

P95.6

231

P95.5

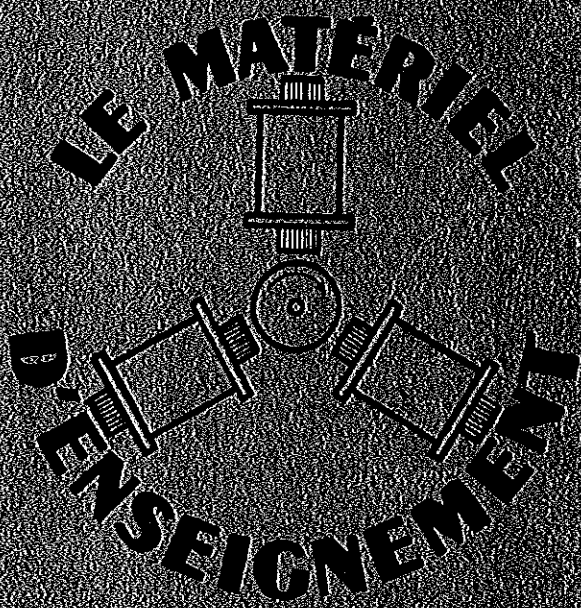
MAE 505

ESSAIS DE
Machines

FICHER D'EXPERIENCES

par
M. OUFAR
Laboratoire de Physique
Université d'Alger

édité par

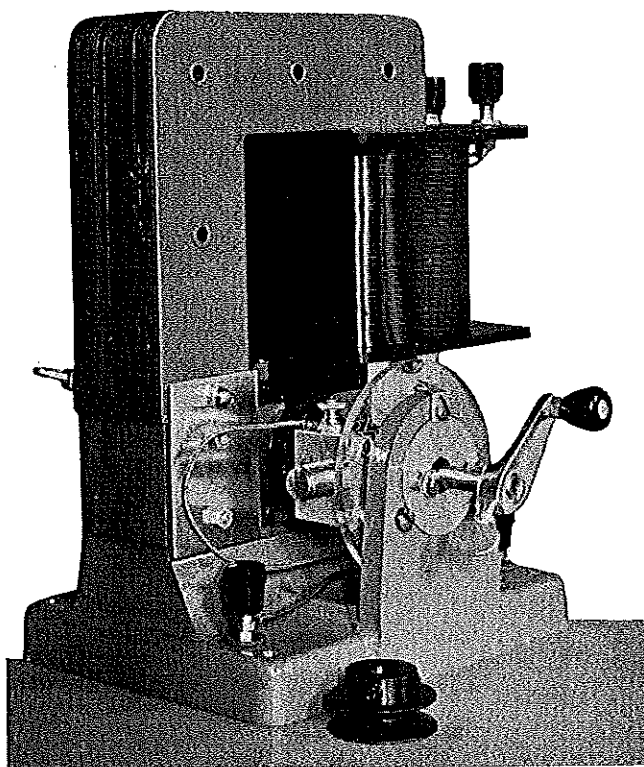


SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 2000000 FR.
11 AVENUE DU LYCÉE LAKANAL
BOURG LA REINE (Seine)

Imprimé en France par les Éditions de la Société Anonyme

M. ODIER
Laboratoire de physique
— Université d'Alger —

ESSAIS DE MACHINES



41 expériences fondamentales sur les machines tournantes réalisées avec la
MACHINE UNIVERSELLE L. M. E.

ÉDITIONS " LE MATÉRIEL D'ENSEIGNEMENT "
11, AVENUE DU LYCÉE-LAKANAL, BOURG-LA-REINE (Seine)

Tous droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays

PRÉFACE

Dans la diversité des matériels construits pour l'Enseignement, chaque Professeur peut souvent exercer son choix parmi plusieurs réalisations distinctes.

Au contraire, dans quelques domaines particuliers, les appareillages sont rarissimes, voire même inexistants. C'était le cas, jusqu'à présent, pour les machines tournantes. Leur intérêt pédagogique est cependant évident : la généralisation de ces machines est pour beaucoup dans notre progression technique ; les phénomènes fondamentaux mis en jeu sont les plus importants de l'Electricité et sont parfaitement connus depuis un demi-siècle ; enfin, le prestige du « moteur » est considérable auprès de nos jeunes élèves.

Cette lacune dans les réalisations s'expliquait néanmoins : l'ingénieur peut aisément concevoir un moteur de telle puissance, telle alimentation, telles conditions de démarrage et de fonctionnement... mais il est techniquement beaucoup plus délicat de choisir un compromis acceptable afin qu'une même machine fonctionne à volonté en moteur-shunt avec un accumulateur banal, puis en moteur-série avec le secteur alternatif usuel, puis en dynamo avec toutes les variantes possibles d'excitation, etc... Les besoins de l'Enseignement exigent en outre que chaque élément soit bien visible et facilement abordable, que les réglages soient aisés et très étendus. Si l'on ajoute à toutes ces conditions l'obligation d'utiliser essentiellement des éléments déjà existants, comme le remarquable circuit magnétique du transformateur démontable adopté par l'Education Nationale, on doit savoir gré à l'auteur de la machine réellement « universelle » qu'il a réalisée.

Le petit ouvrage que voici accompagne parfaitement cette machine. Il suffira de le feuilleter pour apprécier comme il convient la diversité et l'étendue des expériences facilement réalisables. Après l'étude des principes fondamentaux, l'auteur insiste — à juste raison — sur les possibilités considérables d'expériences *quantitatives* offertes par la machine, malgré la limitation volontaire de la puissance mise en jeu. C'est ici qu'il convient de rappeler la parole d'un des Français qui créèrent l'Electrotechnique : « Lorsque le choix est possible, il convient d'étudier la plus petite machine avec le plus grand nombre d'appareils de mesures. »

A. JOLY,

*Président du « Matériel d'Enseignement »,
Chargé de Conférences de Mesures Electriques
à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures.*

TABLE DES MATIERES

	PAGES
Préface	3
Table des matières	4
I. GENERALITES	
Exp. N° 1. « Pôles saillants » d'un induit. Mise en évidence	8
Exp. N° 2. Magnétisme rémanent. Renversement de son sens.....	9
Exp. N° 3. Réductance du circuit magnétique. Fuites. Entrefer	10
Exp. N° 4. Notion d'ampères-tours. Flux additifs et différentiels	11
Exp. N° 5. Induit considéré comme le primaire d'un transformateur. Recherche de la ligne neutre (1)	12
Exp. N° 6. Induit considéré comme le secondaire d'un transformateur. Recherche de la ligne neutre (2). Principe du moteur à répulsion	13
Exp. N° 7. Rotor fonctionnant à la fois comme induit et comme inducteur en courant continu. Importance du calage des balais (1)	14
Exp. N° 8. Rotor fonctionnant à la fois comme induit et comme inducteur en courant alternatif. Importance du calage des balais (2)	15
Exp. N° 9. « Pôles de commutation »	16
Exp. N° 10. Importance de la pression des balais sur le collecteur	17
Exp. N° 11. Importance de la propreté du collecteur	18
II. GENERATRICES	
Observations générales sur l'utilisation de la machine LME en génératrice.....	20
Exp. N° 12. Génératrice à excitation par aimant permanent (magnéto).....	22
Exp. N° 13. Génératrice à excitation séparée. Notion d'ampères-tours	23
Exp. N° 14. Génératrice à excitation séparée. Caractéristique externe	24
Exp. N° 15. Dynamo-série. Amorçage : Importance du magnétisme rémanent....	25
Exp. N° 16. Dynamo-série. Amorçage : Importance du circuit extérieur	26
Exp. N° 17. Dynamo-série. Caractéristique externe	27
Exp. N° 18. Dynamo-shunt. Amorçage : Importance du magnétisme rémanent....	28
Exp. N° 19. Dynamo-shunt. Amorçage : Importance du circuit extérieur	29
Exp. N° 20. Dynamo-shunt. Caractéristique externe	30
Exp. N° 21. Charge d'accumulateurs	31
Exp. N° 22. Dynamo-compound. Caractéristique externe	32
III. MOTEURS EN COURANTS CONTINUS	
Exp. N° 23. Force contre-électromotrice d'un moteur	34
Exp. N° 24. Moteur à excitation par aimant permanent. Réaction d'induit.....	35
Exp. N° 25. Moteur à excitation séparée	36
Exp. N° 26. Moteur série en continu basse tension. Sens de rotation.....	37
Exp. N° 27. Moteur série en continu basse tension. Démarrage et variations de la vitesse par résistance additionnelle	38
Exp. N° 28. Moteur série en continu basse tension. Variations de vitesse par modification du champ inducteur	39
Exp. N° 29. Moteur shunt en continu basse tension. Variations de la vitesse et du couple en fonction du champ inducteur	40
Exp. N° 30. Moteur shunt en continu basse tension. Importance de la self induction	41
Exp. N° 31. Moteur shunt en continu basse tension. Conditions de démarrage....	42
Exp. N° 32. Moteur série en continu basse tension. Démarrage et utilisation	43
Exp. N° 33. Moteur compound	44

IV. N

Exp. N

Exp. N

Exp. N

Exp. N

Exp. N

Exp. N

Exp. N

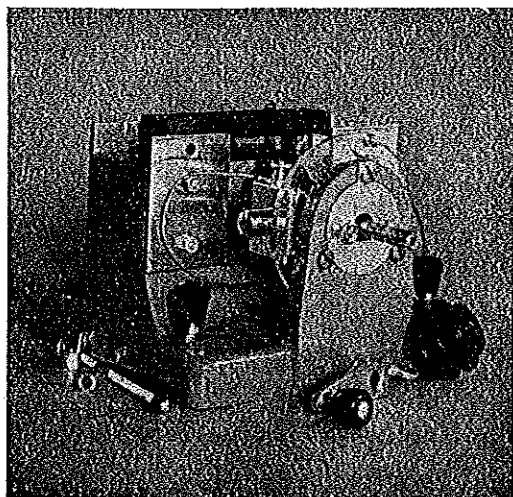
Exp. N

OBSEI

MACF

IV. MOTEURS EN COURANTS ALTERNATIFS

Exp. N° 34. Moteur série en alternatif basse tension	46
Exp. N° 35. Moteurs « universels » sur secteur alternatif.....	47
Exp. N° 36. Moteurs « universels » sur secteur alternatif. Démarrage et réglage..	48
Exp. N° 37. Moteurs « universels » sur secteur alternatif. Modification du champ inducteur	49
Exp. N° 38. Moteur shunt en alternatif. Difficultés de fonctionnement	50
Exp. N° 39. Moteur shunt sur secteur alternatif. Mise en phase des intensités dans l'inducteur et dans l'induit	51
Exp. N° 40. Moteur à répulsion en alternatif basse tension.....	52
Exp. N° 41. Moteur à répulsion sur secteur alternatif. Conditions de démarrage et de fonctionnement	53
OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI SIMULTANE DE PLUSIEURS MACHINES, COUPLAGES DE DYNAMOS ET COUPLAGES DE MOTEURS	55



I

GÉNÉRALITÉS

Exp. n° 1.

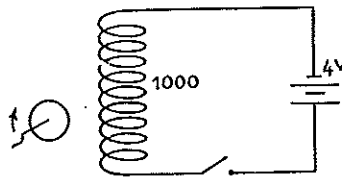
Objet de l'expérience :

Mise en évidence des « pôles saillants » d'un induit.

