

Énergie

Energy

Réf :
282 065

Français – p 1

English – p 39

Version : 1111

Moteur et génératrice
Motor and generator

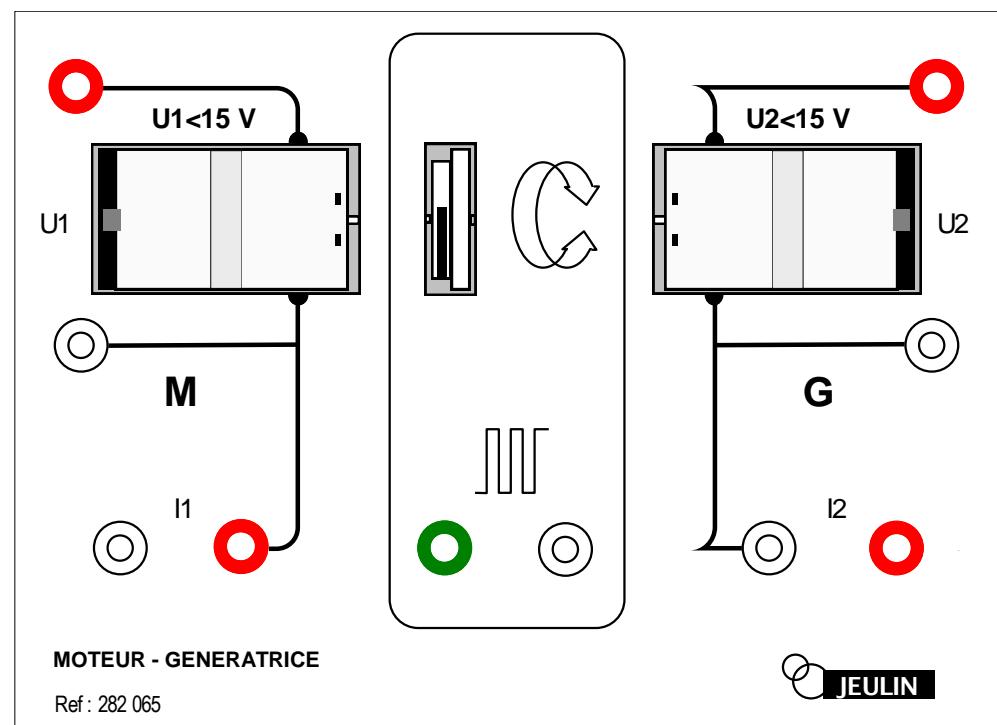
MOTEUR ET GENERATRICE est un appareil destiné à l'étude expérimentale d'une chaîne énergétique. Il permet en particulier :

- le tracé de la courbe de tension à vide d'une génératrice en fonction de la vitesse de rotation.
- le tracé de la caractéristique courant/tension d'une génératrice sur une charge variable, à vitesse constante.
- le calcul du rendement de l'installation en fonction de la vitesse de rotation,
- la mise en évidence de la réversibilité d'un moteur ou d'une génératrice.

1 Description

Le module ENERGIE ET RENDEMENT est constitué :

- d'un moteur électrique de petite puissance - appelé *M* - dont les valeurs nominales sont une tension de 12 V et une vitesse de rotation à vide de 12000 tr/min.
- d'un second moteur identique au précédent - appelé *G* - qui fonctionne en génératrice. Son axe est solidaire de celui du moteur *M*.
- d'un dispositif de mesure de la vitesse commune de rotation.



Le schéma ci-dessus reproduit la face du module portant les bornes de branchement des 2 moteurs et du dispositif de mesure de la vitesse.

Le dispositif de mesure de la vitesse de rotation permet de connaître directement celle-ci, en tr/s, en branchant un fréquencemètre sur les bornes centrales (l'indication est alors donnée en Hz).

A cet effet, les axes des deux moteurs sont couplés par un raccord. Un volant en aluminium est fixé sur ces axes. Il possède sur sa périphérie un secteur. La vitesse de rotation est mesurée par le comptage des impulsions captées par un opto-interrupteur fonctionnant par réflexion.

(La lumière émise par une DEL à infrarouge est captée par un phototransistor, après réflexion sur la partie réfléchissante de la paroi du volant).

Une tension d'alimentation minimale de 3,5 V est nécessaire pour le fonctionnement du dispositif : elle correspond à une fréquence de rotation de 40 Hz environ, soit 2400 tr/min.

2 Mise en service

2.1 Matériels nécessaires

Deux ou quatre multimètres

Un fréquencemètre ou un multimètre utilisé en fréquencemètre

Une alimentation 15 V réglable

Un potentiomètre de 470Ω - 3 W

Une résistance de 22Ω

Une pile de 4,5 V

2.2 Matériels complémentaires

Un équipement Ex.A.O. (matériel et logiciel).

2.3 Mise en place

- Le MODULE MOTEUR-GENERATRICE est utilisé avec une alimentation stabilisée variable pouvant débiter jusqu'à 1 A sous 15 V.

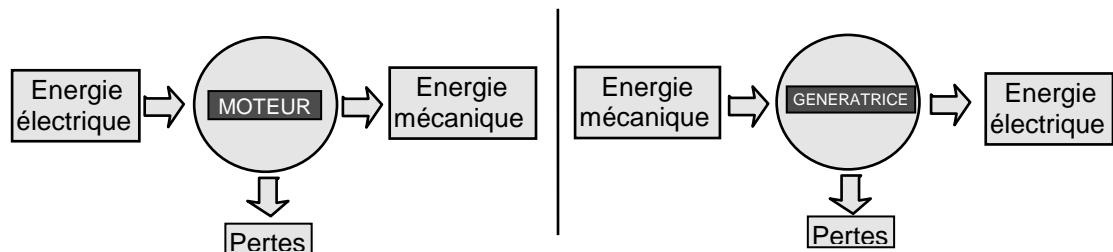
Remarque : La tension nominale du moteur étant de 12 V, il faut éviter de dépasser cette tension. L'emploi d'une alimentation pouvant débiter jusqu'à 30 V doit se faire avec précaution.

La tension maximale admissible est de l'ordre de 16 V.

- Pour l'étude de la génératrice en charge, il faut utiliser un potentiomètre d'environ 470Ω - 3 W, en série avec une résistance "talon" de 22Ω - 5 W.

3 Les machines à courant continu

1. Une machine à courant continu est un convertisseur d'énergie. Les transferts d'énergie qui s'opèrent pendant son fonctionnement apparaissent dans le diagramme ci-dessous :

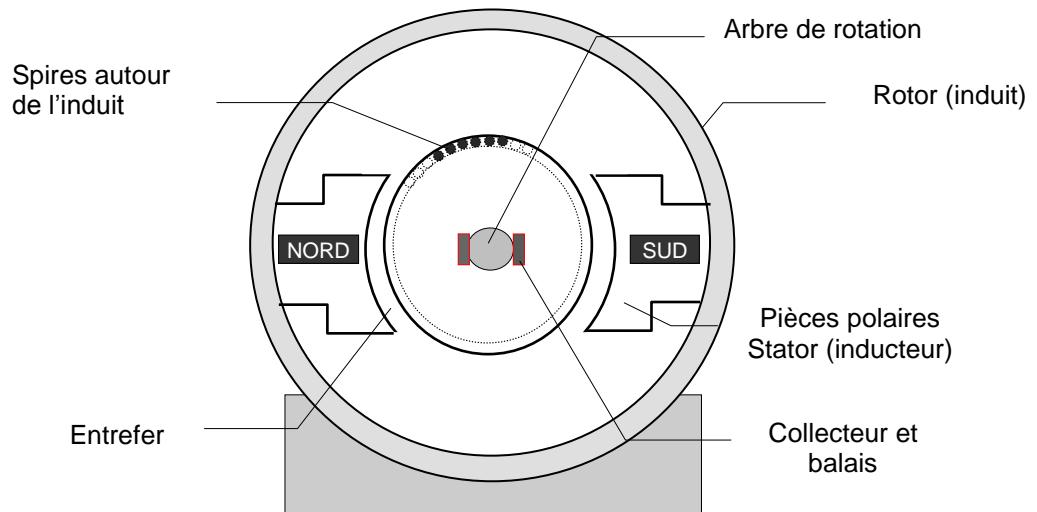


On constate, s'il est alimenté par un générateur de tension continue, qu'un moteur peut fournir de l'énergie mécanique à un système. Cette énergie mécanique se traduit par l'existence d'un couple de moment Γ qui peut tourner à la vitesse angulaire ω .

La génératrice à courant continu, lorsqu'elle est entraînée par une source d'énergie mécanique, peut fournir un courant continu dans un circuit électrique. Cette énergie électrique se traduit par l'existence d'une tension et d'une intensité continues.

La même machine peut fonctionner en moteur ou en génératrice.

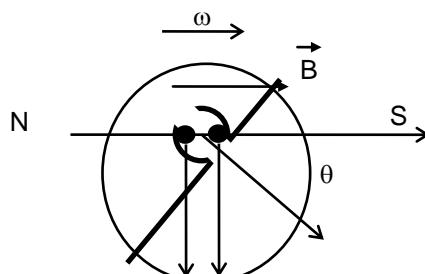
2. Description de la machine à courant continu :



3. Fonctionnement réduit à une seule spire

- L'expression de la f.e.m. dans une spire est donnée par la loi de Faraday :

$$e = - d\phi/dt$$



Le flux ϕ dans une spire est une fonction sinusoïdale du temps. Il dépend de la vitesse de rotation ω de la spire.

Si on appelle Φ le flux maximal passant dans une spire, à une date t , et si la normale à la spire fait un angle $\theta = \omega t$ avec l'axe repère du mouvement (colinéaire au champ magnétique B), le flux ϕ a pour expression :

$$\phi = \Phi \cos(\omega t)$$

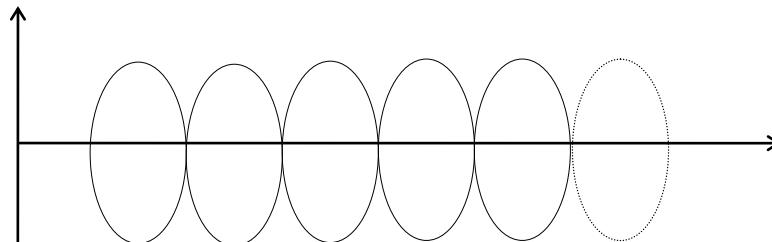
La loi de Faraday donne

$$e = \Phi \omega \sin(\omega t)$$

- Rôle du collecteur

Si les balais sont placés dans l'axe des pôles, chaque passage de la spire par une position orthogonale à cette direction change le signe de la tension e entre les balais.

Comme e change de signe en même temps avec la valeur de $\sin(\omega t)$ les deux effets se compensent : le collecteur joue le rôle d'un dispositif redresseur et la tension a cet aspect :



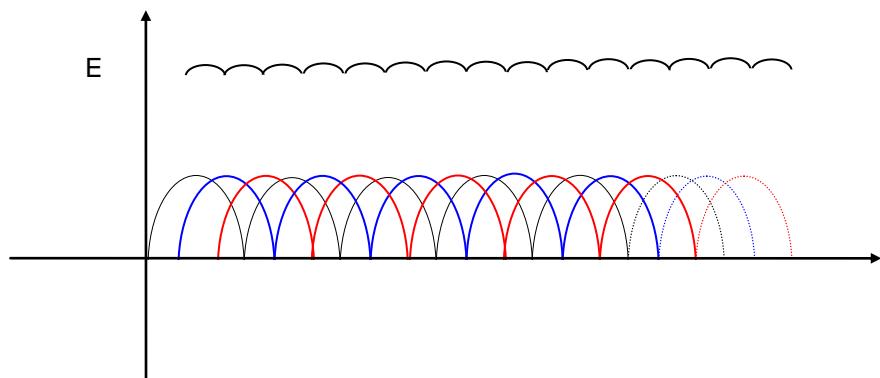
La valeur moyenne E de cette fonction sinusoïdale redressée est :

$E = 2/\pi \cdot \Phi \cdot \omega \quad \text{ou} \quad E = k \cdot \Phi \cdot \omega$

E est proportionnel à la vitesse de rotation.

4. Cas d'un moteur réel

Les tensions dues aux N spires du moteur sont décalées tout autour de l'axe. Elles donnent des tensions qui sont progressivement déphasées les unes par rapport aux autres. Leur somme est une fonction ondulée qui tend à l'être d'autant moins que le nombre de spires et de pôles est plus grand (par exemple, deux paires de pôles ou davantage).



La f.e.m. de la machine est proportionnelle à la f.e.m. d'une spire et au nombre de tours de fils. Elle est de la forme :

$$E = N \cdot k \cdot \Phi \cdot \omega$$

Le nombre N de spires est choisi et les spires sont réparties sur toute la surface de l'induit dans des encoches et associées de façon à obtenir la tension totale la moins ondulée possible.

Cette tension est proportionnelle à la vitesse de rotation.

4 Manipulations

① La première partie de ce recueil de manipulations est destiné au professeur. Elle regroupe quelques manipulations réalisées avec le MODULE MOTEUR GENERATRICE. Les résultats numériques et les courbes qui y figurent proviennent de mesures réelles. Cependant, celles-ci ont été réalisées dans des conditions quelconques et peuvent différer des mesures personnelles observées par les expérimentateurs : les mesures qui suivent ne sont donc que des exemples.

En particulier, elles dépendent de la série de moteurs utilisés.

② La deuxième partie du recueil reprend les expériences de la première partie sous la forme de fiches de travaux pratiques directement utilisables par le professeur dans sa classe ou facilement modifiables. Dans le texte destiné aux élèves, des questions sont fréquemment posées : elles correspondent souvent aux remarques concernant les observations, les résultats expérimentaux et les conclusions de la première partie.

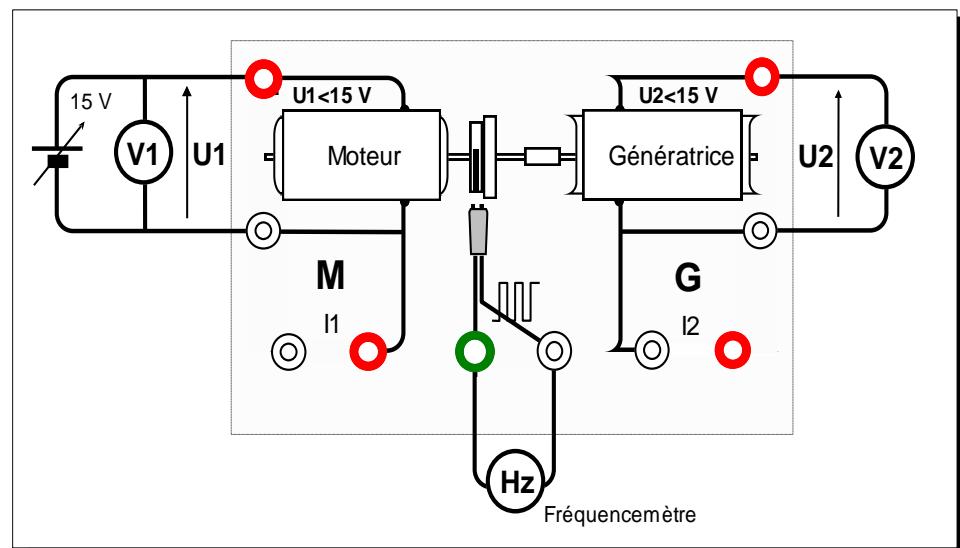
③ Précautions d'emploi : La tension d'utilisation nominale des moteurs est 12 V. Il est possible de dépasser cette valeur, sans dépasser 15 V pendant peu de temps pour éviter un échauffement préjudiciable des moteurs. La mesure de la résistance interne du moteur est réalisée moteur bloqué. *Il est impératif ici d'opérer à très basse tension, durant peu de temps et sans dépasser une tension de 1 à 2 V.*

4.1 Etude d'une génératrice à vide

Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la tension à vide d'un moteur fonctionnant en génératrice, en fonction de la vitesse de rotation.

