Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 23

Rubrik: Im Blickpunkt = Points de mire

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Im Blickpunkt
Points de mire

Energietechnik
Technique de l'énergie

Berührungsloses Messverfahren für Oberschwingungsströme auf Freileitungen

[Nach *A. E. Emanuel* u.a.: A non-contact technique for determining harmonic currents present in individual conductors of overhead lines. IEEE Trans. PAS 102(1983)3, S. 596...603]

Der zunehmende Einsatz statischer Stromrichter im Industrie- und Haushaltbereich stellt ein besonderes Problem für Stromversorgungsunternehmen und die Hersteller energietechnischer Ausrüstungen dar. Resonanzen zwischen Kondensatoren und Reaktanzsystemen, Überlagerungen mit Kommunikationssystemen, Spannungsverzerrungen und unerwartet hohe Effektivwerte der Ströme sind einige der störenden Nebeneffekte, die durch das Einbringen von Oberschwingungen auftreten. Dementsprechend wird in den einschlägigen Normen besonderer Wert auf die Voraussage der Oberschwingungseinflüsse, die Entwicklung geeigneter Filter sowie genauer Messmethoden zur Überwachung von Oberschwingungsströmen und -spannungen gelegt.

Im vorliegenden Bericht wird der Zusammenhang zwischen Oberschwingungsströmen und Grundschwingungen auf Dreiphasen-Freileitungen und den gemessenen magnetischen Feldern unter den Leitungen behandelt. Diese Beziehungen werden zur Berechnung der Oberschwingungsströme der einzelnen Leiter aus den Daten des magnetischen Feldes verwendet. Die derzeit angewandte Messmethode mit Zangenstromwandlern zur Überwachung der Oberschwingungen im hörbaren Frequenzbereich ist mit einigen Nachteilen behaftet: Es ist vor allem ein Objektkontakt mit der Hochspannungsleitung nötig, was geschultes technisches Personal und die Einhaltung genauer Sicherheitsvorschriften erfordert. Nach neueren Berichten ist auch der Frequenz-Durchlassbereich von Stromwandlern bei Anwendungen im Hochspannungsbereich zu ungenau.

Aufgrund von Messungen an einem Labormodell einer 13,8-kV-Hochspannungsleitung sowie der mathematischen Zusammenhänge mit dem erzeugten magnetischen Feld wird gezeigt, dass Ströme in Freileitungsnetzen ohne die Anbringung von Messgeräten auf indirektem Wege berührungslos gemessen werden können. Die dazu erforderliche Grundausrüstung der Messeinrichtung besteht aus einem Paar Sucherspulen und einem Bandpassfilter. Mit den Spulen werden von dem durch den Stromfluss in den Freileitungen erzeugten Magnetfeld die Amplituden in horizontaler und vertikaler Richtung gemessen.

Die Labormessungen erbrachten einen hohen Genauigkeitsgrad für das berührungslose Messverfahren, für welches auch ein «Atlas» typischer Magnetfeldmuster für verschiedene Leiteranordnungen und symmetrische Mehrfachsysteme erstellt werden kann. Die grosse Anzahl der möglichen Kombinationen bei der Interpretation der Feldmuster zur Bestimmung der Leiterströme erfordert geschulte Messtechniker. Die Sucherspulen sind den nach dem Hall-Effekt arbeitenden Geräten überlegen, da die induzierte Spannung sich proportional zur Ordnung der Oberschwingungen verhält und Oberschwingungen höherer Ordnung daher leicht ermittelt werden können. *H. Hauck*

Informationstechnik
Technique de l'information

Testen von LSI-Schaltungen

[Nach *M. S. Abadir* und *H. K. Reghbati:* LSI Testing Techniques. IEEE Micro 3(1983)1, S. 34...51]

Das Testen von LSI-Schaltungen ist ein schwieriges Problem, weil die Zahl der möglichen Fehler sehr gross ist und weil der sehr grossen Anzahl interner Zustände (Flipflops) nur eine kleine Zahl von Pins zum Beobachten und Steuern der internen Zustände gegenübersteht.