Liste du matériel et montage :

Bobine 1 000 spires MAE 543 sur circuit magnétique MAE 520. Accumulateurs 4 ou 6 volts MAE 351. Interrupteur MAM 18.

Position indifférente des balais de la machine MAE 500. Manivelle en bout d'arbre.



Expérience :

1° Interrupteur ouvert : la manivelle permet de faire tourner sans effort le rotor.

2° Interrupteur fermé : on perçoit très nettement la résistance périodique tendant à s'opposer à la rotation. Faire remarquer que l'on rencontre 12 fois cette résistance pour un tour de manivelle.

— Un milliampèremètre à zéro central disposé aux bornes de l'induit met en évidence une impulsion chaque fois que l'on passe devant un « pôle saillant ». Le sens de cette impulsion dépend à la fois de la polarité à la bobine et du sens de rotation.

Conclusions :

Contrôler l'existence de 12 encoches visibles à la périphérie du rotor.

Remarquer accessoirement les masses d'équilibrage, en matériaux non-ferromagnétiques, réparties dans les encoches du rotor pour assurer rigoureusement l'équilibrage statique et dynamique de celui-ci. Observer leur répartition.

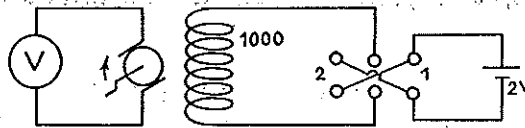
Exp. n° 2

Objet de l'expérience :

Magnétisme rémanent ; renversement de son sens.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipée d'une bobine 1 000 spires ; accumulateur MAE 351 (2 volts) ; inverseur MAM 20 ; manivelle sur induit ; voltmètre continu à zéro central (MAM 270, par exemple) ;



Expérience :

Balais sur ligne neutre. (Cf. expériences N°s 5-6.)

1° Fermer une seconde l'inverseur en position 1, puis l'ouvrir. Faire ensuite tourner l'induit ; noter la déviation du voltmètre et repérer son sens en fonction du sens de rotation choisi.

2° Fermer une seconde l'inverseur en position 2, puis l'ouvrir. Faire tourner l'induit comme précédemment ; la polarité de la f.e.m. aux bornes de l'induit est inversée.

Conclusions :

La bobine n'étant aucunement alimentée lorsqu'on observe la f.e.m. produite, le champ inducteur est uniquement dû au magnétisme rémanent (« aimantation résiduelle »). Le sens de celui-ci dépend des états antérieurs (phénomène d'hystérésis) ; en croisant la polarité à la bobine, on a inversé le sens du magnétisme rémanent.

On pourra utiliser cette expérience pour inverser le sens du magnétisme rémanent et permettre l'amorçage de certains montages de la machine en dynamo.

Exp. n° 3

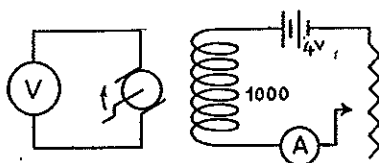
Objet de l'expérience :

Réductance du circuit magnétique. Fuites magnétiques. Entrefer.

Liste du matériel et montage :

Réaliser avec la machine une dynamo à excitation indépendante : par exemple, un moteur d'entraînement 1 450 t/mn ; bobine 1 000 spires ; accumulateurs MAE 351 (4 volts) ; rhéostat MAE 312 ; ampèremètre continu (50 mA) ; voltmètre continu (7,5 ou 10 volts).

Fixer le circuit magnétique par une seule vis ; du côté où le circuit magnétique ne porte pas de bobine, interposer 4 épaisseurs de carton entre son extrémité et la pièce polaire.



Expérience :

Pour une vitesse de rotation donnée ; un calage de balais invariable (ligne neutre, par exemple) ; une intensité donnée dans le circuit inducteur, noter les valeurs de V aux bornes de l'induit lorsque l'on retire successivement les 4 épaisseurs de carton.

Valeurs numériques

vitesse d'entraînement 1 450 t/mn ;

balais sur ligne neutre ;

$I = 50 \text{ mA}$ dans 1 000 spires ;

4 cartons de 8/10 mm d'épaisseur ;

on relève successivement les f.e.m. suivantes :

2,4 volts

2,7 »

3,1 »

3,8 »

5,4 »

Conclusions :

Le courant dans l'inducteur reste invariable, mais le champ inducteur dépend de la réductance du circuit magnétique. Les épaisseurs de carton jouent le rôle d'un « entrefer » ; les fuites magnétiques correspondantes diminuent très sensiblement le rendement de la machine.

Faire observer les dimensions très réduites de l'inévitable entrefer entre l'induit et les pièces polaires.

Variante : Si pour simplifier on se contente d'entraîner le rotor par la manivelle montée en bout d'arbre, selon le schéma, on doit utiliser comme voltmètre un appareil très sensible (MAM 250 ou 260).

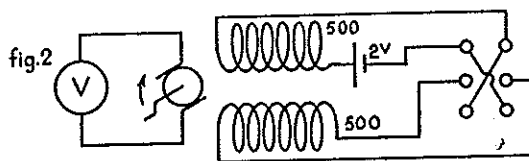
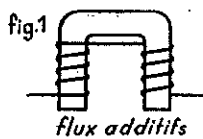
Objet de l'expérience :

Notion d'« ampères-tours ».
Flux additifs et différentiels.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1000 et de la bobine 500 spires.
Ne pas visser le circuit magnétique sur le support des pièces polaires, afin de pouvoir soulever le circuit magnétique. Manivelle sur induit; accumulateur MAE 351 (2 volts); inverseur MAM 20; voltmètre à zéro central (MAM 270, par exemple).

N'utiliser que 500 spires de la bobine 1000.
Balais sur ligne neutre.



Expérience :

1° Inverseur MAM 20 ouvert, faire tourner l'induit; la résistance que l'on rencontre est pratiquement nulle; observer la petite déviation du voltmètre (f.e.m. correspondant au magnétisme rémanent; cf. exp. N° 2).

2° Fermer l'inverseur en position 1; on observera :

- une résistance importante à la rotation (cf. ex. N° 1, « Pôles saillants »),
- une valeur élevée de la f.e.m. pendant la rotation,
- le circuit magnétique est « collé » sur les pièces polaires et ne peut être soulevé,
- une étincelle à l'ouverture de l'inverseur.

3° Dans l'autre position de l'inverseur, on note :

- pas de résistance mécanique,
- pas de f.e.m. importante,
- on peut soulever le circuit magnétique,
- pas d'étincelle à l'ouverture.

Conclusions :

Le même courant parcourt les deux bobines 500 spires; les effets magnétiques s'ajoutent ou se détruisent suivant le sens des connexions. Le sens des enroulements étant visible sur les bobines, on vérifiera, par exemple, que les effets magnétiques s'ajoutent dans le sens schématisé fig. 1.

Faire remarquer que les deux bobines sont constituées par des fils de diamètres différents; leurs résistances sont différentes; mais seuls comptent ici :

- l'intensité,
- son sens,
- le nombre de spires.

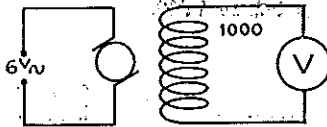
Exp. n° 5

Objet de l'expérience :

Induit considéré comme le primaire d'un transformateur.
Recherche de la ligne neutre (I).

Liste du matériel et montage :

Machine sur le circuit magnétique équipé de la bobine 1000 spires ; voltmètre alternatif 30 volts aux bornes de la bobine ; rotor alimenté sous 6 volts 50 Hz (par exemple avec MAE 335 ou MAE 334).



Expérience :

Le rotor ne tourne pas. Pour chaque position repérée de la couronne porte-balais, on notera la tension alternative V aux bornes de la bobine 1000 spires. Au cours d'une rotation complète de la couronne, on observe deux fois la valeur $V=0$ et deux fois une valeur maximum V voisine de 18 volts. Les maxima sont décalés de 90° par rapport aux valeurs nulles, ces dernières précisant l'orientation exacte de la « ligne neutre » de la machine, qui se trouve à 15° environ de l'axe de symétrie géométrique.

Conclusions :

Souligner que l'induit se comporte ici comme l'enroulement primaire d'un transformateur.

La recherche de la ligne neutre revient à celle d'un coefficient d'induction mutuelle nul entre ce primaire et la bobine inductrice utilisée, comme secondaire.

Noter très exactement la position trouvée de la ligne neutre, à la comparer avec celle de l'expérience suivante. Cette position sera très souvent indispensable pour d'autres expériences.

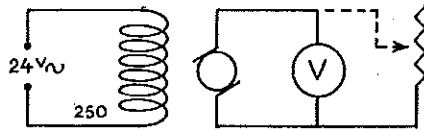
Variantes : La détermination (beaucoup plus fine) de la ligne neutre peut s'effectuer également par bien d'autres méthodes, applicables à la machine universelle L.M.E. ; cf. par exemple, L. VERAÏN, Bull. Ass. I.E.N., août 1911.

Objet de l'expérience :

- Induit considéré comme le secondaire d'un transformateur.
- Recherche de la ligne neutre (II).
- Principe du moteur à répulsion.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 250 spires. Alimentation sous 24 volts alternatifs 50 Hz, par exemple avec MAE 335. Voltmètre alternatif 30 volts aux bornes de l'induit.



Expérience :

1° Balais sur ligne neutre. Le rotor ne tourne pas. La tension alternative mesurée aux balais est nulle : les ampères-tours de l'induit sont symétriquement disposés et leur résultante est nulle.

En décalant les balais progressivement, observer que la tension mesurée augmente, passe par un maximum voisin de 25 volts pour un décalage d'environ 90°, diminue ensuite et s'annule pour 180°. On a l'équivalent d'un transformateur dont le secondaire « orientable » permet de faire varier le coefficient d'induction mutuelle de 0 à une valeur maxima.

2° L'induit ne débite que le courant (négligeable) nécessaire pour la mesure : c'est ici un secondaire en circuit ouvert (« à vide »). Pour une position quelconque des balais, vérifier que la f.e.m. alternative recueillie est proportionnelle à la f.e.m. appliquée à la bobine inductrice, cette dernière jouant le rôle de primaire.

3° La f.e.m. alternative aux bornes de l'induit est susceptible de débiter un courant (fonctionnement du transformateur « en charge »). Relier les bornes de l'induit par un rhéostat de quelques ohms (MAE 314) : la f.e.m. diminue et le rotor démarre : c'est le moteur « à répulsion ».

Conclusions :

L'induit et l'inducteur peuvent être considérés comme deux enroulements d'un transformateur ; le décalage des balais permet de faire varier le coefficient d'induction mutuelle des deux enroulements.

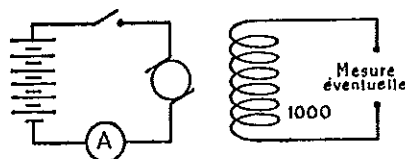
Exp. n° 7

Objet de l'expérience :

Rotor fonctionnant à la fois en induit et en inducteur en courant continu. Importance du calage des balais (I).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires ; Accumulateurs MAE 351 (12 volts) ; ampèremètre continu 1,5 ampères ; interrupteur MAM 18 (ou, mieux, inverseur MAM 20).



Expérience :

- 1° Balais sur ligne neutre ; on ferme l'interrupteur et l'intensité est voisine de 900 mA ; le rotor ne tourne pas.
- 2° On décale les balais de 20° environ dans un sens repéré ; le rotor démarre dans ce sens et l'intensité diminue jusque vers 600 mA.
- 3° On inverse la polarité de la batterie d'accumulateurs ; le rotor continue à tourner dans le même sens.
- 4° En ramenant les balais sur la ligne neutre, le rotor s'arrête ; en les décalant de 20° environ dans l'autre sens, le rotor démarre dans l'autre sens.

