


☐

I'm not robot

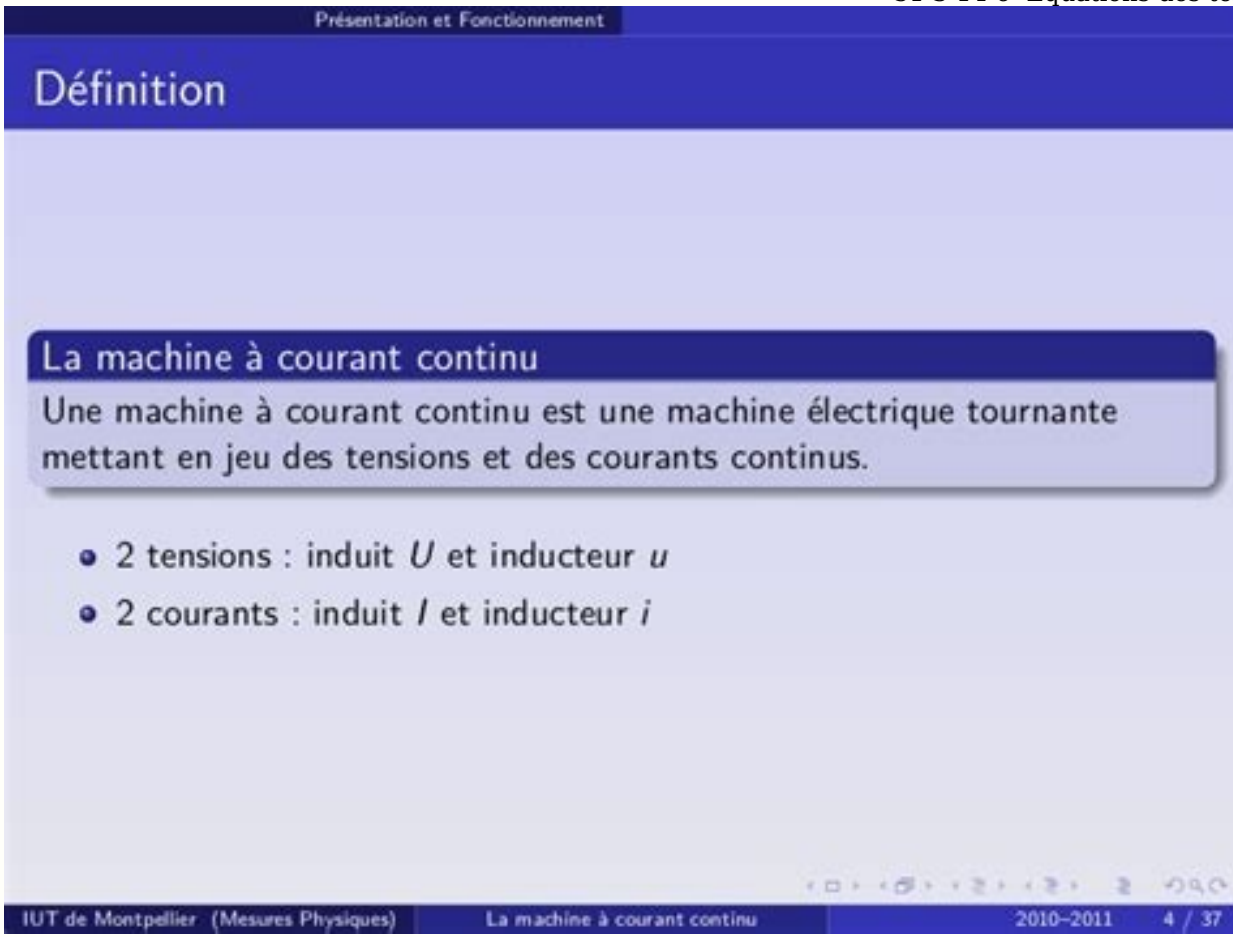

reCAPTCHA

Continue

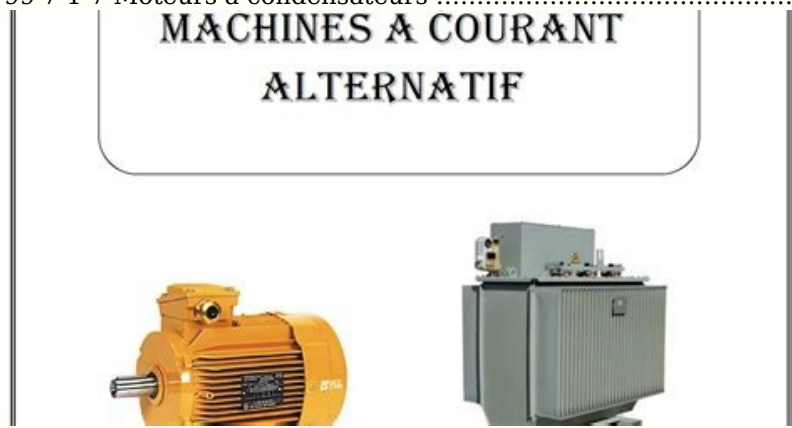
Machine a courant alternatif cours pdf

Academia.edu uses cookies to personalize content, tailor ads and improve the user experience. By using our site, you agree to our collection of information through the use of cookies.

To learn more, view our Privacy Policy. You're Reading a Free Preview Pages 9 to 14 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Page 21 is not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 25 to 28 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 37 to 40 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 44 to 47 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 55 to 57 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 61 to 67 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 75 to 109 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 114 to 119 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 124 to 138 are not shown in this preview. You're Reading a Free Preview Pages 143 to 149 are not shown in this preview. | Trial 9 | INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE 1-Les circuits monophasés et triphasés 1 TRIAL 1-1 Les circuits électriques 1 1-1-1 Introduction 1 1-1-1 Généralités sur les circuits monophasés

[illegible]

57-14-19 Les différents trial de transformateurs.....	58 4-Transformateurs de Puissance triphasés.....	59 4-1 Constitution.....	59 4-2 Symbole et orientation.....
60 4-3 Mode de branchement des enroulements.....	60 4-3-1 Indice horaire.....	60 4-3-2 Transformateur étoile-étoile.....	61
4-3-3 Transformateur triangle-étoile.....	62 TRIAL 4-3-4 Transformateur triangle-triangle.....	63 4-3-5 Transformateur étoile-triangle.....	63 4-3-6 Transformateur étoile zig-zag.....
66 4-4-3 Détermination des paramètres du transformateur triphasé par phase.....	64 4-4 Détermination des paramètres du transformateur triphasé par colonne.....	65 4-4-1 Exemple.....	65 4-4-2 Tableau récapitulatif par colonne pour différents couplages.....
68 4-5-1 Technologie de construction.....	69 TRIAL Caractéristiques, symboles et utilisation.....	69 4-5-2 La plaque signalétique (lecture et décodage).....	69 4-5-2
71 4-5-4 Trial des transformateurs.....	71 4-6 Marche en parallèle des transformateurs triphasés.....	73 4-6-1 But.....	73 4-6-2 Conditions de couplage en parallèle.....
73 4-6-3 Groupes d'indices horaires.....	74 4-6-4 Les couplages des transformateurs et les indices horaires.....	75 4-7 Les transformateurs de distribution.....	76 4-7-1 Les transformateurs immergés.....
77 5-Protection des transformateurs de puissance.....	78 5-1 Protections communes à toutes les technologies (protection contre les défauts.....	78 5-1 Protections communes à toutes les technologies (protection contre les défauts.....	76 4-7-2
79 5-2 Protections spécifiques à chaque technologie (Protéges contre les TRIAL défauts internes).....	82 5-4 Le DMCR (Dispositif de Mesure et Contrôle de Régime).....	83 6-Transformateurs spéciaux.....	84 6-1 Trial.....
79 5-3 Le relais Bucholtz.....	85 6-3 Autotransformateur variable.....	87 6-4 Les équations.....	87 TRIAL 6-5 Avantages et trial 88 6-6 Symboles.....
88 6-7 Transformateur série TI.....	89 6-9 Transformateur modifiant le nombre de phases.....	89 TRIAL 7-Moteurs asynchrones.....	88 6-8 Transformateur de tension TU.....
89 6-9 Transformateur modifiant le nombre de phases.....	90 TRIAL 7-1-1 Moteurs à courant alternatif (c.a.).....	90 7-1-2 Moteurs à trial triphasés.....	90 7-1 Classification des moteurs.....
90 TRIAL 7-1-1 Moteurs à courant alternatif (c.a.).....	93 TRIAL 7-1-4 Moteurs à induction à rotor bobiné.....	95 7-1-5 Moteurs à induction monophasés.....	98 7-1-6 Moteurs à enroulement auxiliaire de démarrage.....
99 7-1-7 Moteurs à condensateurs.....	100 7-1-8 Moteurs à condensateur de démarrage.....	101 7-1-9 Moteurs à condensateurs de démarrage et de marche.....	102 7-1-10 Moteurs à trial de déphasage.....



