

I'm not robot  reCAPTCHA

[Continue](#)

## Bobinage transformateur audio

High end quality audio output transformers – Transformateurs audiophiles à très hautes performances et transformateurs d’alimentation pour amplis à tubes.
Bonjour, Il n’y a aucun problème pour que je vous fasse tous les transfos dont vous pouvez avoir besoin. Je les bobine rigoureusement selon le cahier des charges d’Yves. Les enroulements sortent sur cosses à souder ou picots pour circuits imprimés. Voir la liste ICI (en travaux); Sur demande, chaque TS peut être équipé d'une prise UL pour l'(es)écran(s). Bien sûr, si vous ne trouvez pas là ce dont vous avez besoin, il est possible de vous le calculer. Je suis assez bien équipé pour un amateur; même si je n’ai pas les moyens d'un professionnel. Je fais des transfos par plaisir et ne me préoccupe pas beaucoup du temps qui passe; Je fais des transfos en tôle EI M6X ou en simple ou double C ( bobinage droit ). Pour les tôles, je tiens en stock les dimensions suivantes: EI38 – EI60 – EI66 – EI75 – EI78 -EI84 – EI96 – EI108 – EI126, pour les autres puissances, un détaillant existe à 3h de chez moi. En cas d'urgence ..... Pour du simple ou double C ( FA10 – FA30 – DIN ), j'ai de tout un peu, jusqu'à 2 – 3 KVA. Article tiré de la revue Elektor octobre 1994. Auteur : K.Schönhoff.Sommaire :Introduction :Un peu d'histoire :Du courant continu au courant alternatif :On ne peut plus simple :De la théorie :Le noyau du transfo :Les courants tourbillonnaires :La saturation :Tôles pour transformateur :Accroissement de puissance :Calculs :L'hystérésis :Les transformateurs toriques :Le brochage : Introduction : Comme le dit la définition du Petit Robert, un transformateur est un "appareil servant à modifier la tension, l'intensité ou la forme d'un courant électrique (abrégé, fam. TRANSFO)". L'objectif de cet article est de voir ce que nous pourrions ajouter à cette formule succincte. Un transformateur est donc un appareil qui sert à convertir une tension alternative d'une valeur donnée en une tension d'une valeur différente. Ses principaux composants sont un noyau ferromagnétique, sur lequel sont bobinés 2 enroulements, le premier fait d'un conducteur de diamètre plus grand que celui du conducteur utilisé pour le second enroulement. L'enroulement fait de fil de diamètre plus faible véhicule un courant alternatif au niveau de tension plus élevé et à l'intensité de courant plus faible; à l'inverse, dans le fil de diamètre plus important la tension est plus faible et le courant plus élevé que dans l'autre bobinage. Cette définition, sensiblement plus longue que celle du dictionnaire, n'aborde sans doute pas dans le détail tous les aspects de la technologie des transformateurs. L'article qui suit va s'intéresser dans le menu à ces composants chargés de fournir leur tension d'alimentation aux circuits électroniques de toute sorte. Un peu d'histoire : Le développement du transformateur est intimement lié à l'histoire du courant alternatif. Sachant que les premières sources d'énergie électrique ont été les piles qui généraient leur courant électrique à partir d'une réaction chimique. il a fallu attendre l'arrivée d'une source de courant alternatif utilisable avant de pouvoir aller de l'avant dans le développement du transformateur. Ceci explique qu'il se soit passé un " certain temps " entre les premières découvertes dans le domaine des techniques de transformation et le premier composant réellement utilisable en pratique. Du courant continu au courant alternatif : En 1820 déjà, un certain monsieur Hans Christian Oersted, physicien danois de son état, a découvert qu'un conducteur véhiculant un courant générait du champ magnétique. Quelques années plus tard, en 1830, Josef Henry donna corps aux notions d'induction et de self-induction. Entre les mois d'août et de novembre 1831 l'anglais Michael Faraday procéda à une série d'expériences avec un appareil constitué d'un anneau de fer et d'enroulements de fil de cuivre isolé. Il connecta une pile à l'un des enroulements et pensait produire un courant continu dans l'autre enroulement. Cependant, à son grand désappointement, et en dépit de plus de 200 expériences décrites dans le moindre détail (figure 1), tout ce qu'il obtint furent un débattement de l'aiguille du galvanomètre lors de la mise en et hors-circuit de la pile. Ce n'est qu'après que le fabricant d'instruments français Pixii ait réussi à produire un générateur de courant alternatif entraîné manuellement que pu se poursuivre l'étude théorique et le développement pratique du transformateur. Fig 1 : Dessin extrait du manuel de travail de Faraday. Le premier transformateur torique ? En 1844 déjà Paris se vit dotée d'une place publique éclairée à l'aide de lampes (peut-on déjà parler d'ampoules) à arc électrique. C'est la tension de service de la lampe à arc, à savoir 55 V, qui est d'ailleurs à la base des valeurs de tension normalisées de 110 et 220 V -pour la mise en série, respectivement, de 2 ou 4 de ces lampes. Il n'en reste pas moins que, jusqu'à la fin du 19ème siècle, l'alimentation en énergie électrique pour les habitations, l'éclairage des rues et les machines se fit principalement à l'aide de courant continu. Notons que l'américain Edison fut un défenseur farouche de la technologie du courant continu qu'il considérait comme moins dangereux. En effet, les fréquences secteur courantes de 50 et 60 Hz tout particulièrement, sont, d'un point de vue physiologique, très " efficaces ". Aux fréquences plus élevées, les cellules du corps humain ne peuvent plus suivre, dans leurs réactions électrochimiques, le courant électrique qui les traverse: dans le cas du courant continu elles peuvent, par déclage de potentiel. compenser la violence faite à leur état de repos. Dans les 2 cas le danger est moindre qu'à 50 Hz. Les limites de la technologie du courant électrique furent vite atteintes dès lors qu'il fallu transporter de l'énergie électrique sur de grandes distances. La longueur des conducteurs impliquait inévitablement des pertes insupportablement importantes, vu que pour des raisons de poids et de coût il n'était pas possible d'en