Conclusions :

La dissymétrie créée par le décalage des balais engendre dans le circuit magnétique un flux dont le sens est imposé par le sens du décalage ; ce flux joue le rôle d'inducteur. En croisant la polarité, on inverse à la fois le courant dans l'induit et le flux inducteur ; d'où la conservation du sens de rotation.

Bien souligner que la bobine 1 000 spires n'a aucun rôle d'inducteur. Elle permet les mesures :

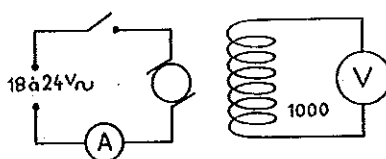
- au galvanomètre balistique ou au fluxmètre (à la fermeture et à l'ouverture de l'inverseur) ;
- à l'oscillographe cathodique : on observe les courants induits HF de commutation.

Objet de l'expérience :

Rotor fonctionnant à la fois comme induit et comme inducteur en courant alternatif.
Importance du calage des balais (II).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires ; source de tension alternative 50 Hz, 18 à 24 volts (rototransfo MAE 335, par exemple), Interrupteur MAM 18. Ampèremètre alternatif 1,5 ampères ; voltmètre alternatif 50 volts.

**Expérience :**

1° Balais sur ligne neutre : on ferme l'interrupteur et le rotor ne tourne pas. On note une intensité voisine de 950 mA dans le rotor pour 24 volts de MAE 335 ; la tension aux bornes de la bobine 1 000 spires est nulle.

2° Décaler de 20° environ les balais dans un sens repéré : le rotor démarre seul, dans ce sens. L'intensité devient 750 mA. On voit apparaître une tension alternative pouvant dépasser 40 volts aux bornes de la bobine 1 000 spires.

3° Ramener les balais sur la ligne neutre comme en 1° ; puis décaler de 20° dans l'autre sens : le rotor démarre en sens inverse de précédemment, et l'on observe à nouveau l'existence d'une f.e.m. alternative aux bornes de la bobine.

Conclusions :

En 1°, les balais étant sur la ligne neutre, les ampères-tours dans l'induit sont symétriquement répartis ; le flux résultant dans le circuit magnétique est nul (pas de f.e.m. à la bobine). En 2°, on introduit par le décalage une dissymétrie dans les ampères-tours de l'induit ; la résultante n'est plus nulle et un flux alternatif existe dans le circuit magnétique ; le champ ainsi créé agit comme inducteur sur l'induit.

Bien souligner que le même montage fonctionne identiquement sans aucune bobine sur le circuit magnétique ; la bobine 1 000 spires ne sert qu'aux mesures. Si on la relie à un oscillographe cathodique, on observe :

En 1 : aucune f.e.m.

En 2 : la superposition d'une tension alternative sinusoïdale 50 Hz et des accidents H.F. de commutation, ces derniers disparaissant si l'on maintient le rotor arrêté.

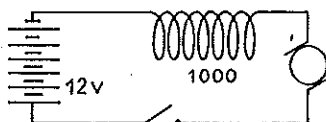
Exp. n° 9

Objet de l'expérience :

Notion de « pôles de commutation ».

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires ; accumulateurs MAE 351 (12 volts). Ne pas mettre de deuxième bobine sur le circuit magnétique ; interrupteur MAM 18 ; barreau aimanté MAE 203.



Expérience :

Les balais étant sur la ligne neutre, fermer l'interrupteur ; le moteur démarre (cf. l'exp. N° 28, « moteur série en courant continu »).

Décaler les balais en arrière de la ligne neutre suivant le sens de la rotation ; apprécier la vitesse de rotation atteinte dans la marche à vide par la hauteur du son produit.

Entre la base de la bobine 1 000 spires et la corne polaire opposée, présenter l'extrémité du barreau aimanté tenu verticalement. Pour une polarité de celui-ci sur la génératrice correspondant au balai supérieur, on note une accélération de l'induit ; pour la polarité opposée, un ralentissement.

Conclusions :

Dans les machines de puissance importante, on est conduit à prévoir des pôles auxiliaires de commutation pour diminuer la réaction d'induit et surtout pour annuler la f.e.m. des spires commutées ; bien entendu, ces pôles auxiliaires ne sont pas des aimants permanents, mais des enroulements parcourus par le courant de l'induit. Ici, le rôle d'un flux supplémentaire décalé par rapport au flux principal est mis en évidence par la variation de vitesse de la machine fonctionnant en moteur.

Objet de l'expérience :

Importance de la pression exercée par les balais sur le collecteur.

Liste du matériel et montage :

Réaliser le montage de « moteur-série en alternatif basse tension » par exemple (exp. N° 34).
Caler les balais de telle sorte que l'un d'eux soit facilement accessible.

Expérience :

Moteur en route, on apprécie la vitesse de rotation par la hauteur du son produit. Dévisser lentement la vis de pression du balai : noter la petite augmentation de vitesse rendue perceptible par la hauteur plus élevée du son. Ne pas omettre de revisser la vis après l'expérience.

Conclusions :

Les solutions adoptées dans toutes les machines à collecteur sont obligatoirement des compromis tenant compte de deux exigences contradictoires :

- un bon contact électrique du charbon avec les lames du collecteur est indispensable ;
- le frottement mécanique du charbon sur le collecteur fait partie des « pertes par frottement ».

La machine montée en moteur-série convient bien à cette expérience, en raison du faible couple moteur dans la marche « à vide » ; il suffit d'une modification discrète du couple résistant (modification de pression d'un balai) pour engendrer une variation de vitesse appréciable.

Exp. n° 11

Objet de l'expérience :

Importance de la propreté du collecteur.

N.B. — Après quelques heures de fonctionnement, surtout en montages et régimes de fonctionnement « anormaux », le collecteur est sali (traînées noires laissées par les charbons sur les lames de cuivre). Le nettoyage n'offre aucune difficulté (papier de verre très fin) ; on en profitera pour montrer l'importance de l'état du collecteur.

Expérience :

Réaliser, par exemple, le montage de moteur série en alternatif basse tension (exp. N° 34).

Décaler les balais afin que le collecteur soit abordable ; apprécier par la hauteur du son la vitesse du moteur à vide. En cours de fonctionnement, appuyer très légèrement sur le collecteur un rectangle de papier de verre très fin (000) et très propre. La vitesse diminue pendant ce nettoyage (couple résistant), mais dès que l'on supprime ce terme supplémentaire de frottement, la vitesse de rotation dépasse la valeur initiale.

Conclusions :

Dans les machines à collecteur, les balais sont les seules pièces pratiquement susceptibles d'usure et nécessitant un entretien.

Variante : Lorsque l'on est amené à disposer dans la machine des balais « neufs », il est normal d'observer pendant les premières minutes de fonctionnement des « crachements aux balais » traduisant le rodage du charbon qui doit épouser la forme exacte du collecteur. Réaliser, par exemple, le montage de la machine en moteur série sur secteur alternatif (exp. N° 35) et pratiquer plusieurs nettoyages successifs du collecteur, comme ci-dessus.

II

GÉNÉRATRICES

OBSERVATIONS GENERALES SUR L'UTILISATION DE LA MACHINE LME EN GENERATRICE

Outre les expériences « qualitatives » mettant en évidence les principales propriétés de chaque type de machine, il est toujours intéressant de relever des valeurs numériques permettant, par exemple, de tracer les courbes caractéristiques de chaque montage. De telles études quantitatives sont réalisables en toute rigueur sur cette machine.

Les expériences décrites ici sont néanmoins très simplifiées en raison des circonstances d'utilisation où se trouvera le plus souvent cette machine. Il est rare que l'on ait à la fois le temps nécessaire et tout l'appareillage auxiliaire indispensable pour pousser complètement l'étude d'un type de machine ; en particulier, on dispose généralement d'un nombre restreint d'appareils de mesure. Le relevé des caractéristiques externes d'une dynamo compound réalisée avec la machine demanderait, pour être complet, deux ampèremètres, un voltmètre, un tachymètre et un moteur d'entraînement à vitesse réglable de puissance déjà considérable, avec une mesure du couple transmis. Ces expériences sont réalisables ; l'on sera même surpris du rendement mesuré de la machine.

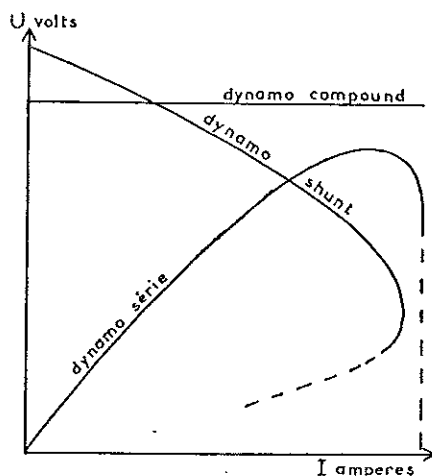
Mais, par principe, nous avons réduit au strict minimum le matériel auxiliaire indispensable. Un ampèremètre et un voltmètre suffisent pour les principales mesures si l'on se limite à l'étude quantitative des machines réalisées pour une seule vitesse d'entraînement pratiquement constante.

ENTRAINEMENT DE LA MACHINE MONTÉE EN GENERATRICE :

Les expériences décrites ont été, pour la plupart, mises au point avec un moteur d'entraînement asynchrone monophasé de 1/4 CV, dont la vitesse de rotation peut être considérée comme constante pendant toutes ces expériences et égale à 1450 t/mn. Des mesures rigoureuses ont été pratiquées ; elles ont montré que la vitesse passe de 1460 t/mn en marche « à vide » à 1415 t/mn à pleine charge : la variation est donc réellement négligeable et l'on peut considérer la vitesse d'entraînement comme constante dans toutes les mesures. Ce moteur a été volontairement utilisé parce que du type le plus répandu dans les Laboratoires, pour l'entraînement des petites machines-outils (tours d'établi, perceuses, meules, etc...) ; il sera donc possible à beaucoup d'utiliser un moteur d'entraînement qu'ils possèdent déjà, et de retrouver les valeurs numériques indiquées dans chaque cas. La liaison mécanique à prévoir est généralement simple ; on doit préférer le joint direct (Paulstra) à la liaison par courroie et poulies, celle-ci risquant d'introduire un glissement variable lorsque l'on demande une puissance appréciable.

Toutefois, dans le cas où l'utilisateur ne disposerait pas déjà d'un moteur d'entraînement, nous croyons préférable de lui conseiller l'acquisition d'un moteur de type différent que nous avons choisi pour sa vitesse de rotation plus élevée. Ce moteur (MAE 510) est en effet un moteur asynchrone monophasé de 1/6 CV, mais sa vitesse de rotation, égale à 2850 t/mn, permet d'obtenir de la machine MAE 500 des valeurs numériques pratiquement doublées dans toutes les études de génératrices. Bien entendu, ce moteur MAE 510 est d'un type industriel, et, comme tel, susceptible de s'adapter à son tour à tous les emplois possibles.

Il est inévitable que des vibrations mécaniques se produisent dans certaines expériences. Chaque fois qu'un accouplement mécanique est nécessaire entre la machine LME et une autre machine (moteur par exemple), on prendra soin de fixer le socle par des vis passant dans les quatre trous prévus. Les vitesses de rotation et les couples mis en jeu ne sont pas négligeables ; nous insistons sur la fixation indispensable de la machine dans ces montages. Il est également nécessaire de visser les tiges de fixation du circuit magnétique démontable.