Man unterscheidet zwei grundlegende Testmethoden: gleichzeitiges und explizites Testen. Beim gleichzeitigen Testen findet parallel zum normalen Betrieb ein permanenter Test statt. Dazu werden beispielsweise m-aus-n-Codes für Steuersignale und fehlererkennende arithmetische Codes für Datensignale verwendet. Dem Vorteil einer Fehlererkennung in Echtzeit steht als Nachteil gegenüber:

- die Fehlerüberdeckung (= Prozentsatz der erkennbaren Fehler) ist schlechter als beim expliziten Testen.
- die Testentwicklung ist wesentlich schwieriger als beim expliziten Testen.

Das explizite Testen ist eine Operation die unabhängig vom normalen Betrieb einer Schaltung ist. Folgende Teilaufgaben sind zu lösen:

- Erzeugung der Testpattern.
- Anlegen der Testpattern an das Testobjekt. Beim externen Testen kommen diese von einem Testautomaten, während sie beim internen Testen im Testobjekt eingebaut sind (Selbsttest).
- Auswertung der Antwort des Testobjekts. Je nach Aufgabenstellung ist eine gut-/schlecht-Aussage oder die Lokalisierung des fehlerhaften Bauelements gefordert.

Für die Erzeugung von Testpattern werden eine geeignete Beschreibung des Testobjekts und ein Fehlermodell benötigt. Eine Anzahl verschiedener Fehlermodelle wurden publiziert, wobei die Stuck-at-Fehlermodelle (ein Schaltungsknoten liegt fest auf «0» oder auf «1») überwiegend verwendet werden. Als Ausgangspunkt für die Testpatternerzeugung kann eine Gatterbeschreibung oder eine Funktionsbeschreibung (als Black-box-Beschreibung, d.h. ohne Berücksichtigung des inneren Aufbaus) der Testobjekte dienen. Die Testpatternerzeugung für einen einzelnen Stuck-at-Fehler in einem kombinatorischen Netzwerk, das auf Gatterebene vorliegt, ist ein NP-vollständiges Problem. Dies bedeutet, dass der Rechenaufwand mit der Zahl der Gatter sehr stark zunimmt. Für SSI- und MSI-Schaltungen ist die automatische Testpatternerzeugung mit Hilfe des D-Algorithmus möglich. Bei LSI-Schaltungen muss man hingegen eine Funktionsbeschreibung verwenden, um den Aufwand in Grenzen zu halten. Ein Beispiel ist das Verfahren von *Sridhar/Hayes*, das für Bit-Slice-Prozessoren (z.B. Am2901) geeignet ist. Weitere Verfahren wurden von *Thatte/Abraham* (für Mikroprozessoren) und von *Abadir/Reghbati* (für allgemeine LSI-Schaltungen) angegeben. Eine häufig verwendete Möglichkeit ist die Fehlersimulation, also die Logiksimulation von fehlerbehafteten Schaltungen. Damit lässt sich beispielsweise die durch manuell erzeugte Testmuster erreichte Fehlerüberdeckung ermitteln. *E. Stein*

Modems für die Datenübertragung

[Nach *H. Nyman, F. Salcedo, J.T.L. Sharpe, C.W. Tarry:* Die Entwicklung der Datenmodems, Elektr. Nachrichtenwesen 57(1983)3, S. 187...194]

Die Entwicklung der Datenmodems wurde um 1976 durch die Anwendung der Mikroprozessorsteuerung stark beeinflusst und beschleunigt. Diese Geräte übernehmen nicht nur die Funktion der Modulation bzw. Demodulation, sondern auch viele andere wie Signalformung, Bandbegrenzung und Verwürfelung (*scrambling*) zur Verbesserung des Leistungsdichtespektrums und zur Erleichterung der Taktableitung. Ausserdem sind eine adaptive Entzerrung vorgesehen sowie Verminderung der Störeinflüsse von Frequenz- und Phasenschwankungen (*jitter*) und verschiedene Prüfmöglichkeiten für den Betrieb.