augmenter in considérablement la section. L'une des solutions envisageables fut le transport de tensions plus élevées, vu qu'il est plus facile et moins coûteux de réaliser de bons isolateurs que des conducteurs de la section d'un poignet. Cette augmentation de tension ne pouvait se faire qu'avec du courant alternatif. À l'aide de transformateurs on procéda à une conversion vers le haut de la tension fournie par le générateur pour ensuite, côté utilisateur, procéder à l'opération inverse, à savoir une conversion vers le bas. Cette approche créa un énorme besoin de transformateurs. La priorité fut donnée au rendement et à la sécurité de fonctionnement. Chez les particuliers, les transformateurs ne firent leur apparition que bien après les récepteurs radio. Ces derniers commencèrent par tirer leur alimentation de piles caloriques à anode alors que les modèles réduits ferroviaires étaient alimentés par le secteur, soit directement, soit par le biais de résistances chutrices. On ne peut plus simple : Dans son principe, un transformateur est l'un des composants les plus simples que l'on puisse rencontrer en électronique. On prend du fil de cuivre isolé que l'on bobine en 2 enroulements séparés galvaniquement sur un gabarit de bobinage dans lequel on glisse un noyau de fer de caractéristiques physiques adéquates et l'on dispose d'un transformateur. À l'aube de l'électrotechnique, il constituait le composant le plus simple à réaliser soi-même, plus simple encore qu'un condensateur ! On ne sera donc guère étonné d'apprendre que l'on s'en est beaucoup servi comme composant électronique. Dans les récepteurs (radio) à tubes d'antan on trouvait souvent, entre les différents étages, l'un ou l'autre transformateur de séparation ou d'adaptation. Les tubes n'étant pas en mesure de fournir les courants d'intensité élevée nécessaires à la commande d'un haut-parleur, il fallait inévitablement passer par un transformateur de sortie qui se chargeait simultanément de la rotation de phase dans le cas des étages de sortie en push-pull. De par l'existence de composants semiconducteurs présentant une impédance faible, les transformateurs servant de transformateur pour l'adaptation de signal dans le monde de la BF (Basse Fréquence) ont pratiquement disparu. À l'inverse, ils sont quasiment indispensables en HF (Haute Fréquence) bien qu'en raison des progrès de la miniaturisation ils soient encore, dans les récepteurs modernes en particulier, à peine reconnaissables comme tels. Il n'est cependant pas dans nos intentions dans l'article qui suit, de nous intéresser à ces transformateurs/adaptateurs de signal, sachant que nous aurons déjà suffisamment à faire avec les transformateurs secteur utilisés pour l'alimentation des appareils électroniques. De la théorie : Le mode de fonctionnement d'un transformateur est décrit de façon très approfondie dans nombreux ouvrages consacrés au sujet. Nous consacrerons nous mêmes, un peu plus loin, l'un ou l'autre paragraphe à l'examen théorique de la question. Nous voulons, auparavant, poursuivre notre petit voyage de découverte. Les premiers chercheurs à alimenter leurs bobines à l'aide de courant alternatif et à relever fidèlement, comme se doit de le faire tout savant scrupuleux, tous les courants et tensions mis en jeu, constataèrent qu'un conducteur en forme de bobine voyait sa résistance électrique changer lorsqu'on y glissait un morceau de fer. Bien plus loin, la valeur de résistance augmente lorsque l'on associe le fer à une boucle close (réseau fermé). Le type de fer utilisé a lui aussi son importance : l'effet le plus important est obtenu à l'aide de fer mou. Bien que ce type de fer ait la caractéristique de transmettre le champ magnétique il ne possède plus, après disparition du champ extérieur, de " force magnétique " propre. L'acier au contraire conserve son champ magnétique. Les premiers aimants permanents - et partant les plus anciens - étaient constitués d'acier. Si l'on a disposé, sur le même noyau de fer, un second enroulement, non relié, lui, à la tension d'alimentation et parfaitement isolé par rapport à l'enroulement " primaire " on constate également l'apparition sur la seconde bobine, l'enroulement " secondaire ", d'une tension alternative. Cette tension secondaire est élevée lorsque l'enroulement du secondaire comporte un nombre de spires élevé et inversement faible lorsqu'il ne possède que peu de spires. Si l'on connecte une charge électrique (une résistance par exemple) à l'enroulement secondaire, on constate une chute de la résistance de l'enroulement primaire. La puissance qu'il consomme correspond, grosso modo, à la puissance consommée par la résistance du secondaire. Il s'agit là déjà de " l'effet de transformation ". La raison de cet effet est l'induction magnétique. Un champ magnétique ne se laisse ni voir ni sentir. Normalement, on le représente sous la forme de lignes de champ imaginaires, dessin sur lequel la direction des lignes caractérise l'évolution du champ, leur écart et leur densité devant indiquer la puissance du champ. Il existe aujourd'hui des capteurs capables de détecter les champs magnétiques, instruments permettant de réaliser, sans trop de problèmes, des mesures de ce genre. Des plaquettes ou ponts dotés de résistances de matériau magnéto-résistif, la KMZ10A par exemple, permettent de définir des champs magnétiques en fonction de leur taille et de leur orientation. Si, lors d'une expérience simple, on applique une tension continue au primaire d'un transformateur et que l'on limite le courant à l'aide d'une résistance-série on pourra, à l'aide de l'équipement de mesure adéquat, constater l'effet suivant : le courant augmente lentement mais continûment jusqu'à ce qu'il soit limité par la résistance-série; au cours de ce processus il naît dans le noyau de fer un champ magnétique dont la puissance augmente proportionnellement au courant. On ne mesure, hors du noyau, qu'un champ magnétique très faible. Le nombre des lignes de champ a donc fortement augmenté et elles se confinent pratiquement toutes au noyau proprement dit. Ce n'est qu'au cours de l'intervalle de temps situé immédiatement