del ruido [15,16].

Aún no está claro a que dará preferencias: a las técnicas semiconductoras o al principio de regulación y control magnético, pero es evidente, que estos interrogantes deben ser resueltos con base en justificaciones técnico-económicas y considerando las posibilidades tecnológicas y la tendencia del desarrollo mundial en este sentido.

Sin embargo, en aquellos casos cuando un equipo trabaja en lugares distantes con cambios bruscos de las condiciones climáticas, con ausencia de un mantenimiento calificado y se exigen condiciones de alta confiabilidad, protección contra ruidos, y tamaño, las posibilidades esquema-técnicas y constructivas del ferromagnetismo aplicado deberán ser utilizadas al máximo.

En conclusión, es importante resaltar que a pesar de la complejidad del proceso de magnetización, es necesario reconocerlo como una realidad objetiva y estudiar con mayor profundidad todos los mecanismos de su aparición. Precisamente, el perfeccionamiento permanente de los materiales magnéticos y el desarrollo de la teoría del magnetismo corresponden a la perspectiva fundamentada de utilización de las calidades positivas del ferromagnetismo aplicado para la electricidad y la electrónica, lo cual determinará en gran parte el desarrollo futuro de la humanidad del próximo siglo.

BIBLIOGRAFIA

1. Kopylov I.P. Magnetism of the World y Electrical Machines, News of the Academy of Science of the USSR, 1988, N4.
2. Raskin D., Davis L.A. Magnetic Glasses: Magnetic Alternative. IEEE Spectrum, 1981, N4.
3. Khruslov I.I., Puzikov V.M., Sitnikov V.F. Modern Power Electronic Apparatus Using Fast Responce Magnetic Components; Moscow, Informelectro, 1989.
4. Arakawa O., Hiose Y., Onodera T. Improved Cost-Performance by Using Amorphous Magnetic Parts for Switching Power Supplies, Toshiba Rev., 1986, N158.
5. Swith Mode Power Supplies, Catalogue of Philips, 1992.
6. Ueda R., Sonoda T., Matsuo T., Tsuji T., El-Sherif M.Z. DN Sensing of Flux and Electromagnetic Torque in Air-GAP of Induction Ustol by Means of Hall Effect in Amorphous Ribbon, IEEE Ind. Appl. Soc. Mnt, USA, 1986.
7. Japanese and Europeans Target the Variable Speed Drive-Industry, Power Conversion and Intelligent Motion, 1989, N6.
8. Goldberg A.F., Kassakin J.G., Schlecht M.F., Finite Element Analysis of Copper Loss in 1-10 MHz Transformers, IEEE PESC (Japan), 1988.
9. Dirk van der Linde, Corlex A.M.B., J.Ben Klaassens, Design of a High-Frequency Planar Power Transformer in Multilayer Technology, IEEE Trans. on Indust. electronics, 1991, v.38, N2.
10. Smith C.H. Magnetic Shielding to Multi-Gigawatt Magnetic Switches, IEEE Trans. on Magnetics, 1982, v.18, N6.
11. Raskin D., Smith C.H. Applications of Magnetic Glasses: Amorphous Metallic Alloys, Ed. by Luborsky F.E., Butterworths, 1983.
12. Rozanov Y.K. Power Electronics, Energoatomizdat, Moscow, 1992.
13. Ferenczi O. Power Supplies, Academia Kiado, Budapest, 1987.
14. Smith C.H., Rozen M. Amorphous Metal Reactor Cores for Switching Applications, Int.Conf. on Power El., 1981.
15. Dugdale J.S., Rhodes P. Eigenschaften und Anwendungen Amorpher Metall, Umschau, 1986, v.86, N5.
16. Hilzinger H.R. Applications of Metallic Glasses in the Electronics Industry, IEEE Trans. on Magnetics, 1985, v.21, N5.
17. IEEE Trans. on Education, 1990, v.33, N1.

AUTORES

Vladimir F. Sitnikov
M.Sc., Ph.D Instituto Superior Energético de Moscú 1984, 1989. Desde 1984-Profesor tiempo completo Departamento Aparatos Eléctricos y Electrónicos M.E.I. Profesor visitante del Departamento de Electricidad, Facultad de Ingeniería Universidad del Valle desde 1993.

Autor cerca de 30 artículos de investigación y posee 12 patentes. Miembro de la Sociedad Magnética de Rusia, y miembro de la junta directiva de la Asociación de Ingenieros Electrónicos de Potencia de Rusia.

Héctor Cadavid R.
M.Sc. Instituto Superior Energético de Moscú. 1985, Ingeniero de mantenimiento de ABOCOL-AMOCAR 1985-1987. Profesor tiempo completo Departamento de Electricidad, Facultad de Ingeniería Universidad del Valle desde 1987, Jefe de Laboratorio Alta Tensión - Universidad del Valle 1988-1992, Jefe Departamento de Electricidad Universidad del Valle desde 1992. ■

Un hombre sin un sueño y un plan es un hombre sin futuro.

Kenneth Walker