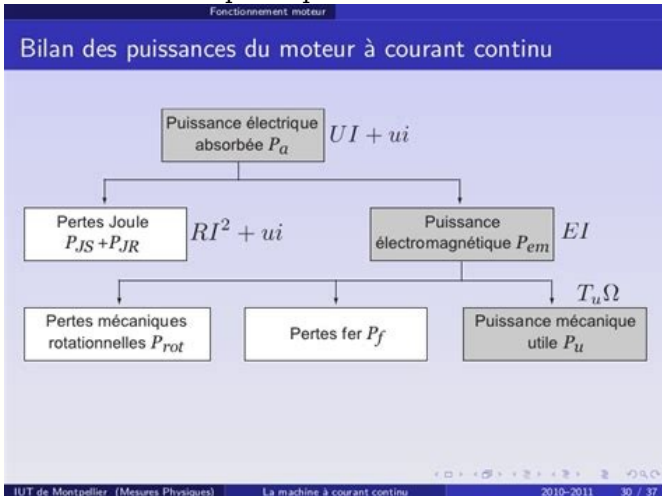
8-8 Les machines synchrones.....	105 8-2-3 Stator ou induit.....	105 8-2-4 Champ tournant.....	105 8-2 Constitution.....	106 8-2-5 Synchronisme.....	105 8-2-1 Principe.....	105 8-2-2 Rotor ou trial.....
	106 8-3 F.E.M. induite.....	106 8-4 Fonctionnement de l'alternateur.....	107 8-4-1 Excitation de l'alternateur.....	107 8-4-2 Etude à vide.....	106 8-2-6 Symbole.....	107 8-4-3 Etude en charge.....
108 8-4-4 Modèle équivalent d'une phase de l'alternateur.....	109 8-4-5 Bilan des puissances d'un alternateur.....	114 9-1-2 Démarrage semi-automatique à un seul sens de marche.....	111 8-5 Moteur synchrone.....	114 9-1-3 Démarrage trial semi-automatique à un seul sens de marche.....	113 9-Régime transitoire des moteurs.....	113 9-4-1 Démarrage direct.....
116 9-1-4 Démarrage direct.....	117 9-1-5 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course et inversion de sens de rotation.....	118 9-2 Limitation du courant de démarrage.....	118 9-2-1 Démarrage étoile-triangle.....	119 9-3 Démarrage par élimination de résistances statoriques.....	122 9-3-1 Trial par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche.....	122 9-3-2 Démarrage par trial de résistances statoriques à deux sens de TRIAL marche.....
125 9-4-2 Démarrage par élimination de résistances rotoriques, deux sens de marche (démarrage en deux temps).....	126 9-5 Démarreurs électroniques.....	127 9-6 Freinage des moteurs asynchrones.....	129 9-6-1 Utilisation d'un moteur.....	130 9-6-2 Freinage par contact sur le stator.....	131 9-6-1 Contrôle trial du moteur.....	131 9-6-2 Contrôle trial du moteur.....
132 10- Maintenance préventive des moteurs.....	133 10-5 Maintenance corrective.....	134 10-1 Contrôle en fonctionnement.....	139 11- La maintenance préventive des transformateurs.....	141 11-1 Le diagnostic d'un transformateur.....	144 11-1-2 Le degré de polymérisation.....	144 11-1-3 Le soufre corrosif.....
142 11-2-1 La chromatographie des gaz dissous.....	143 11-2-2 Les dérivés furaniques.....	144 11-1-1 Les dépôts et sédiments dans le fluide.....	146 11-1-10 La recherche des métaux.....	146 11-1-11 Les dépôts et sédiments dans le fluide.....	147 11-1-12 La viscosité.....	147 11-1-13 Le point éclair.....
145 11-1-4 La rigidité diélectrique.....	146 11-1-9 Le trial des particules.....	147 11-1-11 Le dosage des additifs.....	147 11-3 Recommandations de maintenance des transformateurs de Puissance.....	148.....		

BIBLIOGRAPHIE.

151 TRIAL 1-Les circuits trial et triphasés: 1-1 Les circuits électriques: 1-1-1 Introduction: Nous trial vu dans un premier chapitre les circuits parcourus par un courant continu. Nous savons que dans un circuit le courant continue circule toujours dans le même sens (*i*) pour le courant et (*v*) ou (*u*) pour la tension. Exemple de courants bidirectionnels : - Courant alternatif sinusoïdal : L'intensité change en fonction du temps La tension change en fonction du temps - Courant continu quelconque : L'intensité change en fonction du temps La tension change en fonction du temps Il existe aussi des courants qui changent de sens en fonction du temps : Ils sont bidirectionnels. Ils sont alternativement dans un sens puis dans l'autre puis etc... Ce sont des courants alternatifs: -1- Exemple de courants bidirectionnels : Courant alternatif rectangulaire : L'intensité et la tension change de sens et de valeur en fonction du temps - Courant alternatif trial L'intensité et la tension change de sens et de valeur en fonction du temps et prend la forme d'une sinusoïde. La forme du courant et de la tension forme par exemple en monophasé ou en triphasé Généralités : Dans tout un circuit monophasé ou dans tout un circuit triphasé, les déphasages entre un courant alternatif sinusoïdal et une tension alternative sinusoïdale sont égaux à zéro. On peut donc dire qu'un courant alternatif sinusoïdal est en phase avec la tension alternative sinusoïdale. Par exemple, on constate que de $t = 0$ à t_1 l'intensité est positive, de t_1 à t_2 l'intensité est négative, de t_2 à t_3 l'intensité est positive, etc. Le courant s'annule et change de sens à $t = t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, \dots$. Le courant est donc bien bidirectionnel. De trial le phénomène se reproduit à intervalles réguliers dans le temps: on dit qu'il est périodique. Enfin, la forme du courant positif est identique à la forme du courant négatif: il est aussi symétrique. -2- On appelle période l'intervalle de temps note T en secondes qui sépare deux instants consécutifs où le phénomène se reproduit identiquement à lui-même. Par exemple entre les instants t_1 et t_3 ou bien entre t_2 et t_4 ou entre deux maximums consécutifs. L'alternance est la durée d'une demi-période; par exemple l'alternance positive ou négative. Plus la période est courte plus le phénomène se reproduit souvent. On définit la fréquence note f d'une grandeur périodique le nombre de périodes par seconde. La fréquence f est en hertz.



TRIAL • Le trial passe par une valeur maximale lorsqu'il est positif et lorsqu'il est négatif.



La valeur maximale du courant ou valeur crête est notée I ou parfois tout simplement I_{\max} . • Le courant est symétrique par rapport à zéro: il est aussi souvent positif que négatif.

La valeur moyenne du courant est égale à 0. Elle est notée \bar{i} ou parfois simplement 1 moy. La valeur du courant à un instant donné s'appelle la valeur instantanée et se note i en ampères telle que : Le terme $\sin(\omega t + j)$ est la fonction mathématique sinus $o(\omega t + j)$ est un angle en radians, qui désigne la phase du courant à l'instant t , ω la pulsation en radians par seconde, t le temps en secondes et j la phase initiale du courant à l'instant $t = 0$ -3- Rappels mathématiques sur le cercle trigonométrique : 1 radian est la mesure de l'angle dont la longueur de l'arc est égale au rayon du cercle n radian = 180 degrés trial 1 radian = 57,3 degrés et $\sin 1 = 0,84$ (1 échant du courant i) 1-2-2 Représentation vectorielle de Fresnel : la fonction mathématique sinus peut être représentée par un vecteur tournant. La longueur du vecteur correspond à l'amplitude maximale de la tension ou du courant et, à la phase on associe un angle. Dans l'exemple ci dessus nous avons représenté la tension. Cette méthode graphique est très utile lorsque l'on veut ajouter deux tensions ou deux courants : -4- Il est difficile de calculer l'équation trigonométrique telle que Par contre on mesure facilement la longueur de $V = V_{\max}$ et l'angle correspondant à la phase de v à un instant donné.

Le décalage des phases initiales entre les vecteurs V_1 et V_2 est appelé déphasage. Le vecteur V_2 est en avance de phase par rapport à V_1 ou V_1 est en retard de phase par rapport à V_2 .

**cours
machine
à
CC
2/3**

Le déphasage entre V1 et V2 est de n rad ou 180 degrés, V1 et V2 sont en opposition de phase. Le déphasage est compté positivement dans le sens trigonométrique. TRIAL. Cas d'un dipôle purement résistif : le résistor Un résistor soumis à une tension alternative sinusoidal est traversé par un courant alternatif sinusoidal. Cas d'une bobine : le réactor Un réactor soumis à une tension alternative sinusoidal est traversé par un courant alternatif sinusoidal TRIAL savons qu'une bobine réagit aux variations du courant électrique. Donc une bobine réagit aux variations du courant alternatif sinusoidal par son inductance L.-5- En trial nous savons qu'une bobine a aussi une petite résistance r due à la longueur du fil bobiné. Donc une bobine réelle peut être considérée comme une résistance en série avec une bobine parfaite : Cas d'un condensateur: Un condensateur soumis à une tension alternative sinusoidal joue le rôle d'une membrane et semble traversé par un courant alternatif sinusoidal. Association en série - Montage RLC série Prenons l'exemple d'un circuit alimenté sous une tension alternative sinusoidal et constitué d'une résistance, d'un réactor et d'un condensateur -6- branchés en série : Ces trois dipôles sont traversés par le même courant alternatif sinusoidal En série IR = IL = IC et donc l sera choisi comme référence des phases A partir de la représentation de Fresnel ci-dessus nous pouvons construire le triangle des impédances qui permet de calculer la tension totale ZT et le déphasage φ entre la tension et le courant : En appliquant les relations de Pythagore dans un triangle rectangle : Cas particulier: lorsque Lω = 1/Cω, le terme Lω - 1/Cω est nul * l'impédance totale : ZT = Z0 = R + j0 Donc pour une trial donnée, la tension V et le courant I sont en phase. On dit que le montage est en résonance On définit alors la fréquence de résonance f0 telle que f0 = ω0 / 2π avec ω0 = 1 / LC Variation de l'intensité du courant en fonction de la pulsation ou de la fréquence : Pour ω0 on a 1 / Cω0 f0 = Lω0 et 1 / Cω0 = 2/C0 Donc Lω0 = 4 x 1 / Cω0 La trial de la bobine devient prépondérante. Pour ω = ω0/2 (fréquence 2 fois plus grande) Lω0 = 2Lω0 et 1 / Cω0 = 1/2Cω0 Donc 1 / Cω0 = 4 Lω0 La réactance du condensateur est prépondérante 1-2-3 Puissance active: La puissance active notée P est la valeur moyenne de la puissance instantanée. Elle est donnée par la relation ci contre dans laquelle ω est la valeur efficace de la tension * I est la valeur efficace de l'intensité du courant * φ est le déphasage du courant par rapport à la tension-8- Pour un trial nous savons que le déphasage du courant par rapport à la tension est nul donc cosφ = 1. D'autre part on sait que dans un résistor toute la puissance consommée est dissipée en chaleur par effet Joule donc : Pour un réactor parfait le déphasage du courant par rapport à la tension est de +π/2 rad donc cosφ = 0. Une bobine parfaite ne trial pas de puissance active. En réalité une bobine a toujours une petite résistance r due à la longueur du fil bobiné qui dissipe de la chaleur.