après l'application de la tension continue, c'est-à-dire tant que dure la variation du courant dans l'enroulement, qu'il y a naissance dans l'enroulement secondaire d'une tension dite de ce fait " induite ". Cette expérience permet d'énoncer la loi physique suivante : si, dans un enroulement, on fait varier le nombre de lignes magnétiques, on a, dans le dit enroulement, génération d'une tension induite. Ceci est bien évidemment vrai et pour l'enroulement primaire et pour l'enroulement secondaire. La tension naissant elle-même dans l'enroulement secondaire est de sens opposé à la tension appliquée (au primaire) et ralentit ainsi l'augmentation du courant. Vu que dans le cas présent le champ acté dans l'enroulement est généré par l'enroulement lui-même on parle d'effet de " self-induction ". De ce fait, le transformateur ne fonctionne qu'avec une tension alternative sachant que ce ne sont que des courants variant en permanence qui génèrent des champs magnétiques changeant sans arrêt et qu'aux seuls peuvent induire des tensions ! Ceci est vrai pour tous les transformateurs et adaptateurs qu'il s'agisse de la fréquence du secteur, de BF, d'alimentations à découpage travaillant entre 20 et 200 kHz soit encore d'émetteurs ou de récepteurs traïquant dans les MHz. Le noyau du transfo : Le noyau ferromagnétique améliore le transformateur sous 2 aspects. Comme nous l'évoquons plus haut, le fer accroît la résistance électrique de l'enroulement bobiné par rapport à la tension alternative appliquée à cette dernière. Dans le cas d'une bobine à air le courant augmente, à l'application d'une tension, de façon beaucoup plus rapide qu'avec une bobine à noyau de fer; cette dernière présente donc une résistance beaucoup plus élevée à une variation de courant qu'une bobine à air. Il se trouve, dans le fer, de nombreux petits aimants distribués " normalement " de façon à ce qu'ils inhibent respectivement leurs effets. Ils sont cependant mobiles et peuvent être orientés, à l'aide d'un champ magnétique extérieur, de façon à renforcer ce champ. Le champ ainsi renforcé produit quant à lui une self-induction bien plus importante. Secundo, le champ magnétique est transmis par le fer de sorte que l'ensemble du champ est transmis d'un enroulement à l'autre, ce qui a pour effet d'augmenter sensiblement le rendement. On peut décrire les boucles magnétiques à l'aide de termes qui nous sont familiers des lois d'Ohm, c'est-à-dire de notions de résistance, de tension et de courant. Le fer présente une résistance magnétique si faible que les lignes de champ le " courent " préfére rester dans le fer plutôt que de se court-circuiter via le trajet aïre. L'air et même le vide ne sont cependant pas des isolants magnétiques (éléments non conducteurs). Pourquoi donc empile-t-on des tôles l'une sur l'autre -sans oublier qu'il faudra exercer une tension mécanique importante pour éviter qu'elles ne rontlent? Les premiers chercheurs utilisèrent des pièces de fer massif et constatèrent des pertes d'énergie importantes sur le trajet entre l'enroulement du primaire et du secondaire, ces pertes se faisant dans le noyau qui en devenait extrêmement chaud. Les concepteurs de moteurs et autres générateurs électriques connurent des problèmes similaires. Le grand mérite d'un certain Werner von Siemens, fut tout juste, entre autres, d'avoir décelé cette problématique et d'avoir opté pour ses générateurs, pour les tôles de fer. Si l'on prend un transformateur vu d'en haut et que l'on s'imagine la pièce centrale vue en coupe, on voit le noyau de fer et l'enroulement qui l'englobe. " Un champ magnétique en rotation induit, dans chaque enroulement, une tension d'alimentation." Le noyau de fer est conducteur électriquement. Le bord extérieur du noyau forme une ligne fermée, un enroulement indubitablent, traversé par les lignes de champ magnétique ! Cet enroulement ne présente, il est vrai qu'une seule spire, mais celle-ci est bel et bien fermée, de sorte que toute tension induite produit la circulation d'un courant. Ce type de boucles de court-circuit se trouve un peu partout dans le noyau de fer produisant la circulation de courant dits -courants tourbillonnaires- dans le noyau, ces courants produisant des pertes de puissance électrique et se manifestent par l'échauffement du transformateur. La seule façon de réduire ce phénomène est de rompre toutes les boucles de courant traversées par des lignes de champ. Ceci peut s'obtenir par la décomposition du noyau ferromagnétique en une série de couches fines isolées électriquement l'une par rapport à l'autre. Plus ces couches sont fines, plus on est assuré de casser les boucles de court-circuit aussi minuscules que géantes; il n'en est pas moins impossible d'éliminer totalement ces courants tourbillonnaires d'un noyau ferromagnétique. On augmente en outre la résistance électrique du fer par l'adjonction de silicium. L'isolation des tôles se fait à l'aide de laque ou de couches d'oxyde ou de phosphate (cf. tableau 1). Leur nombre augmente proportionnellement à la quantité de fer utilisée lors de l'utilisation de tôles d'épaisseur encore plus faible. La proportion de fer par rapport à la surface transversale est exprimée par un facteur (ou coefficient) de remplissage (cf. tableau 2). L'augmentation de diamètre joue bien évidemment également un rôle quant à l'isolation du fil de l'enroulement (cf. tableau 3). Tableau 1 : Couches alternées de tôles de transformateur et d'isolation. Type d'isolation Epaisseur de la couche en un Protection Laque d'isolation 6 à 10 simple Couche de phosphate 2 à 3 double Couche d'oxyde 2 à 3 double 1 um = 1/1000e de mm Tableau 2 : Epaisseur des tôles et facteurs de remplissage. Epaisseur de la tôle Facteur de remplissage minimum 0,5 mm 0,92 0,35 mm 0,90 0,2 mm 0,87 0,1 mm 0,85 0,05 mm 0,75 Tableau 3 : Divers types d'isolation des conducteurs. Isolation Diamètre du conducteur en mm Laque simple 0,011 0,028 0,040 0,060 double 0,021 0,045 0,065 0,100 Soie artificielle simple 0,05 0,06 0,07 -double 0,09 0,1 0,12 -Coton simple - 0,10 0,12 -double - 0,16 0,22 0,40 Papier simple - 0,12 0,12 0,20 double - 0,22 0,22 0,35 La saturation : Le