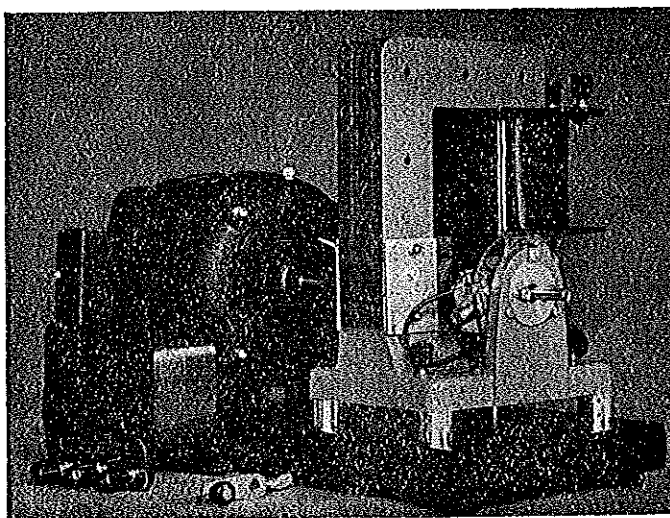


ALLURE DES COURBES :

Ce Fichier d'expériences n'ayant aucunement la prétention de constituer un cours d'électrotechnique, nous nous bornons à rappeler ci-contre l'allure générale des courbes « caractéristiques externes » relatives aux trois principaux types de dynamos auto-excitatrices. Chaque courbe caractéristique est obtenue avec les valeurs numériques de U et I relevées simultanément pour diverses valeurs données à la résistance de charge (circuit d'utilisation).

Il est indispensable que la vitesse de rotation imposée au rotor de la machine soit connue, et, de préférence, constante pendant chaque série de mesures. En effet, les tensions mesurées U sont, en première approximation, proportionnelles à la vitesse de rotation : d'où l'intérêt du moteur d'entraînement MAE 510, dont la vitesse pratiquement constante est égale à 2 850 t/mn.

La machine universelle MAE 500, associée au moteur d'entraînement MAE 510. Les deux appareils sont montés sur un socle commun, livré avec le moteur.



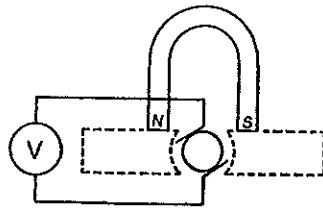
Exp. n° 12

Objet de l'expérience :

Génératrice à excitation par aimant permanent (magnéto).

Liste du matériel et montage :

Ensemble « machine » sans circuit magnétique MAE 520 ni bobines ; barreau aimanté MAE 203 ou 203 N, ou aimant en fer à cheval MAE 202. Moteur d'entraînement. Voltmètre à zéro central, par exemple 7,5-0-7,5.



Expérience :

Moteur d'entraînement en route, vérifier l'indication « 0 » du voltmètre disposé aux bornes de l'induit. Disposer l'aimant en fer à cheval MAE 202 et noter la déviation et son sens ; croiser cet aimant et noter la déviation inverse.

Si l'on emploie les barreaux aimantés MAE 203 ou 203 N, on observera les mêmes résultats ; il convient toutefois de prévoir une paire de cales d'épaisseur en matériau ferro-magnétique (deux gros écrous conviennent parfaitement) pour surélever le barreau aimanté et éviter tout contact avec le rotor. Cf. exp. N° 24, page 35.

Conclusions :

Valeurs numériques relevées :

pour $V = 1\,450$ t/mn, $U = \pm 6$ volts,

pour $V = 2\,250$ t/mn, $U = \pm 10$ volts,

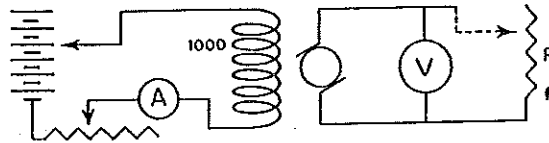
suivant orientation du barreau inducteur. On notera également la diminution progressive de U en fonction du ralentissement de la machine lorsqu'on interrompt le moteur d'entraînement. La valeur de U dépend également du calage des balais.

Objet de l'expérience :

Génératrice à excitation séparée. Notion d'« ampères-tours ».

Liste du matériel et montage :

Machne avec circuit magnétique MAE 520 équipé d'une bobine 1 000 spires et d'une bobine 500 spires. Accumulateurs MAE 351 (6 volts). Ampèremètre (2,5 ampères, par exemple MAM 270 sur MAM 272) et voltmètre 75 ou 150 volts. Moteur d'entraînement à vitesse constante. Rhéostat MAE 312 ($R = 150$ ohms, par exemple).

**Expérience :**

Balais sur ligne neutre.

Induit entraîné à 1 450 t/mn, par exemple.

En prenant successivement 2, 4 et 6 volts sur MAE 351, on observe les tensions correspondantes aux bornes de l'induit (28 volts, 50 volts, 67 volts dans le cas de l'inducteur 1 000 spires et d'une résistance de charge égale à 150 ohms).

Noter l'intensité dans l'inducteur : en déduire les « ampères-tours » correspondants. Vérifier, par exemple, que toutes choses égales d'ailleurs, 1 ampère dans 500 spires, engendrent la même f.e.m. que 0,5 ampère dans 1 000 spires, que 2 ampères dans 1/2 bobine 500 spires, etc...

Conclusions :

1° Etudier la proportionnalité entre les ampères-tours inducteurs et les f.e.m. aux bornes de l'induit à vide ;

2° Avec la résistance de charge aux bornes de l'induit, et en disposant un ampèremètre supplémentaire, relever la caractéristique externe $U = f(I)$ de la dynamo à excitation séparée ; on obtient des familles de courbes, chacune étant relative à une excitation donnée, une vitesse de rotation donnée et un calage de balais.

3° On utilisera également la bobine 5 000 spires comme ci-dessus, avec toutes les combinaisons possibles (1 000, 2 000, 3 000, 4 000 et 5 000 spires).

Variante : Ce montage permet de mettre en évidence le principe des amplificateurs « amplidyne » ; le rotor étant entraîné à vitesse constante, la tension appliquée à la bobine inductrice peut être considérée comme un « signal » ; la tension recueillie aux bornes du rotor lui est proportionnelle.

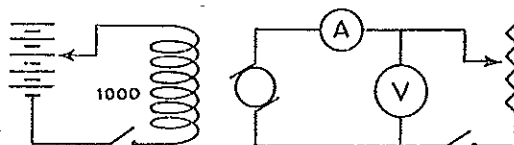
Exp. n° 14

Objet de l'expérience :

Caractéristique externe de la génératrice à excitation séparée.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires. Accumulateurs MAE 351 (6 volts). Voltmètre disposé en 0-30 volts, puis 0-75 volts, par exemple ; ampèremètre 1,5 ampères ; interrupteur MAM 18 et rhéostat MAE 312.



Expérience :

Pour : une vitesse de rotation constante (1 450 t/mn par exemple),
un calage de balais donné,
une excitation donnée,

on relève les valeurs $U = f(I)$. Par exemple :

excitation	U volts	I ampères
2 V sur 1 000 spires	25	0
	20	0,5
	16	0,8
	12	1,0
	5	1,2
4 V sur 1 000 spires	45	0 etc...

Conclusions :

Bien entendu, si l'on dispose d'un ampèremètre supplémentaire, le placer en série avec la bobine inductrice avec un rhéostat « de champ ».

Souligner que les meilleurs résultats s'obtiennent avec un décalage des balais en avant par rapport au sens de rotation imposé.

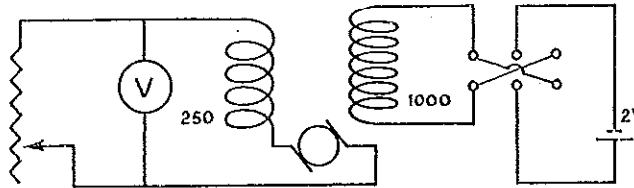
Tracer les courbes $U = f(I)$ en précisant sur chacune la vitesse de rotation, le calage des balais et l'excitation.

Objet de l'expérience :

Amorçage de la dynamo-série. Importance du magnétisme rémanent.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique MAE 520 équipé des bobines 1 000 et 250 spires ; moteur d'entraînement (1 450 t/mn par exemple). Prévoir un interrupteur sur l'alimentation du moteur d'entraînement. Inverseur MAM 20 et accumulateurs MAE 351 (2 volts). Voltmètre à zéro central (par exemple 30-0-30 volts) et rhéostat MAE 313, sur lequel on prendra une valeur $R = 20$ ohms environ.

**Expérience :**

Régler le calage des balais sur la ligne neutre (cf exp. N° 6) ; le sens de rotation du moteur d'entraînement reste constant.

1° Moteur d'entraînement arrêté, fermer une seconde l'inverseur MAM 20 dans un sens repéré, puis l'ouvrir ; on impose ainsi le sens de l'aimantation résiduelle.

2° Moteur en route : l'amorçage se produit avec une polarité définie.

3° Arrêter le moteur. Fermer une seconde l'inverseur dans le sens opposé à 1° : l'aimantation résiduelle est ainsi inversée.

4° Moteur en route : l'amorçage se produit en sens inverse de 2°.

Conclusions :

Pour un sens de rotation défini, l'amorçage de la dynamo série se produit dans le sens imposé par l'aimantation résiduelle (magnétisme rémanent).

Variante : Si, par contre, on inverse le sens de rotation imposé à la dynamo, l'amorçage ne peut se produire : le courant dans l'inducteur crée un flux opposé à l'aimantation résiduelle, et tout amorçage devient impossible. Il faut alors croiser les connexions induct-inducteur.

Exp. n° 16

Objet de l'expérience :

Amorçage de la dynamo-série : importance du circuit extérieur.

Liste du matériel et montage :

Même matériel que pour l'expérience N° 15, avec rhéostat MAE 312 (200 ohms) comme rhéostat « de charge » R. Même montage.

Expérience :

La machine étant entraînée à vitesse constante par le moteur, avec R maxima, l'amorçage ne se produit pas. On diminue alors progressivement la valeur de R, et, brusquement, la machine s'amorce. Si l'on augmente la valeur de R, un désamorçage se produit.

Pour chaque vitesse de rotation constante imposée à la machine, on détermine la valeur de R_c en dessous de laquelle se produit l'amorçage (« résistance critique »).

Conclusions :

1° Une dynamo série ne peut s'amorcer à circuit ouvert.

2° Pour une vitesse de rotation donnée, il existe une résistance critique R_c en dessous de laquelle la machine s'amorce ; pour $R > R_c$, l'amorçage ne peut se produire que si l'on passe à une vitesse de rotation plus élevée.

Bien souligner qu'on ne peut parler d'une « résistance critique d'amorçage » que pour une vitesse de rotation donnée.

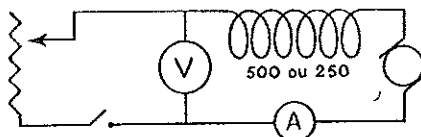
Variante : Si l'on entraîne la dynamo-série par un moteur à vitesse variable avec la charge (par exemple une deuxième machine montée en moteur série), on peut mettre en évidence l'instabilité périodique d'un tel ensemble (cf. Bull. Union des Physiciens, 48, 416, Mai 1954, p. 357).