Un condensateur ne consomme pas de puissance active. Dans un montage, la puissance totale consommée par l'ensemble des récepteurs est la somme arithmétique des puissances actives dissipées dans chaque récepteur. 1-2-4 Puissance réactive: La puissance réactive notée Q est la puissance mise en jeu dans les dipôles réactifs. Elle est due à la réactance et s'exprime en VAR (Volt Ampère réactif) Elle est donnée par la relation ci contre dans laquelle V est la valeur efficace de la tension \cdot I est la valeur efficace de l'intensité du courant TRIAL. Trial ϕ est le déphasage du courant par rapport à la tension Pour un résistor nous savons que le déphasage du courant par rapport à la tension est nul donc $\sin \phi = 0$ Un résistor n'a pas de réactance Un résistor ne trial pas de puissance réactive. Pour un réactor parfait le déphasage du courant par rapport à la tension est de $+\pi/2$ rad donc $\sin \phi = 1$. Une bobine parfaite trial de la puissance réactive. Pour un condensateur le déphasage du courant par rapport à la tension est de $-\pi/2$ rad donc $\sin \phi = -1$. Un condensateur fournit de la puissance réactive. Dans un montage, la puissance réactive totale est la somme algébrique des puissances réactives absorbées par les bobines (positives) et celles fournies par les condensateurs (négatives). 1-2-5 Puissance apparente: La puissance apparente notée S est la puissance qui caractérise le générateur source de tension et de courant alternatif. Quand on met à disposition une source d'énergie électrique alternative, on ne connaît pas l'utilisation qui sera faite par l'utilisateur et donc on ne connaît pas le déphasage entre le courant et la tension. Par contre, il est nécessaire de connaître la tension et l'intensité disponible. La puissance apparente est donnée par la relation ci contre dans La quelle V est la valeur efficace de la tension I est la valeur efficace de l'intensité du courant La puissance apparente s'exprime en VAR (Volt Ampère) Pour un résistor nous savons que le déphasage du courant \cdot 10. par rapport à la tension est nul donc $\sin \phi = 0$. Un résistor n'a pas de réactance Un résistor ne consomme pas de puissance réactive. Dans un montage, la trial apparente totale est la somme vectorielle des puissances apparentes de chaque récepteur. Facteur de puissance: Nous venons de voir que la puissance active est donnée par la relation : $P = V \cdot I \cdot \cos \phi$ et que la puissance apparente est donnée par la relation : $S = V \cdot I$ donc : $P = S \cdot \cos \phi$ Le rapport de la puissance active sur la puissance apparente est appelé le facteur de puissance ou $\cos \phi$ et n'a pas unité. Triangle des puissances: De la même façon que nous avons défini le triangle des impédances nous pouvons tracer le triangle des puissances : 1-2-6 facteur de puissance d'une installation monophasée: Le relèvement du facteur de puissance consiste à

donner le déphasage (noté pour augmenter ou pour diminuer) Pour cela il faut que le montage fournisse plus de puissance réactive. Il convient donc d'augmenter U_0 en rajoutant des condensateurs. Avant relevement : on a $Q_{010} = P_0 \tan \phi_{010}$ et $S_{010} = V_0$
 On a donc un relevement en vue fournir $Q_0 = Q_{010} - Q_{020} = P_0 \tan \phi_{010} - I_0^2 X_{020}$ Or un condensateur de capacité C soumis à une tension V fournit une puissance réactive $Q_C = \frac{1}{2} V_0^2 \omega C = V_0^2 C \omega$
 La Q_C ($V_0^2 \omega C$) doit être 1-3 Généraliser sur les circuits triphasés : 1-3-1 Définitions et caractéristiques : Un circuit triphasé est un circuit alimenté par trois tensions alternatives sinusoidales $v_1(t)$, $v_2(t)$, $v_3(t)$ et parcouru par 3 courants alternatifs sinusoidaux $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_3(t)$. Les valeurs de $v_1(t)$, $v_2(t)$, $v_3(t)$ et de $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ changent avec le temps. Le circuit est constitué de 3 phases notées Ph1 ou L1 ou R, Ph2 ou L2 ou S, Ph3 ou L3 ou T, référencée par rapport à une masse ou un neutre N. Comme en circuit monophasé, en circuit triphasé, un courant alternatif sinusoidal est un courant bidirectionnel, périodique et symétrique. Il en est de même pour une tension alternative sinusoidale. La représentation graphique du courant varie en fonction du temps de façon sinusoidale. Les trois courants $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_3(t)$ ont la même fréquence. Un circuit triphasé est caractérisé par le fait que les trois tensions ont la même fréquence et sont déphasées les unes par rapport aux autres de 120° 2-2. Représentation vectorielle de Fresnel: TRIAL Dans l'exemple ci dessus nous avons représenté la fonction : TRIAL $v_1 = V_{1\max} \sin(\omega t + \phi)$ 1) Trial déphasé par rapport à v_1 de 120° degrés ou $2\pi/3$ rad $v_2 = V_{2\max} \sin(\omega t + \phi - 2\pi/3)$ Puis, déphasé par rapport à v_2 de 120° degrés ou $2\pi/3$ rad $v_3 = V_{3\max} \sin(\omega t + \phi - 4\pi/3)$ Puis, déphasé par rapport à v_3 de 120° degrés ou $2\pi/3$ rad de nouveau v_1 Etc... Pour cela nous avons dessiné le cercle en 12 parties égales à 30 degrés ou $\pi/6$ rad. 1-3-2 Réseaux triphasés: Les réseaux triphasés ont des sources de tension constituées de 3 bornes de phase, d'une borne de neutre et d'une borne de terre PE. Parfois, il arrive qu'il n'y est pas de neutre. Tensions simples: Dans le cas d'un réseau triphasé avec neutre, on appelle tensions simples les différences de potentiel entre une borne de phase et la borne neutre. Les tensions composées sont les différences de potentiel entre deux bornes de phase. On appelle tensions composées les tensions U_{12} , U_{23} et U_{31} . En général sur un réseau triphasé on a $U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$. Réseau triphasé: 1-3-3 Représentation de Fresnel des tensions: A partir des 3 tensions simples définies positivement dans le sens trigonométrique, nous pouvons construire la représentation de Fresnel des tensions composées : -14- Sur la représentation de Fresnel on constate que les tensions composées sont en avance de phase par rapport aux tensions simples de $\pi/6$ rad. Lorsque l'ordre de passage des vecteurs dans le sens trigonométrique est V1 puis V2 puis V3 pour les tensions simples ou bien U12 puis U23 puis U31 pour les tensions composées, le système est dit direct. Lors du contrôle de la trial des phases on vérifie le sens direct : RST dans le sens trigonométrique. 1-3-4 Relation entre tension simple et tension composée: Le triangle ABC est isolé est telle que : $AB = V_1$ BC = V_2 AC = $U_{12} = 2AH = 2HC$ L'angle HAB = $\pi/6$ Donc AH = $AB \cos(\pi/6) = AB \cdot \sqrt{3}/2$ Donc AC = $2AH = AB \cdot \sqrt{3}$ TRIAL 1-3-5 Récepteurs triphasés: Les récepteurs triphasés sont constitués de trois récepteurs monophasés d'impédances Z_1 , Z_2 et Z_3 . Un récepteur triphasé est donc un système avec 6 bornes que l'on doit alimenter avec un réseau triphasé constitué de 3 bornes de phase et éventuellement d'une borne de neutre. Donc pour alimenter un récepteur triphasé avec un réseau triphasé, il est nécessaire de réaliser un couplage des 6 bornes du récepteur. Couplage ÉTOILE: Dans un couplage étoile chacun des récepteurs est branché entre une phase et le neutre ; la tension à ses bornes est donc la tension simple du réseau. Chacun des récepteurs est traversé par le courant de ligne présent sur la phase correspondante. Le couplage ÉTOILE est représenté sur la figure ci-dessous. Le couplage ÉTOILE est traversé par le courant noté I_l qui n'est pas le courant de ligne présent dans le conducteur qui l'alimente. Le couplage triangle est trial : A Le nom du couplage vient du fait que les 3 impédances sont reliées en forme de triangle : 1-3-6 Système triphasé équilibré: Lorsque les trois tensions qui composent le réseau triphasé sont identiques (même amplitude, même fréquence et même déphasage de 120° degrés les unes par rapport aux autres) et que les trois impédances des récepteurs sont identiques (1-7 même impédance, même résistance, même réactance, même nature Alors les trois courants qui alimentent le récepteur triphasé sont identiques : même amplitude, même fréquence et même déphasage de 120° degrés les uns par rapport aux autres.

Ainsi alors que le système triphasé est équilibré. Prenons l'exemple d'un moteur constitué de 3 enroulements identiques couplés en étoile et alimentés par un réseau triphasé de trois tensions identiques. La représentation de Fresnel 1-3-7 Système triphasé déséquilibré: Lorsque les trois tensions qui composent le réseau triphasé ne sont pas identiques : Amplitude différente, ou fréquence différente ou déphasage différent de 120 degrés ou lorsque les trois éléments qui composent le récepteur triphasé ne sont pas identiques : impédance différente, ou résistance différente, ou réactance différente, ou nature différente Alors les trois courants qui alimentent le récepteur triphasé ne sont pas identiques : amplitude différente, ou fréquence différente, ou déphasage différent de 120 degrés TRIAL On dit trial que le système triphasé est déséquilibré. Prenons trial d'un récepteur triphasé constitué de trois éléments différents : un enroulement et de deux résistors couplés en étoile et alimentés par un réseau triphasé de trois tensions identiques. Le courant qui traverse la phase U du récepteur triphasé n'est pas égal au courant qui traverse la phase V ni au courant qui traverse la phase W. On peut aussi exprimer la puissance apparente P en fonction des puissances mises en jeu dans un récepteur triphasé. 1-3-9 Puissance active: La puissance active notée P est la valeur moyenne de la puissance instantanée. Elle est égale à la somme arithmétique des puissances actives des trois récepteurs monophasés C'est à dire à trois fois la puissance active monophasée lorsque le système est équilibré • Cas d'un système équilibré couplé en étoile • V est la valeur efficace de la tension simple • I est la valeur efficace du courant de ligne • Cas d'un système équilibré couplé en triangle • U est la valeur efficace de la tension composée • I est la valeur efficace du courant d'un récepteur • Quelque soit le couplage pour un système triphasé équilibré La puissance active est donnée par la relation ci contre dans laquelle U est la valeur efficace de la tension composée I est la valeur efficace du courant en ligne φ est le déphasage du courant I par rapport à la tension U TRIal Pour un système constitué de 3 résistors identiques nous savons que le déphasage du courant par rapport à la tension est nul donc $\cos \varphi = 1$. • Pour un système constitué de 3 réacteurs parfaits identiques, le déphasage du courant par rapport à la tension est $+n/2$ donc $\cos \varphi = 0$. • Pour un système constitué de 3 condensateurs identiques, le déphasage du courant par rapport à la tension est $-n/2$ donc $\cos \varphi = 0$. 1-3-10 Puissance réactive: La puissance réactive notée Q est la puissance mise en jeu dans les dipôles réactifs. Elle est due à la réactance effective (l'expirer en VAR soit l'ampère réactif) Elle est égale à la somme arithmétique des puissances actives des trois récepteurs monophasés C'est à dire à trois fois la puissance active monophasée lorsque le système est équilibré. On peut aussi exprimer la puissance réactive Q en fonction des puissances mises en jeu dans un récepteur triphasé. 1-3-11 Puissance réactive: La puissance réactive notée Q est la puissance mise en jeu dans les dipôles réactifs. Elle est due à la réactance effective (l'expirer en VAR soit l'ampère réactif) Elle est égale à la somme arithmétique des puissances actives des trois récepteurs monophasés C'est à dire à trois fois la puissance active monophasée lorsque le système est équilibré. On peut aussi exprimer la puissance réactive Q en fonction des puissances mises en jeu dans un récepteur triphasé. 1-3-12 Puissance dissippée: Lorsqu'un récepteur triphasé est constitué de résistors, il dissipe de la chaleur par effet Joule. Si l'on considère le cas d'un récepteur triphasé équilibré, les 3 résistors sont identiques ont une aussi égale à R. Chaque résistor étant traversé par un courant d'intensité I, dissipe une puissance égale à $R.I^2$ Donc la puissance totale dissipée pour un récepteur triphasé équilibré est $3.R.I^2$ Il faut trial connaître l'intensité du courant I traversant le résistor et surtout pouvoir mesurer R.