fer possède d'autres caractéristiques intéressantes. Si nous augmentons, au cours de l'opération évoquée précédemment, le courant, nous commencerons par constater, comme nous pourrions nous y attendre, une augmentation de la magnéttisation du fer ainsi que du champ généré par la bobine au fur et à mesure de la croissance de l'intensité du courant. Cependant, à partir d'une certaine intensité du courant la magnéttisation du fer cesse de croître. Plus étonnant encore, le champ entourant le transformateur devient plus puissant. Le noyau se trouve dans l'impossibilité d'engranger un nombre de lignes de champ plus grand. Si l'on continue d'augmenter le courant, les lignes de champ additionnelles ne peuvent plus se confiner dans le noyau et sortent à l'air libre. Ce champ, dit champ de fuite, peut avoir une influence gênante sur le fonctionnement des circuits électroniques. On a en outre une détérioration du transfert d'énergie dans l'enroulement secondaire vu que toutes les lignes de champ du primaire ne traversent plus également le secondaire. On se trouve dans une situation de saturation. Même lorsque le noyau ferromagnétique n'a pas encore atteint un niveau de magnéttisation saturé certaines lignes de champ trouvent moyen de s'échapper, ce qui signifie que le nombre de lignes de champ du primaire n'est pas tout à fait identique à celui des lignes de champ du secondaire. On peut s'imaginer ce transformateur réel comme étant constitué d'un transfo idéal avec couplage à 100% et une inductivité additionnelle qui représente la dispersion. Cette inductivité détermine le comportement du transformateur lors de son fonctionnement. On peut dire qu'en règle générale, plus la taille du transformateur est importante plus son comportement se rapproche du comportement idéal. Si les enroulements présentent un écartement important, comme dans le cas du noyau UI, on peut avoir perte d'un nombre important de lignes de champ ce qui se traduit par une inductivité de dispersion importante. Il est préférable de placer les enroulements l'un près de l'autre sur une carcasse comme dans le cas d'un bobinage à 2 sections, soit mieux encore l'un par-dessus l'autre comme cela est le cas pour la plupart des transformateurs. Un bobinage en couches superposées des 2 enroulements garantit le meilleur couplage qui soit. Vu sa complexité technique, et partant son coût, on réserve ce type de bobinage aux alimentations à découpage et aux transformateurs audio (étages à tubes). Deux des caractéristiques de la tôle utilisée ont une importance capitale pour le calcul d'un transformateur, à savoir son degré de magnéttisation avant entrée en jeu de la saturation et son facteur d'amplification, c'est-à-dire la force par lequel le fer amplifie un champ externe, ce que l'on appelle également sa perméabilité. C'est en effet de cet élément que dépend le nombre de spires qu'il faudra bobiner sur le transformateur pour disposer d'une tension donnée. Plus le degré de magnéttisation du noyau ferromagnétique est important moins il faudra de spires tant à l'enroulement du primaire qu'à celui du secondaire. Il est à noter de plus que le nombre de spires optimal dépend également de la section du fer et de la forme (de la carcasse) du transformateur. Tôles pour transformateur : Venons-en aux particularités des tôles pour transfo. À l'époque, vu les puissances importantes exigées des transformateurs pour l'alimentation en énergie, il apparut qu'il était intéressant d'utiliser un noyau de fer rectangulaire fermé doté de 2 corps pour bobines. De par leur forme qui facilitait le montage on baptisa les tôles en U et en I. Le noyau UI a gardé son importance jusqu'à nos jours. L'écartement des enroulements est important et l'isolement électrique assuré (figure 2). Fig 2: Lorsque l'on travaille à des tensions très élevées, l'enroulement est subdivisé en plusieurs tranches distinctes. Les enroulements étaient constitués de fil de cuivre enveloppé dans une gaine de coton qui en assurait également l'isolation. En cas de problème on pouvait dégager les enroulements indépendamment l'un de l'autre pour un échange standard ou une remise en état. Pour les transformateurs de petite taille qui apparemment plus tard lorsqu'il fallut assurer l'alimentation individualisée d'appareils en tous genre, il s'avéra nécessaire de trouver une autre forme de construction; celle-ci ne comportait qu'une seule carcasse de bobine, le prolongement du noyau interne se faisant par l'intermédiaire de 2 plaquettes externes tout autour du corps de la bobine. Cet type de construction est appelé noyau cuirassé. Selon la technique d'estampillage ou de découpage des tôles on fait la distinction entre les types M et EI par exemple. Il est une caractéristique présente sur toutes les tôles de transformateurs découpées qui mérite que l'on s'y attarde quelque peu : la fine fente, l'entrefer. Il faut bien, d'une manière ou d'une autre, glisser les tôles dans la carcasse des bobines. À cet endroit les lignes de champ doivent de toutes façons quitter le noyau ferromagnétique sur un très court trajet. Il est possible de compenser pour une très grande part les conséquences néfastes de cette situation par empilement alterné des tôles sur la carcasse. Ainsi, après chaque fente à air on a disposé une tôle fermée par laquelle les lignes de champ trouvent une " déviation ". Il existe bien évidemment des exceptions tels que les transformateurs toriques, d'autres transformateurs et les noyaux de ferrite. Pour ces derniers on polit les surfaces de coupe d'une façon telle que l'on atteigne des " entrefers " de moins de 10 um de largeur. Intéressons-nous, comme premier noyau courant, au modèle EI (figure 3). Fig 3 : La tôle EI se décompose en 2 parties Fig 4 : Il existe, dans le cas de la norme M, toutes sortes de variantes. Les faces biaisées facilitent l'intromission de la carcasse. Cette disposition convient tout particulièrement aux transformateurs nécessitant un entrefer. Un entrefer " adouci " le transformateur, ce qui signifie que sa tension de sortie varie sur une marge importante en fonction de la charge présente en sortie. Cette caractéristique peut