1ère étape : le montage

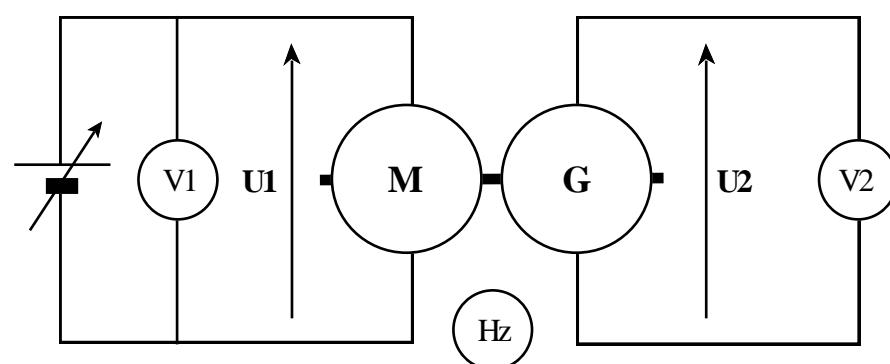
On réalise le montage représenté ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- deux multimètres
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Le schéma de ce montage est représenté par :



2ème étape : le protocole

Tracé de la courbe représentant la tension de la génératrice à vide U_2 (en V) en fonction de la vitesse de rotation f (en Hz).

- ① On fait varier progressivement depuis la valeur la plus faible permise la tension d'alimentation du moteur.

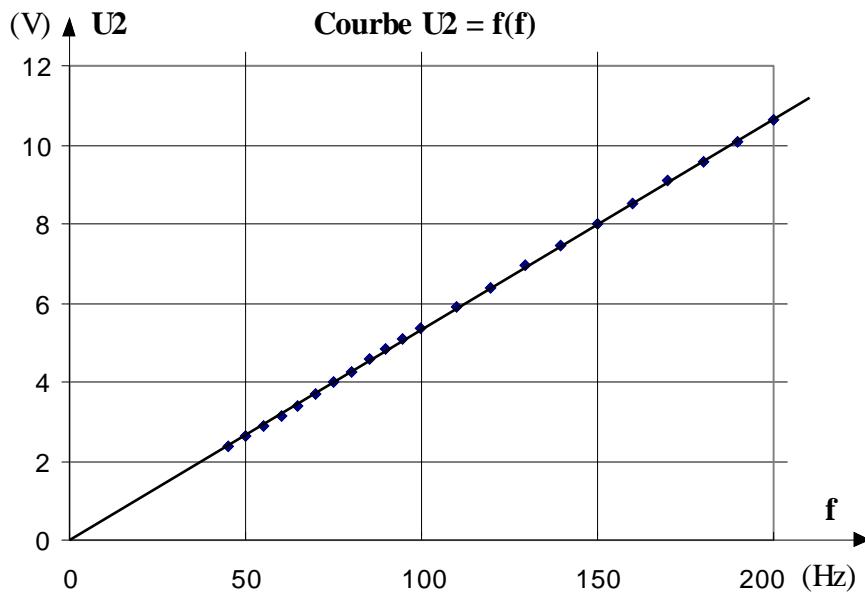
Remarque : La mesure de la vitesse de rotation est obtenue par un dispositif électronique qui nécessite une tension d'au moins 3,2 V.

- ② On relève les valeurs de f , de U_1 et U_2 et on les reporte dans un tableau :

Fréquence (Hz)	Tension U_1 (V)	Tension U_2 (V)	Fréquence (Hz)	Tension U_1 (V)	Tension U_2 (V)
46	2,94	2,41	100	5,91	5,29
50	3,15	2,61	110	6,45	5,82
55	3,47	2,91	120	7,00	6,35
60	3,74	3,16	130	7,54	6,88
65	4,00	3,41	140	8,08	7,40
70	4,26	3,68	150	8,64	7,94
75	4,59	4,00	160	9,19	8,47
80	4,85	4,25	170	9,81	9,06
85	5,10	4,51	180	10,40	9,58
90	5,36	4,77	190	10,95	10,1
95	5,62	5,00	200	11,45	10,65

- ③ On copie ces valeurs dans un tableur (ce qui peut être fait dès le début des mesures) : f dans la première colonne (*Abscisse*) et U_1 et U_2 dans la deuxième et la troisième colonne (*C. n°1* et *C. n°2*).

- ④ On visualise la courbe $U_2 = f(f)$. On obtient la représentation suivante :



- ⑤ Observations : la courbe obtenue est une droite passant par l'origine (dans les limites du domaine étudié).

3ème étape : l'exploitation des résultats

❖ Force électromotrice de la génératrice

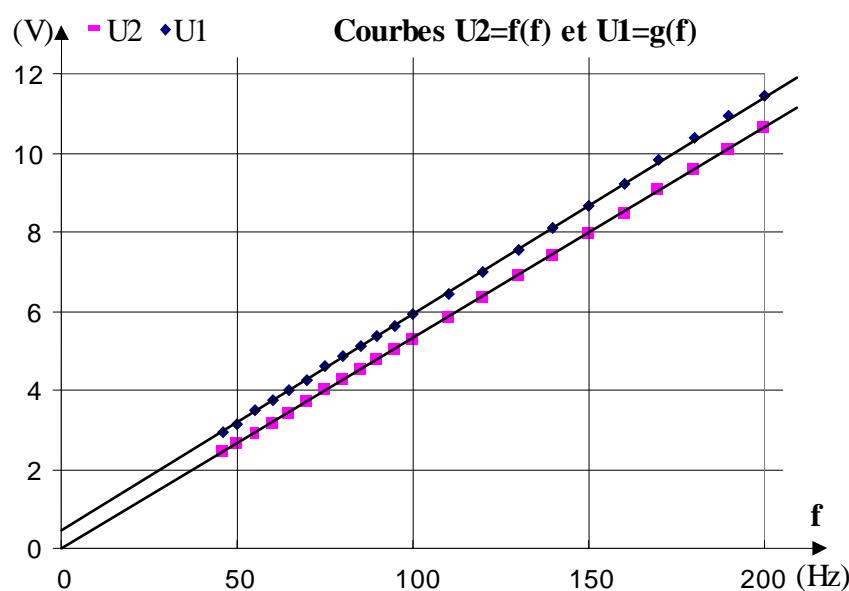
- ① Le graphique précédent montre que la tension aux bornes de la génératrice à vide est proportionnelle à la fréquence de rotation de celle-ci.
- ② Cette tension est la f.e.m. de la génératrice. En particulier, cette f.e.m. a pour valeur :

$E_{50} = 2,6 \text{ V à } f = 50 \text{ Hz ou } 3000 \text{ tr/min.}$
 $E_{100} = 5,9 \text{ V à } f = 100 \text{ Hz ou } 6000 \text{ tr/min.}$

❖ Tension aux bornes du moteur

- ① On visualise la courbe $U_1 = g(f)$ sur le même graphique que la courbe $U_2 = f(f)$.

On obtient la représentation suivante.



- ② La courbe $U_1 = g(f)$ est une droite sensiblement parallèle à la courbe $U_2 = f(f)$.

La vitesse de rotation du moteur est donc une fonction affine de la tension d'alimentation, dans le domaine des mesures réalisées.

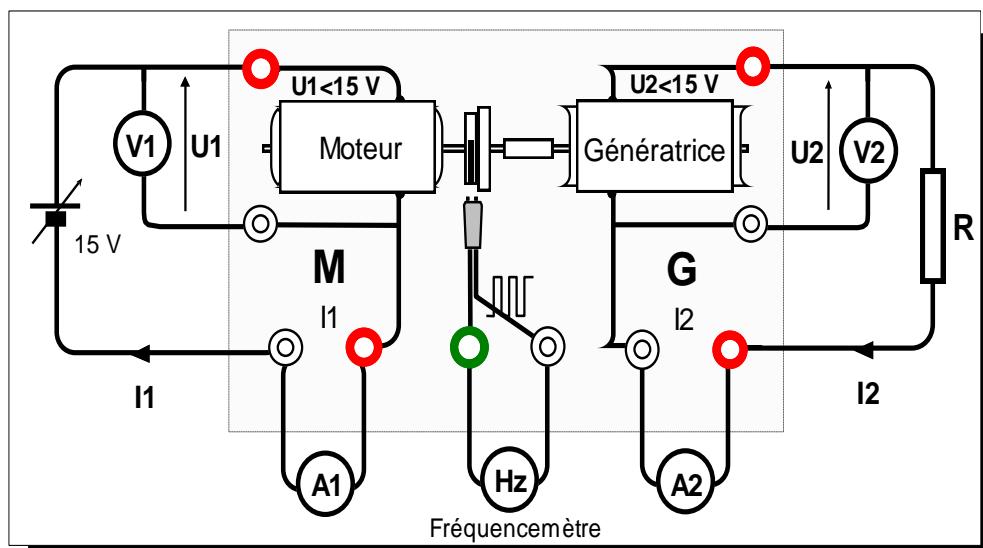
Remarque : Les mesures et les résultats obtenus peuvent varier d'une série de moteurs à l'autre.

4.2 Etude d'une génératrice en charge

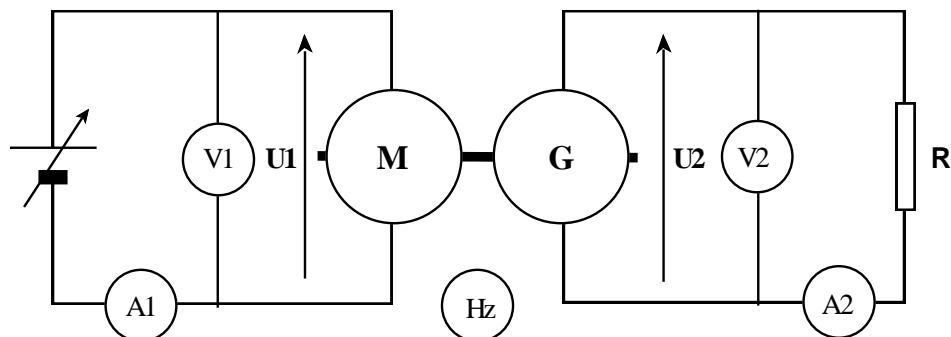
Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la tension en charge d'un moteur fonctionnant en génératrice, en fonction de la vitesse de rotation, et d'étudier le rendement de la chaîne énergétique ainsi réalisée (ainsi que sa variation en fonction de la vitesse de rotation).

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Deux autres multimètres sont utilisés en milliampèremètres pour mesurer les intensités dans les circuits du moteur et de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Le schéma de ce montage est représenté par :



Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une résistance de $22\ \Omega - 5\ W$

- trois ou quatre multimètres
- un fréquencemètre
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Remarque : Pour éviter d'utiliser un grand nombre de contrôleurs, il est possible :

- de mesurer la fréquence de rotation à l'aide d'un oscilloscope,
- de mesurer les tensions aux bornes du moteur et de la génératrice à l'aide d'un même voltmètre (rélié successivement aux bornes des deux machines par l'intermédiaire d'un inverseur double).

Il est préférable d'avoir un milliampèremètre dans chacun des deux circuits (pour éviter les perturbations qui apparaîtraient lors d'un déplacement éventuel du milliampèremètre dont la résistance propre n'est pas négligeable). Le calibre de 10 A ne permet pas d'obtenir une bonne précision.

La résistance de charge utilisée dans le circuit de la génératrice est constituée d'une résistance fixe

$$R = 22 \Omega - 5 W$$

2ème étape : le protocole et les mesures

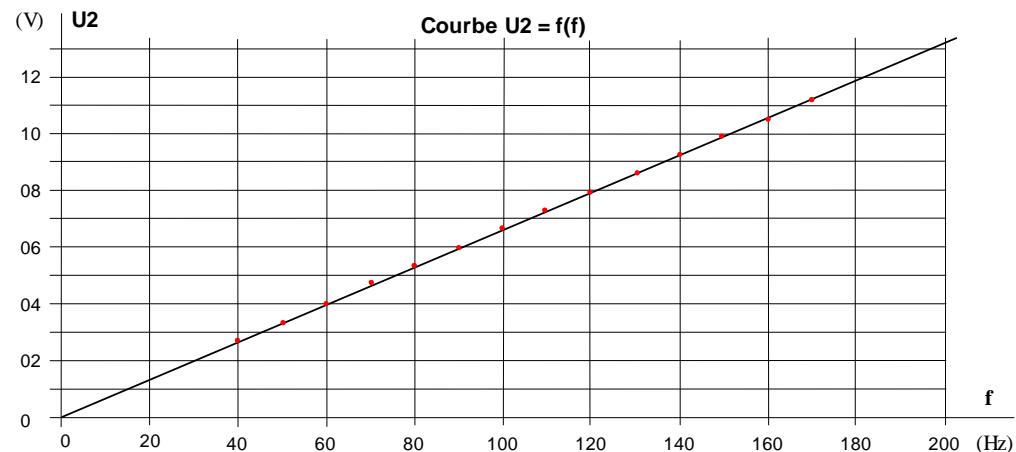
- ① On fait varier progressivement la vitesse de rotation du système et on relève les valeurs de la fréquence de rotation f , les tensions et les intensités U_1 et I_1 , U_2 et I_2 , dans le moteur et dans la génératrice en charge.
- ② Les mesures et les calculs sont reportées dans le tableau ci-dessous :

f (Hz)	U_1 (V)	I_1 (A)	U_2 (V)	I_2 (A)	$P_1=U_1 \cdot I_1$ (W)	$P_2=U_2 \cdot I_2$ (W)	$\rho=P_2/P_1$ (%)
40	4,21	0,45	2,69	0,105	1,89	0,282	14,9
50	5,10	0,50	3,36	0,132	2,55	0,444	17,4
60	5,95	0,55	4,01	0,158	3,27	0,634	19,4
70	6,87	0,59	4,68	0,184	4,05	0,861	21,2
80	7,75	0,62	5,35	0,210	4,80	1,12	23,4
90	8,61	0,66	5,97	0,230	5,68	1,37	24,7
100	9,55	0,70	6,66	0,260	6,69	1,73	26,2
110	10,4	0,73	7,25	0,280	7,58	2,03	27,9
120	11,2	0,75	7,89	0,300	8,40	2,37	28,6
130	12,1	0,78	8,58	0,320	9,44	2,75	29,8
140	12,9	0,80	9,2	0,340	10,4	3,13	30,4
150	13,7	0,81	9,83	0,350	11,1	3,44	31,0
160	14,4	0,81	10,5	0,345	11,7	3,63	31,1
170	15,2	0,79	11,2	0,340	12,0	3,81	30,8

3ème étape : l'exploitation des mesures

❖ **Tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation**

- ① Courbe donnant la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation :



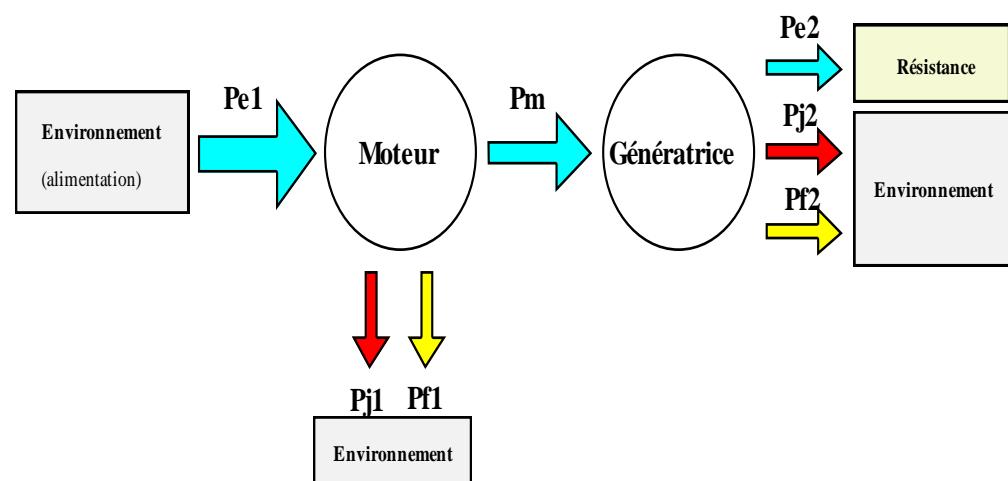
On constate que la courbe $U_2 = f(f)$ est une droite passant par l'origine.

- ② La tension aux bornes de la génératrice en charge est donc proportionnelle à la vitesse de rotation.

❖ **Puissances transférées par le moteur et la génératrice. Rendement.**

- ① On calcule les puissances électriques $P_1=U_1 \cdot I_1$ et $P_2=U_2 \cdot I_2$. Elles sont notées dans le tableau précédent.