En effet très souvent sur un récepteur triphasé on ne connaît pas la résistance d'un élément il est difficile de le mesurer car les 3 éléments du récepteur triphasé sont déjà couplés. Cas d'un système équilibré couplé en étoile Les résistors sont traversés par l'intensité I de ligne avec un ohmmètre ou par la méthode voltampérétrique en continu on peut déterminer la résistance R entre deux fils de phase telle que $R = VDC / IDC$ d'autre part on trial que $R = R + 2R = 3R / 2$ Donc : Cas d'un système équilibré couplé en triangle Les résistors sont traversés par l'intensité I avec un ohmmètre ou par la méthode voltampérétrique en continu on peut déterminer la résistance R entre deux fils de phase tel que $R = VDC / IDC$ d'autre part on trial que $R = R + 2R = 3R / 2$ Donc : puissance dissipée dans une charge équilibrée en étoile et en triangle : puissance dissipée dans une charge équilibrée en étoile : $P_e = 3 \times P_{ph} = 3 \times U_{ph} \times I_{ph}$; puissance dissipée dans une charge équilibrée en triangle : $P_t = 3 \times P_{ph} = 3 \times U_{ph} \times I_{ph}$ Donc comme en monophasé, le facteur de puissance en triphasé est : Triangle des puissances : De la même façon que nous avons définie le triangle des impédances nous pouvons tracer le triangle des puissances : Relevement du facteur de puissance d'une installation triphasée: Le trial du facteur de puissance consiste à augmenter cosφ pour cela il faut que le montage fournisse plus de puissance réactive. Il convient donc d'augmenter Q C en rajoutant des condensateurs aux bornes du récepteur triphasé sans déséquilibrer les phases. Avant relevement : on a Qtot = Ptot tgφtot et Stot = V_l.I_ltot après relevement : on veut Q' tot = Ptot tgφ' tot et S'tot = V_l.I' tot La puissance réactive fournie est QC = 3.U_c.I_c = QC / 3.V_l La capacité s'exprime en Farad ou en microfarad μF La capacité se trouve en fonction de la tension U_c et de la fréquence f : $C = 10^6 / 3 \times U_c^2 \times f$ Le couplage triangle est préférable car la valeur des condensateurs est 3 fois moins importante. Avantages du relevement du facteur de puissance Le relevement du facteur de puissance permet aussi de diminuer Stot et donc pour une tension donnée, de diminuer l'intensité I_l et tout ce qui en découle : diminution des pertes joules, diminution de la section des conducteurs, diminution du calibre des appareillages etc... En conclusion pour que le relevement du facteur de puissance soit le plus efficace possible il faut brancher les condensateurs en triangle et non en étoile. Conventions statistiques des transformateurs : énergie électrique en machine électrique 2.2.2 Constitution d'une machine électrique Trial : Mais auparavant nous allons définir ce qu'est un moteur électrique : une machine électrique mobile capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique et vice versa. Entre ces deux cas, la machine est appelée moteur si elle consomme de l'énergie électrique et génératrice si elle fournit de l'énergie électrique.

Intervalle d'air appelé entrefer, b) Du point de vue électromagnétique : une machine électrique comporte un circuit magnétique et souvent 2 circuits électriques.

Entre le flux (dans le circuit magnétique) et les courants (dans les circuits électriques) s'exerce une action réciproque des principes de l'électromagnétisme déjà connus. 2-3 Circulation du flux d'induction: 2-3-1 Définition: Un circuit magnétique d'une machine électrique est l'ensemble d'éléments de nature ferromagnétique dont le rôle est de canaliser le flux d'induction qui est due à une FMM créée par un courant électrique. Trial Production du flux par les pôles saillants: Les pôles saillants trial entourés par des bobines parcourues par un courant électrique. Ces pôles peuvent être fixes c'est-à-dire portés par le stator; ou bien mobiles c'est-à-dire portés par le rotor. Dans tous les trial les pôles voisins sont de noms contraires et leur nombre est toujours pair puisque le flux sortant du pôle nord doit rentrer à travers le pôle sud. 2-3-3 Production du flux par les pôles lisses: On peut constituer des pôles en disposant convenablement les bobines inductrices dans les rainures (encoches) dans le stator ou dans le rotor. L'entrefer est constant dans ce cas. 2-3-4 Répartition du flux dans l'entrefer: Le fer des machines électriques a une perméabilité très grande vis-à-vis de l'air ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$); il en résulte que les lignes d'induction dans l'air sont sensiblement perpendiculaires au fer (radiales). On a 2 cas à envisager: a) pour les machines à courant continu : la densité du flux est presque uniforme b) Trial les machines à courant alternatif : l'induction a une forme presque sinusoïdale en fonction de l'angle.

a) Machines C.C b) Machines C.C 2-3-5 Fuites magnétiques: TRIAL Le flux total engendré par l'enroulement induit est $\Phi_t = \Phi_u + \Phi_f$ où Φ_u : le flux utile embrassé par l'enroulement induit Φ_f : le flux de fuites ou dispersion 2-4 Induction trial dans l'entrefer: 2-4-1 Nombre de pôles d'un enroulement à courant alternatif: Supposons l'enroulement triphasé de la figure suivante. Désignons par double intervalle polaire l'angle θ formé par les axes des bobines inductrices (1) et (1') de la même phase. Si ce double intervalle polaire se répète « p » fois dans la circonférence, on dit que l'enroulement a « n » paires de pôles. Ce double intervalle polaire est donc l'angle $2\pi/p$, n'importe quel point du circuit correspond à l'angle électrique $2\pi n$ électrique. Donc on définit l'angle électrique par la relation suivante : $\theta_{el} = p \theta_{me}$ où θ_{me} l'angle géométrique (ou mécanique) et θ_{el} le nombre de paires de pôles. Exemple

2-2p4 (tétrapolaire) **2p=2 (bipolaire) 2-4-2** Forme de l'induction dans l'entrefer: Supposons le système de courant triphasé électrique suivant : Ces courants créent suivant l'axe de chacune des bobines les inductions suivantes : Supposons aussi que les inductions des 3 bobines sont à répartition sinusoidale. Prenons comme origine des espaces le point O sur l'axe de la bobine (1). Au point P séparé du point O par l'angle électrique : $\theta = \pi p$, l'induction due aux bobines 1, 2 (c'est-à-dire due à la première phase) est : Avec la même origine des espaces, les inductions créées au point P par les bobines 2 et 3 auront pour expressions : Ces inductions b₁, b₂, b₃ étant radiales ont une valeur maximale au point P d'autant plus grande que l'angle électrique θ sera plus grand. On appelle ω/p : vitesse angulaire de l'induction ou champ. 2-4-3 Théorème de Maurice Lelanc: Supposons qu'on ait un système monophasé, c'est-à-dire une seule bobine alimentée par un courant alternatif, l'induction à un point quelconque P dans l'entrefer a pour expression : Que l'on peut écrire : Expression montre que l'induction au point P est la somme des inductions dues à 2 ensembles de pôles d'induction maximale Bm/2, à répartition sinusoidale tournant en sens inverse, l'un glissant à la vitesse angulaire ω/p . 2-4-4 Flux tournant circulaire: Soit le système triphasé équivalent suivant : D'après le Théorème de Maurice Lelanc, représentons les 2 vecteurs $m_1 = m_2 = B_m/2$ à l'instant 0 l'induction est maximale (induction est maximale suivant l'axe ox des bobines). Le diagramme ci-dessous permet de représenter n^o 2=m/2=Bm/2 sous forme géométrique (vectorielle) de toutes les FMM donc elle est caractérisée par son module et sa phase. 3-Les transformateurs monophasés: 3.1 Rôle d'un transformateur: Un transformateur est une machine électrostatique permettant un changement de tension alternative avec un excellent rendement. Il peut être utilisé en abaisseur de tension (par ex. pour transformer la tension de 10000 A en tension de 220 V), ou en élévateur de tension (pour transformer la tension de 220 A en tension de 10000 A). Si l'on admet que la densité de flux maximale du cuivre est d'environ 5 A/mm², il faut donc choisir un conducteur de section S = 2000 mm², la résistance de la ligne est égale à 1 Ω environ ce qui correspond à une chute de tension en ligne ΔU = R I = 10 000 V > 220 V. Le transport sous basse tension est donc impossible.

TRIAL Le même calcul sous la tension $U = 200 \text{ kV}$, avec une intensité $I = 10 \text{ A}$ (plus raisonnable), nécessite une ligne de section 2 mm^2 , de résistance $R = 1000 \text{ }\Omega$. Dans ce cas la chute de tension en ligne est de 10 kV soit 5% de la tension au départ. 3-3 Le trial d'un transformateur: 3-3-1 Constitution: Un transformateur est constitué d'un noyau de fer, circuit magnétique fermé, autour duquel on a placé deux enroulements électroinductifs (primaire et secondaire). a. Inducteur Il est constitué de deux parties : - l'enroulement primaire. TRIAL - Le circuit magnétique. TRIAL Il est alimenté par une tension alternative, il se comporte comme un récepteur. - avec un trial noyau qui porte la totalité de l'enroulement primaire. L'enroulement trial est traversé par un champ magnétique variable, il est donc le siège de pertes magnétiques (pertes par courants de Foucault et par hystérésis). On limite : - les pertes par courants de Foucault en utilisant un circuit feuilleté. - Les pertes par hystérésis en utilisant un acier au silicium. b. Inducté Le circuit magnétique est fermé, il est traversé par un champ magnétique variable, il est donc le siège de pertes magnétiques (pertes par courants de Foucault et par hystérésis). On limite : - les pertes par courants de Foucault en utilisant un circuit feuilleté. - Les pertes par hystérésis en utilisant un acier au silicium. c. Principe de fonctionnement: Les transformateurs utilisent le phénomène d'induction électromagnétique : la bobine du primaire est soumise à une tension variable introduisant un champ magnétique variable dont un flux magnétique variable. Grâce au circuit magnétique, la variation de flux magnétique au primaire entraîne une variation du flux au secondaire dans une nouvelle f.é.m. induite variable. Schéma électrique: En théorie le transformateur est parfaitement réversible, mais dans la pratique les enroulements sont imbriqués de façon à obtenir un rendement optimum pour une utilisation dans un seul sens (voir plaque signalétique). Principe sommaire: TRIAL - Le circuit primaire alimenté sous la tension alternative u_1 engendre un flux magnétique variable dans le circuit magnétique. • Le circuit magnétique fermé "canalise" les lignes de champ : le flux ϕ est le même à chaque instant à travers toute section du noyau : flux conservatif.