Der 1200-bit/s-Datenmodem (mit Umschaltung auf 600 bit/s) von ITT erfüllt die Empfehlungen V.23 bis V.25 von CCITT. Im asynchronen Halbduplexbetrieb wird die Frequenzumtastung (FSK: *frequency-shift keying*) verwendet, wobei den binären Zuständen die Frequenzen 1300 und 2100 (bzw. 1700) Hz entsprechen. Im 4800-bit/s-Modem (auch für den Betrieb mit 2400 bit/s geeignet) nach der CCITT-Empfehlung V.27 kommt die achtstufige (bzw. vierstufige) Differenz-Phasenumtastung (DSPK *differential phase-shift keying*) zur Anwendung mit der effektiven Schrittgeschwindigkeit von 1600 bzw. 1200 baud. Das Frequenzband erstreckt sich von 600 bis 3000 Hz, und das Signal hat die Form einer angehobenen Kosinuskurve. Der 9600-bit/s-Modem gemäss der CCITT-Empfehlung V.29 wird mit Quadratur-Amplitudenmodulation (QAM) synchron betrieben. Er ermöglicht auch den Betrieb mit 7200, 4800 und 2400 bit/s.

Mit den Fortschritten der Halbleitertechnologie (Schrumpfen der Feinstruktur integrierter Schaltungen bis zu etwa 1 μm) ist wohl denkbar, dass diese Datenmodems in einigen Jahren als abgeschlossene, hochintegrierte Einheiten (*chips*) realisiert werden können.

J. Fabijanski

Rechnerunterstützte Flugsimulation

[Nach *K. Forsstrom:* Array Processors in Real-Time Flight Simulation. Computer 16(1983)6, S. 62...70]

Die Flugsimulation im Echtzeitbetrieb bietet eine Vielzahl von Rechenproblemen, wie z.B. die schnelle Lösung von Differentialgleichungen und die lineare Interpolation vieler umfangreicher Tabellen, was leistungsfähige Rechnersysteme erfordert. Da die Bewegung eines Flugzeuges kontinuierlich ist, lässt sie sich mathematisch in Form von Differentialgleichungen darstellen, die mit einem digitalen Rechner gelöst werden können. Die Genauigkeit der Ergebnisse ist von grosser Bedeutung sowohl für den Entwurf von neuen Flugzeugen als auch für eine wirklichkeitsnahe Flugsimulation. Bei der digitalen Rechnersimulation im Echtzeitverfahren muss die Zeit, die der Rechner zur Ausführung benötigt, kleiner sein als die Zeit, in der sich der simulierte Vorgang in Wirklichkeit abspielt. Das Basismodell einer Flugsimulation sollte es ermöglichen, jederzeit den Standort, die Lage und Geschwindigkeitsänderungen des Flugzeuges sowie aerodynamische und die Umwelt betreffende Hilfswerte anzugeben. Die Güte der Simulation ist zum Teil abhängig von der gewählten Iterationsrate sowie von der Genauigkeit des Simulationsmodells und dessen Daten. Bei der Festlegung der Iterationsrate ist das bekannte Nyquist-Kriterium massgebend.