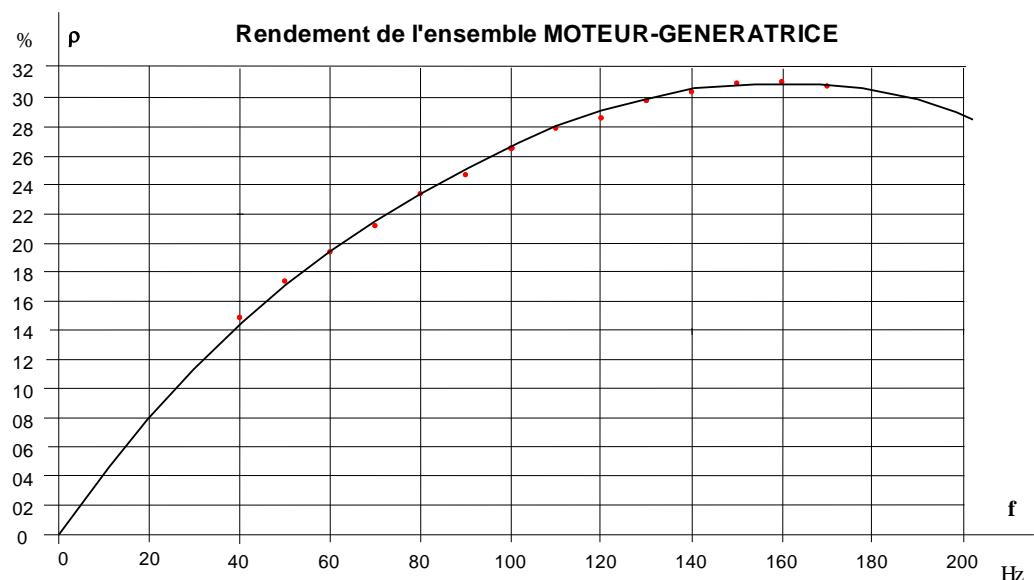
La conservation de la puissance se traduit par le diagramme énergétique suivant :



P_m est la puissance mécanique transférée par le moteur vers la génératrice. Elle est transformée en puissance électrique P_{e2} dans la résistance R .

Dans le moteur comme dans la génératrice, une partie de la puissance reçue est transférée vers l'environnement sous forme de chaleur : **Pj1** ou **Pj2** par effet Joule dans la génératrice et **Pf1** ou **Pf2** par les frottements mécaniques divers (balais du collecteur, support de l'arbre, ...) et par d'autres pertes, d'origine magnétique en particulier.

② Courbe donnant le rendement ρ en fonction de la vitesse de rotation :



③ Rendement ρ du moteur

Le rendement est donné par la relation $\rho = P_2/P_1$. Les calculs figurent dans le tableau précédent.

Le rendement du moteur passe par un maximum de l'ordre de :

$$\rho = 32 \%$$

Les pertes diverses sont donc importantes.

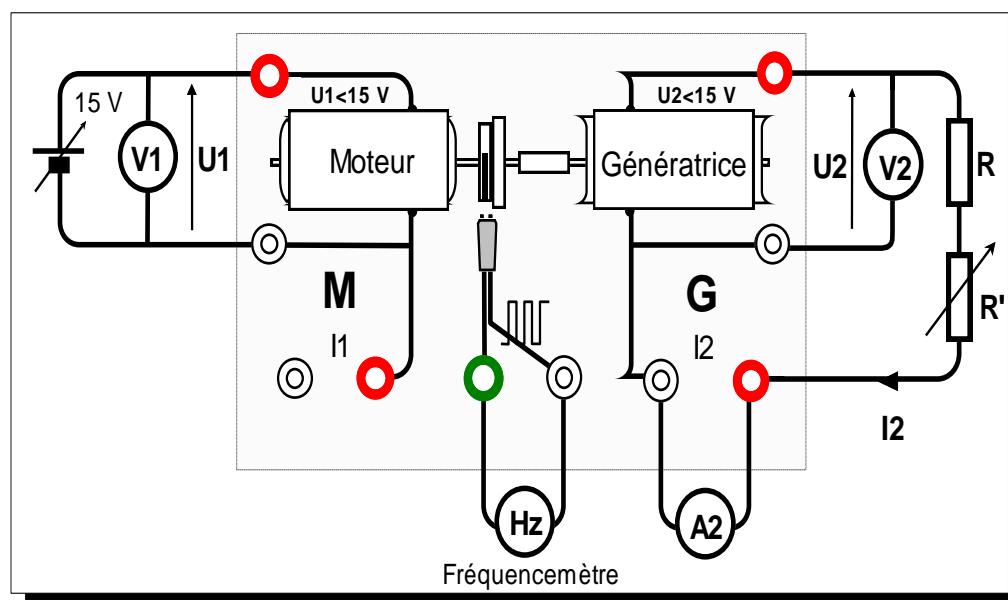
Remarque : Les mesures et les résultats obtenus peuvent varier d'une série de moteurs à l'autre

4.3 Etude de la caractéristique courant-tension d'une génératrice

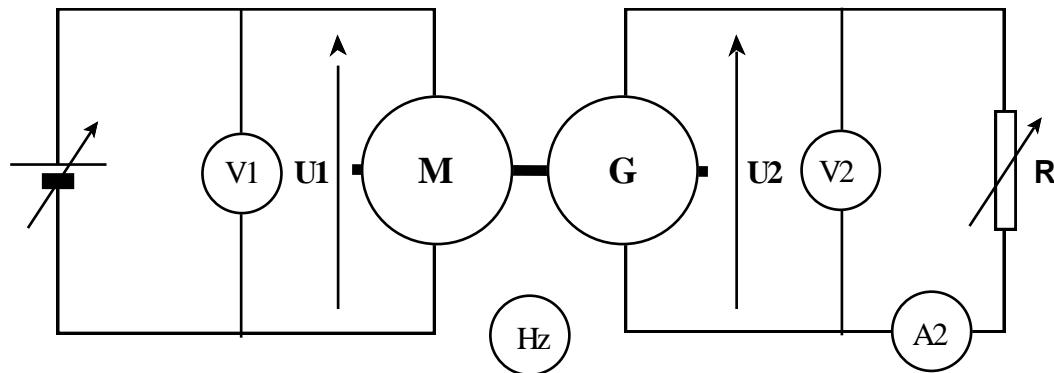
Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la caractéristique d'une génératrice utilisée à vitesse constante et la détermination de sa f.e.m. E et de sa résistance propre r' .

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre est utilisé en milliampèremètre pour mesurer l'intensité dans le circuit de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Le schéma de ce montage est représenté par :



Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une résistance de $22\ \Omega - 5\ W$
- une résistance variable de $470\ \Omega - 3\ W$
- trois multimètres
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

2ème étape : le protocole

- ① On choisit une vitesse de rotation qui sera conservée durant les mesures. Deux séries de mesures sont réalisées par la suite pour deux vitesses de rotation

$$f_1 = 80 \text{ Hz} \quad \text{et} \quad f_2 = 160 \text{ Hz}$$

Pendant les mesures, le fréquencemètre sert à vérifier la constance de la vitesse. Celle-ci est ajustée au besoin en agissant sur la tension délivrée par l'alimentation stabilisée. Le voltmètre V_1 sert surtout à vérifier que la tension U_1 n'augmente pas dangereusement ; pour la fréquence de 80 Hz, il n'y a aucun danger et on peut se passer du voltmètre V_1 .

- ② Le circuit électrique de la génératrice G utilise un ensemble de deux résistances,
 $R=22,5 \Omega - 3 \text{ W}$ (résistance « talon ») et une résistance variable
 $R'=470 \Omega - 3 \text{ W}$.

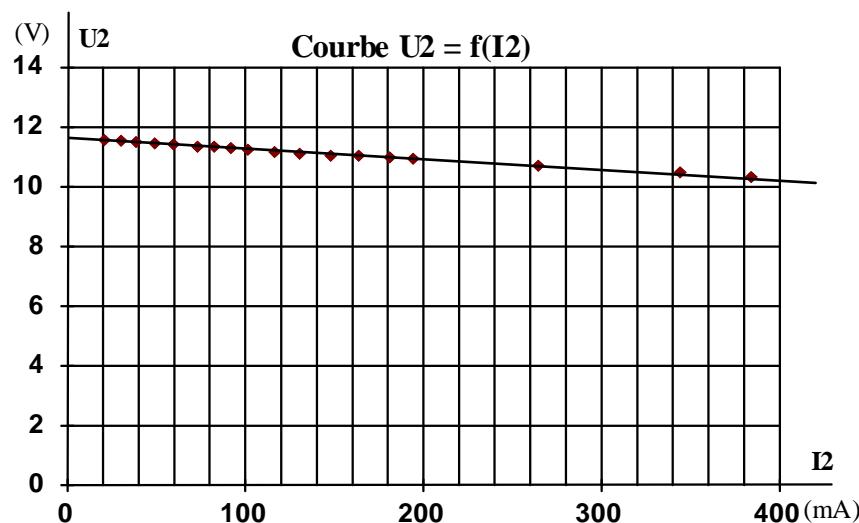
On fait varier régulièrement R' , depuis sa valeur la plus grande jusqu'à zéro. On relève les valeurs de U_2 et de I_2 (en choisissant pour I_2 des valeurs espacées d'environ 10 à 20 mA)

Le tableau des mesures est le suivant :

Vitesse = 80 Hz			
I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)
11,0	5,92	101	5,65
20,0	5,91	112	5,62
30,4	5,88	125	5,59
40,3	5,82	135	5,57
50,7	5,78	147	5,54
60,4	5,76	164	5,50
70,4	5,75	176	5,45
81,0	5,70	188	5,43
90,2	5,68		

Vitesse = 160 Hz			
I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)
21,5	11,57	116	11,22
30,4	11,54	130	11,12
39,3	11,53	148	11,10
49,0	11,44	164	11,05
59,1	11,44	181	11,01
72,8	11,37	194	10,96
82,2	11,35	264	10,75
92,0	11,29	344	10,51
101	11,27	384	10,36

- ③ On copie ces valeurs dans un tableur (ce qui peut être fait dès le début des mesures) : I_2 dans la première colonne (*Abscisse*) et U_2 dans la colonne (*C. n°1*).
 ④ On visualise - pour $f_2 = 160 \text{ Hz}$ - la courbe $U_2 = f(I_2)$. On obtient la représentation de la page suivante. La courbe $U_2 = f(I_2)$ pour $f_1 = 80 \text{ Hz}$ (non représentée) est semblable.
 ⑤ Observations : la courbe obtenue (dans la limite des mesures effectuées) est une droite de pente négative ne passant pas par l'origine.



3ème étape : l'exploitation des résultats

❖ Caractéristique Intensité-tension de la génératrice

- ① La droite obtenue peut être modélisée par la fonction

$$U_2 = E - r \cdot I_2$$

L'ordonnée à l'origine E a pour valeur :

$$E = 11,6 \text{ V}$$

Le coefficient directeur r a pour valeur :

$$r = 3,3 \Omega$$

- ② E est la f.e.m. et r est la résistance propre de la génératrice

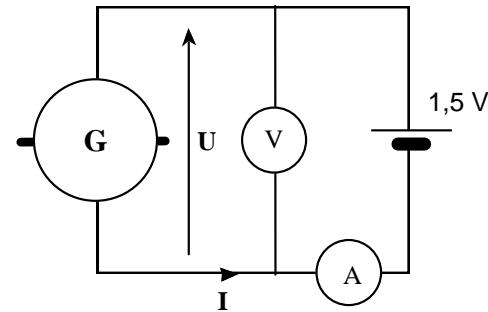
❖ Mesure directe de la résistance propre de la génératrice

- ① La résistance propre de la génératrice est celle des enroulements de la machine.

Il est possible de la mesurer directement à l'aide d'un ohmmètre : la génératrice étant débranchée. Il faut réaliser plusieurs mesures successives en tournant à la main l'arbre du moteur afin d'éviter les mauvais contacts dus à la position des balais sur le collecteur.

On trouve une valeur moyenne $r = 3,3 \Omega$ pour un ensemble de 10 mesures.

- ② Une autre méthode de mesure consiste à réaliser un circuit contenant la génératrice en série avec une pile de 1,5 V et des appareils de mesure comme l'indique le schéma ci-dessous :



Quelques mesures de U et I donnent - moteur bloqué - et pour diverses positions de l'arbre : $r=U/I$.

Attention à l'échauffement du moteur !

On trouve, en moyenne, $U=1,58 \text{ V}$ et $I=0,46 \text{ A}$ soit une valeur

$$r = 3,43 \Omega$$

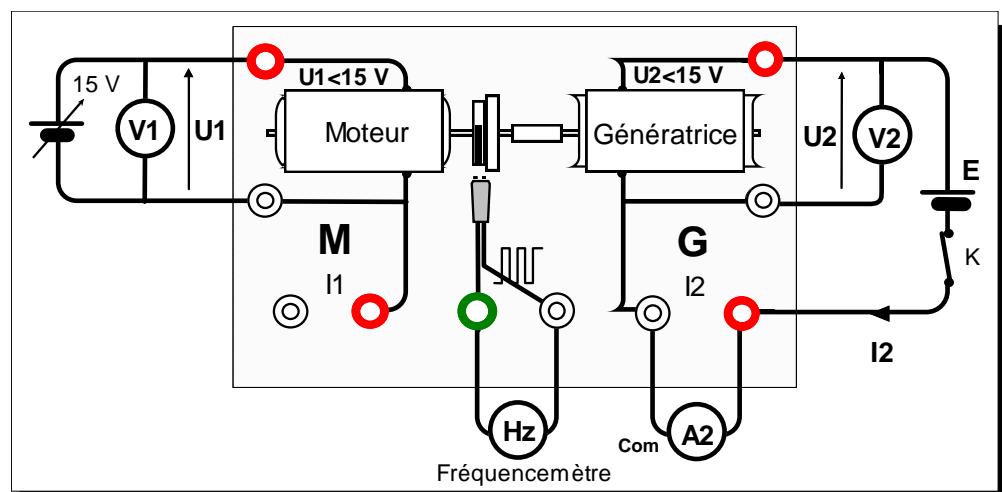
Remarque : Les mesures et les résultats obtenus peuvent varier d'une série de moteurs à l'autre.

4.4 Réversibilité d'une machine tournante

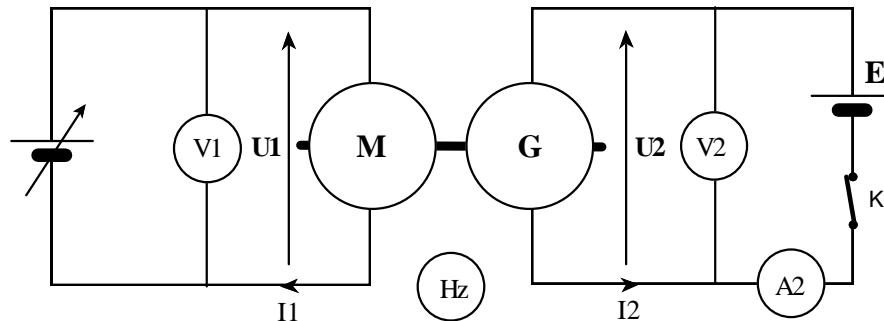
Le but de la manipulation est de montrer qu'un moteur peut se comporter en génératrice et inversement qu'une génératrice peut devenir un moteur.

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre est utilisé en millampèremètre pour mesurer l'intensité dans le circuit de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Le schéma de ce montage est représenté par :



Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une pile de 4,5 V
- un interrupteur
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Remarque : Le voltmètre V1, en dérivation sur le moteur M sert uniquement à contrôler la tension appliquée pour éviter toute surcharge du moteur. Ici, les tensions atteintes (entre 3 V et 8 V environ) sont inférieures à la tension maximale. Le voltmètre V1 peut alors être supprimé.

2ème étape : le protocole

① Une pile Leclanché de f.e.m. voisine de $E=4,5$ V est placée en opposition par rapport à la génératrice. Un interrupteur K permet de fermer ou d'ouvrir le circuit électrique de la génératrice.

② Lorsque l'alimentation stabilisée dans le circuit du moteur ne fonctionne pas, la pile oblige la génératrice G à fonctionner en moteur et à entraîner le moteur M. L'intensité I_2 , dans le circuit de la génératrice, est alors *négative* si on branche l'ampèremètre A2 comme indiqué sur le schéma (Commun sur la borne blanche, entrée mA sur la borne rouge)

On fait varier régulièrement la tension d'alimentation du moteur M à partir de zéro. L'intensité I_2 , dans le circuit de la génératrice, est toujours *négative*, cependant, elle diminue en valeur absolue et se rapproche de zéro.

Pour une certaine valeur de la tension d'alimentation U_1 du moteur M, l'intensité I_2 bascule, devient positive et continue à croître.