Objet de l'expérience :

Caractéristique externe de la dynamo-série.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 500 spires, par exemple ; voltmètre 50 ou 75 volts ; ampèremètre 1,5 ampères ; interrupteur MAM 18 et rhéostat MAE 312.
Moteur d'entraînement (1 450 t/mn, par exemple).

**Expérience :**

Les connexions étant réalisées de telle sorte que la machine s'amorce en dynamo-série (cf. exp. N° 15), on relève les valeurs de U et de I pour chaque vitesse de rotation et chaque position des balais. Noter en particulier la très faible valeur de U pour $I = 0$ (magnétisme rémanent) ; lorsque l'on ferme l'interrupteur, puis que l'on diminue progressivement la valeur de la résistance de charge, U et I croissent ensemble. On note le maximum (30 volts, 0,8 ampères pour 1 450 t/mn et calage des balais au voisinage de la ligne neutre). En diminuant encore la valeur de la résistance de charge, U diminue rapidement, tandis que I reste sensiblement constant. Cf. figure page 21.

Conclusions :

Tracer les caractéristiques externes relevées ; souligner leur allure générale, et la comparer avec les caractéristiques externes de la dynamo-shunt.
Bien entendu, on peut également modifier le champ inducteur en disposant un rhéostat MAE 313 en parallèle sur la bobine 500 spires. On peut également monter sur le circuit magnétique les bobines 250 et 500 spires ; on réalise très rapidement les mesures relatives aux caractéristiques de la machine pour 125, 250, 375, 500, 625 et 750 spires en établissant les connexions séries voulues entre les bobines. (Cf. expérience N° 4, « Flux additifs et différentiels. »)

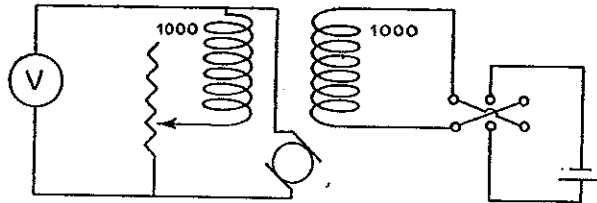
Exp. n° 18

Objet de l'expérience :

Amorçage de la dynamo-shunt ; importance du magnétisme rémanent.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de deux bobines 1 000 spires ; inverseur MAM 20 ; accumulateur MAE 351 (2 volts) ; rhéostat de champ MAE 312 ; voltmètre continu à zéro central, sensibilité d'après la vitesse de rotation du moteur d'entraînement, dont le sens de rotation est supposé invariable.



Expérience :

- 1° Moteur arrêté, fermer une seconde l'inverseur dans une position repérée : on impose le sens de l'aimantation résiduelle (magnétisme rémanent).
- 2° Le rhéostat de champ étant à sa valeur maxima, mettre en route le moteur : observer sur le voltmètre le sens de l'amorçage.
- 3° Arrêter le moteur ; fermer une seconde l'inverseur dans l'autre position : on renverse le sens de l'aimantation résiduelle.
- 4° Remettre le moteur en marche : l'amorçage se produit avec la polarité opposée à 2°.

Conclusions :

Pour un sens de rotation imposé et le sens convenable de connexions induit-inducteur, la dynamo-shunt s'amorce dans le sens imposé par son magnétisme rémanent.

Souligner que la dynamo s'amorce « à vide » (sans résistance de charge) : Cf. exp. N° 19.

Si l'on utilise la bobine 5 000 spires MAE 544, on pourra, par exemple, fermer l'induit sur 2 000 spires et imposer le sens du magnétisme rémanent par une connexion temporaire des 1 000 spires d'extrémité à l'accumulateur.

Objet de l'expérience :

Amorçage de la dynamo-shunt : résistance critique du circuit extérieur.

Liste du matériel et montage :

Même matériel que pour l'expérience N° 18, avec, en outre, un rhéostat MAE 312 (R) et un interrupteur MAM 18 disposés en parallèle avec le voltmètre.



Expérience :

La machine étant entraînée à vitesse constante, pour $R = \infty$ l'amorçage se produit. On diminue alors progressivement la valeur de R, et, brusquement, la machine se désamorce.

Pour chaque vitesse de rotation imposée à la machine, on détermine la valeur de R_c en dessous de laquelle se produit l'amorçage.

Conclusions :

1° Une dynamo-shunt s'amorce à circuit ouvert.

2° Pour une vitesse de rotation donnée, il existe une résistance critique R_c en dessous de laquelle la machine s'amorce ; pour $R < R_c$, l'amorçage ne peut se produire que si l'on passe à une vitesse de rotation plus élevée.

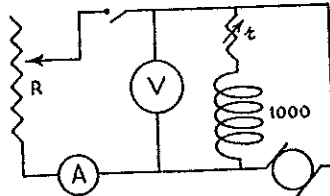
Exp. n° 20

Objet de l'expérience :

Caractéristique externe de la dynamo shunt.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1 000 spires ; rhéostat « de champ » r (MAE 311), voltmètre 50 ou 75 volts ; ampèremètre 1,5 ampères ; interrupteur MAM 18 et rhéostat « de charge » R (MAE 312).



Expérience :

Les connexions étant réalisées de telle sorte que l'amorçage de la dynamo shunt se produise (cf. exp. N° 18), on relève la tension U à vide (interrupteur ouvert). On notera la valeur numérique de r dans chaque série d'essais, pour en déduire la valeur du courant d'excitation ; bien entendu, si l'on dispose d'un ampèremètre supplémentaire, on mesurera directement ce courant.

Conclusions :

Exemple de tableau de lectures :

Vitesse de rotation = 1 450 t/m.

Calage de balais sur ligne neutre, $r = 150$ ohms.

U volts	I ampères
34	0
18	0,50
12	0,75
8	0,90

et la dynamo se désamorce (Cf. exp. N° 19).

Souligner l'allure « plongeante » des caractéristiques externes de la dynamo shunt.

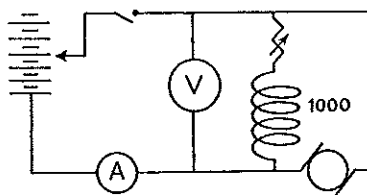
Noter l'intérêt particulier de la bobine 5 000 spires (MAE 544), qui permet ici, par sa résistance ohmique relativement élevée, de réduire la « perte » due à « r ».

Objet de l'expérience :

Charge d'accumulateurs par dynamo shunt.

Liste du matériel et montage :

Bobine 1 000 spires MAE 543 sur circuit magnétique MAE 520, montée en série avec un rhéostat de champ R de 200 ohms environ (MAE 312). Machine avec balais calés sur ligne neutre. Ampèremètre A à zéro central (par exemple, MAM 270 sur shunt 2,5 ampères de MAM 272) ; voltmètre 0-15 volts ; Batterie d'accumulateurs MAE 351 (12 volts). Moteur d'entraînement, pouvant être relié mécaniquement à la machine.

**Expérience :**

1° Avant de réaliser le couplage mécanique entre la machine et le moteur d'entraînement, faire démarrer la machine en « moteur shunt » sur les accumulateurs. Observer le sens de rotation, qui doit être le même que celui qui sera imposé par le moteur d'entraînement.

Noter le sens de la déviation de l'ampèremètre : les accumulateurs fournissent de l'énergie à la machine. Ouvrir l'interrupteur.

2° Coupler mécaniquement la machine et le moteur d'entraînement (1 450 t/mn, par exemple) ; observer la déviation de l'ampèremètre ; régler le régime de « charge » des accumulateurs en agissant sur le rhéostat de champ R.

Conclusions :

En 1°, la puissance électrique fournie par les accumulateurs est transformée en puissance mécanique ; en 2°, la puissance mécanique fournie par le moteur d'entraînement est transformée en puissance électrique.

Il est généralement préférable de prévoir ici une liaison mécanique par poulies, afin de passer très rapidement de 1° à 2°.

Variante : Pour un calage de balais donné et une même valeur de R, on observe les différents régimes de « charge » suivant que l'on dispose 12, 10, 8 volts... des accumulateurs.

On peut étudier de même la charge de la batterie par la machine montée en dynamo à excitation indépendante (cf. exp. N° 14). Si l'on souhaite montrer les dangers de l'utilisation de la dynamo série pour la charge des accumulateurs, prévoir un fusible (2 à 3 ampères) en série avec l'ampèremètre.

Exp. n° 22

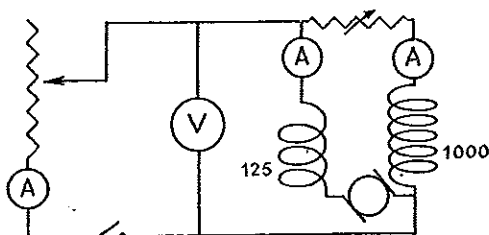
Objet de l'expérience :

Caractéristique externe de la dynamo-compound.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1 000 et de la bobine 250 spires. Deux rhéostats MAE 312 ; voltmètre continu (50 volts) ; si possible, deux ampèremètres continus (1 ampère et 250 mA) ; un ampèremètre 1,5 ampères dans le circuit de charge. Interrupteur MAM 18.

Prendre seulement 125 spires dans l'inducteur série.



Expérience :

On étudiera les conditions d'amorçage comme pour les machines série et shunt ; cette étude sera d'autant plus complète que l'on disposera d'un nombre important d'appareils de mesures, et, si possible, d'un moteur d'entraînement offrant plusieurs vitesses stables. Veiller au sens relatif des enroulements (cf. exp. N° 4).

Conclusions :

Connaissant les ampères-tour de chaque bobine d'excitation dans chacun des montages réalisés, on interprétera les courbes caractéristiques obtenues en les comparant avec celles de la machine série et de la machine shunt.

On peut étudier dans les mêmes conditions les dynamos « hypo » ou « hypercompound » ; comparer les montages « longue dérivation » et « courte dérivation », etc... La bobine « 5 000 spires » (MAE 544) est particulièrement utile dans ces études.

III

MOTEURS

EN COURANTS CONTINUS

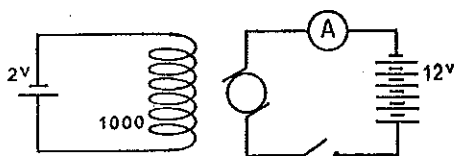
Exp. n° 23

Objet de l'expérience :

Force contre-électromotrice d'un moteur.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1000 spires; ampèremètre continu 1,5 ampères; accumulateurs MAE 351 (12 volts); interrupteur MAM 18; accumulateur 2 volts pour la bobine (on peut prendre également ces 2 volts sur la batterie).



Expérience :

Les balais étant sur la ligne neutre (exp. N° 5 et 6), fermer l'interrupteur en maintenant le rotor bloqué : noter l'intensité voisine de 1 ampère dans l'induit. Libérer le rotor : au fur et à mesure de la mise en vitesse, l'intensité diminue progressivement; la vitesse de rotation (à vide) devient relativement importante, et l'on observe une intensité voisine de 250 milliampères.

Conclusions :

La f.e.m. de la source reste égale à 12 volts pendant l'expérience; l'intensité varie parce que la rotation de l'induit dans le champ magnétique inducteur fait apparaître dans le circuit une f.e.m. dont la polarité est opposée à celle de la source : c'est la f.c.e.m., dont on peut calculer la valeur d'après la variation de l'intensité mesurée : 1° rotor bloqué, et 2° en marche à vide.