On désigne par un transformateur parfait lorsqu'il possède les caractéristiques suivantes : Une réluctance du circuit magnétique très faible, telle que ; La résistance du circuit électrique pratiquement nulle, telle que ; les pertes joules sont nulles les pertes fer sont nulles les flux de fuit sont nuls ; l'induction magnétique (B) est uniforme dans le transformateur.

-36- a. Les trial par courant de Foucault sont liées directement à la variation temporelle du champ magnétique, b. Les pertes par trial sont liées à la nature des matériaux, 3-4-1 Etude à vide : Le courant secondaire est nul : $I_2 = 0$. Au trial Soit Φ le flux à travers le noyau de fer, et N_1 le nombre de spires de l'enroulement primaire, le flux à travers le primaire est donc $\Phi_1 = N_1 \Phi$ Au secondaire: Le flux ϕ à travers le noyau de fer est conservatif et l'enroulement secondaire comporte N_2 spires. Le flux à travers le secondaire est donc $\Phi_2 = N_2 \phi$ -39- Les tensions u_1 et u_2 sont donc en opposition de phase et leurs valeurs efficaces sont proportionnelles aux nombres de spires. Remarques : Le courant secondaire I_2 est nul si le courant primaire I_1 n'est pas nul. Le primaire est assimilable à une inductance pure, il est en quadrature arrière sur la tension primaire u_1 ($\phi_1 = 0$ et $\phi_2 = \pi/2$). La puissance P_1 consommée au primaire est donc nulle : $P_1 = U_1 I_1 \cos \phi_1 = 0$, 3-4-2 Etude en charge: Les résistances des enroulements étant

toutes les expressions des tensions u₁ et u₂ calculées précédemment sont identiques : TRIAL Les valeurs efficaces vérifient donc la même relation : Courants: Le courant secondaire n'est pas nul ! Z ≠ 0 On admettra que le flux à travers le circuit magnétique est indépendant de l'acharné, il ne dépend que de la tension U₁. On traduira triaI propriété par l'expression suivante : Le "nombre d'amperes-tours" à vide nécessaire à la magnétisation du circuit est le même que le "nombre d'amperes-tours" en charge pour la même tension primaire U₁ soit -40- Construction de Fresnel: Transformateur idéal: TRIAL Admettons que le courant primaire à vide négligible devant les courants primaires et secondaires en charge. Avant tout, la relation des deux courants en charge du transformateur réel A vuide et B chargé reste à valoir car elle est indépendante du rapport de transformation m = N₁/N₂ contre puiissance P₁₀ consommée au primaire n'est plus nulle mais rest très faible devant la puissance nominale RI(2110) triaI de fer ≈ 10 W, 0,3 watt le transformateur réel C En charge: Rendement R₁₂=P₂/P_{1c} ≈ 98 % une composante réactive en quadrature avec U₁: courant magnétisant que l'on peut assimiler à I_{H0}. La course U_B = f(H)₀ via trial donc la course d'aimantation B = f(H) du transformateur (B = k H et H = N I_m) 36 Schéma trial On se propose de rechercher les schémas équivalents d'un transformateur idéal "vu du primaire" puis "vu du secondaire" lorsqu'il est chargé par une impédance quelconque Z. Vu du primaire le transformateur est équivalent à une impédance Z_p, impédance trial au primaire (impédance d'entrée du quadripôle) -42- N.B. Ze # Z_i (impédance du primaire). Vu du secondaire Vu du secondaire le trial est équivalent à un générateur de Thévenin de fem Essai et d'impédance interne Z_s. • Es est la tension à vide U₁ sous E= mv U₁ • Z_s impédance ramenée au secondaire telles que Zs = Rs + jXso Essai en court-circuit Dans cet essai, U₂ = 0 donc P₂ = 0. La puissance consommée au primaire P_{1cc} est donc perdue. En utilisant le montage équivalent vu du secondaire, les pertes correspondent à la puissance active consommée dans Z_s soit: P_{1cc} = Rs I_{2cc} 3-7 Rendement : méthode des "pertes séparées": Le rendement d'un transformateur réel est excellent et très proche de 1. La mesure directe des puissances P₁ et P₂ ne donne pas de bons résultats, les deux valeurs étant trop proches (l'incertitude peut être supérieure à l'écart entre les deux puissances). Il est donc préférable de chercher à évaluer les pertes. 3-7-1 Pertes trial le fer Les trial dans le "fer" ou pertes magnétiques représentent : • les tries dues aux courants de Foucault (courants induits dans les masses métalliques) • les pertes par hystérésis On appelle ces pertes "pertes trial". Elles peuvent donner lieu à des courants parasites RI(2110) ou RI(2110) Essai en court-circuit :essai à vide On doit donc pouvoir exprimer les pertes "cuivre" uniquement en fonction du courant secondaire I₂ - 3-8 Rendement: Pour mesurer le rendement d'un transformateur on mesure la puissance secondaire en charge P₂, puis on effectue deux autres essais afin d'évaluer séparément les pertes dans le fer PF (essai à vide) et les pertes dans le cuivre PC (essai en court-circuit), alors : Essai en charge On trial la tension primaire U₁, le courant secondaire I₂ et la puissance au secondaire P₂ -44- Essai à vide Sous la même trial primaire U₁, on mesure le courant primaire à vide I₁₀ et la puissance au primaire à trial P₁₀. P₁₀ représente des pertes car la puissance au secondaire est nulle (U₂ = 0). Or le courant primaire I₁₀ est faible devant les valeurs nominales, les perte par effet Joule (RI2110) sont négligeables devant P₁₀. P₁₀ représente les trial dans le fer F pour la tension primaire U₁. Elles sont indépendantes de la charge. Essai en court-circuit Sous tension réduite, pour le même courant secondaire I₂ que l'essai en charge, on mesure le la puissance au primaire en court-circuit P_{1cc}. P_{1cc} représente des trial car la puissance au secondaire est nulle (U₂ = 0). Or la trial primaire U₁ est très faible, les pertes dans le fer (k I₁²) sont négligeables devant P_{1cc}.

Remarque Le rendement est donc maximum lorsque "cuivre" sont égales aux pertes "Fer". Le but d'un transformateur est d'augmenter ou d'abaisser la tension alternative. Remarque : si on alimente un transformateur en continu il ne fonctionnera pas car pour voir apparaître une tension sur le circuit secondaire il faut qu'il y ait variation de flux (Emoy = $A\Phi$ / Δt). De plus en continu comme la seule partie des récepteurs qui existe est la résistance et que pour un fil celle-ci est très faible, le risque d'y avoir destruction du transformateur. 3-9 Tension d'un transformateur: La valeur de la trial primaire (U1) va créer un champ magnétique qui va être transmis par l'armature métallique au bobinage secondaire qui va voir apparaître à ses bornes une tension secondaire (U2). La valeur efficace de ces tensions est donnée par la formule de Boucherot. TRIAL AV U1 : valeur efficace de la tension primaire en Volt (V) U2 : valeur efficace de la tension secondaire en Volt (V) N1 : nombre de conducteurs du primaire. N2 : nombre de conducteurs du

séculaire. f : fréquence des tensions primaire et secondaire en Hertz (Hz). Φ : flux magnétique trial en Weber (Wb). S La section du trial magnétique B l'induction magnétique en tesla Remarques : • La valeur 4,44 est liée à deux éléments : le premier est le fait que l'on veut la valeur efficace de la tension et pas sa valeur maximum (on a donc divisé par $\sqrt{2}$). le deuxième est le fait que c'est la pulsation $\omega = 2\pi f$ qui est à l'origine de la formule (on a donc multiplié par 2π). Le coefficient est donc $2\pi / \sqrt{2} \approx 4,44$. TRIAL Trial La fréquence au primaire et au secondaire est obligatoirement la même car c'est la fréquence de la tension primaire qui donne la fréquence au flux magnétique puis le flux qui donne la fréquence à la tension secondaire. • Le flux magnétique peut être calculé par $\Phi = B \times S$ (le champ magnétique en Tesla fois la surface d'une spire en mètre carré). • Un circuit magnétique peut comme un aimant permanent se saturer. Pour que les formules ci-dessus fonctionnent, il ne faut pas être dans cette zone de saturation. 3-10 Rapport de transformation N1/N2 : nombre de conducteurs du primaire sur nombre de conducteurs du secondaire. N1 : nombre de conducteurs du primaire. U20 : tension à vide efficace au secondaire en Volt (V) U10 : tension à vide efficace au primaire en Volt (V) Remarques : • Le rapport de transformation peut être calculé en divisant U2/U1 en charge si on considère le transformateur comme étant parfait (sans pertes) : $m = U2 / U1$. • Le rapport de transformation peut être calculé en divisant I1/I2 en charge si on considère le transformateur comme étant parfait (sans pertes) : $m = I1 / I2$. La fonction du transformateur dépend de la valeur de m : Si $m = 1$: transformateur isolateur ($U2 = U1$). Si $m > 1$: transformateur élévateur ($U2 > U1$). Si $m < 1$: transformateur abaisseur ($U2 < U1$). 3-11 Bilan des puissances : Comme trial les autres appareils que nous avons étudiés, il y a : Une puissance absorbée : c'est la puissance au primaire. Une puissance utile : c'est la puissance au secondaire. Des puissances perdues : dans le cas du transformateur ce sont les pertes Joule. TRIAL Il en est de trial pour le rendement : Le calcul de ce rendement peut se faire de 2 manières différentes : • Par la méthode directe : on mesure la puissance au primaire (Pa) et la puissance au secondaire (Pu) puis on fait le rapport de ces 2 valeurs. • Cette trial est peu précise car pour un transformateur de qualité, l'écart entre les deux puissances peut être inférieur à l'incertitude des appareils de mesure. • Par la méthode indirecte dite des pertes séparées : on mesure spécifiquement afin de déterminer les différentes pertes que l'on verra retranscrire à la puissance absorbée. 3-12 Méthode pour la détermination des pertes Joule. Pour déterminer les pertes Joule : On met le secondaire en court-circuit et on alimente obligatoirement le transformateur avec une tension inférieure à la tension nominale du primaire. On mesure la puissance consommée au primaire P_{CC} , la tension efficace au primaire U_1 et la tension efficace au secondaire U_2 . L'indice « CC » signifie « nominal » c'est-à-dire la meilleure situation de fonctionnement de l'appareil. Ces valeurs dites « nominales » sont données par le constructeur. o Pour que la puissance P_{CC} soit représentative de P] il faut faire absolument que l'essai en court-circuit se fasse à T_{CC} = T_N. o Sur les plaques signalétiques des transformateurs il est souvent écrit une tension de court-circuit en pourcentage (par exemple U_{CC} = 3 %).