Die Bandbreite eines digital simulierten Systems ist bestimmt durch die Zeit, die der Rechner zur Berechnung eines genügend genauen Simulationsmodells in Echtzeit benötigt. Der Umfang und die Bandbreite eines Simulationsmodells müssen folgerichtig einem Rechner bestimmter Grösse und Geschwindigkeit entsprechen. Der Flugzeughersteller Northrop setzte anfänglich mehrere parallel arbeitende Prozessoren ein, die gleichzeitig verschiedene Teile des Simulationsprogramms bearbeiteten. Das Modell wurde in logische Module aufgeteilt und den einzelnen Prozessoren zugeordnet, was eine Reduktion der gesamten Rechnerzykluszeit ermöglichte. Allein die Hälfte der Rechenzeit wird zur Auswertung aerodynamischer Daten benötigt, die aus verschiedensten Quellen stammen und in umfangreichen Tabellen festgehalten werden. Beispielsweise kann der aerodynamische Auftrieb als Funktion der vier unabhängigen Variablen – Angriffswinkel des Flugzeuges, seitlicher Abrutschwinkel, Machzahl und Horizontalposition des Flugzeughecks – definiert werden. Komplizierte Flugsimulationen können bis zu 40 solcher Tabellen mit über 100 000 Werten aufweisen.

Die Abarbeitung der Tabellenwerte geschieht in sich ständig wiederholenden Vorgängen, weshalb hiezu sogenannte Array-Prozessoren eingesetzt werden können, welche in erster Linie zur Berechnung schneller Fourier-Analysen entwickelt wurden. Eine Schwierigkeit bei der Anwendung dieser Prozessoren in der Flugsimulation bestand in der möglichst flexiblen Programmierung. Im vorliegenden Artikel wird ausführlich auf verschiedene Rechneranordnungen und Programmiertechniken zur Echtzeit-Simulation mit Array-Prozessoren eingegangen. Deren Einsatz hat die Möglichkeiten der Flugsimulation beträchtlich erweitert. *R. Wächter*

Die Laser-Vision-Platte

[Nach: *H.C. Haverkorn van Rijsewijk, P.E.J. Legierse, G.E. Thomas:* Manufacture of Laser Vision video discs by a photopolymerization process. Philips Techn. Rev. 40(1982)10, S. 287...297]

Die Massenproduktion der Video-Platte als Informationsträger für Bild- und Tonsignale im sog. «Laser Vision System» von Philips hat bereits begonnen. Dabei werden die LV-Platten, welche die heute noch gebräuchliche Langspielplatte bezüglich Bild- und Tonqualität weit übertreffen, in einem Photopolymerisationsprozess hergestellt: Ein polymerisierbarer, flüssiger 2-Komponenten-Lack wird auf den Informationsträger (Matrize) beidseitig aufgebracht und je durch eine transparente Substrat-Schale zu einer 10–30 μm dicken Schicht zusammengepresst. Durch die anschliessende Bestrahlung beider Lackschichten mit UV-Licht wird mit Hilfe eines beigemischten Photoinitiators die Polymerisation des Lacks herbeigeführt. Der ausgehärtete Lack trägt die in der Matrize enthaltene Information, welche aus kleinen, rechteckförmigen Löchern unterschiedlicher Länge und mit variierendem Abstand besteht und spiralförmig angeordnet auf der Lackschicht eingeprägt ist. Daraufhin wird diese von der Matrize abgelöst und mit einer reflektierenden Aluminiumschicht und schliesslich mit einem Schutzlack versehen. Damit ist sie abspielbereit. Das Wiedergabegerät tastet die Signalspuren auf der Platte mit Hilfe eines monochromatischen Helium-Neon-Laserstrahles ab, wobei die wechselnde Reflektivität der metallisierten Plattenoberfläche intensitätmoduliertes Licht auf eine Photodiode wirft. Eine nachfolgende Demodulations- und Verstärkerstufe bereitet die Videoinformation für die Wiedergabe vor. Der grosse Vorteil dieser Infomationsübertragung liegt in deren von mechanischen Mitteln freien Signalübergabe und der absoluten Abnützungsfreiheit.

Die Matrizenherstellung erfolgt ebenfalls mit moduliertem Laserlicht, welches die Bild- und Tonsignale auf eine auf Glas aufgebrachte Photoschicht spiralförmig einprägt. Auf diese Weise entsteht, wie bei der Grammoplatten-Herstellung, ein negativer Primärträger (Vater). Dieser dient für die Herstellung einer grösseren Anzahl positiver Sekundärträger (Mutter), welche dann ihrerseits die Matrize für die in Masse zu produzierenden LV-Platten ergeben.