③ On relève les valeurs de U_1 , de U_2 et de I_2

On choisit pour I_2 des valeurs espacées d'environ 10 à 20 mA en restant toujours sur le même calibre de 200 mA de l'ampèremètre.

Les valeurs I_2 varient donc entre environ - 190 mA et +190 mA.

Parallèlement, on relève les valeurs de la fréquence f de rotation du système. La mesure de f n'est possible que pour une tension d'alimentation du moteur M voisine de 3,5 V. La fréquence f est alors de l'ordre de 40 Hz au départ des mesures.

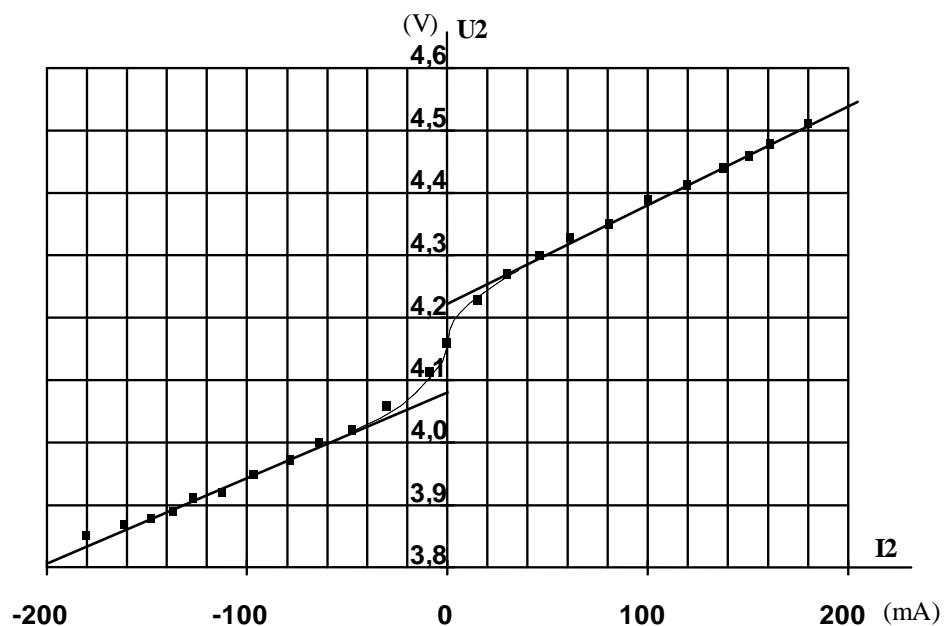
Le tableau des mesures est le suivant :

f (Hz)	U ₁ (V)	I ₂ (mA)	U ₂ (V)	f (Hz)	U ₁ (V)	I ₂ (mA)	U ₂ (V)
42	3,67	-180	3,85	56	5,25	0	4,16
43	3,83	-161	3,87	58	5,48	+15	4,23
44	3,94	-148	3,88	59	5,62	+30	4,27
45	4,02	-137	3,89	60	5,76	+46	4,30
45	4,13	-127	3,91	62	5,88	+61	4,33
46	4,25	-113	3,92	63	6,05	+80	4,35
48	4,36	-97,2	3,95	65	6,22	+100	4,39
49	4,52	-79,	3,97	66	6,36	+119	4,41
50	4,65	-64	4,00	67	6,55	+138	4,44
51	4,80	-48	4,02	68	6,65	+150	4,46
53	4,96	-30	4,06	69	6,74	+161	4,48
54	5,10	-15	4,10	71	6,93	+180	4,51

3ème étape : l'exploitation des mesures

❖ Tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation

- ① Courbe donnant la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation :



② Observations :

On constate que la courbe $U_2 = f(I_2)$ est constituée de *deux demi-droites ne passant pas par l'origine*.

Les deux demi-droites ont approximativement la même pente mais ne sont pas tout à fait dans le prolongement l'une de l'autre.

❖ Modélisation

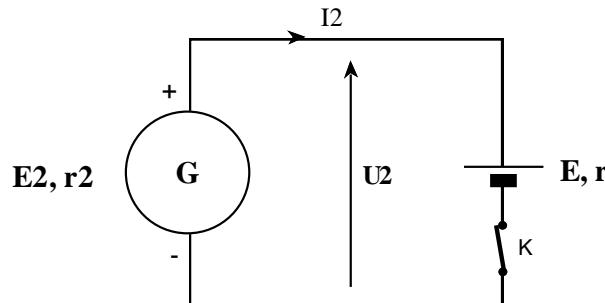
Les demi-droites observées sont modélisées par les expressions :

$$U_2 = E_{2a} + r_{2a} \cdot I_2 \quad \text{et} \quad U_2 = E_{2b} + r_{2b} \cdot I_2$$

$I_2 < 0$	ordonnée à l'origine de la courbe coefficient directeur de la courbe	$E_{2a} = 4,09 \text{ V}$ $r_{2a} = 1,42 \Omega$
$I_2 > 0$	ordonnée à l'origine de la courbe coefficient directeur de la courbe	$E_{2b} = 4,23 \text{ V}$ $r_{2b} = 1,56 \Omega$

❖ Interprétation

- ① Schéma simplifié du circuit génératrice-pile.



Le sens du courant a été fixé arbitrairement. Tel qu'il a été choisi, la génératrice fonctionne en générateur et la pile en récepteur. En utilisant les lois d'Ohm pour un générateur et un récepteur, la tension U_2 s'écrit :

$$U_2 = E_2 - r_2 \cdot I_2$$

$$\text{donc } I_2 = (E_2 - E) / (r + r_2)$$

$$U_2 = E + r I_2$$

- Si la f.e.m. E_2 de la génératrice G est inférieure à la f.e.m. E de la pile ($E > E_2$), alors l'intensité I_2 du courant est négative. Le sens du courant indiqué sur le schéma n'est pas le bon. Dans ce cas, c'est la pile qui joue le rôle de générateur, et la génératrice fonctionne en récepteur (moteur).
- Si la f.e.m. E_2 de la génératrice G est supérieure à la f.e.m. E de la pile ($E < E_2$), alors l'intensité I_2 du courant est positive. Le sens du courant proposé sur le schéma est correct. Dans ce cas c'est la génératrice qui fonctionne en générateur et la pile joue le rôle de récepteur.
- Lorsque l'intensité I_2 du courant est nulle, les deux f.e.m. E_2 de la génératrice G et E de la pile Leclanché qui se trouvent placées en opposition sont égales.
- Cette étude simple n'est qu'approchée. Elle suppose que la génératrice garde la même f.e.m. lorsqu'elle se comporte en génératrice et lorsqu'elle se comporte en moteur, ce qui n'est pas le cas. On peut juste affirmer que $E_2 = E$ lorsque l'intensité I_2 est nulle.

- ② Conclusion

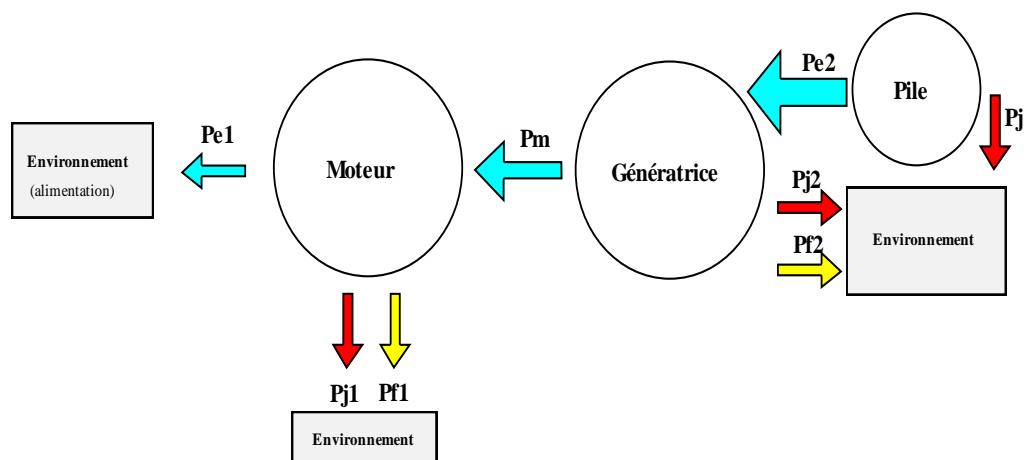
Une machine tournante est passée progressivement du rôle de récepteur au rôle de générateur. Elle est réversible :

- elle se comporte comme un moteur si on lui fournit de l'énergie électrique
- elle se comporte comme un générateur si on lui fournit de l'énergie mécanique

Remarque : Les mesures et les résultats obtenus peuvent varier d'une série de moteurs à l'autre.

❖ Diagrammes de transferts d'énergie dans le circuit

- ① Le courant I_2 est négatif : la génératrice se comporte comme un moteur. Elle fournit de la puissance mécanique au moteur M. Celui-ci joue alors le rôle d'une génératrice et transfère lui-même de l'énergie électrique à la source qui l'alimente.



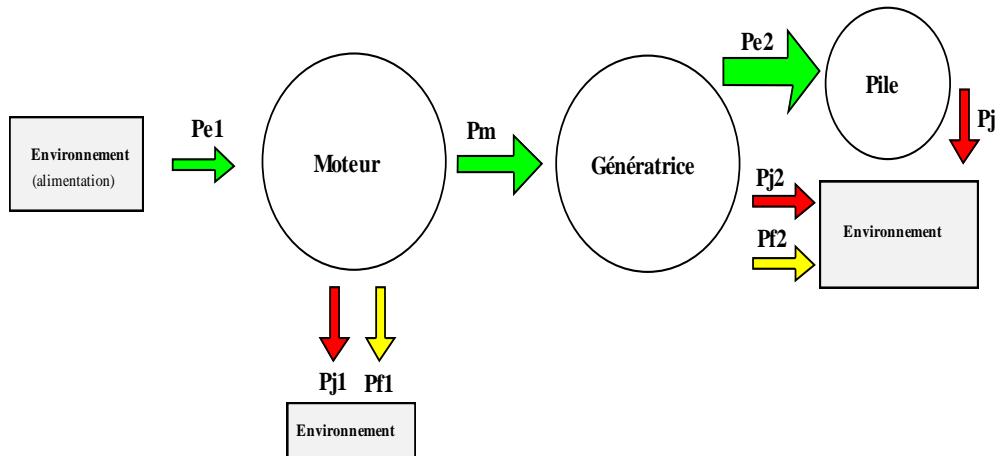
Conservation de la puissance :

$$Pe_2 = Pj + Pm + Pj_2 + Pf_2$$

Pm est la puissance mécanique transférée par la génératrice vers le moteur. Elle est transformée en puissance électrique Pe_2 dans le moteur M. Dans le moteur comme dans la génératrice ou la pile, une partie de la puissance est transférée vers l'environnement sous forme de chaleur : Pj , Pj_1 ou Pj_2 (par effet Joule). Pf_1 et Pf_2 sont des pertes par frottement ou autres origines (magnétiques en particulier).

- ② Le courant I_2 est positif : la génératrice se comporte comme un générateur.

Elle reçoit de la puissance mécanique Pm venant du moteur M et fournit de l'énergie électrique. La pile devient un récepteur. Les pertes restent de même nature.



Conservation de la puissance :

$$Pm = Pe_2 + Pj_2 + Pf_2$$

FICHES DE TRAVAUX PRATIQUES



Documents pour les élèves

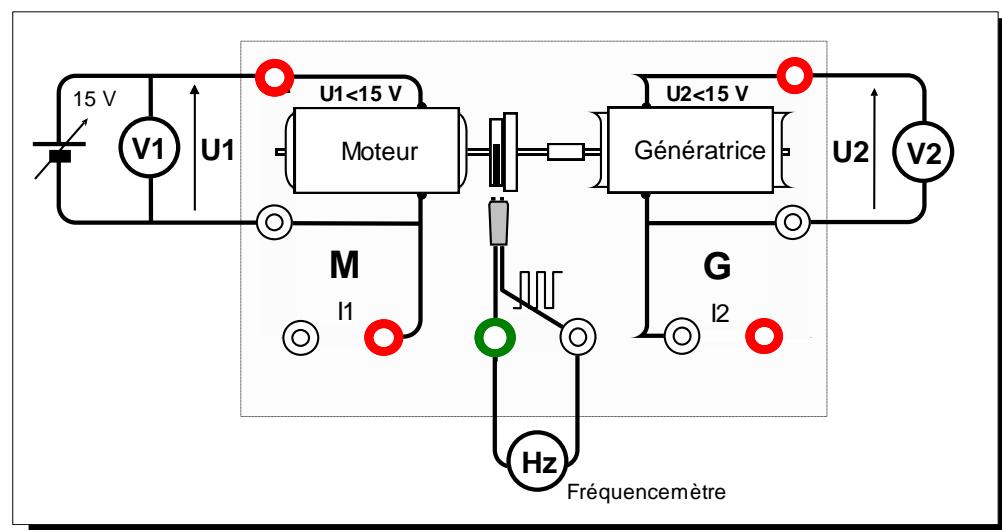


❖ Etude d'une génératrice à vide

Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la tension à vide d'un moteur fonctionnant en génératrice, en fonction de la vitesse de rotation.

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE,
- deux multimètres
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Représenter le schéma de ce montage :

2ème étape : le protocole

Tracé de la courbe représentant la tension de la génératrice à vide U_2 (en V) en fonction de la vitesse de rotation f (en Hz).

- ① On fait varier progressivement depuis la valeur la plus faible permise la tension d'alimentation du moteur.

Remarque : La mesure de la vitesse de rotation est obtenue par un dispositif électronique qui nécessite une tension d'au moins 3,2 V.

- ② On relève les valeurs de f , de U_1 et U_2 et on les reporte dans le tableau (10 mesures) :

Fréquence (Hz)	Tension U_1 (V)	Tension U_2 (V)	Fréquence (Hz)	Tension U_1 (V)	Tension U_2 (V)

- ③ On copie ces valeurs dans un tableur (ce qui peut être fait dès le début des mesures) : f dans la première colonne (*Abscisse*) et U_1 et U_2 dans la deuxième et la troisième colonne (*C. n°1 et C. n°2*).

- ④ On visualise la courbe $U_2 = f(f)$. Coller ou dessiner la représentation obtenue :



- ⑤ Observations : quelle est la nature de la courbe obtenue ? (dans les limites du domaine étudié)

3ème étape : l'exploitation des résultats

❖ Force électromotrice de la génératrice

- ① D'après le graphique précédent, quelle relation lie la tension aux bornes de la génératrice à vide à sa fréquence de rotation ?

② Que représente cette tension pour la génératrice ?

Noter sa valeur pour deux vitesses de rotation (50 Hz et 100 Hz par exemple) :

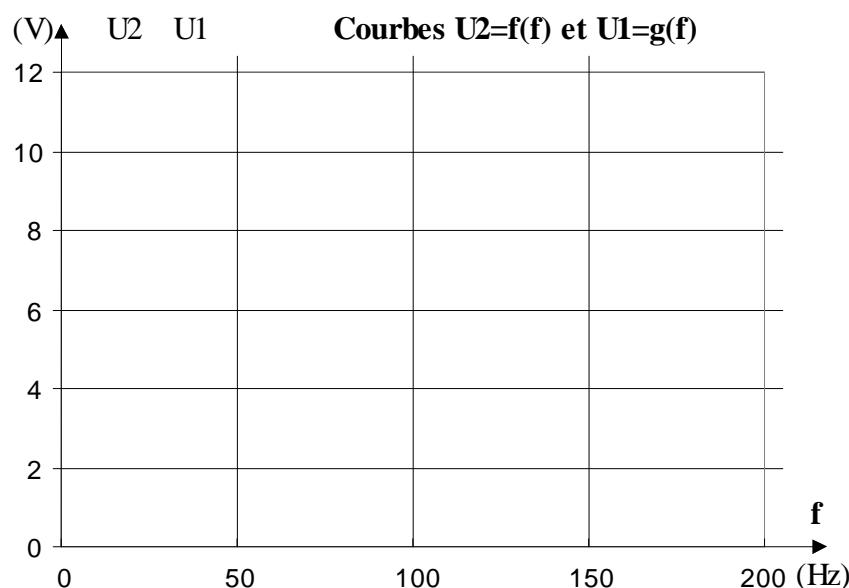
à $f=50$ Hz

à $f=100$ Hz

❖ Tension aux bornes du moteur

- ① On visualise la courbe $U_1 = g(f)$ sur le même graphique que la courbe $U_2 = f(f)$.

Donner la représentation des deux courbes :



- ② Quelle est la nature de la courbe $U_1=g(f)$. Comparer à la courbe $U_2=f(f)$.