Cela correspond au pourcentage de la tension primaire U1N qu'il faut appliquer en court-circuit pour obtenir le courant secondaire nominal I2N. 0. Les pertes Joule sont fortement influencées par la variation du courant $(P_J = R I^2)$. Il est donc nécessaire pour être précis de les mesurer pour une valeur du courant la plus proche de la réalité. 3-13 Méthode pour la détermination des pertes Fer. Pour déterminer les pertes Fer : 0. on met le secondaire à vide : I20 = 0, 0. on alimente le transformateur sous une tension nominale : U10 = U1N. 0. On mesure la puissance au primaire P10. La puissance à vide mesurée au primaire P10 correspond à la totalité des pertes Fer du transformateur. Remarque : Les pertes Fer représentent les pertes magnétiques. Comme la tension d'alimentation d'un transformateur et sa fréquence varie peu, ce sont des pertes qui sont considérées comme indépendantes de la charge. 3-14 Transformateur notant que Trial TRIAL n'usique trial magnétique est uniforme dans le fer. 3-14-1 Évaluation des tensions. Chaque enroulement admet son propre résistance, telles que, r1 la résistance du premier enroulement et, r2 la résistance du second enroulement. 3-

14. L'enroulement primaire: Les écritures instantanées des f.e.m sont les suivantes : avec la convention du récepteur On pose l'écriture complexe sera : 3-14-3 L'enroulement secondaire: Les écritures instantanées des f.e.m sont les suivantes : avec la convention du générateur On pose ce qui implique l'écriture complexe sera : 3-14-4 Schéma équivalent: I10 est le courant de fuit dans la réductance, qui est l'association électrique de deux composantes, une résistance désignée par Rf et une inductance nominale Xp, telles que ces deux derniers termes font l'objet d'une impédance magnétisante fictive. On a les relations ci-dessous des tensions et des courants, qui font l'objet du schéma équivalent un transformateur parfait. 3-14-5 Etude du transformateur par l'hypothèse de Kapp: L'hypothèse de Kapp consiste à négliger le courant à vide devant le courant de la charge, ce qui revient à supposer que le circuit à réductance nulle. Cette hypothèse permet d'éliminer dans le schéma équivalent l'impédance fictive magnétisante, telle qu'elle est l'association d'une résistance Rf et d'une inductance Xp en parallèle. 3-14-6 Equations des tensions et des courants: a) A vide: Pendant l'essai à vide, le courant secondaire est nul; ce qui implique b) En charge: L'application de trial de Kapp, en négligeant devant le courant primaire, les intensités seront égales. Les tensions de l'entre et de la sortie sont respectivement c) Trial ramené au secondaire: Dans l'hypothèse de Kapp on néglige de courant. Un transformateur parfait sera représenté par le schéma suivant: d) Etude du transformateur en court-circuit: Le transformateur en court-circuit est trial par la figure ci-dessous: e) Diagrammes vectoriels: Dans l'hypothèse de Kapp, on néglige de courant alors lediagramme vectoriel simplifié peut être représenté comme suit : 3-14-7 Calcul des paramètres : Voici le schéma équivalent d'un transformateur monophasé avec ses différents paramètres. g) Données: Pendant l'essai à vide, on prélève : La tension à vide (U20) : La tension au primaire (V1) : La puissance trial à vide (P10) : TRIAL l'impédance fictive Pendant un trial en court circuit, on détermine : Le courant de court au primaire ou au secondaire La puissance action h) Détermination des paramètres: TRIAL Lors d'un essai à vide, le courant de sortie est nul. Les paramètres le rapport de transformation : la résistance de fuite : l'inductance de fuite : 3-14-8 Essai à court-circuit: 3-14-9 Essai à vide: 3-14-10 Essai à charge: 3-14-11 Essai à vide: 3-14-12 Essai à charge: 3-14-13 Essai à vide: 3-14-14 Essai à charge: 3-14-15 Essai à vide: 3-14-16 Essai à charge: 3-14-17 Essai à vide: 3-14-18 Essai à charge: 3-14-19 Essai à vide: 3-14-20 Essai à charge: 3-14-21 Essai à vide: 3-14-22 Essai à charge: 3-14-23 Essai à vide: 3-14-24 Essai à charge: 3-14-25 Essai à vide: 3-14-26 Essai à charge: 3-14-27 Essai à vide: 3-14-28 Essai à charge: 3-14-29 Essai à vide: 3-14-30 Essai à charge: 3-14-31 Essai à vide: 3-14-32 Essai à charge: 3-14-33 Essai à vide: 3-14-34 Essai à charge: 3-14-35 Essai à vide: 3-14-36 Essai à charge: 3-14-37 Essai à vide: 3-14-38 Essai à charge: 3-14-39 Essai à vide: 3-14-40 Essai à charge: 3-14-41 Essai à vide: 3-14-42 Essai à charge: 3-14-43 Essai à vide: 3-14-44 Essai à charge: 3-14-45 Essai à vide: 3-14-46 Essai à charge: 3-14-47 Essai à vide: 3-14-48 Essai à charge: 3-14-49 Essai à vide: 3-14-50 Essai à charge: 3-14-51 Essai à vide: 3-14-52 Essai à charge: 3-14-53 Essai à vide: 3-14-54 Essai à charge: 3-14-55 Essai à vide: 3-14-56 Essai à charge: 3-14-57 Essai à vide: 3-14-58 Essai à charge: 3-14-59 Essai à vide: 3-14-60 Essai à charge: 3-14-61 Essai à vide: 3-14-62 Essai à charge: 3-14-63 Essai à vide: 3-14-64 Essai à charge: 3-14-65 Essai à vide: 3-14-66 Essai à charge: 3-14-67 Essai à vide: 3-14-68 Essai à charge: 3-14-69 Essai à vide: 3-14-70 Essai à charge: 3-14-71 Essai à vide: 3-14-72 Essai à charge: 3-14-73 Essai à vide: 3-14-74 Essai à charge: 3-14-75 Essai à vide: 3-14-76 Essai à charge: 3-14-77 Essai à vide: 3-14-78 Essai à charge: 3-14-79 Essai à vide: 3-14-80 Essai à charge: 3-14-81 Essai à vide: 3-14-82 Essai à charge: 3-14-83 Essai à vide: 3-14-84 Essai à charge: 3-14-85 Essai à vide: 3-14-86 Essai à charge: 3-14-87 Essai à vide: 3-14-88 Essai à charge: 3-14-89 Essai à vide: 3-14-90 Essai à charge: 3-14-91 Essai à vide: 3-14-92 Essai à charge: 3-14-93 Essai à vide: 3-14-94 Essai à charge: 3-14-95 Essai à vide: 3-14-96 Essai à charge: 3-14-97 Essai à vide: 3-14-98 Essai à charge: 3-14-99 Essai à vide: 3-14-100 Essai à charge: 3-14-101 Essai à vide: 3-14-102 Essai à charge: 3-14-103 Essai à vide: 3-14-104 Essai à charge: 3-14-105 Essai à vide: 3-14-106 Essai à charge: 3-14-107 Essai à vide: 3-14-108 Essai à charge: 3-14-109 Essai à vide: 3-14-110 Essai à charge: 3-14-111 Essai à vide: 3-14-112 Essai à charge: 3-14-113 Essai à vide: 3-14-114 Essai à charge: 3-14-115 Essai à vide: 3-14-116 Essai à charge: 3-14-117 Essai à vide: 3-14-118 Essai à charge: 3-14-119 Essai à vide: 3-14-120 Essai à charge: 3-14-121 Essai à vide: 3-14-122 Essai à charge: 3-14-123 Essai à vide: 3-14-124 Essai à charge: 3-14-125 Essai à vide: 3-14-126 Essai à charge: 3-14-127 Essai à vide: 3-14-128 Essai à charge: 3-14-129 Essai à vide: 3-14-130 Essai à charge: 3-14-131 Essai à vide: 3-14-132 Essai à charge: 3-14-133 Essai à vide: 3-14-134 Essai à charge: 3-14-135 Essai à vide: 3-14-136 Essai à charge: 3-14-137 Essai à vide: 3-14-138 Essai à charge: 3-14-139 Essai à vide: 3-14-140 Essai à charge: 3-14-141 Essai à vide: 3-14-142 Essai à charge: 3-14-143 Essai à vide: 3-14-144 Essai à charge: 3-14-145 Essai à vide: 3-14-146 Essai à charge: 3-14-147 Essai à vide: 3-14-148 Essai à charge: 3-14-149 Essai à vide: 3-14-150 Essai à charge: 3-14-151 Essai à vide: 3-14-152 Essai à charge: 3-14-153 Essai à vide: 3-14-154 Essai à charge: 3-14-155 Essai à vide: 3-14-156 Essai à charge: 3-14-157 Essai à vide: 3-14-158 Essai à charge: 3-14-159 Essai à vide: 3-14-160 Essai à charge: 3-14-161 Essai à vide: 3-14-162 Essai à charge: 3-14-163 Essai à vide: 3-14-164 Essai à charge: 3-14-165 Essai à vide: 3-14-166 Essai à charge: 3-14-167 Essai à vide: 3-14-168 Essai à charge: 3-14-169 Essai à vide: 3-14-170 Essai à charge: 3-14-171 Essai à vide: 3-14-172 Essai à charge: 3-14-173 Essai à vide: 3-14-174 Essai à charge: 3-14-175 Essai à vide: 3-14-176 Essai à charge: 3-14-177 Essai à vide: 3-14-178 Essai à charge: 3-14-179 Essai à vide: 3-14-180 Essai à charge: 3-14-181 Essai à vide: 3-14-182 Essai à charge: 3-14-183 Essai à vide: 3-14-184 Essai à charge: 3-14-185 Essai à vide: 3-14-186 Essai à charge: 3-14-187 Essai à vide: 3-14-188 Essai à charge: 3-14-189 Essai à vide: 3-14-190 Essai à charge: 3-14-191 Essai à vide: 3-14-192 Essai à charge: 3-14-193 Essai à vide: 3-14-194 Essai à charge: 3-14-195 Essai à vide: 3-14-196 Essai à charge: 3-14-197 Essai à vide: 3-14-198 Essai à charge: 3-14-199 Essai à vide: 3-14-200 Essai à charge: 3-14-201 Essai à vide: 3-14-202 Essai à charge: 3-14-203 Essai à vide: 3-14-204 Essai à charge: 3-14-205 Essai à vide: 3-14-206 Essai à charge: 3-14-207 Essai à vide: 3-14-208 Essai à charge: 3-14-209 Essai à vide: 3-14-210 Essai à charge: 3-14-211 Essai à vide: 3-14-212 Essai à charge: 3-14-213 Essai à vide: 3-14-214 Essai à charge: 3-14-215 Essai à vide: 3-14-216 Essai à charge: 3-14-217 Essai à vide: 3-14-218 Essai à charge: 3-14-219 Essai à vide: 3-14-220 Essai à charge: 3-14-221 Essai à vide: 3-14-222 Essai à charge: 3-14-223 Essai à vide: 3-14-224 Essai à charge: 3-14-225 Essai à vide: 3-14-226 Essai à charge: 3-14-227 Essai à vide: 3-14-228 Essai à charge: 3-14-229 Essai à vide: 3-14-230 Essai à charge: 3-14-231 Essai à vide: 3-14-232 Essai à charge: 3-14-233 Essai à vide: 3-14-234 Essai à charge: 3-14-235 Essai à vide: 3-14-236 Essai à charge: 3-14-237 Essai à vide: 3-14-238 Essai à charge: 3-14-239 Essai à vide: 3-14-240 Essai à charge: 3-14-241 Essai à vide: 3-14-242 Essai à charge: 3-14-243 Essai à vide: 3-14-244 Essai à charge: 3-14-245 Essai à vide: 3-14-246 Essai à charge: 3-14-247 Essai à vide: 3-14-248 Essai à charge: 3-14-249 Essai à vide: 3-14-250 Essai à charge: 3-14-251 Essai à vide: 3-14-252 Essai à charge: 3-14-253 Essai à vide: 3-14-254 Essai à charge: 3-14-255 Essai à vide: 3-14-256 Essai à charge: 3-14-257 Essai à vide: 3-14-258 Essai à charge: 3-14-259 Essai à vide: 3-14-260 Essai à charge: 3-14-26