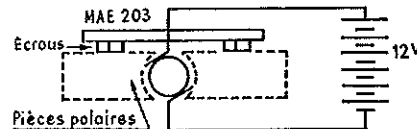
Exp. n° 24

Objet de l'expérience :

Moteur à excitation par aimant permanent. Réaction d'induit.

Liste du matériel et montage :

Machine sans circuit magnétique; barreau aimanté MAE 203 ou MAE 203 N, ou aimant MAE 202; accumulateurs MAE 351 (12 volts).



Expérience :

Balais sur ligne neutre. Alimenter l'induit par les accumulateurs. Poser l'aimant avec une polarité repérée : le rotor démarre seul. Observer le sens de rotation, et chercher le maximum de vitesse en décalant les balais : noter le sens du décalage nécessaire.

Retirer l'aimant : le rotor s'arrête ; mettre l'aimant en position croisée : le rotor démarre en sens inverse. Modifier la position de calage des balais pour atteindre la vitesse maxima : noter le sens du décalage nécessaire.

Bien entendu, pour une position donnée de l'aimant, le sens de rotation s'inverse avec la polarité des accumulateurs.

Conclusions :

Dans tous les moteurs, les balais doivent être décalés en arrière de la ligne neutre par rapport au sens de rotation. C'est la preuve que la réaction d'induit déforme le flux inducteur en sens inverse de la rotation.

Si l'on emploie le barreau aimanté MAE 203 N, interposer deux écrous ou des rondelles (5 à 15 mm de hauteur) au-dessus des pièces polaires. Cf. exp. N° 12, page 12 et photo page 5.

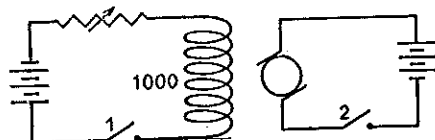
Exp. n° 25

Objet de l'expérience :

Moteur à excitation séparée.

Liste du matériel et montage :

Machine avec circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires ; deux batteries d'accumulateurs 6 volts MAE 351 ; interrupteur MAM 18 (2) ; rhéostat MAE 312 ou équivalent.



Expérience :

Réaliser le montage ci-dessus en insistant sur l'indépendance du circuit inducteur et du circuit induit.

Fermer l'interrupteur 1 : l'inducteur est excité et le rotor ne tourne pas.

Fermer l'interrupteur 2 : le rotor démarre. Régler sa vitesse en agissant sur le calage des balais.

Observer le sens de rotation. On inversera ce sens :

- soit en croisant la polarité aux bornes de l'inducteur ;
- soit en croisant la polarité aux bornes de l'induit ;
- soit encore (ce qui revient au même) en décalant les balais de 180°.

Conclusions :

Après avoir établi les principales caractéristiques qualitatives d'un moteur à excitation séparée, on peut faire remarquer que les deux batteries d'accumulateurs étant ici semblables, on peut connecter à la fois l'inducteur et l'induit sur une même batterie 6 volts : l'on a ainsi un moteur « shunt ».

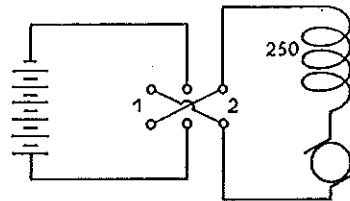
Objet de l'expérience :

Moteur série en courant continu basse tension.

1° Sens de rotation.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 250 spires ; accumulateurs MAE 351 (12 volts) ; inverseur MAM 20.



Expérience :

Balais calés sur ligne neutre.

1° Fermer l'inverseur en position 1 : le moteur démarre ; observer son sens de rotation.

Ouvrir l'inverseur.

2° Fermer l'inverseur en position 2 : le moteur démarre et tourne dans le même sens que précédemment : on a inversé le sens du courant à la fois dans l'inducteur et dans l'induit.

3° Pour inverser le sens de rotation, vérifier qu'il suffit de changer le sens du courant soit dans l'inducteur, soit dans l'induit. Ceci est possible également sans toucher aux connexions, en décalant de 180° la couronne porte-balais.

Conclusions :

Le sens des connexions inducteur-induit impose le sens de rotation d'un moteur série. La polarité de la source est indifférente : d'où la possibilité d'employer le moteur série en courants alternatifs. Cf. exp. N° 34.

Exp. n° 27

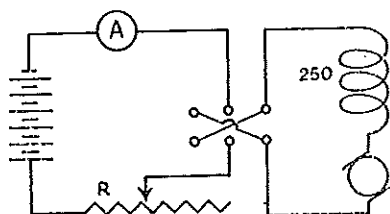
Objet de l'expérience :

Moteur série en courant continu basse tension.

2° Démarrage et variations de vitesse par résistance additionnelle.

Liste du matériel et montage :

Même matériel que pour l'expérience N° 26, avec, en outre, un rhéostat MAE 313 b ou équivalent et un ampèremètre continu 2 ampères (MAM 210), au 2,5 A (MAM 270 sur MAM 272).



Expérience :

Balais sur ligne neutre.

1° Avec $R = 0$, fermer l'inverseur ; l'intensité dépasse largement 1 ampère et diminue au fur et à mesure que le moteur prend sa vitesse : elle se stabilise vers 0,5 ampères.

2° Ouvrir l'inverseur ; disposer $R = 12$ ohms environ ; fermer l'inverseur et contrôler progressivement la mise en vitesse du moteur en limitant l'intensité ; lorsque l'on arrive à la valeur $R = 0$, le moteur fonctionne comme en 1°, mais on a évité la « surintensité de démarrage ».

3° La vitesse du moteur peut être contrôlée par la valeur donnée à R : elle diminue quand R augmente.

Conclusions :

Une résistance disposée en série est très souvent employée pour le démarrage des moteurs-série de puissance petite ou moyenne, et pour le réglage de leur vitesse.

L'expérience étant identique quelle que soit la polarité de la source (inverseur MAM 20), ses conclusions sont également valables en courant alternatif.

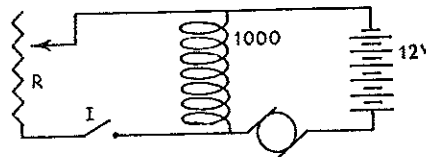
Objet de l'expérience :

- Moteur série en courant continu basse tension.
- 3° Variation de vitesse par modification du champ inducteur.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1 000 spires ; accumulateurs MAE 351 (12 volts) ; rhéostat MAE 313 ; interrupteur MAM 18.

On ne mettra pas en place les tiges de fixation du circuit magnétique, afin de pouvoir déplacer celui-ci en cours d'essai.



Expérience :

Balais sur ligne neutre.

1° Le moteur étant en marche, apprécier sa vitesse de rotation par la hauteur du son produit. Soulever très progressivement le circuit magnétique (du côté opposé à la bobine).

Remarquer que la vitesse de rotation augmente, passe par un maximum, puis diminue et s'annule lorsque l'écartement entre le circuit magnétique et la pièce polaire atteint plusieurs centimètres.

2° Remettre le circuit magnétique en place normale. Fermer l'interrupteur I, le rhéostat R étant à sa valeur ohmique maxima. Apprécier la vitesse de rotation. Diminuer progressivement la valeur de R : la vitesse de rotation augmente, passe par un maximum, décroît et s'annule pour $R = 0$.

Conclusions :

La vitesse de rotation de l'induit augmente lorsqu'on diminue le champ inducteur, ce qui a été obtenu

- en 1° : en augmentant la réluctance du circuit magnétique ;
- en 2° : en diminuant l'intensité dans la bobine inductrice.

Si le niveau des élèves le permet, faire remarquer que, dans cette expérience en très basse tension continue, on ne peut obtenir de résultats nets qu'en disposant volontairement un champ inducteur relativement important : d'où la bobine 1 000 spires.

Exp. n° 29

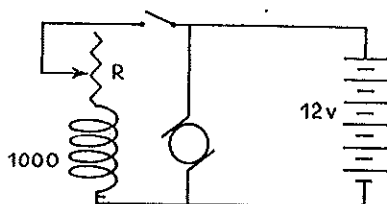
Objet de l'expérience :

Moteur shunt en courant continu basse tension.

Variations de la vitesse et du couple en fonction du champ inducteur.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1000 spires ; rhéostat MAE 312 ; interrupteur MAM 18 ; accumulateurs MAE 351 (12 volts).



Expérience :

Balais sur ligne neutre. Interrupteur ouvert, le rotor ne démarre pas. On appréciera pour différentes valeurs ohmiques données au rhéostat R :

- la vitesse de rotation ;
- le couple disponible (entre deux doigts).

Même sans disposer des appareils de mesures qui seraient nécessaires, on pourra dresser, par exemple, le tableau suivant :

Valeur de R :	0 ou fraction d'ohm	20 Ω	100 Ω	230 Ω	∞
Vitesse de rot. :	Très lente	lente	rapide	max.	(x)
Couple moteur :	Maxima	grand	faible	# 0	0

(x) Variable suivant rémanent.

Conclusions :

On commande habituellement la vitesse de rotation d'un moteur shunt alimenté sous tension constante par son « rhéostat de champ ».

La même expérience est réalisable avec la bobine 5 000 spires MAE 544 sans rhéostat de champ R, en prenant 1 000, 2 000, 3 000, 4 000 et 5 000 spires ; dans l'interprétation des résultats, on devra tenir compte du fait que la notion d'ampères-tours est essentielle (cf. exp. N° 4).

Objet de l'expérience :

Importance de la self-induction dans les moteurs shunt (en courant continu).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1000 spires; deux interrupteurs MAM 18; accumulateurs MAE 351 (12 volts).

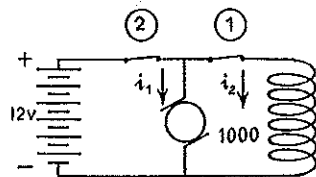


Fig. 1

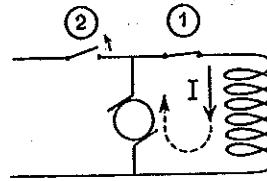


Fig. 2

Expérience :

- 1° Fermer dans l'ordre l'interrupteur 1, puis l'interrupteur 2; le moteur démarre et tourne lentement (champ inducteur trop important).
Observer le sens de rotation de l'induit.
- 2° Ouvrir l'interrupteur 1; le rotor s'arrête.
- 3° Refermer l'interrupteur 1; le rotor démarre. Puis ouvrir l'interrupteur 2; le rotor effectue brutalement plusieurs tours en sens inverse de sa rotation.

Conclusions :

Le coefficient de self-induction de la bobine inductrice n'est pas calculable en toute rigueur (présence de fer); mais il est beaucoup plus important que celui de l'induit. A l'ouverture de l'interrupteur 2; la f.e.m. de rupture aux bornes de la bobine impose un courant instantané I très important dans l'induit, et de sens inversé par rapport au courant précédent; d'où le renversement de marche.

Exp. n° 31

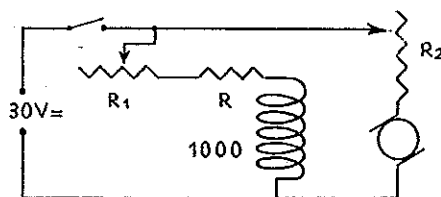
Objet de l'expérience :

Conditions de démarrage du moteur-shunt.

N. B. — Les valeurs numériques indiquées correspondent à l'étude du démarrage correct d'un moteur shunt en courant continu 30 volts; on modifiera éventuellement ces valeurs si l'on dispose d'une tension différente (24 à 40 volts).