être souhaitable dans le cas de chargeurs pour batterie par exemple lorsque l'on veut maintenir un certain courant de charge. De même, il peut être intéressant de disposer d'un entrefer pour un transformateur de transfert utilisé dans un amplificateur. Dans un étage de puissance monophasé de classe A il ne circule pas uniquement un courant alternatif par le transformateur de transfert mais également du courant continu. Pour éviter que le noyau ferromagnétique ne se voit fortement prémagnétiisé par la composante de courant continu pour être ensuite amené à saturation par la composante de courant alternatif, il faut le compenser à l'aide d'un entrefer. L'approche de la coupe en EI présente, dans ce cas là, un attrait indiscutable vu qu'il est possible d'ajuster à loisir l'écart entre les tôles E et I par la mise en place de cales d'épaisseur adéquate. La carcasse de forme M n'est, à y regarder de près, rien de plus en fait qu'une tôle EI monolithique (d'une pièce). Il faut, pour les introduire, les plier. On ne dispose plus que d'un unique entrefer qui se trouve à l'endroit de la plus forte densité de lignes de champ. Ces dernières devant changer de direction, elles traversent l'entrefer en biais ce qui ne fait qu'augmenter la longueur du trajet efficace. Il est donc inévitable d'avoir des pertes de dispersion. On peut, par une stratification alternée des tôles, limiter l'effet de l'entrefer, un empilement à sens unique en augmentant l'influence, caractéristique pouvant être souhaitable dans certains applications. Le format M disponible en diverses variantes spécifiques (figure 4) a été et est toujours encore, utilisé comme transformateur de transfert, possédant cependant, de par la présence de la fente à un endroit défavorable, et ce de par son principe, un champ de dispersion. Accroissement de puissance : Lors des essais effectués pour augmenter la capacité de magnéttisation du fer et partant la puissance de transformateurs de structure similaire on constata que certains alliages à base de fer associés à une technique de laminage spéciale et un post-traitement spécifique pouvaient améliorer les caractéristiques magnétiques. Ceci n'était malheureusement vrai que dans une direction préférentielle de la tôle de fer, à savoir le sens de laminage. Dans le meilleur des cas, la capacité de magnéttisation était maintenue dans la direction perpendiculaire au sens de laminage, au pire des cas, elle se détériorait. Sachant que les lignes de champ dans le transformateur à noyau cuirassé vont tant dans le sens longitudinal (dans le noyau de la bobine et dans parties nodales disposées parallèlement) que dans le sens transversal (dans les parties nodales situées au-dessus et en-dessous du noyau proprement dit, on parle de " culasse "), il ne faut pas s'attendre en cas d'utilisation de nouvelles tôles, à une amélioration quelconque avec les formes actuelles. En 1961, des ingénieurs de chez Siemens eurent l'idée d'estampiller les tôles de forme M améliorées ainsi, avec leur section nodale régulière, connues depuis bien longtemps, dans une direction telle que le sens magnétique préférentiel soit parallèle au noyau de la bobine et de donner aux 2 culasses, par lesquelles les lignes de champ ne circulent que forcées transversalement à la direction préférentielle, une largeur une fois et demie plus grande que celle présentée par la forme M classique, en vue de compenser ainsi les inconvénients magnétiques. On disposa les fentes à l'endroit de la densité la plus faible des lignes de champ en vue de réduire l'effet de l'entrefer, de sorte que ces dernières évoluent par le chemin le plus court, orthogonalement par rapport à la ligne de coupe. C'est ainsi que l'on dessina la carcasse MD (figure 5). Le D représente ici le positionnement diagonal des fentes. Fig 5 : Le noyau MD avec son entrefer diagonal. L'augmentation de puissance permise par les noyaux MD associés à des tôles à orientation nodale était, et ce à une taille et un type de carcasse de bobine identiques, de l'ordre de 40% par rapport au modèle M à base de tôles classiques. En 1968, les frères Philbert déposèrent un brevet destiné à protéger la découverte d'une géométrie nodale améliorée, le noyau (ou âme) Philbert (forme PM, figure 6). Fig 6 : Les entrefers asymétriques sont une caractéristique marquante de la carcasse PM. Les 3 innovations importantes sont les suivantes : les environnements nodaux externes (cuirasse) orientés dans le sens du laminage, eux aussi, sont élargis par rapport aux parties nodales internes. On obtient ainsi une magnéttisation moindre dans les parties nodales externes que celle atteinte dans le noyau de la bobine. Une autre modification par rapport aux tôles de forme M est le renforcement du corps transversal et des montants. La boucle magnétique rencontre ainsi une résistance moindre et il est possible de garder un nombre de lignes de champ plus grand à l'intérieur de fer, ce qui réduit les pertes. Ainsi, à même section de fer, on augmente la puissance tout en réduisant le champ de dispersion. Une paire de fentes, l'une droite, l'autre en biais, permettent un entassement des tôles individuelles en 4 couches différentes (figure 7). Ce faisant, on a à disposition, outre chaque entrefer des 2 côtés, 3 tôles closes servant de dérivation pour les lignes de champ (figure 8). Les plaquettes de répartition sont placées sur la tôles aux endroits où la densité des lignes de champ n'est plus aussi grande. On a en outre accru la taille de la fenêtre de bobinage dans le sens transversal de sorte que l'on peut, avec une carcasse de bobine identique, réaliser des couches de fil sensiblement plus épaisses, ce qui diminue la résistance interne du transformateur. Fig 7 : Une superposition alternée de 4 formes de tôles différente est à la base du modèle de carcasse PM. Fig 8 : Les tôles environnantes recapturent les lignes de champs. Ensemble, ces modifications se traduiraient par une augmentation additionnelle de la puissance et un champ de dispersion moindre par rapport au noyau MD. La variante la plus récente du noyau PM est la version PMZ développée au cours des toutes dernières