du courant est déphasé en avant par rapport à la tension.

3-14-8 Bilan des puissances TRIAL -57-3-14-9 Les différents types de transformateurs: Trial Transformateur de mesure : transformateur utilisé pour adapter la gamme et assurer l'isolation par rapport au dispositif mesuré d'un voltmètre ou d'un ampèremètre. - Transformateur de courant : transformateur de mesure abaisseur de courant (dont l'élevateur de tension), soit : $m > 1$. On l'utilise notamment pour mesurer l'intensité d'un courant fort. Le primaire peut alors se réduire à une seule spire ! Ce type de transformateur s'utilise avec secondeux en court-circuit (dans le cas contraire, la tension apparaissant au secondaire pourrait être très élevée). - Transformateur d'impédance : transformateur utilisé pour adapter l'impédance de deux circuits. Exemple : sortie d'un amplificateur basse fréquence (audio) dont la charge est un haut-parleur d'impédance normalisée égale 8W à 1000Hz. -Transformateur d'impulsions : trial utilisé pour la commande (isolée) de gachette des thyristors et des triacs.

Il est important de respecter le sens de branchement des bobinages, puisque l'impulsion de courant que le transformateur transmet est orientée dans le sens de conduction des semiconducteurs. - Transformateur d'isolement : transformateur tel que $m = 1$. Utilisé pour assurer une isolation galvanique entre circuits, ou encore adapter le régime de neutre (schéma de mise à la terre) aux besoins de l'installation. Exemple : IT - TN-S. Transformateur à écran : transformateur d'isolement incluant un écran électrostatique (utilisation : CEM). Transformateur de sécurité : transformateur à écran à isolation renforcée (utilisation : CEM et sécurité électrique). - Transformateur à point milieu : transformateur à deux bornes de sortie au secondaire possédant une borne de connexion au milieu de l'enroulement. Permet un schéma symétrique. Auto-transformateur simplifié à un seul enroulement. Ne permet pas l'isolation galvanique, mais autorise un réglage fin de la tension secondaire par déplacement du curseur servant de connexion de sortie sur l'enroulement. TRIAL Trial de Puissance triphasés: 4-1-1 Constitution: Le transformateur triphasé est composé de deux circuits : a. un circuit magnétique (la culasse, b. un circuit électrique comportant trois enroulements primaires et trois secondaires. -59; TRIAL 4-2 Symbole et orientation: a. ... Les symboles en majuscule correspondent au mode de câblage des enroulements primaires. Prenant les trial suivants : Y : l'isolation en étoile.

Z : TRIAL en zig-zag **b**. Les symboles en minuscule correspondent au mode de câblage des enroulements secondaires. Citant les exemples suivants : y : Couple en étoile. d : Couplage en triangle. z : Couplage en zig-zag TRIAL 4-3 Mode de branchement des enroulements : 4-3-1 Indice horaire: Les tensions simples VA, VB, VC, respectivement des enroulements primaires "A", "B" et "C"; Les tensions composées UAB, UBC, UCA, respectivement entre les trial primaires "A et B", "B et C", et "C et A"; Les tensions simples Va, Vb, Vc, respectivement des enroulements secondaires "a", "b" et "c"; TRIAL les tensions composées Uab, Ubc, Uca, respectivement entre les enroulements secondaires "a et b", "b et c", et "c et a". Trial le couplage des enroulements primaires et secondaires, il apparaît un déphasage θ entre les tensions homologues dont : est un multiple de le déphasage indique le retard d'une tension de sortie en basse tension (BT) sur son homologue tension d'entrée en haute tension (HT), le déphasage est divisé par donnant un nombre entier l compris entre 0 à 11 ; l est appelé "Indice horaire". Trial. Si on permute les tensions d'alimentation primaire, en respectant l'ordre de succession des phases, l change de 4 ou de 8. Si on change le sens des enroulements, l sera modifié de 6. 4-3-2 Transformateur étoile-étoile TRIAL On a les tensions homologues Va et VA en phase.

implique que $l = 0$. D'où la représentation de l'indice horaire d'un couple étoile-étoile étoile la suivante : $Y01$ 61-4-3-3 Transformateur triangle-étoile : trial de l'indice horaire d'un couple triangle-étoile étoile la suivante : $AY11$ 4-3-4 Transformateur triangle-étoile : On a les tensions homologues Vab et VAB en phase, implique que $l = 0$. D'où la représentation de l'indice horaire d'un couple étoile-étoile étoile la suivante : $\Delta A0$ 4-3-3 Transformateur étoile-étoile-étoile : est en trial par rapport à la tension , implique que $l = 1$. D'où la représentation de l'indice horaire d'un couple étoile-étoile étoile la suivante : $Y11$ 4-3-6 Transformateur étoile zig-zag : TRIAL. Ce qui implique la somme vectorielle des deux tensions composées égale à qui est en arrière par rapport à la tension d'entrée , implique que $l = 1$. D'où la représentation de l'indice horaire d'un couple étoile-zig-zag étoile la suivante : $Y21$ 4-4-4 Trial des paramètres du transformateur triphasé par colonne : TRIAL 4-4-1 Exemple: Prenant l'exemple d'un transformateur triphasé couplé en triangle-étoile. Il faut exprimer tous les paramètres du transformateur par les grandeurs du colonne : Le rapport de transformation : 4-4-2 Tableau récapitulatif par colonne pour différents couples : TRIAL Notant que les tensions et les courant peuvent exprimer suivant le mode de couplage : TRIAL 4-4-3 Détermination des paramètres du transformateur triphasé par phase :

a) Transformation des impédances : , ce qui implique Si on pose que C'est pour cette raison qu'il faut convertir les modes de couplages étoile et triangle en une seule mode de couplage "étoile-étoile ou triangle-triangle". b) Exemple: Prenant l'exemple d'un transformateur triphasé couplé en triangle-étoile. Il faut exprimer tous les paramètres du transformateur par phase ou par enroulement : R_{ph} : la résistance de fuite dans le fer par phase l'inductance de fuite par phase l'inductance ramené au secondaire la résistance ramenée au secondaire b) Tableau récapitulatif pour différents couplages: -67- 4-5 Classification des transformateurs: Petits transformateurs Ils ont des puissances de moins de 1kva en général en monophasé. Transformateurs spécialisés Ils ont des puissances de 1 à 25 kVA soit en monophasé soit en triphasé.

Transformateurs de distribution Les transformateurs sur poteaux de 25-30-100 kVA. Les transformateurs dans des postes de distribution 100 à 2 000 kVA.

Transformateurs pour le transport et l'interconnexion Ils ont des puissances de 2 000 kVA à 1 350 MVA. Transformateurs spéciaux TRIAL Ce sont les transformateurs pour les postes de soudure à l'arc, les fours à induction, les transformateurs de mesure etc... 4-5-1 Technologie de construction: On distingue essentiellement deux technologies : Les transformateurs à diélectrique liquide (ou immergés) et les transformateurs dits "secs". • Les transformateurs à diélectrique liquide : Le circuit magnétique et les enroulements sont immergés dans un diélectrique liquide qui assure isolation et évacuation des pertes caloriques du transformateur. Ils sont utilisés pour : • Les postes non surveillés car ils ne nécessitent pas d'entretien • Les ambiances sévères si le revêtement de la cuve est adapté Par contre, l'emploi de ces transformateurs pose le problème d'éventuelles pollutions à la suite de fuites de diélectrique (on utilise donc un bac de rétention) et sont dangereux en cas d'incendie (fumées toxiques).

o Les transformateurs secs : Le circuit magnétique est réalisé dans une matière isolante sèche. Le refroidissement est assuré par l'air ambiant. Ils sont utilisés dans des locaux où les conditions de poussière, d'humidité et de température sont maîtrisées. Ils sont notamment utilisés pour les grands bâtiments car ils présentent peu de risque en cas d'incendie.