Liste du matériel et montage :

Machinette sur circuit magnétique équipée d'une bobine 1000 spires; interrupteur MAM 18; résistance fixe R (200 ohms, MAE 303); rhéostat de champ R_1 (MAE 312); rhéostat R_2 (MAE 312, sur lequel on prendra environ 60 ohms).



Expérience :

Balais sur ligne neutre.

Le démarrage correct doit s'opérer dans les conditions suivantes :

R_1 à sa valeur minimum;

R_2 à sa valeur maxima (60 ohms).

Fermer l'interrupteur. Le courant dans la bobine inductrice est maximum; le courant dans l'induit est limité. Le rotor démarre. Décaler légèrement les balais par rapport à la ligne neutre.

Diminuer R_2 ; le rotor accélère. On règle la vitesse en augmentant R_1 . Le fonctionnement normal est atteint pour $R_2 = 0$, et la valeur de R_1 donnant la vitesse souhaitée.

ATTENTION A LA COUPURE DU CIRCUIT INDUCTEUR : LE ROTOR PEUT S'EMBALLER, ET CETTE COUPURE SERAIT DANGEREUSE AVEC UNE SOURCE CONTINUE SUPERIEURE A 30 VOLTS.

Conclusions :

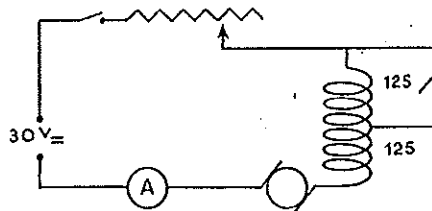
Les moteurs de puissance non-négligeable exigent des montages précis pour démarrer dans de bonnes conditions. Le moteur étant arrêté, vérifier que pour $R_2 = 0$ et R_1 à sa valeur maxima, si l'on ferme l'interrupteur, le moteur ne démarre pas ou mal.

Objet de l'expérience :

Démarrage et utilisation du moteur série en courant continu (30 volts, par exemple).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 250 spires. Deux interrupteurs MAM 18; rhéostat MAE 313, ampèremètre 2,5 ampères (par ex. : MAM 270 sur MAM 272).

**Expérience :**

Balais sur la ligne neutre.

1° Le rhéostat R étant au maximum de sa valeur, fermer l'interrupteur : on note une intensité voisine de 600 mA ; en diminuant progressivement la valeur de R, la vitesse de rotation augmente ; l'intensité diminue, et, en marche « à vide », la vitesse atteint 8 000 t/mn avec une intensité voisine de 450 mA. Rouvrir l'interrupteur.

2° Le rhéostat R étant à sa valeur nulle, fermer l'interrupteur. Le rotor démarre avec un très grand couple (il est impossible de maintenir l'axe entre deux doigts). On note une intensité dépassant 2 ampères, qui diminue au cours de la mise en vitesse.

3° Le moteur étant en marche normale à vide, court-circuiter la moitié de la bobine inductrice : la vitesse de rotation augmente sensiblement. Avec 125 spires, l'intensité à vide devient 700 mA.

4° Même essai qu'en 2°, mais avec 125 spires. L'intensité dépasse 2,5 ampères pendant une fraction de seconde ; le couple est considérable. Une fois le rotor lancé, un couple résistant très faible suffit pour freiner notablement le rotor.

Conclusions :

Le moteur série dispose d'un couple inversement proportionnel à sa vitesse. Noter pour différents régimes la relation existant entre la vitesse de rotation (appréciée par la hauteur du son) et l'intensité consommée.

Remarquer la souplesse de fonctionnement du moteur série alimenté en courant continu : absence d'à-coups, pas de crachements aux balais, etc... On peut utiliser ce montage avec la bobine 125 spires et un rhéostat 35 ohms pour de multiples applications.

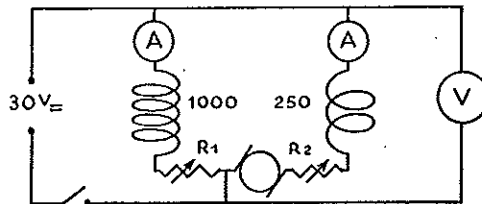
Exp. n° 33

Objet de l'expérience :

Moteur compound (en courant continu 30 volts).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1 000 spires et de la bobine 250 spires ; deux rhéostats MAE 312 ; interrupteur MAM 18 ; voltmètre continu (40 ou 50 volts) ; si possible, deux ampèremètres (1 ampère et 250 milliampères).



Expérience :

Vérifier le sens de connexion des deux bobines, afin que les ampères-tours s'ajoutent (Cf. exp. N° 4).

On opérera le démarrage avec R_1 à sa valeur minimum et R_2 à sa valeur maximum ; fermer l'interrupteur et agir progressivement sur les deux rhéostats. Si possible, mesurer la vitesse de rotation et le couple (frein de Prony), etc...

Conclusions :

Le montage compound réalisé est à « longue dérivation » ; il est également possible d'étudier les montages à « courte dérivation », où l'enroulement shunt et son rhéostat sont en parallèle sur l'induit seulement.

Lorsque les ampères-tours des deux enroulements s'ajoutent, la vitesse de rotation diminue quand la charge augmente ; si, au contraire, les ampères-tours se retranchent, la vitesse peut être pratiquement constante.

1950

1950

1950

1950

1950

IV

MOTEURS

1950

EN COURANTS ALTERNATIFS

1950

1950

1950

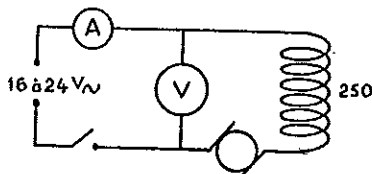
Exp. n° 34

Objet de l'expérience :

Moteur série alimenté en alternatif basse tension.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 250 spires ; ampèremètre alternatif (1,5 ampères) ; interrupteur MAM 18 ; source de tension alternative pouvant donner 16 à 24 volts, 50 Hz, par ex. MAE 335 ; voltmètre alternatif 30 volts.



Expérience :

Noter :

- le démarrage énergique ;
- le sens de rotation, qui dépend uniquement du sens des connexions induit-inducteur ;
- les variations de vitesse, en fonction du calage des balais. Suivant que l'on utilise 125 ou 250 spires de la bobine, le calage optimum des balais se déplace de 15° environ ;
- noter la variation de vitesse en fonction des couples résistants ; le moteur série ainsi alimenté sous basse tension ne dispose que d'un couple limité, mais déjà utilisable pour beaucoup de petites applications de laboratoire (agitateurs, etc...).

Valeurs numériques :

$E = 24$ volts ; avec 125 spires, $I = 1,1$ ampère au démarrage (ou rotor maintenu bloqué) ;
 $I = 700$ mA en marche à vide.

Conclusions :

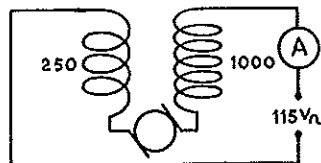
Le moteur série fonctionne correctement en courant alternatif de fréquence industrielle. Comparer avec les valeurs numériques relevées sur le même montage en courant continu (exp. N°s 26 et 32). Pour observer des vitesses de rotation et des couples moteurs comparables, on est conduit à employer des f.e.m. alternatives relativement élevées (self de l'induit, et surtout de l'inducteur).

Objet de l'expérience :

Moteurs « universels » (moteur série alimenté par le secteur alternatif usuel 110-125 volts).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé des bobines 1 000 et 250 spires. Ampèremètre alternatif 2 ou 2,5 A (par exemple MAM 270 avec son redresseur et son shunt MAM 272). Si la machine doit fonctionner « à vide », retirer les poulies, bagues... qui peuvent se trouver sur les bouts d'arbre (vitesses de rotation très importantes).

**Expérience :**

On groupera les bobines inductrices en flux additifs ou différentiels (cf. exp. N° 4) pour étudier le démarrage et le fonctionnement du moteur avec, comme inducteur :

1 000 + 250 = 1 250 spires : le rotor ne démarre pas seul ;

1 000 spires : le moteur démarre seul ;

1 000 - 250 = 750 spires ; le rotor démarre très franchement : la vitesse de rotation à vide peut atteindre 8 000 à 9 000 t/mn ;

500 spires (une demi-bobine de 1 000) : le rotor s'emballe à vide ; on note 1,5 A au démarrage, puis l'intensité diminue jusqu'à 600 mA environ.

Conclusions :

Dans chaque cas, on appréciera, par exemple, l'importance du couple au démarrage en tenant l'arbre de l'induit entre deux doigts. Le couple maximum au démarrage justifie l'emploi des moteurs « série » dans beaucoup d'applications industrielles (traction) et domestiques (moteurs « universels »).

Lorsque l'on souhaite utiliser la machine comme moteur au laboratoire, on réalise le montage ci-dessus avec les deux bobines ; suivant le couple nécessaire, on dispose 1 000, 750 ou 500 spires d'inducteur. Il est même possible de s'adapter plus rigoureusement à chaque emploi grâce au point milieu de la bobine 250 spires (1 000, 875, 750, 625 et 500 spires). Voir l'expérience suivante (N° 36).

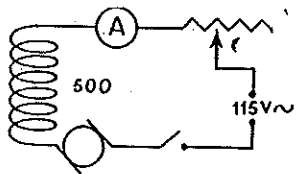
Exp. n° 36

Objet de l'expérience :

- Démarrage et réglage de la vitesse d'un moteur « universel » alimenté par le secteur alternatif.

Liste du matériel et montage :

- Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires (dont on utilisera 500) ; interrupteur sur secteur alternatif 115 volts 50 Hz ; ampèremètre alternatif 2 ou 2,5 ampères (par exemple l'enregistreur MAM 270 sur shunt MAM 272) ; rhéostat MAE 312. Ne pas manquer de fixer la machine par les quatre trous de son socle, ainsi que le circuit magnétique sur les pièces polaires.



Expérience :

1° R étant à sa valeur maxima, fermer l'interrupteur. Le moteur démarre seul ; l'intensité voisine de 500 mA diminue progressivement pendant la mise en vitesse du rotor. Une fois le régime stable réalisé, diminuer lentement la valeur de R ; la vitesse de rotation augmente et devient très importante pour $R=0$. Un réglage de la vitesse est possible en agissant sur R. Puis ouvrir l'interrupteur.

2° Après avoir vérifié que la machine est fixée, R étant à sa valeur zéro, fermer l'interrupteur. Le démarrage du moteur est extrêmement brutal ; la lancée d'aiguille traduit une surintensité qui dépasse 1,5 ampères, puis diminue progressivement au cours de la mise en vitesse.

Conclusions :

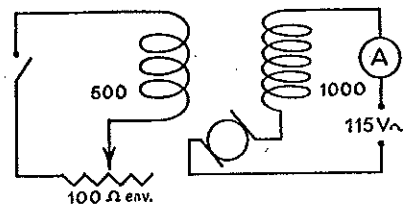
Lorsque les puissances mises en jeu sont très petites, on peut négliger les précautions de démarrage ; beaucoup de « moteurs universels » usuels se branchent directement sur le secteur. Au contraire, dès que les puissances ne sont plus négligeables, comme dans ce montage, les conditions de démarrage deviennent très importantes.

Objet de l'expérience :

Modifications du champ inducteur dans un moteur série fonctionnant sur secteur alternatif (115 volts).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires et d'une bobine 500 spires ; rhéostat MAE 312 ; interrupteur MAM 18, ampèremètre alternatif 1,5 ampères.