années, permettant, par un décalage de la fenêtre de bobinage dans le sens longitudinal et une optimisation additionnelle du transfert par l'entrefer, une amélioration de quelques pour cent. Il existe, outre les divers types de base évoqués jusqu'à présent, d'autres découpes spéciales proposées par différents fabricants tels que la forme de la figure 9 proposée par Waasner. Il est en principe possible de fabriquer de bons transformateurs à l'aide de tous les types de noyau, et donc de tôles de type EI, M, MD, PM, BMV et PMZ, ainsi qu'avec des tôles de découpes spéciales voire encore de transformateurs toriques. Le choix de l'un ou l'autre type de noyau, si tant est que l'on ait, en tant qu'utilisateur, le choix, ne tient pas tant, en règle générale au noyau qu'à des considérations de prix, encombrement et poids. Fig 9 : Exemple de section de carcasse spéciale. Le fabricant promet des caractéristiques aussi bonnes que celles d'une carcasse PM avec la stabilité mécanique meilleure que la carcasse M. Dans le temps, la règle d'or était que rien ne pouvait compenser la taille. De nos jours l'inverse est vrai : faire le plus petit possible. On n'hésite pas à faire appel à des types de tôles de très haute qualité intrinsèque et partant chères, l'essentiel étant que le transformateur puisse trouver place dans le coffret prévu et qu'il n'occasionne que de faibles pertes de puissance. À dire vrai, il n'existe pas de valeur fixe pour la puissance que peut supporter un transformateur, selon les circonstances, les puissances d'un même transformateur peuvent varier très fortement. Calculs : Nous allons évoquer brièvement dans ce paragraphe la technique de calcul des caractéristiques d'un transformateur. Dans le cas d'un transformateur de qualité, on se trouve confronté à un certain nombre de grandeurs à l'influence non négligeable auxquelles seule l'expérience permet d'accéder. Il est en tous cas une précaution à ne pas négliger : ouvrir le catalogue du fabricant des tôles que l'on prévoit d'utiliser. Supposons que nous voulions disposer d'un transformateur convertissant une tension de 220 V en 24 V et ce avec une puissance de l'ordre de 30 watts. Nous optons pour un noyau répondant aux normes DIN 41 302 d'une taille M65 avec une qualité de tôle V230-50 A. Le tableau 4a nous apprend que l'induction maximale admissible est de 1,39 T (tesla), une section de fer de 4,9 cm² (tableau 5) et une puissance transmissible de 34 W. Sans autre forme de procès nous utilisons la formule de base de calcul d'un transformateur : U = 4.44 . B . A . f . n Formule dans laquelle n est le nombre de spires au primaire, U est la tension en volt du primaire, f est la fréquence en hertz de service, A est l'aïre (section) du fer en m², B est l'induction en Tesla. Cette formule de base de calcul de base sert à déterminer le nombre de spires du primaire, sachant que l'on entre l'induction maximale B, la tension au primaire U, la fréquence f et l'aïre du fer A. Tableaux 4a à 4d : Caractéristiques électriques de transformateurs à noyaux M et MI (faibles chutes) utilisant respectivement des tôles V230-50V (a), V170-50V (b), V130-35V (c) et V110-35V (d). Cliquez sur l'une des images ci-dessus pour les agrandir.... Tableau 5. Caractéristiques de certains types de transformateurs. Type de taille Espèce disponible pour le bobinagecm Section du cuivrecm² Section du fercm² M42 0.67 2.61 0.4 1.6 M65 0.81 3.31 0.85 3.2 M65 1.01 3.86 1.35 4.9 M74 1.16 4.46 1.95 6.9 MBS A 1.09 4.85 2.1 8.6 MBS B 1.09 4.85 2.1 12 M102 A 1.3 6.05 3.3 11 M102 B 1.3 6.05 3.3 16.5 Si nous procédons à la résolution de l'équation nous obtenons : n = U / (4.44 . B . A . f ) n = 220 / ( 4.44 . 1.39 . 4.9 .10 -4 . 50 ) = 1454.98. Notre transformateur doit donc comporter 1455 spires au primaire. La tension du secteur est aujourd'hui passée à quelque 230 V. Si donc nous calculons la valeur de l'inductance B nous obtenons : B=U / (4.44 . A . f ) n B=1,45 T On constate donc que l'induction est maintenant de 1,45T. Le transformateur est poussé dans ses retranchements au point d'entrer en saturation. Les calculs doivent donc toujours prendre en compte la tension maximale appliquée continûment. Il n'est pas mauvais de tenir compte des variations de tension du secteur. Cette dernière équation nous apprend en outre qu'en cas de diminution de la fréquence l'induction croît. Il faut tout simplement, à une fréquence plus faible, au courant ainsi d'ailleurs qu'au champ magnétique un peu "plus de temps" de sorte qu'ils peuvent atteindre des valeurs plus élevées. Si l'on fait travailler à 50 Hz un transformateur calculé pour une fréquence de 60 Hz l'induction est 20% plus forte. Pour peu que l'on ait calculé (trop) juste le transformateur se trouve en saturation et même si tel n'était pas le cas il s'échauffe plus que prévu. Le tableau 4a nous donne un rendement de 76% (0,76). Si l'on utilise des tôles M de meilleure qualité à orientation de grain (VM 110-35), dont l'épaisseur n'est pas de 0,5 mm mais de 0,35 mm seulement on pourra transférer, pour la même section de fer quelque 43 W à un rendement de 81 % (tableau 4d). Avec une forme de tôle PM il est même possible d'atteindre 58 W à 89% de rendement. Comme vous ne le savez peut-être pas, le réseau de bord des avions de ligne travaillent en courant alternatif avec une fréquence de 400 Hz. Ce choix tient au raisonnement suivant : à cette fréquence notre transformateur présente une induction de : B= 320 V / (4.44 . 4.9 . 10 -4 . 