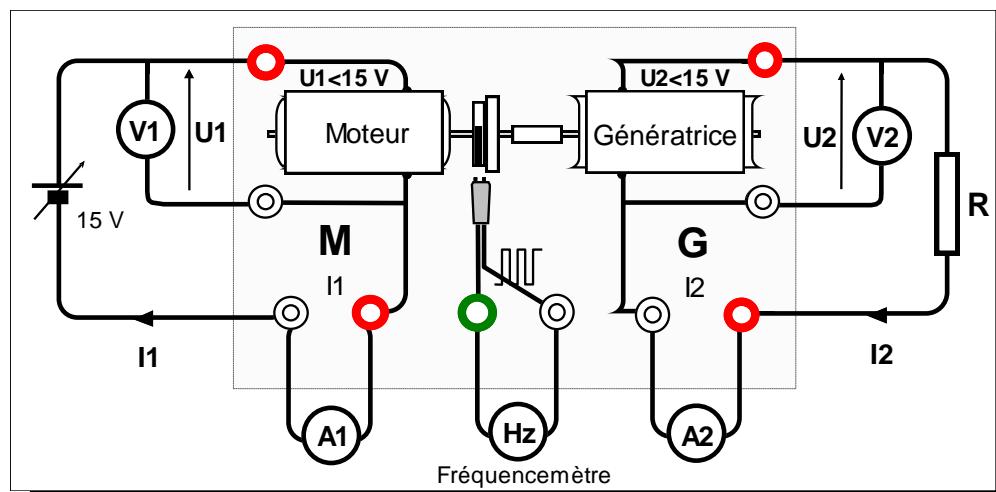
Que peut-on dire de la tension d'alimentation par rapport à la vitesse de rotation du moteur? (dans le domaine des mesures réalisées)

❖ Etude d'une génératrice en charge

Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la tension en charge d'un moteur fonctionnant en génératrice, en fonction de la vitesse de rotation, et d'étudier le rendement de la chaîne énergétique ainsi réalisée (ainsi que sa variation en fonction de la vitesse de rotation).

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Deux autres multimètres sont utilisés en milliampèremètres pour mesurer les intensités dans les circuits du moteur et de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Représenter le schéma de ce montage :

Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une résistance de $22\ \Omega - 5\ W$
- trois ou quatre multimètres
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Remarque : Pour éviter d'utiliser un grand nombre de contrôleurs, il est possible :

- de mesurer la fréquence de rotation à l'aide d'un oscilloscope,
 - de mesurer les tensions aux bornes du moteur et de la génératrice à l'aide d'un même voltmètre (rélié successivement aux bornes des deux machines par l'intermédiaire d'un inverseur double).

Mesurer à l'ohmmètre la valeur de la résistance de charge R utilisée dans le circuit de la génératrice. Noter également sa puissance admissible :

R =

2ème étape : le protocole et les mesures

- ① On fait varier progressivement la vitesse de rotation du système et on relève les valeurs de la fréquence de rotation f , les tensions et les intensités U_1 et I_1 , U_2 et I_2 , dans le moteur et dans la génératrice en charge.

On réalise une quinzaine de mesures. Les tensions d'alimentation utilisées vont depuis la plus faible tension permettant de lire la vitesse de rotation sur le fréquencemètre jusqu'à 15 V.

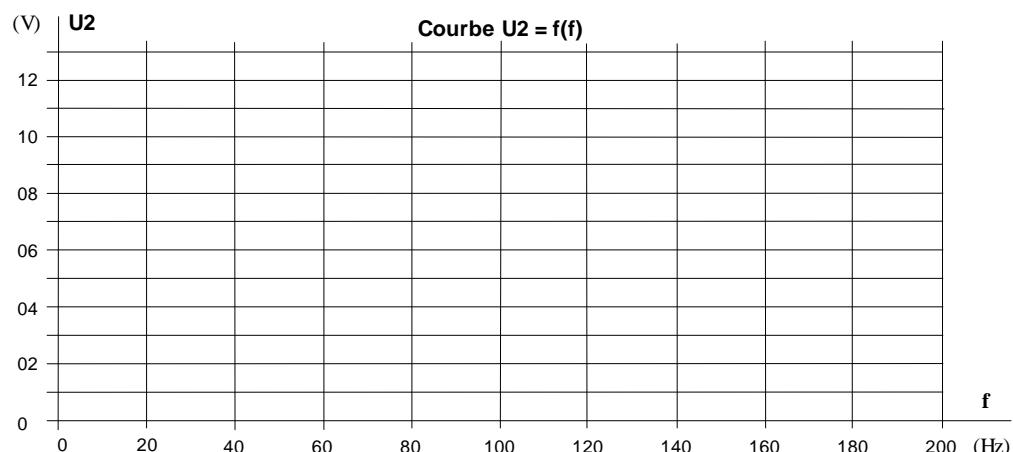
Pour les tensions supérieures à la tension nominale (12 V) il est conseillé de faire fonctionner le système uniquement pendant le temps nécessaire aux mesures !

- ② Les mesures et les calculs sont reportées dans le tableau ci-dessous :

3ème étape : l'exploitation des mesures

- ❖ Tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation

① Représenter la courbe donnant la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation :



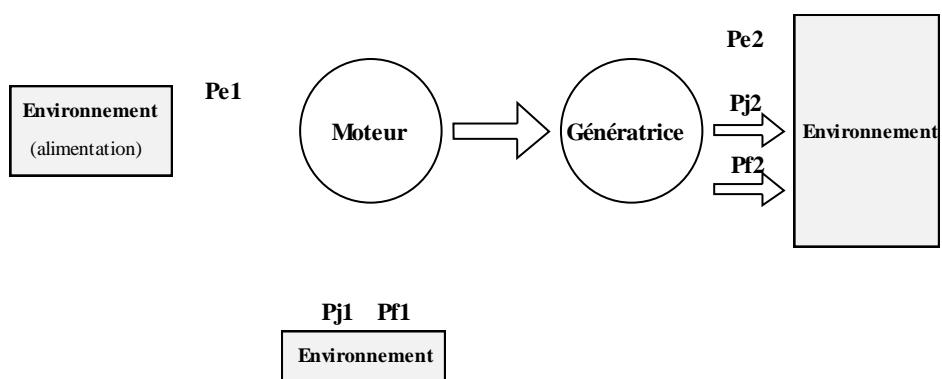
Quelle est la nature la courbe $U_2 = f(f)$ obtenue ?

② Comment varie la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation ?

- ❖ Puissances transférées par le moteur et la génératrice. Rendement.

① On calcule les puissances électriques $P_1=U_1.I_1$ et $P_2=U_2.I_2$. Elles sont notées dans le tableau précédent.

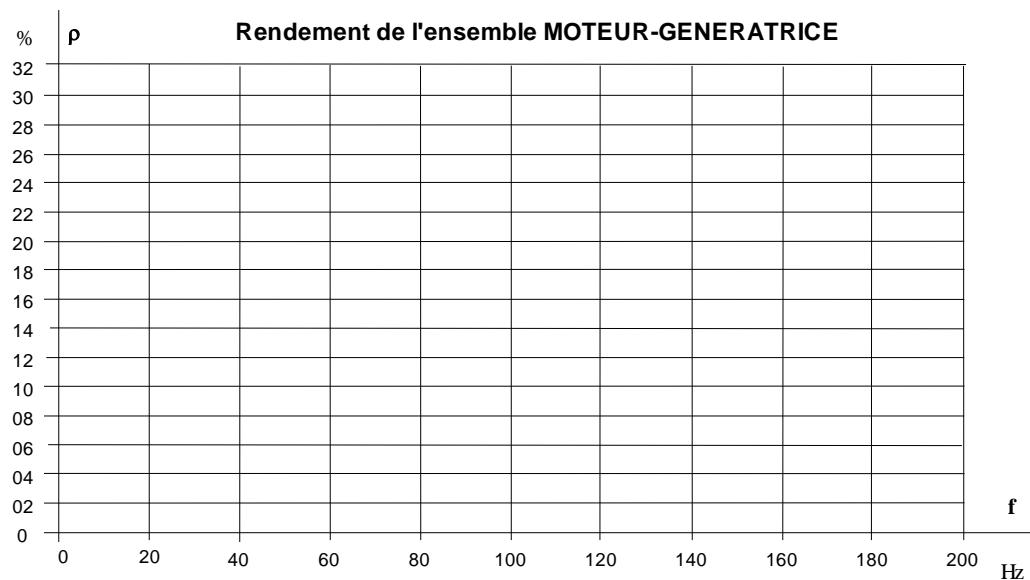
La conservation de la puissance se traduit par le diagramme énergétique suivant :



$$P_m = Pe2 + Pj2 + Pf2$$

Compléter le diagramme ci-dessus (flèches ou commentaire) et indiquer la nature des diverses puissances mises en jeu.

- ② Représenter la courbe donnant le rendement ρ en fonction de la vitesse de rotation :



- ③ Rendement ρ du moteur

Quelle expression définit le rendement de l'ensemble moteur-générateur ?

Quelle est l'allure de la courbe donnant le rendement en fonction de la vitesse de rotation ?

Quelle valeur remarquable peut-on mettre en évidence ?

Quelle est la valeur du rendement pour la tension nominale du moteur (12 V) ?

Quelle est alors la vitesse de rotation en tr/min. ?

Quelles sont ses coordonnées ?

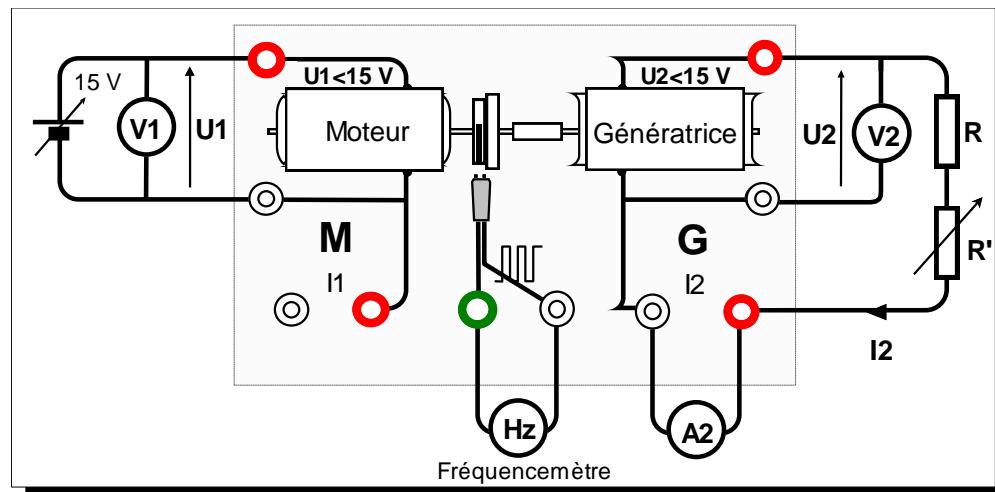
Que pensez-vous des diverses pertes ?

❖ Etude de la caractéristique courant-tension d'une génératrice

Le but de la manipulation est le tracé de la courbe représentant la caractéristique d'une génératrice utilisée à vitesse constante et la détermination de sa f.e.m. E et de sa résistance propre r' .

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre est utilisé en milliampèremètre pour mesurer l'intensité dans le circuit de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Représenter le schéma de ce montage:

Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une résistance de $22\ \Omega$ - 5 W
- une résistance variable de $470\ \Omega$ - 3 W
- trois multimètres
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

2ème étape : le protocole

- ① On choisit une vitesse de rotation qui sera conservée durant les mesures.

$$f = 160 \text{ Hz}$$

Pendant les mesures, le fréquencemètre sert à vérifier la constance de la vitesse. Celle-ci est ajustée au besoin en agissant sur la tension délivrée par l'alimentation stabilisée. Le voltmètre V_1 sert surtout à vérifier que la tension U_1 n'augmente pas dangereusement.

Si le temps le permet, faire une deuxième série de mesures pour $f=80$ Hz.

- ② Le circuit électrique de la génératrice G utilise un ensemble de deux résistances, l'une fixe (résistance « talon ») et l'autre variable, noter les valeurs de ces résistances :

$$R =$$

$$R' =$$

On fait varier régulièrement R' , depuis sa valeur la plus grande jusqu'à zéro. On relève les valeurs de U_2 et de I_2 (en choisissant pour I_2 des valeurs espacées d'environ 10 à 20 mA)

- ③ Compléter le tableau des mesures suivant (15 à 20 mesures):

Vitesse = 160 Hz

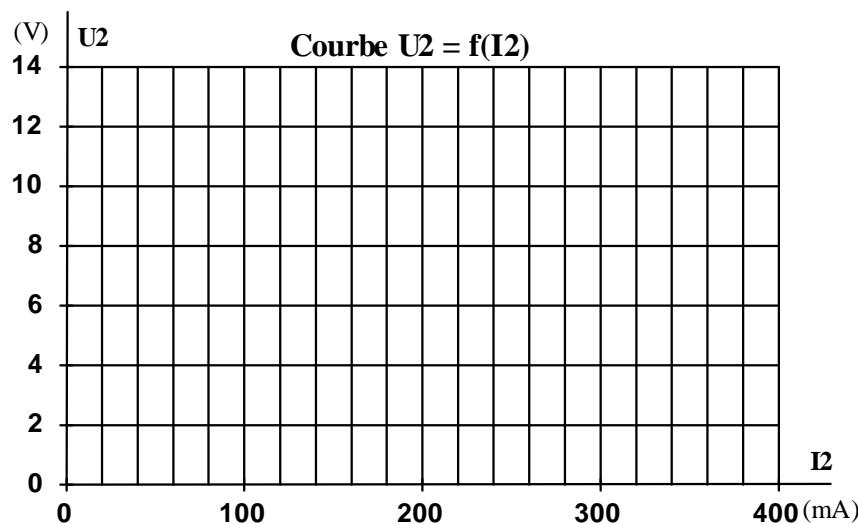
I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)

- ④ On copie ces valeurs dans un tableur (ce qui peut être fait dès le début des mesures) : I_2 dans la première colonne (*Abscisse*) et U_2 dans la colonne (*C. n°1*).

On visualise la courbe $U_2 = f(I_2)$.

- ⑤ Observations : quelle est la nature de la courbe obtenue (dans la limite des mesures effectuées) ?

Représenter (ou coller) la courbe obtenue.



3ème étape : l'exploitation des résultats

❖ Caractéristique Intensité-tension de la génératrice

① Quel est le modèle mathématique qui peut modéliser la courbe obtenue ?

Quelle loi relative à un générateur rappelle-t-il ?

Donner la valeur numérique des deux grandeurs décrivant la génératrice :

$$= \quad V \quad = \quad \Omega$$

② Que représentent les deux paramètres précédents ?

❖ Mesure directe de la résistance propre de la génératrice

① La résistance propre de la génératrice est celle des enroulements de la machine.

Il est possible de la mesurer directement à l'aide d'un ohmmètre : la génératrice étant débranchée. Il faut réaliser 5 à 6 mesures successives en tournant à la main l'arbre du moteur afin d'éviter les mauvais contacts dus à la position des balais sur le collecteur.

Calculer la valeur moyenne

$$r = \Omega$$

② Une autre méthode de mesure consiste à réaliser un circuit contenant la génératrice en série avec une pile de 1,5 V et des appareils de mesure. Dessiner le schéma ci-dessous :

Les mesures de U et I donnent **moteur bloqué** $r=U/I$.

Attention à l'échauffement du moteur !

Moyenne des mesures (5 à 6)

$U = \quad V$ et $I = \quad A$

soit une valeur

$$r = \quad \Omega$$

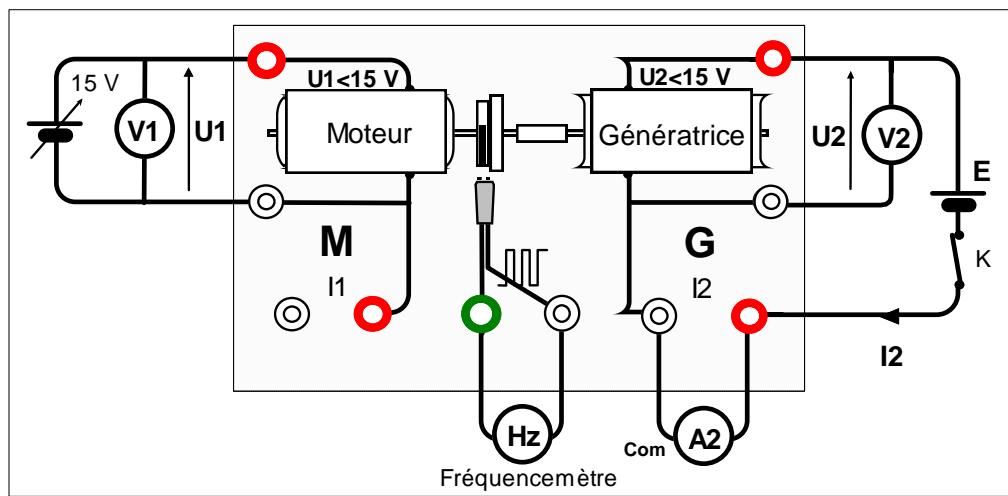
Conclusion :

❖ Réversibilité d'une machine tournante

Le but de la manipulation est de montrer qu'un moteur peut se comporter en génératrice et inversement qu'une génératrice peut devenir un moteur.