Die vielen technologischen Aspekte dieses hochentwickelten Herstellverfahrens werden ausführlich beschrieben. Optische, geometrische und Stabilitätsanforderungen sowie die äusserst sorgfältige Materialwahl sind entscheidend für die Sicherstellung der hervorragenden Wiedergabequalität von Bild und Ton. In den Text eingefügte Literaturangaben weisen auf weitere interessante Einzelheiten des LV-Systems und dessen Realisierung hin.

H. Klauser

Verschiedenes
Divers

Neue Definition der Längeneinheit Meter

Die 17. Generalkonferenz für Mass und Gewicht hat in ihrer Sitzung vom 20. Oktober 1983 beschlossen, die Längeneinheit Meter neu zu definieren. Die neue Definition lautet einfach: «Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während des Intervalles von (1/299 792 458) s durchläuft.» Hiermit erhält die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum den festen Wert 299 792 458 m/s zugeordnet. Eine Grundlage für diese neue Definition bildeten äusserst genaue Bestimmungen der Lichtgeschwindigkeit. Sie beruhen darauf, dass an der infraroten Strahlung eines stabilisierten Lasers sowohl die Wellenlänge als auch die Frequenz gemessen wurden. Mit dieser Neudefinition wird der Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit in der Physik als universeller Naturkonstanten Rechnung getragen. Die Längeneinheit Meter wird durch das Festlegen des Wertes der Lichtgeschwindigkeit definiert.

Das Meter bleibt weiterhin eine Basiseinheit des Internationalen Einheitssystems, wird aber messtechnisch von der Sekunde abhängig. Die gesamte Praxis der Längenmessung auf der Erde wird nur in Ausnahmefällen von der Änderung der Meterdefinition betroffen.

Die erste internationale Definition einer Basiseinheit war 1889 diejenige der Längeneinheit Meter. Es handelte sich damals um eine Prototypdefinition. Ein einzelnes Strichmass, das Urmeter, stellte die Länge eines Meters dar. Es wird auch heute noch in Paris aufbewahrt. Diese Definition wurde 1960 von einer Wellenlängendefinition abgelöst. Das Meter beruht seither auf der Wellenlänge einer bestimmten Spektrallinie des Krypton-Atoms mit der Massenzahl 86. Aufgrund von Störungen, die sich nicht vermeiden lassen, kann die Wellenlängendefinition von 1960 «nur» auf relativ $\pm 4 \cdot 10^{-9}$ genau realisiert werden. Dies reicht in einigen Fällen nicht aus, wie bei Laufzeitmessungen des Abstandes Mond–Erde oder beim Vergleich der Wellenlängen sichtbarer Strahlungen zweier spektral stabilisierter Laser mit Hilfe von Interfe-

rometern.

Der Text der neuen Definition beschreibt direkt, wie aus einer Laufzeitmessung die Angabe über eine Länge gewonnen werden kann. Die weitverbreiteten Längenmessungen mit Hilfe der Lichtinterfrequenz benötigen sichtbare Strahlungen mit stabiler und reproduzierbarer Wellenlänge als Längennormal. Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts sind hierzu stabilisierte Laser entwickelt worden. Eine weitere Aufgabe der metrologischen Staatsinstitute besteht jetzt darin, die Frequenz derartiger Laser an die Frequenz der Atomuhr, mit der die Sekunde realisiert wird, anzuschliessen. Über die allgemein geltenden Beziehungen zwischen Frequenz, Wellenlänge und Geschwindigkeit einer Lichtwelle lässt sich dann die Wellenlänge der betreffenden Strahlung berechnen. *(Physikalisch Technische Bundesanstalt)*

Hitzefreies Ätzen mit dem Laser: Eine Entdeckung mit Anwendungsmöglichkeiten in der Halbleitertechnik und in der Medizin

Die Entdeckung eines neuen fotochemischen Verfahrens, der «ablativen fotochemischen Zersetzung», durch das Thomas J. Watson Research Center von IBM in New York ermöglicht die Laser-Ätzung organischer Polymere und biologischer Materialien unter Ausschaltung unerwünschter Hitzewirkungen. Seine Anwendungsmöglichkeiten liegen auf dem Gebiet der fotolithografischen Herstellung integrierter Schaltungen sowie bei der präzisen Entfernung oder Zerstörung biologischer Substanzen in der Medizin und in der Zahnmedizin.