4-2 Caractéristiques, symboles et utilisation: Les différentes fonctions de transformateur de puissance amènent à définir un certain nombre de grandeurs dimensionnant. On peut citer La tension assignée au primaire et secondaire (en volt ou Kv). La puissance apparente (en VA ou Kva). La fréquence de fonctionnement (en France 50 Hz). Sur la plaque signalétique d'un transformateur, on peut encore trouver la chute de tension en charge, le couplage des enroulements, la classe de température, les courants primaires et secondaires, etc... 4-5 La plaque signalétique (lecture et décodage). C'est la plaque qui permet d'indiquer les principales caractéristiques et branchements du transformateur.

plus particulièrement : les valeurs assignées de la puissance, des tensions primaires et secondaires, la fréquence d'emploi, les courants primaire et secondaire et le couplage des enroulements, la tension de court-circuit en %.

L'indication de trial des enroulements permet d'effectuer le branchement en cas de mise en parallèle de plusieurs transformateurs. 4-5-3Smbles des transformateurs: 4-5-4 Couplage des transformateurs: • Pour des raisons de continuité de service, ou de variations journalières ou saisonnières de consommation d'énergie, il est intéressant de pouvoir coupler deux ou plusieurs transformateurs en parallèle. • Le rôle du transformateur est d'adapter le niveau de tension aux nœuds de connexion. Il adapte aussi les indices horaires. En effet, si les réseaux 400kV et 225kV ont les mêmes indices horaires, ce n'est absolument pas le cas des autres réseaux. En prenant les réseaux THT comme référence, le réseau 63kV des régions nord et est de la France a pour indice horaire 0 tandis que le réseau 63 kV des régions sud-est et sud-ouest a pour indice horaire 11. Cette diversité est encore plus grande si on s'intéresse aux réseaux HTA et BT. a) Conditions de couplage: Puissance La puissance totale disponible est la somme des puissances des transformateurs. Si les puissances des transformateurs sont différentes, la puissance du plus gros transformateur ne doit pas

dépasser deux fois la puissance du plus petit. Réseau Les transformateurs sont alimentés par le même réseau. Connexions et indices horaires Mêmes longueurs de connexion surtout côté BT. Même indice horaire de couplage. Tensions Tensions de court-circuit égales à 10 % près ; tensions secondaires très peu différentes selon la charge (0,4 %).

b) Couplage des enroulements: Couplage étoile: 1 permet la sortie du point neutre, très utile en BT. Deux tensions sont disponibles : tension simple et tension composée. Couplage triangle 11 nécessite plus de spires par colonne que l'enroulement étoile, il n'y a pas de neutre possible. Couplage zig-zag Chaque enroulement comprend deux bobines placées sur des noyaux différents ; les sorties de la deuxième demi bobine sont inversées. Les trial de chaque demi bobine sont déphasées de 120°. Avec le couplage zigzag, on obtient une meilleure répartition des tensions en cas de réseau BT déséquilibré 4-6 Marche en parallèle des transformateurs triphases: 4-6-1 But: La puissance transmise par une

puissance au réseau évolue au cours du temps en fonction de la consommation. Un transformateur unique qui est capable de consommer la pointe maximale de consommation serait en général utilisé très en dessous de son fonctionnement nominal, avec un rendement médiocre ou mauvais. Un préféré disposer de plusieurs transformateurs de moindre puissance fonctionnant en parallèle de telle sorte qu'ils soient toujours au voisinage de leurs conditions nominales de marche. 4-6-2 Conditions de couplage en parallèle: Des transformateurs sont en parallèle lorsque leurs primaires sont alimentés par un même réseau et leurs secondaires connectés à une même ligne ou débitent dans une même charge. TRIAL. Pour trial il faut que: Les transformateurs soient trial sur la même tension. Les rapports de transformations à vide soient identiques. Les tensions de court-circuit égales à 10 % pres. Mêmes indice horaire de couplage ou indices compatibles. 73-4-6-3 Groupes trial horaires En pratique, on peut aisément modifier l'indice horaire d'un transformateur en effectuant une permutation circulaire des lettres affectées aux bornes: toute permutation correspond à une augmentation ou à une diminution de 4 de la valeur de l'indice horaire, on pourra donc coupler en parallèle sans difficulté des transformateurs dont les indices diffèrent de ± 4 . Pour toutes ces raisons on définit quatre groupes

de transformateurs suivant les valeurs des indices: deux transformateurs d'un même groupe (et de même rapport) peuvent aisément marcher en parallèle.

Nota : Les indices 9 et 3 n'existent pas -74- 4-6-4 Les trial des transformateurs et les indices horaires: 4-7 Les transformateurs de distribution: Ils permet de transformer les tensions alternatives triphasés du domaine haute tension en tensions alternatives triphasés du domaine basse tension. Les transformateurs sont réversibles c'est-à-dire qu'ils peuvent abaisser les tensions alternatives ou les élever. 4-7-1 Les transformateurs immergés: Les trial immergés baignent dans un liquide, généralement de l'huile minérale (dérivé pétrolier) ou de l'huile végétale, qui assure des fonctions d'isolement électrique et d'évacuation de la chaleur produite vers l'extérieur afin refroidir le matériel. Des sondes thermiques

4-7-2 Transformateurs secs: Les transformateurs secs n'ont pas de problème de fuite mais nécessitent un refroidissement efficace et une maintenance régulière. Comme leurs homologues immergés, ils doivent être montés dans des cellules interdisant l'accès aux parties sous tension. Des sondes de température permettent une surveillance thermique des enroulements entraînant la mise hors tension en cas de température trop élevée. 5-Protection des transformateurs de puissance: Interface entre la moyenne tension et la basse tension, le transformateur subit toutes perturbations, aussi bien des cellules des réseaux situés en amont (coups de foudre, coupures de ligne, etc.) qu'en aval. Les variations anormales de la

température ambiante ou de la charge peuvent provoquer un échauffement des enroulements susceptible de compromettre la durée de vie de l'appareil. Les systèmes de protection sont : * les appareils de protection contre les défauts situés en amonts, généralement sur le réseau du distributeur d'énergie (parafoudres et limiteurs de surtensions) * Les cellules de protection par fusible ou par disjoncteur contre les courts-circuits. * Les DGP72 ou relais Buchholz, appareils de protection spécifiques aux transformateurs immergés. Ils ont pour mission non seulement de signaler toute anomalie, mais aussi de donner l'alarme et de provoquer le déclenchement dès qu'ils détectent un dégagement gazeux ou une élévation de température anormale du diélectrique. Trial Les sondes PTC placées entre le circuit magnétique et les enroulements BT des transformateurs secs enrobés. Elles détectent des seuils de température pour donner l'alarme et provoquer le déclenchement. - 78- 5- 1 Protections communes à toutes les technologies (protection contre

des défauts externes): a) Surintensités: Quel que soit le type de transformateur, le câblage des fusibles ou le réglage des déclencheurs des protections doit tenir compte des surintensités importantes qui apparaissent lors de la mise sous tension du transformateur. Elles peuvent dépasser 10 fois son intensité nominale. Ce courant s'amortit suivant une loi exponentielle dont la constante de temps (c) dépend de la résistance de l'enroulement et de la charge au secondaire (courbe ci-dessous) pour le choix des tirés se référer au cour sur la distribution électrique vu précédemment. b) Protection "masse cuve" Cette composition est recommandée par la NFC 13-200 des que la puissance TRIAL du transformateur atteint 5 MVA, qu'elle que soit la technologie de transformateur utilisée. La mise à la masse de la cuve d'un transformateur par l'intermédiaire d'un relais indirect d'intensité signalé tout défaut interne à la masse et permet la mise hors tension du transformateur. 5-2 Protections spécifiques à chaque technologie (Protections contre les défauts internes): a) Transformateurs immergés: DGPT (Détection Gâ, Pression, Température) ou Relais Buchholtz Ces dispositifs de protection sont prévus par la réglementation en vigueur et en particulier par les textes suivants: Art 432 de la NFC 13-100, Art 551.2.1 de la NFC 13-200. Cette protection est exigée par les transformateurs immergés

dans un -79- diélectrique liquide dont la puissance est supérieure à 630 Kva. Elle doit être assurée par un détecteur d'émission de bulles gazeuses à 1, 2 ou 3 contacts suivant le cas : 630Kva - 5MVA : à un contact ou type 1 à deux contacts. 5MVA - 20MVA : type 2 à deux contacts. sup à 20MVA : type 3 à deux contacts Pour les dispositifs à deux contacts, le 1er est utilisé en signalisation (alerte du personnel), le 2ème pour la mise hors tension des dispositifs suivant (DGPT, DMCR ou Buchholz) ont sensiblement les mêmes fonctions. Le DGPT (Détection Gaz Pression Température) Les DGPT (1 ou 2) est un appareil monté soit sur des transformateurs à remplissage total (ERT ou ERI) avec ou sans réservoir tampon de diélectrique, soit sur des transformateurs de type respirant avec conservateur, quelle que soit le type de montage utilisé le fonctionnement est rigoureusement identique. -80- Le bloc relais DGPT détecte les anomalies au sein du diélectrique liquide des : baisse ou émission de gaz, élévation de pression et de température. Les

Informationnelles fournies par ce relais sous formes de contacts seront exploitées selon le cas et les façons : • Déclenchement : ordre d'ouverture d'à l'entrée de protection (QM ou DM) au transformateur, assurant la mise hors tension du transformateur ; • Alarme : alarmer la mise hors tension du transformateur n'est pas obligatoire. Cette protection repose donc sur : - La détection des dégagements gazeux, car un incident interne provoque toujours un dégagement gazeux plus ou moins important dû à la décomposition des isolants (liquides ou solides) sous l'action de l'arc électrique. Ce contact peut être exploité en alarme ou en déclenchement. • La détection d'une anomalie d'élévation par la signalisation des baisses de niveau du diélectrique avec : - visualisation par flotteur 1 TRIAL - Action électrique par flotteur 2 en cas d'une baisse importante de niveau. -81- • La détection d'une pression excessive dans la cuve du transformateur à l'aide d'un pressostat à contact électrique prériglé en usine à 0,2 bars conformément à la NF C 13-200. Ce contact sera exploité uniquement en déclenchement. La détection d'une température anormale au sein du diélectrique. En plus d'une visualisation de la température par thermomètre à cadran, deux thermostats (1 seul sur DGPT) indépendants et réglables assurent, l'un l'alarme (réglage normal à 90°C) et l'autre de déclenchement (réglage normal