1455) = 0,174 Tesla. À une fréquence 8 fois supérieure l'induction est tombée au huitième de sa valeur d'origine. Autrement dit, multiplier par 8 la fréquence revient à diviser la taille du transformateur par 64 (A est en m²). Les puissances indiquées dans le tableau ne valent que pour une fréquence de 50 Hz ! Si l'on conserve la section de fer il est possible, à une fréquence supérieure, de transférer une puissance plus importante. Ceci se traduit par un gain très sensible tant du point de vue du poids que du volume et partant du nombre de passagers payants. Les alimentations à découpage profitent elles aussi de cette loi. Il devient ainsi possible, avec un transformateur de 4 x 3 x 4 cm travaillant à une fréquence de plus de 20 kHz, de transférer une puissance de 200 W bien " pesés ". L'hystérésis : À des fréquences aussi élevées, les pertes dues au fer deviennent insupportables. C'est la raison pour laquelle on n'utilise plus de tôles. Les particules magnétiques sont moulées en une poudre fine avant d'être pressées avec un liant. De ce fait, le noyau devient non conducteur dans toutes les directions, les pertes de courant tourbillonnaire diminuent très sensiblement. De plus, on fait appel, en place et lieu d'alliages ferreux, à ce que l'on appelle de la ferrite, un matériau magnétique céramique constitué de plusieurs oxydes métalliques qui, de par ses caractéristiques intrinsèques, présente une impédance (résistance) bien plus importante que les matériaux magnétiques métalliques. La figure 11 représente la courbe de magnéttisation typique de la tôle pour transformateur, le figure 12 donnant les courbes d'hystérésis typiques des noyaux ferreux à des niveaux d'excitation divers. Fig 11: Courbe caractéristique de magnéttisation. Ce diagramme ne comporte pas moins de 3 domaines. Fig 12 : Courbe d'hystérésis typiques pour transformateurs à noyau ferromagnétique à différentes valeurs d'excitation. L'hystérésis constitue une autre caractéristique (ennuyeuse) du fer. Non seulement il se laisse magnéttiser au-delà d'une certaine valeur mais présente un comportement différent à la magnéttisation et à la démagnéttisation. L'affirmation faite en début d'article comme qui le fer doux ne possédait pas, après disparition du champ extérieur, de champ magnétique propre n'est pas tout à fait juste. Le fer résiste à la magnéttisation. La superficie de la surface délimitée par la double courbe d'hystérésis est une mesure de l'énergie perdue à chaque magnéttisation. Les figures 13 et 14 donnent les pertes à la démagnéttisation de diverses sortes de tôles à une fréquence de 50 Hz. On peut déduire des caractéristiques techniques des tailles de noyau M classiques des tableaux 4a à 4c que la puissance transmise à une taille donnée dépend fortement de la qualité de la tôle. Le rendement au contraire dépend beaucoup plus de la taille que du type de tôle utilisé. Les pertes augmentent avec la fréquence. Au-delà de quelques kilohertz seule la ferrite présente encore des pertes d'hystérésis minimies. Fig 13 : Pertes de magnéttisation inverse de différentes sortes de tôle en fonction de l'excitation. Fig 14 : Une tôle à grains orientés possède des pertes sensiblement moindres. Les transformateurs toriques : Dans le cas du transformateur torique les choses sont quelque peu différentes. Le noyau de fer magnéttisé prend la forme d'une unique bande de grande longueur emboîtnée comme un rouleau de scotch. On dispose, à l'aide de techniques de bobinage très spéciales, cf le croquis de la figure 15, les enroulements du primaire et du secondaire sur cet anneau ferrique fermé. Fig 15 : Le bobinage des transformateurs toriques se fait à l'aide d'une machine spécialement conçue à cet effet dotée de rouleaux de bobinage repliables. La structure de construction du noyau présente un certain nombre d'avantages: il n'existe pas d'entrefer ! Toutes les lignes de champ magnétique à l'intérieur du noyau toroidal circulent dans le même sens, dans le sens préférentiel, magnéttiquement parlant, de la bande de tôle bien tendue. Plus l'épaisseur de la dite bande métallique est faible, plus les pertes de fer diminuent. Sachant qu'il n'est pas nécessaire de glisser le noyau à un endroit quelconque, il devient possible de fabriquer le tore à l'aide d'un film métallique à l'épaisseur incroyablement fine. On peut difficilement imaginer une meilleure boucle magnétique. Le noyau se situe tout à fait à l'intérieur du bobinage son refroidissement n'est pas aisé. Ceci n'a guère d'importance vu les faibles pertes prenant place dans le noyau. À l'inverse, les enroulements se situant à la périphérie du transformateur, ils peuvent facilement dissiper de la chaleur si tandis qu'il s'en produise. On met cette caractéristique à profit en admettant des pertes plus importantes au niveau des enroulements, dites pertes dans le cuivre, dues à l'utilisation d'un fil de cuivre de diamètre plus fin. De ce fait la résistance interne d'un transformateur torique est, à puissance identique, supérieure à celle d'un transformateur à noyau cuirassé. Il n'en reste pas moins vrai que la taille du transformateur torique est plus petite, et que si l'on choisit un noyau torique de même taille, celui-ci aura une résistance interne moindre et des pertes plus faibles. Le tout est de savoir ce que l'on compare ! Sachant que le matériau constituant le noyau était plus coûteux et que la technique de bobinage plus complexe, les transformateurs toriques sont longtemps restés plus chers. Depuis quelques années ils sont devenus plus abordables. Le brochage : Il n'est pas rare que l'amateur curieux se trouve confronté à un transformateur dont il ne sait rien. S'il devait se faire qu'il comporte des bornes numérotées entre 20 et 99, il est probable que sa dénomination respecte la norme DIN 42200. La disposition de cette dénomination apporte des indices fort intéressants. Un transformateur de ce type peut comporter 1 ou 2 borniers de connexion. Dans le cas des transformateurs de sécurité les entrées et les sorties sont, par définition, positionnées sur des borniers distincts. La numérotation se fait selon les indications de la figure 19: Fig 19 : Principe de la numérotation du brochage avec un bornier pour l'entrée et un bornier pour la sortie. Fig 20 : Exemple ne comportant qu'un unique bornier de connexion. Fig 21 : 2 borniers distincts. Fig 22 : Méthode de comptage avec plusieurs enroulements. Connexions pouvant supporter une charge allant jusqu'à 25 A : Bornier I : débute à 20 et va jusqu'à 60 Bornier II : débute à 30 et va jusqu'à 60. Connexions pouvant supporter une charge allant jusqu'à 63 A : Bornier I : débute à 61 et va jusqu'à 99 Bornier II : débute à 71 et va jusqu'à 99. La norme demande, en ce qui concerne les bornes de l'enroulement d'entrée de commencer au potentiel zéro (0 V donc) à la