Strahlungen unterhalb des Wellenlängenbereichs von 200 nm (kurzwelliges Ultraviolett) werden von fast allen organischen Materialien stark absorbiert. Über 95% dieses Lichts werden bereits in einer Tiefe von lediglich einem Bruchteil eines µm absorbiert. Bei den Experimenten von IBM wurde mit einem Argon-Fluorid-Exzimer-Laser mit einer Ausgangswellenlänge von 193 nm gearbeitet. Dabei ergab sich bei der Belichtung von Kunststoff-Folien, z.B. aus Mylar, eine Intensitätsschwelle, bei deren Überschreitung durch den Laserstrahl eine grosse Anzahl kleiner Moleküle plötzlich aus dem laserbestrahlten Gebiet hinausgeschleudert werden. Die absorbierte Strahlung zeigt eine starke Tendenz, die chemischen Bindungen zwischen den Atomen des organischen Materials aufzubrechen. Dadurch entstehen kleinere Moleküle, die bei relativ niedrigen Temperaturen verdampfen, wobei die durch den Laserpuls übertragene überschüssige Energie abgeführt wird.

In der Fotolithografie ist die Nassentwicklung einer belichteten Schicht gewöhnlich deshalb notwendig, weil die einwirkende Strahlung (Licht, Röntgenstrahlen oder Elektronenstrahlen) lediglich die Löslichkeit des lichtempfindlichen Materials im gesamten Absorptionsbereich verändert. Mit chemischen Lösungsmitteln kann selektiv entweder der belichtete oder der unbelichtete Anteil aufgelöst werden. Bei der ablativen fotochemischen Zersetzung hingegen ist die Entfernung des Materials eine direkte Wirkung der kurzwelligen ultravioletten Laserstrahlung.

Bei Intensitäten unterhalb der Ablationsschwelle tritt noch immer Elektronenerregung und Aufbrechen von Bindungen auf, jedoch in viel begrenzterem Umfang. Die Geschwindigkeit der Ätzung wird in Anwesenheit von Sauerstoff leicht erhöht, doch die Ablation selbst tritt erst auf, wenn die Zersetzungsgeschwindigkeit einen kritischen Wert übersteigt, welcher der Intensitätsschwelle entspricht. Sofern die Fotoenergie über dem für die Bindungslösung erforderlichen Niveau liegt, dient die überschüssige Energie der Anregung der Molekülfragmente. Dabei ist die translationelle Anregung verantwortlich für die ablative Entfernung der Moleküle aus dem organischen Verband. Der Grossteil der überschüssigen Energie wird durch die Fragmente abgeführt, so dass kein wesentlicher Energierückstand im verbleibenden Material zurückbleibt und somit auch keine Hitzewirkung entsteht.

Die in den Experimenten angewendeten Laserpulse waren normalerweise nur 12 ns lang und wurden mit einer Repetitionsfrequenz von 1 s^{-1} bis 100 s^{-1} appliziert. Nur 50 solche Impulse bei überschwelliger Intensität wurden benötigt, um im Knorpelgewebe einen geätzten Bereich von 0,015 cm Tiefe und 0,025 cm Durchmesser zu erzeugen. Andere Experimente in IBM-Forschungslaboratorien deuten darauf hin, dass die UV-Strahlung aus Exzimer-Lasern den Weg zu einer wirtschaftlichen Submikron-Lithografie öffnen könnte. *(Presseinformation IBM)*