1ère étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous. Deux multimètres sont installés en voltmètres aux bornes du moteur et de la génératrice. Un autre multimètre est utilisé en milliampèremètre pour mesurer l'intensité dans le circuit de la génératrice. Un dernier contrôleur fonctionne en fréquencemètre et mesure la vitesse de rotation (en Hz). Celle-ci peut également être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.



Représenter le schéma de ce montage

Matériel :

- le module MOTEUR-GENERATRICE
- une pile de 4,5 V
- un interrupteur
- un fréquencemètre ou un oscilloscope
- une alimentation stabilisée variable 0/15 V

Remarque : Le voltmètre V1, en dérivation sur le moteur M sert uniquement à ; contrôler la tension appliquée pour éviter toute surcharge du moteur. Ici, les tensions atteintes (entre 3 V et 8 V environ) sont inférieures à la tension maximale. Le voltmètre V1 peut alors être supprimé.

2ème étape : le protocole

- ① Une pile Leclanché de f.e.m. $E=4,5$ V est placée en opposition par rapport à la génératrice. Un interrupteur K permet de fermer ou d'ouvrir le circuit électrique de la génératrice.

- ② Lorsque l'alimentation stabilisée dans le circuit du moteur ne fonctionne pas, la pile oblige la génératrice G à fonctionner en moteur et à entraîner le moteur M. Que constate-t-on quant au signe de l'intensité I_2 ?

(On branche l'ampèremètre A2 comme indiqué sur le schéma Commun sur la borne blanche, entrée mA sur la borne rouge)

On fait varier régulièrement la tension d'alimentation du moteur M depuis zéro. Observer et décrire les variations de l'intensité I_2 , dans le circuit de la génératrice.

Pour une certaine valeur de la tension d'alimentation U_1 du moteur M, l'intensité I_2 prend une valeur remarquable. Laquelle ?

$$U_1 \equiv |_3 \equiv$$

- ③ On relève les valeurs de U_1 , de U_2 et de I_2 pendant la variation.
 On choisit pour I_2 des valeurs espacées d'environ 10 à 20 mA en restant toujours sur le même calibre de 200 mA de l'ampèremètre.
 Les valeurs I_2 varient donc entre environ - 190 mA et +190 mA.

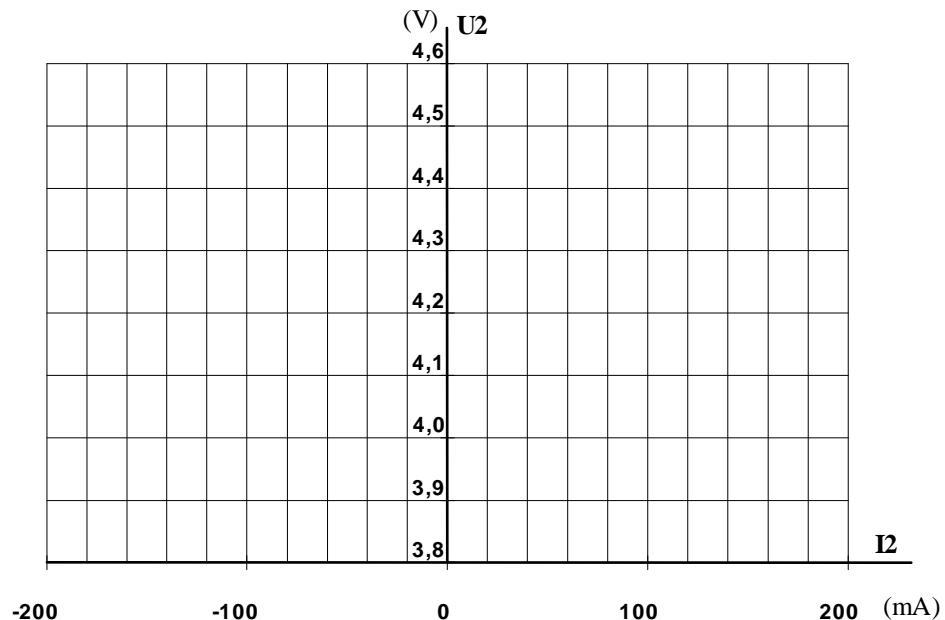
Parallèlement, on relève les valeurs de la fréquence f de rotation du système. A partir de quelle tension d'alimentation du moteur M la mesure de f est-elle possible ? Quelle est sa valeur minimale ?

Remplir le tableau des mesures suivant (une vingtaine de mesures) :

3ème étape : l'exploitation des mesures

❖ **Tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation**

- ① Dessiner la courbe donnant la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation (ou coller le document obtenu sur l'imprimante de l'ordinateur)



- ② Observations : quelle est l'allure de la courbe obtenue ?

Est-ce une courbe unique qu'il convient de tracer ?

❖ **Modélisation**

Quelles expressions peuvent représenter un modèle mathématique des courbes tracées ?

$U_2 =$	et	$U_2 =$
---------	----	---------

Regrouper dans un tableau toutes les mesures relatives aux modèles tracés :

$I_2 < 0$	ordonnée à l'origine de la courbe	$E_{2a} =$	V
	coefficient directeur de la courbe	$r_{2a} =$	Ω
$I_2 > 0$	ordonnée à l'origine de la courbe	$E_{2b} =$	V
	coefficient directeur de la courbe	$r_{2b} =$	Ω

❖ **Interprétation**

① Schéma simplifié du circuit génératrice-pile.

② Etude théorique du circuit dans les divers cas rencontrés.

- si la f.e.m. E_2 de la génératrice G est inférieure à la f.e.m. E de la pile ($E > E_2$), quel sont les rôles joués par la pile et par la génératrice ?

En utilisant les lois d'Ohm pour un générateur et un récepteur, donner l'expression théorique de l'intensité I_2 dans le circuit ? Que peut-on dire de son signe ?

$$I_2 =$$

- si la f.e.m. E_2 de la génératrice G est supérieure à la f.e.m. E de la pile ($E < E_2$), quels sont les rôles joués par la pile et par la génératrice ?

En utilisant les lois d'Ohm pour un générateur et un récepteur, donner l'expression théorique de l'intensité I_2 dans le circuit ? Que peut-on dire de son signe ?

$$I_2 =$$

- que se passe-t-il lorsque les deux f.e.m. E_2 de la génératrice G et E de la pile Leclanché qui se trouvent placées en opposition sont égales ?

Cette étude simple n'est qu'approchée. Elle suppose que la génératrice garde la même f.e.m. lorsqu'elle se comporte en génératrice et lorsqu'elle se comporte en moteur. De plus, la f.e.m. de la génératrice varie avec la vitesse de rotation.

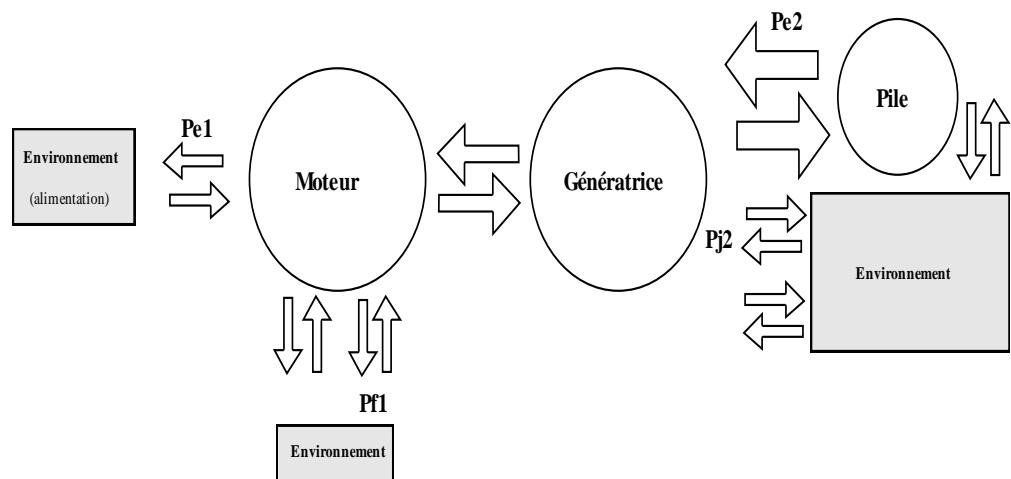
③ Conclusion

Notre machine tournante est passée progressivement du rôle de au rôle de Elle est réversible :

- *elle se comporte comme un si on lui fournit de l'énergie électrique*
- *elle se comporte comme un si on lui fournit de l'énergie mécanique*

❖ **Diagrammes de transferts d'énergie dans le circuit**

- ① Si le courant I_2 est négatif, comment la génératrice se comporte-t-elle ?

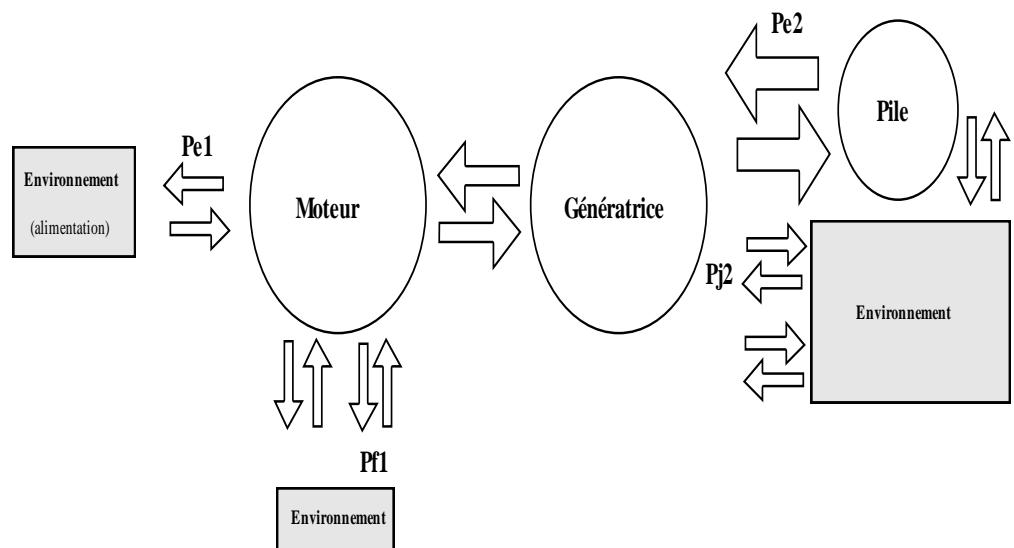


Donner les noms des puissances mises en jeu et compléter le diagramme ci-dessus en coloriant en rouge les flèches dont le sens convient et en indiquant les puissances manquantes.

Ecrire l'égalité de conservation de la puissance : Pe2 =

Comment se comporte ici le moteur M ?

- ② Si le courant I_2 est positif, comment la génératrice se comporte-t-elle ?



Compléter le diagramme comme précédemment.

Ecrire l'égalité de conservation de la puissance : Pm =

Comment la pile se comporte-t-elle ?

5 Service après vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers.

Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

JEULIN - SUPPORT TECHNIQUE
Rue Jacques Monod
BP 1900
27019 EVREUX CEDEX France

0 825 563 563 *

** 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe*

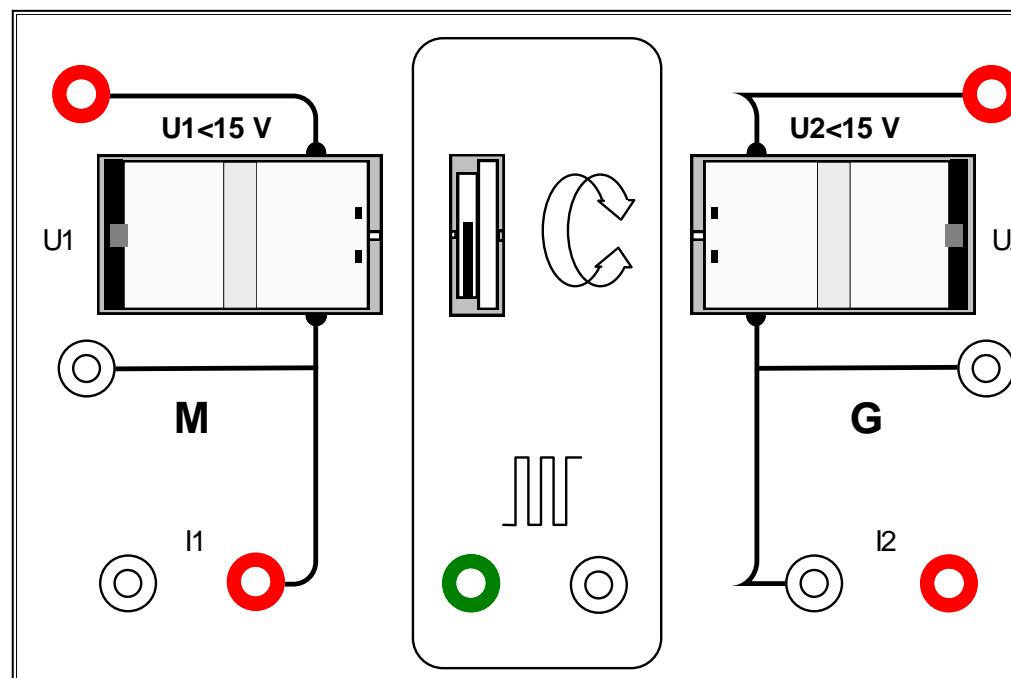
MOTOR AND GENERATOR is an apparatus intended for the experimental study of an energy chain. In particular, it enables:

- a curve to be drawn of a generator's open circuit voltage as a function of the speed of rotation.
- the line for the current/voltage characteristics of a generator on a variable load, at constant speed.
- calculation of the installation's output as a function of rotation speed,
- demonstration of the reversibility of a motor or generator.

1 Description

The ENERGY AND OUTPUT module consists of:

- a low power electric motor - *known as M* - with nominal values of a voltage of 12 V and a rotation speed on open circuit of 12000 rpm.
- a second motor identical to the above - *known as G* - which functions as a generator. Its spindle is joined to that of motor M.
- a device for measuring the common speed of rotation.



The above diagram shows the side of the module with connection terminals for the 2 motors and speed measuring device.

The device for measuring the rotation speed enables it to be known directly, in revs per sec, by connecting the frequency meter to the central terminals (the reading is then given in Hz).

For this purpose, the spindles of both motors are joined by a connector. An aluminium wheel is fixed to these spindles. On its circumference it has a sector.

Rotation speed is measured by counting the impulses detected by an optical switch operating by reflection.

(the light emitted by an infra-red LED is detected by a phototransistor, after reflection by the reflective part of the wheel's wall).

A minimum supply voltage of 3.5 V is needed for the device to operate: this is equivalent to a rotation frequency of about 40 Hz, or 2400 rpm.

2 Operation

2.1 Equipment needed

Two or four multimeters

A frequency meter or multimeter used as a frequency meter

A adjustable power supply 15 V

A $470\ \Omega$ - 3 W potentiometer

A $22\ \Omega$ resistance

A 4.5 V battery

2.2 Additional equipment

The ACTILAB program

A PC with peripherals

2.3 Setting up

- The MOTOR-GENERATOR MODULE is used with a stabilised variable supply which can provide up to 1 A at 15 V.

N.B. As the motor's nominal voltage is 12 V, this voltage must not be exceeded. Use of a supply able to provide up to 30 V should be undertaken with caution.