Expérience :

1° Interrupteur I ouvert : c'est le montage de l'expérience N° 35, avec 1 000 spires inductrices. Caler les balais pour que le moteur démarre seul et atteigne une vitesse de rotation relativement importante, que l'on appréciera par la hauteur du son.

2° R étant à la valeur ohmique 100 Ω environ, fermer l'interrupteur. La vitesse de rotation augmente immédiatement ; rouvrir l'interrupteur et la vitesse reprend sa valeur antérieure.

Conclusions :

Avec l'interrupteur I ouvert, on note une intensité voisine de 250 mA dans la bobine 1 000 spires et dans l'induit. En fermant I, on fait débiter la bobine 500 spires comme un secondaire de transformateur ; l'intensité dans le « primaire », c'est-à-dire dans l'inducteur et dans l'induit de la machine, atteint 0,5 A. On peut ainsi régler la vitesse du rotor en agissant sur un circuit électriquement indépendant.

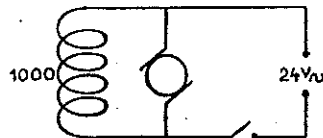
Exp. n° 38

Objet de l'expérience :

Difficultés de fonctionnement du moteur shunt en courants alternatifs.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires. Alimentation 24 volts 50 Hz, par exemple avec MAE 335 ; interrupteur MAM 18.



Expérience :

Balais sur ligne neutre. Fermer l'interrupteur : le rotor démarre péniblement (l'aider au besoin) ; la vitesse de rotation reste très limitée, avec un couple moteur faible.

En intervertissant les connexions de l'induit, le sens de rotation est inversé. Il en serait de même en croisant les connexions de l'inducteur.

Conclusions :

Comparer avec la souplesse et les performances du moteur série alimenté par une f.e.m. alternative équivalente (sous 24 volts alternatif, on disposera, par exemple, 125 spires en série avec l'induit).

Eviter de décaler sensiblement les balais dans cette expérience : pour un décalage important, on réaliserait une variante du moteur « à répulsion » dont le fonctionnement en courants alternatifs est satisfaisant.

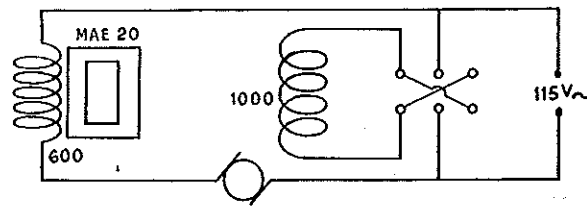
Variantes : La différence des déphasages respectivement dans l'inducteur et dans l'induit peut être mise en évidence à l'oscilloscope cathodique. Cf. également l'expérience N° 39.

Objet de l'expérience :

Mise en phase des intensités dans l'inducteur et dans l'induit d'un moteur shunt alimenté par secteur alternatif.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé d'une bobine 1 000 spires ; inverseur MAM 20 ; deuxième circuit magnétique, par exemple, du modèle MAE 20 avec bobine 600 spires MAE 42 ; interrupteur sur secteur 115 volts 50 Hertz. Fixer la machine par les quatre trous de son socle, comme dans toutes les expériences où des vitesses de rotation très importantes peuvent être atteintes.



Expérience :

Le second circuit magnétique (MAE 20), dont la bobine 600 spires est montée en série avec l'induit de la machine, joue le rôle d'une self ; ainsi, l'intensité dans l'induit est déphasée en retard sur la tension ; cette intensité est sensiblement en phase avec l'intensité dans la bobine inductrice 1 000 spires (cf. exp. N° 38).

Le moteur démarre seul avec un couple important et atteint des vitesses de rotation très élevées. On note l'inversion du sens de rotation en croisant les connexions de l'inducteur (MAM 20).

Conclusions :

Une solution analogue consisterait à avancer l'intensité dans le circuit inducteur par un condensateur de capacité suffisante : de toute façon, il faut remettre sensiblement en concordance de phase les intensités du circuit inducteur et du circuit induit.

Ces montages ne sont pas utilisés en pratique, les moteurs « série » et « répulsion » étant beaucoup plus simples.

Exp. n° 40

Objet de l'expérience :

Moteur à répulsion (en alternatif basse tension).

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 250 spires ; alimentation 24 volts 50 Hertz (par exemple avec MAE 335) ; ampèremètre alternatif (1,5 ampères).



Expérience :

Balais sur la ligne neutre ; le rotor reste immobile ; noter l'intensité nulle dans l'induit (cf. exp. N° 6).

Décaler progressivement dans un sens repéré la couronne porte-balais : un courant alternatif apparaît et l'induit commence à tourner avec un sens de rotation opposé au décalage effectué.

Le maximum de vitesse s'obtient ici avec un courant de 0,9 ampères environ. Ramener ensuite les balais sur la ligne neutre : le rotor s'arrête. A un décalage de sens opposé correspond une rotation également changée de sens.

Conclusions :

Comparer avec l'expérience N° 6.

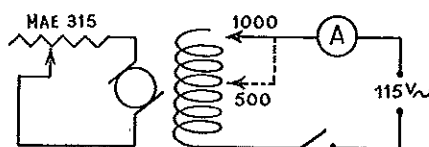
Ce montage peut être utilisé lorsqu'on souhaite disposer d'un moteur très facilement réglable en alternatif basse tension. Noter qu'en appliquant 24 volts à 125 spires seulement de la bobine, le couple moteur est relativement important (le rotor démarre seul dès 8 à 10 volts de MAE 335). En dehors du calage des balais, on peut agir sur la vitesse par un rhéostat de quelques ohms (MAE 315) disposé dans le circuit induit.

Objet de l'expérience :

Moteur à répulsion (sur secteur alternatif). Conditions de démarrage et de fonctionnement.

Liste du matériel et montage :

Machine sur circuit magnétique équipé de la bobine 1 000 spires ; secteur alternatif 110-130 volts 50 Hertz ; ampèremètre alternatif avec sensibilité 0,5 et 2,5 ampères (par exemple MAM 270 sur MAM 272). Rhéostat MAE 315.

**Expérience :**

1° Le secteur alternatif étant appliqué aux 1 000 spires, observer le démarrage et le sens de rotation de l'induit fermé en court-circuit sur lui-même. Le maximum de vitesse s'obtient pour un décalage de balais voisin de 50°. Sur l'ampèremètre (shunt 500 mA), observer la variation de l'intensité dans la bobine en fonction de la position des balais, alors que pour une position donnée, l'intensité varie relativement peu en fonction de la charge : on relève, par exemple, 450 mA au démarrage et 400 mA en marche à vide. Noter l'inversion du sens de marche par décalage des balais.

2° En appliquant le secteur alternatif à une demi-bobine (500 spires), la vitesse de rotation peut atteindre 14 000 t/mn avec un couple relativement important (on disposera l'ampèremètre sur son shunt 2,5 A, et l'on vérifiera avant cette partie de l'expérience que le socle de la machine est fixé et que l'ensemble du rotor est bien équilibré). Souligner ici l'existence de crachements aux balais.

Conclusions :

Principe et applications des moteurs à répulsion. Souligner l'indépendance électrique complète du circuit induit par rapport à l'inducteur : comparer avec le moteur-série.

Variante : En 1° comme en 2°, il est facile de régler la vitesse du moteur en disposant dans le circuit de l'induit un rhéostat de quelques ohms : sans changer l'alimentation de la bobine inductrice ni la position des balais, on modifie à volonté la vitesse du rotor.

OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI SIMULTANE DE PLUSIEURS MACHINES

L'étude classique de tous les montages en « génératrices » doit s'effectuer quantitativement avec un moteur d'entraînement ayant une vitesse sensiblement constante et connue. Il est en outre très intéressant, sur le plan pédagogique, d'étudier certains montages moins usuels, mais qui caractérisent bien les principales propriétés des machines.

C'est ainsi qu'en utilisant un moteur d'entraînement dont la vitesse varie avec la charge, on peut étudier les conditions d'amorçage et de fonctionnement de la dynamo shunt entraînée à vitesse variable ; on réalise de même le montage « moteur-série entraînant une dynamo-série » pour mettre en évidence l'instabilité périodique d'amorçage, etc...

En pratique, les problèmes les plus importants concernent le couplage de deux ou plusieurs machines (génératrices ou moteurs). Les machines LME conviennent parfaitement à ces études, dont le nombre et les détails de réalisation peuvent varier à l'infini. On trouvera ci-dessous quelques indications sur les montages les plus usuels.

COUPLAGES DE DYNAMOS :

Lorsqu'une dynamo n'est pas suffisante pour fournir le courant ou la d.d.p. souhaitée, on couple électriquement deux ou plusieurs dynamos soit en parallèle, soit en série, ces dynamos étant toutes entraînées mécaniquement par un ou plusieurs moteurs. Par leurs principes mêmes, certains montages sont instables, tandis que d'autres sont satisfaisants.

Dynamos-shunt couplées en parallèle : Ces montages sont stables, comme, d'ailleurs, ceux où l'on couple en parallèle des dynamos à excitation séparée.

Dynamos-shunt couplées en série : Le montage est, en principe, instable, sauf si tous les inducteurs sont montés en série et soumis dans leur ensemble à la d.d.p. totale.

Dynamos-séries montées en série : Ces couplages sont stables dans tous les cas, d'où leur emploi (transports d'énergie système Thury, et récupération d'énergie au cours du freinage électrique des moteurs de traction).

Dynamos séries couplées en parallèle : Ces couplages sont instables, sauf si l'on croise les excitations (l'inducteur de A étant parcouru par le courant de l'induit de B, et réciproquement).

COUPLAGE DE MOTEURS :

Lorsque le couple résistant à vaincre nécessite l'intervention simultanée de plusieurs moteurs (problèmes de traction, par exemple), les principaux couplages électriques possibles sont :

Moteurs shunts montés électriquement en parallèle : Les réglages de chaque machine doivent être rigoureusement identiques pour que le montage soit stable. On préfère souvent « compounder » chaque moteur de façon à avoir une augmentation de la f.c.e.m. quand la charge tend à augmenter, pour que la répartition de la charge entre les différents moteurs soit stabilisée.

Moteurs shunts montés électriquement en série : Ces montages sont instables, sauf si tous les inducteurs sont disposés en série et leur ensemble relié au réseau.

Moteurs séries montés électriquement en parallèle ou en série : Les couplages sont stables dans tous les cas. C'est ce qui justifie l'emploi des moteurs série dans beaucoup de problèmes de traction ; le démarrage s'effectue avec tous les moteurs série montés en série ; au fur et à mesure que la vitesse s'accroît, on passe au montage série-parallèle, puis parallèle.

Sur le plan pratique, il conviendra de ne jamais perdre de vue que la puissance de chaque machine L M E n'est pas négligeable. Les vitesses de rotation peuvent être élevées et les couples notables. Dans les études comportant plusieurs machines reliées mécaniquement entre elles (par courroies ou en bout d'arbre), on doit, pour la durée de l'essai, fixer toutes les machines sur un même socle : une simple planche convient parfaitement. Les fils de connexions étant relativement nombreux si l'on effectue toutes les mesures souhaitables, on veillera particulièrement à éviter les conducteurs souples à proximité des pièces en rotation, à isoler les appareils de mesures des vibrations possibles, etc... Les disciplines de la « plateforme d'essai » n'exigent pas des machines de dizaines de kilowatts pour s'acquérir.