Alliages magnétiques amorphes pour l'électrotechnique

[D'après *G. Couderchon:* Alliages magnétiques amorphes pour l'électrotechnique. RGE 5, 1983, pp. 322...330]

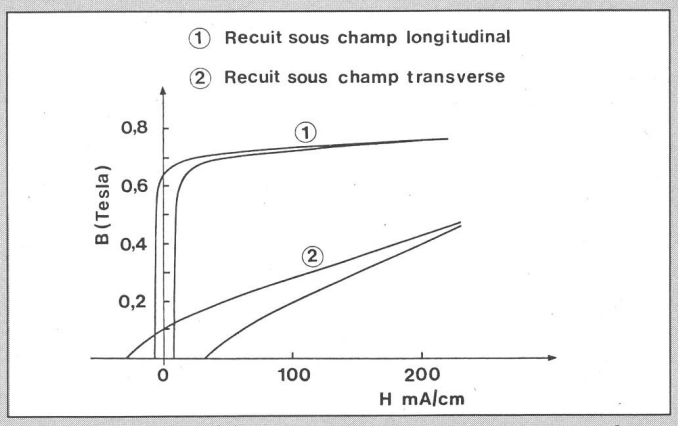
On sait que la puissance d'une machine électrique est proportionnelle au flux d'induction magnétique à travers le circuit électrique et à sa vitesse de variation, ou en d'autres termes à la fréquence d'alimentation. Comme il n'est guère possible d'augmenter sensiblement le flux d'induction, seule l'élévation de la fréquence permet de diminuer l'encombrement et le poids pour une puissance donnée. C'est ainsi que l'aéronautique utilise de nombreux équipements fonctionnant à 400 Hz. Toutefois, l'élévation de la fréquence engendre de nouveaux problèmes, principalement celui des pertes dans le circuit magnétique; on est donc amené à développer des matériaux magnétiques plus performants, parmi lesquels les alliages amorphes suscitent un intérêt croissant.

Par amorphe, on entend un alliage métallique dont on a empêché la formation du réseau cristallin. Les techniques métallurgiques à mettre en œuvre sont toutefois délicates, car il faut un refroidissement très rapide (10^6 °C s^{-1} entre 1200 et 400 °C, par exemple) pour geler les atomes sur place et obtenir un «verre métallique». Pratiquement, on projette un jet de métal en fusion sur une roue en cuivre, refroidie et mise en rotation rapide; on obtient alors un ruban très mince (20–50 µm) d'une largeur de 10 à 50 mm. Il doit encore subir de délicats traitements thermiques destinés à relaxer les contraintes mécaniques et obtenir un réarrangement favorable des domaines magnétiques élémentaires. Ces traitements se font au détriment des propriétés mécaniques de l'alliage, qui devient plus fragile et tend à se recristalliser sous l'effet de la température.

Le produit obtenu possède une résistivité élevée; combinée avec la minceur du ruban, cette propriété permet d'atteindre une perméabilité élevée et des pertes faibles. Selon la nature du recuit sous champ magnétique, on obtient un cycle d'hystérésis rectangulaire (perméabilité élevée et faible champ coercitif) ou effilé (voir figure).

Compte tenu de leurs performances mais aussi de leurs prix, les amorphes seront moins utilisés dans l'électrotechnique à fréquence industrielle que pour des usages à moyenne fréquence, ou quand leurs propriétés magnétiques s'associent à une aptitude supplémentaire (dureté, faible épaisseur, résistance à la corrosion): amplificateurs magnétiques, convertisseurs continu-continu, blindages déformables, têtes de lecture magnétiques, etc.

Toutefois, on n'en est encore qu'au tout début de l'utilisation des amorphes; producteurs et utilisateurs ont encore un grand nombre de problèmes à résoudre. *P. Desponds*



Exemple de cycles d'hystérésis obtenus par recuit sous champ d'un amorphe