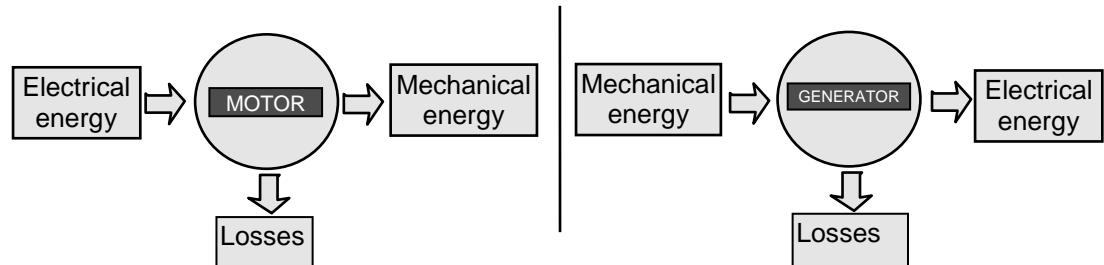
The maximum admissible voltage is of the order of 16 V.

- For studying the generator on charge, a potentiometer of about $470\ \Omega$ - 3 W must be used, in series with a $22\ \Omega$ - 5 W "spur" resistance.

3 Direct current machines

1 A direct current machine is a converter of energy.

The energy transfers that take place during its operation appear in the diagram below:

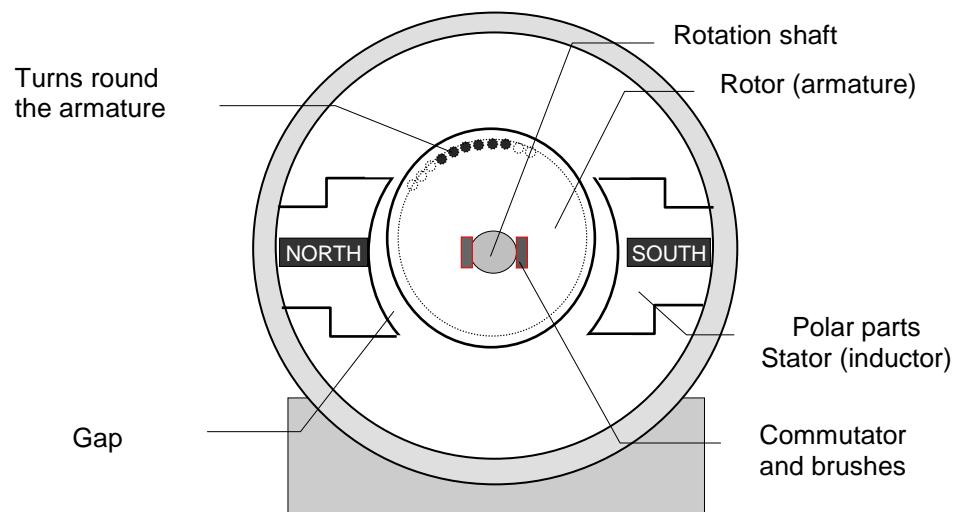


It is noticed that if it is supplied by a DC generator, a motor can provide the mechanical energy to a system. The mechanical energy shows itself as a torque Γ which can turn at angular speed ω .

The DC generator, when driven by a mechanical energy source, can supply a direct current to an electrical circuit. The electrical energy reveals itself as a voltage and a direct current.

The same machine is able to operate as motor or generator.

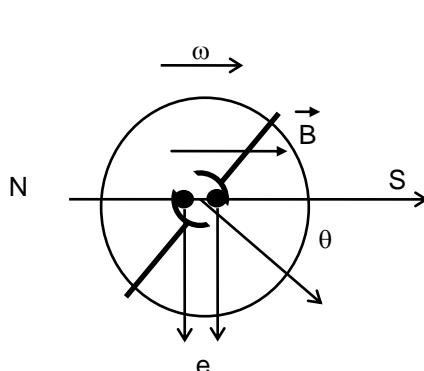
2. Description of the direct current machine:



3. Operation reduced to a single turn

The expression of e.m.f. in a turn is given by Faraday's Law:

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$



The flux ϕ in a turn is a sinusoidal function of time. It depends on the rotation speed ω of the turn.

Let the maximum flux in a turn be Φ , at a time t , and if the normal to the turn makes an angle $\theta = \omega t$ with the axis datum of the movement (collinear to the magnetic field B), the flux ϕ can be expressed as:

$$\phi = \Phi \cos(\omega t)$$

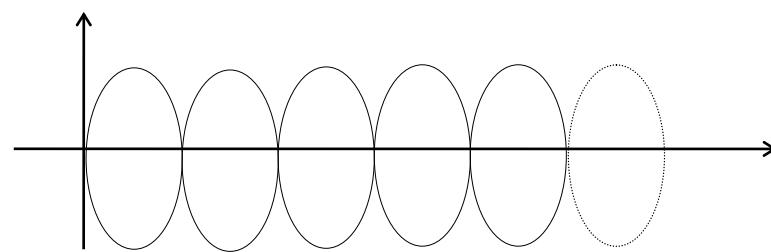
Faraday's law gives

$$e = \Phi \omega \sin(\omega t)$$

- role of the commutator

If the brushes are placed in the axis of the poles, each time the turn passes a position at right angles to this direction, the sign of the voltage e changes between the brushes.

As e changes sign in time with the value $\sin(\omega t)$ the two effects compensate one another: the commutator plays the role of a rectifying device and the voltage has this appearance:



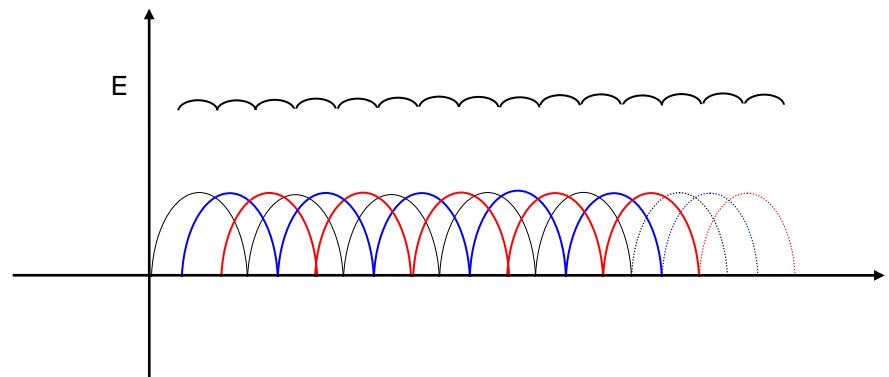
the mean value E of this rectified sinusoidal function is:

$$E = 2/\pi \cdot \Phi \cdot \omega \quad \text{or} \quad E = k \cdot \Phi \cdot \omega$$

E is proportional to rotation speed.

4. For a real motor

The voltages due to N turns in the motor are spread all round the axis. They give voltages which are progressively out of phase with one another. Their sum is a wave function which tends to be less as the number of turns and poles is larger (for example, two or more pairs of poles).



The e.m.f. of the machine is proportional to the e.m.f. of one turn and to the number of turns of wire. It is in the form:

$$E = N \cdot k \cdot \Phi \cdot \omega$$

The number of turns number N is chosen and the turns are spread over the whole area of the armature in the grooves and associated so as to get the total voltage undulating as little as possible.

This voltage is proportional to the rotation speed.

4 Experiments

① The first part of this data book of experiments is intended for the teacher. It consists of some experiments carried out with the MOTOR GENERATOR MODULE. The digital results and the curves that are shown arise from real measurements. However, these experiments were carried out in indifferent conditions and can differ to the individual measurements performed by the experimenter: the measurements that are presented are therefore just examples.

They especially depend on the series of the motor that is used.

② The second part of the data book goes over the experiments of the first part as practical experiments sheets that the teacher can directly use in his class, as they are easy to modify. In the text intended for the pupils, questions are frequently asked: they often correspond to the comments regarding the observations, experimental results and conclusions of the first part.

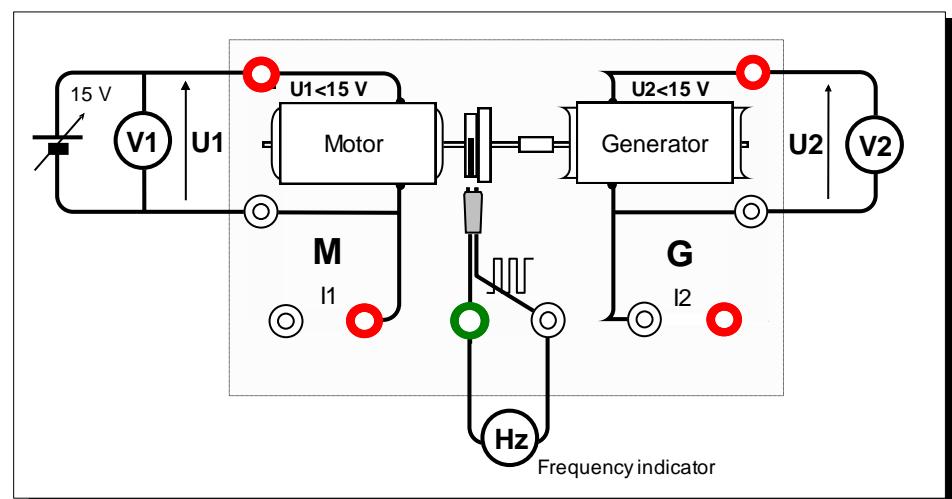
③ Precaution for use: The operating rated voltage of the motors is 12 V. It is possible to exceed this value, while not exceeding 15 V for a short time in order to avoid a detrimental temperature rise of the motors. The measure of the internal resistance of the motor is performed while the motor is locked. *Operations at very low voltage must be carried out for a very short time and the voltage must not exceed a value between 1 and 2 V.*

4.1 Study of a no-load generator

The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the no-load voltage of a motor operating as a generator, as a function of the operating speed.

Step one: Assembly

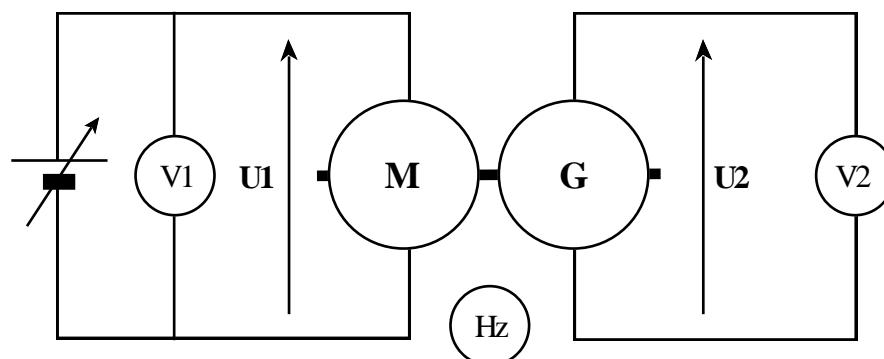
Firstly, the assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Another multimeter operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- Two multimeters
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A 0/15 V variable regulated power supply

The assembling scheme is shown below:

**Step two: Protocol**

Plotting of the curve that represents the no-load generator voltage U_2 (in V) as a function of the operating speed f (in Hz).

- ① The motor power supply is gradually varied from the lowest allowed value.

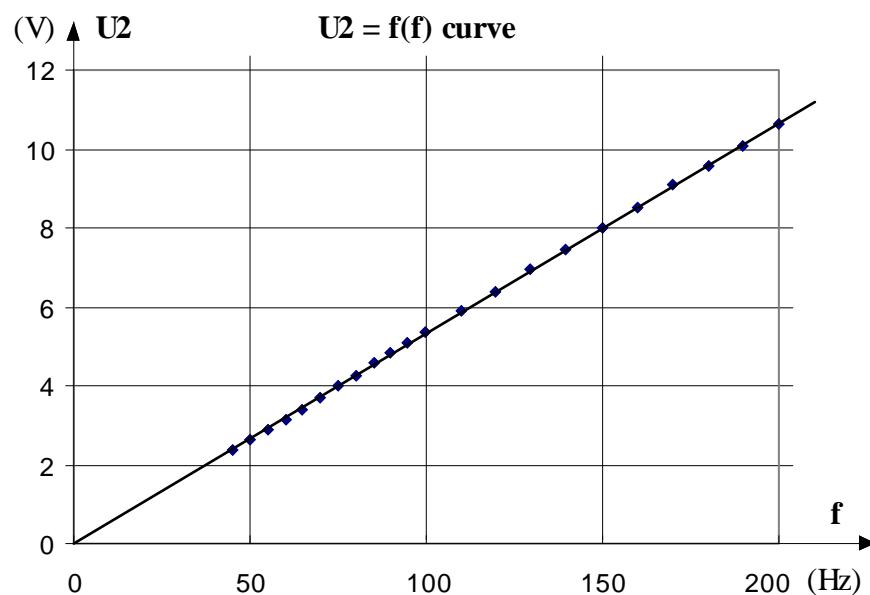
Comment: The measure of the operating speed is obtained by an electronic device that requires a voltage of at least 3,2 V.

- ② The values of f , U_1 and U_2 are recorded and reported in a table:

Frequency (Hz)	Voltage U_1 (V)	Voltage U_2 (V)	Frequency (Hz)	Voltage U_1 (V)	Voltage U_2 (V)
46	2,94	2,41	100	5,91	5,29
50	3,15	2,61	110	6,45	5,82
55	3,47	2,91	120	7,00	6,35
60	3,74	3,16	130	7,54	6,88
65	4,00	3,41	140	8,08	7,40
70	4,26	3,68	150	8,64	7,94
75	4,59	4,00	160	9,19	8,47
80	4,85	4,25	170	9,81	9,06
85	5,10	4,51	180	10,40	9,58
90	5,36	4,77	190	10,95	10,1
95	5,62	5,00	200	11,45	10,65

- ③ These values are copied in a spreadsheet table (this can be done as soon as measurement begins): f in the first column (*Abscissa*) and U_1 and U_2 in the second and third column respectively (C. n°1 and C. n°2).

- ④ The $U_2 = f(f)$ curve is visualised. The following representation is obtained:



- ⑤ Observation: the obtained curve is a straight line going through the origin (within limits of the studied domain).

Step three: Utilisation of results

- ❖ Electromotive force of the generator

① The previous graph shows that the voltage at the no-load generator terminals is proportional to the rotational frequency of this generator.

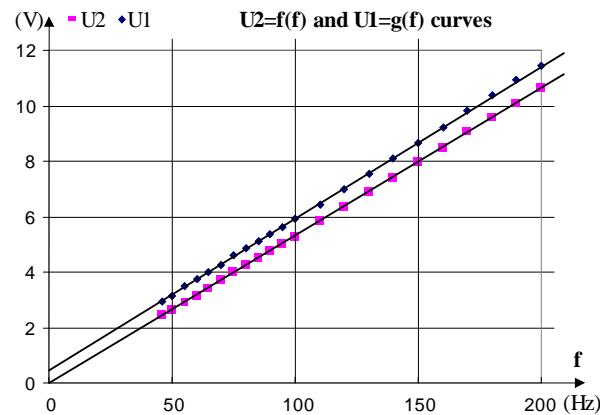
② This voltage is the electromotive force of the generator. In particular, the value of this electromotive force is:

$E_{50} = 2,6 \text{ V at } f = 50 \text{ Hz or } 3000 \text{ rpm.}$
 $E_{100} = 5,2 \text{ V at } f = 100 \text{ Hz or } 6000 \text{ rpm.}$

- ❖ Voltage at the motor terminals

① The $U_1 = g(f)$ curve is visualised on the same graph as the $U_2 = f(f)$ curve.

The following representation is obtained.



② The $U_1=g(f)$ curve is a straight line noticeably parallel to the $U_2=f(f)$ curve.

The motor operating speed is therefore an affin function of the power supply voltage in the domain of the measurements carried out.

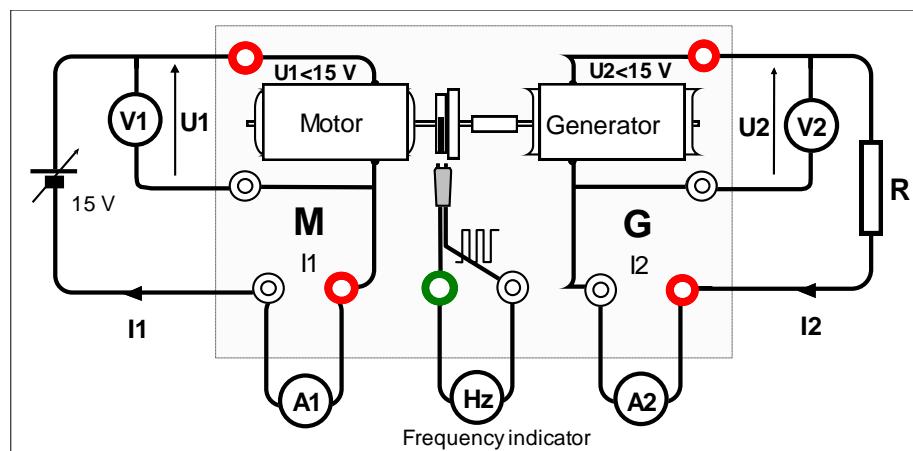
Comment: The measurements and results obtained can vary from one series of motor to another.