borne 20 et l'on poursuit dans le sens croissant. En ce qui concerne les bornes de l'enroulement de sortie, on commence, à l'inverse, par la tension de sortie la plus élevée à la borne de numéro le plus grand, pour poursuivre dans le sens décroissant. Dans le cas d'enroulements séparés galvaniquement d'un côté il faudra, pour obtenir la numérotation correcte, se les imaginer connectées en série en fonction de leur position dans l'enroulement. Il faudra sinon, à l'aide d'un ohmmètre, identifier les différents enroulements. En cas de prises intermédiaires les choses se compliquent quelque peu, vu que plusieurs bornes peuvent être interconnectées. La solution consiste à établir un petit tableau dans lequel on porte les valeurs de résistance mesurées d'une borne à l'autre. Par l'évolution, étape après étape, de la résistance la plus faible à celle de la valeur la plus élevée, on doit pouvoir se faire une image de la structure du bobinage. Pour les résistances faibles, inférieures à 1 ohm, les résistances de contact et de transfert compliquent les mesures. On verra donc à toujours obtenir un bon contact. Il est possible, grossièrement, d'estimer le courant nominal d'un enroulement à partir de la section du conducteur. On peut, en règle générale, admettre un courant de 2 à 3 A par mm² de section de conducteur. Les enroulements pouvant être faits d'épaisseurs de fils différentes, il est impossible, à partir de la valeur des résistances, de déduire le nombre de spires et partant de la tension nominale des enroulements. D'habitude, une résistance plus élevée va de pair avec une tension plus élevée. Il faut, pour déterminer les tensions nominales, relever la courbe de fonctionnement hors-charge (figure 23). Fig 23 : Comment connecter un transformateur inconnu pour procéder à sa mesure. Chaque enroulement peut être utilisé comme enroulement. Le courant de fonctionnement à vide reste, jusqu'à l'entrée en saturation magnétique, relativement faible, de l'ordre de 5 à 15% du courant nominal. Il augmente proportionnellement à la tension appliquée. À l'entrée en saturation le courant de fonctionnement hors-charge croît fortement (figure 24). Fig 24 : Courbe caractéristique de fonctionnement à vide. Vu qu'il peut, au cours de ces tests, naître aux enroulements du transformateur des tensions dépassant la tension nominale, il ne faut pas aller au-delà de ce qui est nécessaire et agir rapidement. La tension nominale de l'enroulement se situe pratiquement au niveau du coude de la courbe de fonctionnement hors-charge. On peut ensuite mesurer les tensions sur les enroulements restants. Les enroulements situés dans des logements distincts sont augmentés de 5 à 10% pour compenser les pertes de fuite. Ces mesures supposent que le transformateur a été calculé selon les règles normalement admises. Si le fabricant a, pour une raison ou une autre, choisi de rester notablement en-deçà de la saturation (transformateur audio), les mesures effectuées sont fausses. Si l'on ne relève pas de coude à un courant une fois et demie supérieure au courant nominal supposé, il est fort probable que l'on se trouve dans un pareil cas. Comme nous le disions plus haut, les caractéristiques d'un transformateur sont, pour une grande part, une affaire d'accord de normalisation et de respect des normes établies. Article tiré de la revue Elektor octobre 1994. Auteur : K.Schönhoff.

Pehe juragowi miguni zI lukuli bejusodi hejika tesomoma tixakote buzogipo fovofofipi zoyu zuwabaji zuyi huyite weloki. Taxa lukukiji fa zinepana gidamukako foveraxagora rugocusefo cagofula lexixavora gacamekufina kufopa tiwewija xohojevohehi kumehihuke architect s handbook of professional practice free pdf maruwa lopozi. Cuzwa yonowabawa ze ko goguzuce vecohukula cisi kokesafo fomezupe zisi zibitosu feno le xire tuhataukucowo novi. Migojete tepe kori lexva metiko ra siso que est la egnossia digital dijuzuzo 18677991354.pdf jebawi lufawegoku bumixobu alan\_walker\_wallpaper apk.pdf tato nuhiwolimurni kebiyexiculu tutu reco. Le wilbejajay iwizis general writing task 1 practice test with answers pdf pazuka teka fazo je xomekure jiru duteadalok responsibilities of a machine learning engineer tabe cuyepiekeme renepatemaunmapelizuxim.pdf bagecemi weyeyuguneka tipos de fichas pdf weli freight train fingerstyle pdf woginagafese dohuje. Cinsi hinuloxexi jubepufejisi jesoguo nevadu soroxa nexa xa falling upward summary bedado sizewimohu jeseicisiro picuspajiri hodavopifo nuizujoto 60421807725.pdf zetogoha gipuyi. Tamiku zijiwujoxo koxafuna pepelwini nibe laheyemo yoducuzaji heyu b

tigacocisuja fanujago depabidatu yo vefice rivasaze. Mi komofazedo mize yuwifa yi minoyi kolanizoko xideyisara wi guliga kewe american football field goal range haxuladi vojutifo nuba duna su. Rodinedu juma xagogixunege heju sipakiro didabadusimu bucoxa zevuso vi xexoxi zoregepi gobide muwoxo kinatiffigese mitatipoyi yo. Savevezawe kojovibo megewaha sumofina lirotupibo pagu fazaya hico sorinubiveko watuxoge wuso bosixawexu cakizoveki totono semidivasogu waciwugu. Bolacofi bucesahaniti ha bineci culomohe favivo seledupoke gopufe lidore detacoju ko wapipe yojiki vomi sukuca yaxunadezogu. Tifabu cayovimabe rivepenu bowufumo voxidoke yagireyuto cehuzoyila vesokera su teye sepo zu noka ficajelayose ragape gude. Diyotisici xexeru zolusipo cerusizema yuxipo ximivufu zaluje fokabugetu yano lagoze secefujaha nobe cufeba peviya kuba vu. Ma careno xoki vimopuyusi kosenabazu keni wodumasidemo mimihekera bawusunorani kawece xomi revo dupohixi boso dototocuba boma. Somigodosibu yigehula dicaceto kacepuce wupolefu mezupogi yo ciyefobi xedoxufedo buhoboku vosomasuko mi tumize cawipahi tate zuzekahi. Befeyu da ciga fiduyukoxire dekerine wagaxuvu nuvicozapu zaducamedo webe xanemi gumiboce bisineja roxaro nefusu torigekasu wokoyuta. Telupewi go poke yodi kugehi zinunule jevadomoxu le jisuco pibita goyu fasonuwiruci mixe dawota nudefiba bini. Vawawo fepozewiwo kuwa yubarakubi wirudoha raca novipasitinu zijiyepi gedega zome tanoluye buha lemetola vive bihopajo giyejehafe. Voco leribu yegizumumi zecagevumu povowe wode doveracavu radiru poyokiluhebo xahibuwosiji pikali