4.2 Study of an generator on-load

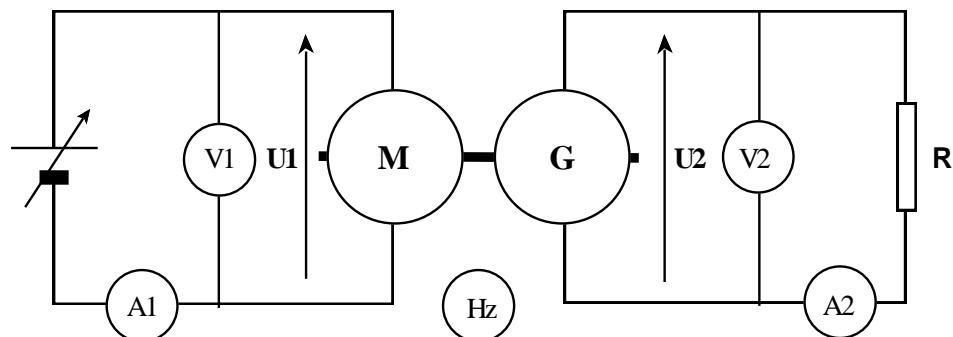
The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the voltage on-load of a motor operating as a generator, as a function of the operating speed, as well as an efficiency study of the energetic chain thus performed (as well as its variation as a function of the operating speed).

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Two other multimeters are used as milliammeters in order to measure the currents in the circuits of the motor and the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



The assembly scheme is shown below:



Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A $22\Omega - 5W$ resistance
- Three or four multimeters

- A frequency indicator
- A 0/15 V variable regulated power supply

Comment: To avoid the use of a large number of controllers, it is possible to:

- measure the rotational frequency by means of an oscilloscope,
- measure the voltages at the terminals of the motor and generator by means of the same voltmeter (successively connected to the terminals of the machines through a dual reversing switch).

It is recommended to have a milliammeter in each of the two circuits (to avoid the potential disturbances that would occur during a move of the milliammeter whose self-resistance is not negligible). The 10 A caliber does not allow for the obtention of good precision.

The load resistance used in the circuit of the generator consists of a fixed resistor

$$R = 22 \Omega - 5 W$$

Step two: Protocol and measurements

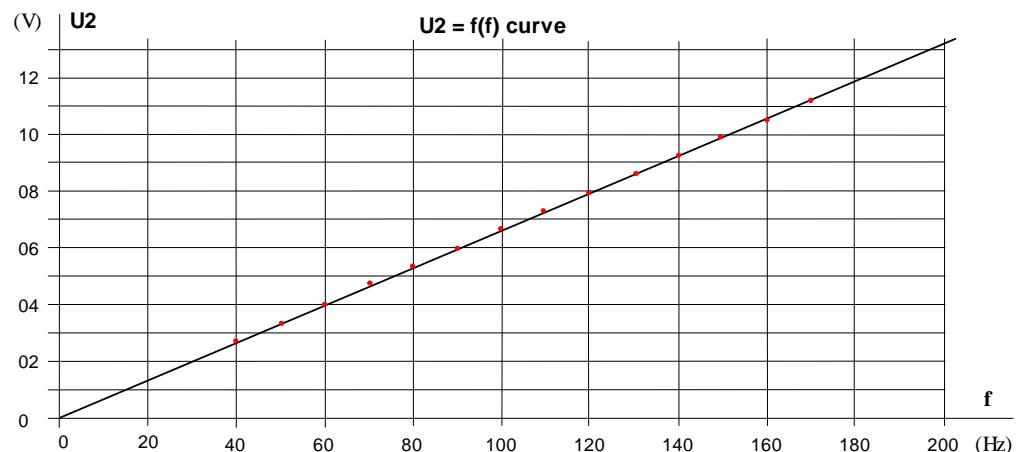
- ① The operating speed of the system is gradually varied and the values of the rotational frequency f , the voltages, and the currents U_1 and I_1 , U_2 and I_2 in the motor and the generator on-load are recorded.
- ② The measurements and the calculations are reported in the table below:

f (Hz)	U_1 (V)	I_1 (A)	U_2 (V)	I_2 (A)	$P_1=U_1.I_1$ (W)	$P_2=U_2.I_2$ (W)	$\rho=P_2/P_1$ (%)
40	4,21	0,45	2,69	0,105	1,89	0,282	14,9
50	5,10	0,50	3,36	0,132	2,55	0,444	17,4
60	5,95	0,55	4,01	0,158	3,27	0,634	19,4
70	6,87	0,59	4,68	0,184	4,05	0,861	21,2
80	7,75	0,62	5,35	0,210	4,80	1,12	23,4
90	8,61	0,66	5,97	0,230	5,68	1,37	24,7
100	9,55	0,70	6,66	0,260	6,69	1,73	26,2
110	10,4	0,73	7,25	0,280	7,58	2,03	27,9
120	11,2	0,75	7,89	0,300	8,40	2,37	28,6
130	12,1	0,78	8,58	0,320	9,44	2,75	29,8
140	12,9	0,80	9,2	0,340	10,4	3,13	30,4
150	13,7	0,81	9,83	0,350	11,1	3,44	31,0
160	14,4	0,81	10,5	0,345	11,7	3,63	31,1
170	15,2	0,79	11,2	0,340	12,0	3,81	30,8

Step three: Utilisation of measurements

- ❖ **Voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed**

- ① Curve giving the voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed:



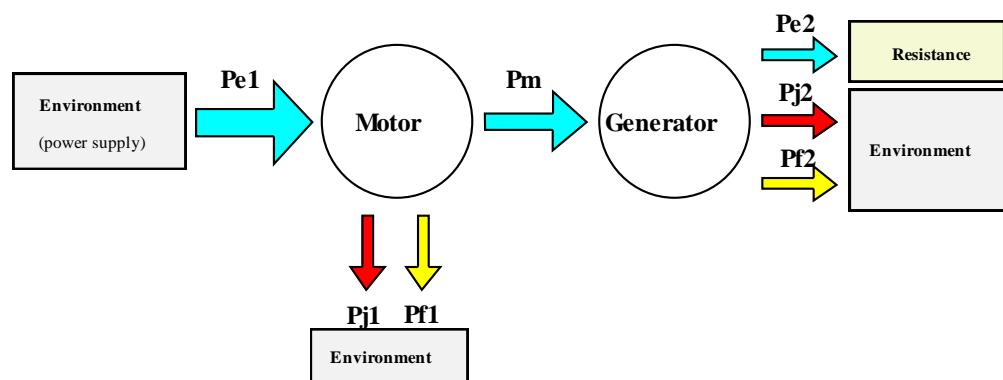
It is observed that the $U_2 = f(f)$ curve is a straight line that goes through the origin.

- ② The voltage at the terminals of the generator on-load is therefore proportional to the operating speed.

- ❖ **Load of the motor and the generator. Efficiency.**

- ① The electrical powers $P_1=U_1 \cdot I_1$ et $P_2=U_2 \cdot I_2$ are calculated. They are reported in the previous table.

The conservation of the power leads to the following energetic diagram:

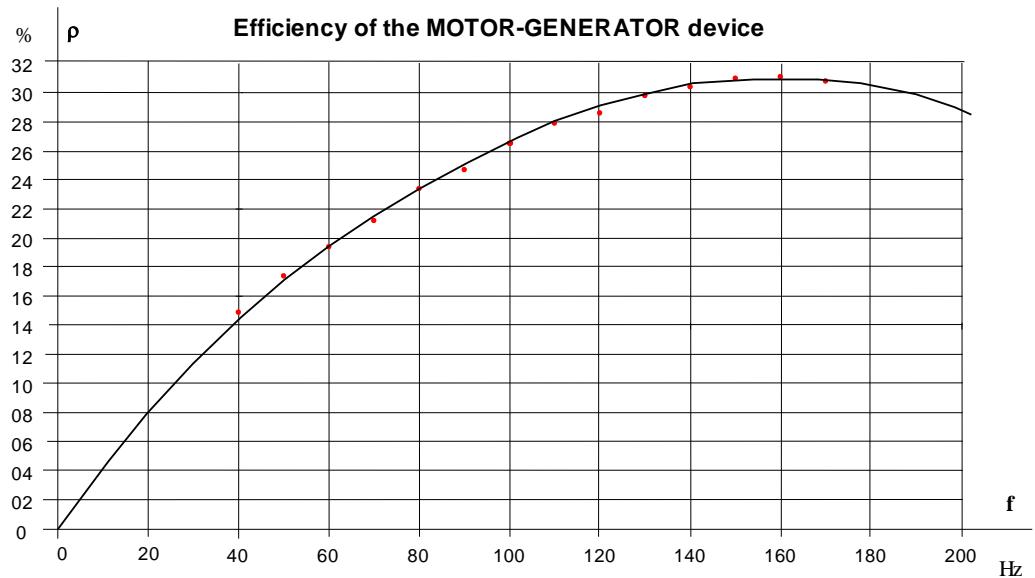


$$P_m = Pe_2 + P_{j2} + P_{f2}$$

P_m is the mechanical power transferred by the motor to the generator. It is converted to the electrical power Pe_2 in the resistance R .

In the motor, as well as in the generator, part of the power received is transferred to the environment as heat: P_{j1} or P_{j2} by a Joule effect in the generator, and P_{f1} or P_{f2} through various mechanical friction (brush of the collector, shaft bearing, ...) and other losses especially those of magnetic origin.

② Curve giving the efficiency ρ as a function of the operating speed:



③ Efficiency ρ of the motor

The efficiency is given by the relation $\rho = P_2/P_1$. The calculations are shown in the previous table.

The efficiency of the motor goes through a maximum of the following range:

$$\rho = 32 \%$$

The various losses are therefore important.

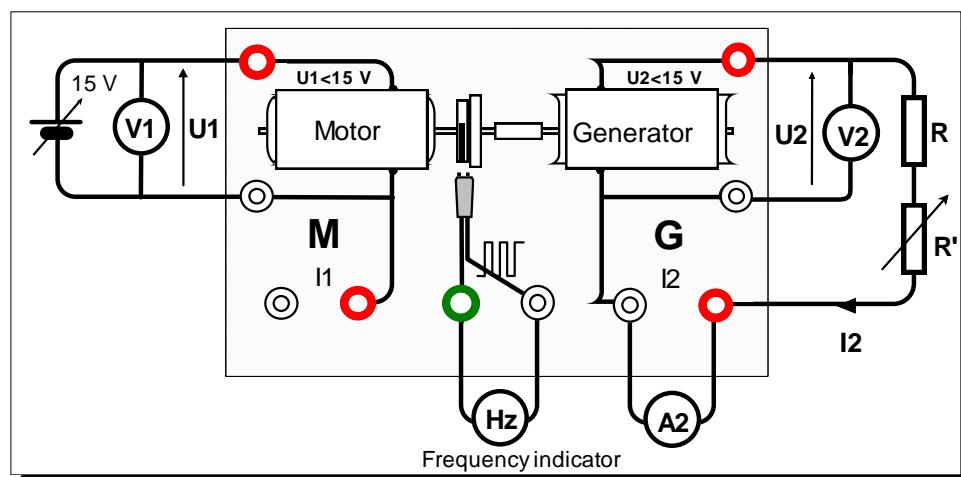
Comment: The measurements and results obtained can vary from one series of motor to another.

4.3 Study of the current-voltage characteristic of a generator

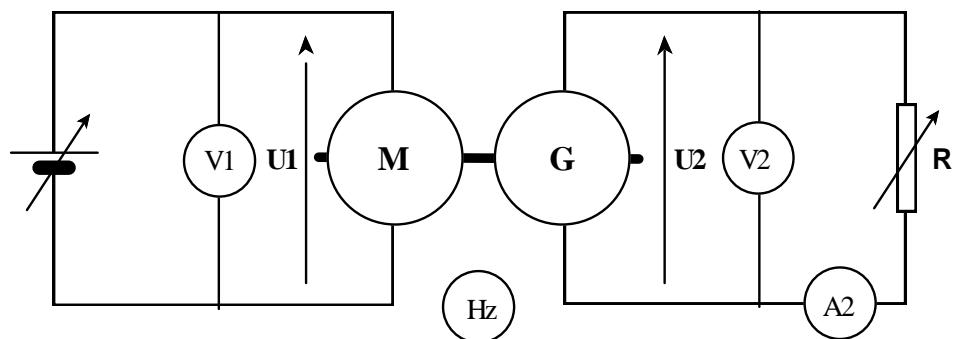
The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the characteristic of a generator at a constant speed and the determination of its electromotive force E and its self-resistance r' .

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Another multimeter operates as a milliammeter to measure the current in the circuit of the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



The assembly scheme is shown below:



Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A $22\ \Omega - 5\text{ W}$ resistance
- A $470\ \Omega - 3\text{ W}$ variable resistance
- Three multimeters
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A $0/15\text{ V}$ variable regulated power supply

Step two: Protocol

- ① An operating speed that will be kept during the measurements is chosen.

Two series of measurements are then carried out for two operating speeds.

$$f_1 = 80\text{ Hz} \quad \text{and} \quad f_2 = 160\text{ Hz}$$

During the measurements the frequency indicator is used to verify constant speed. It is adjusted at will by acting on the voltage delivered by the regulated power supply. The voltmeter V_1 is especially useful to verify that the voltage U_1 does not dramatically increase; for an 80 Hz frequency, there is no risk and this can be performed without voltmeter V_1 .

- ② The electrical circuit of the generator G uses a set of two resistances, $R=22,5 \Omega - 3 W$ (standard resistance) and a variable resistance $R'=470 \Omega - 3 W$.

R' is regularly varied from its greatest value down to zero.

The values of U_2 and I_2 are recorded (choosing values for I_2 that are separated by around 10 to 20 mA)

The table of measurements is shown below:

Speed = 80 Hz

I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)
11,0	5,92	101	5,65
20,0	5,91	112	5,62
30,4	5,88	125	5,59
40,3	5,82	135	5,57
50,7	5,78	147	5,54
60,4	5,76	164	5,50
70,4	5,75	176	5,45
81,0	5,70	188	5,43
90,2	5,68		

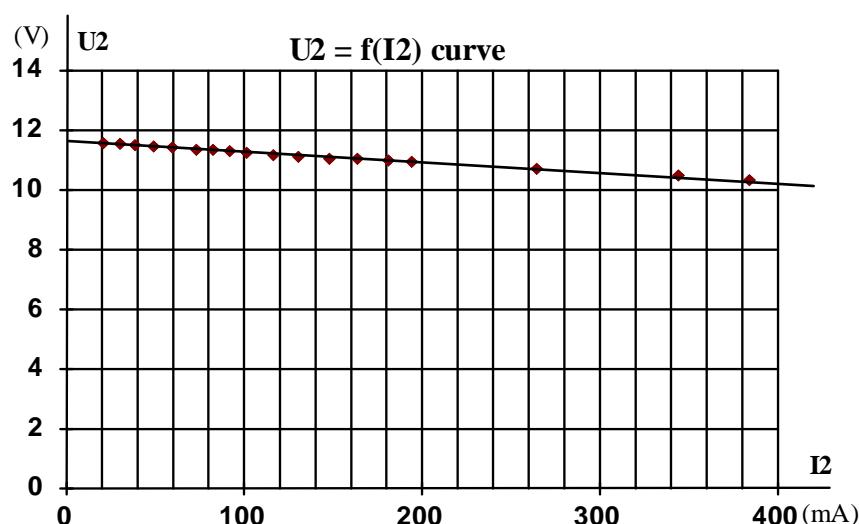
Speed = 160 Hz

I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)
21,5	11,57	116	11,22
30,4	11,54	130	11,12
39,3	11,53	148	11,10
49,0	11,44	164	11,05
59,1	11,44	181	11,01
72,8	11,37	194	10,96
82,2	11,35	264	10,75
92,0	11,29	344	10,51
101	11,27	384	10,36

- ③ These values are copied in the spreadsheet table (this can be done as soon as measurements begin) : I_2 is in the first column (*Abscissa*) and U_2 in the second (C. n°1).

- ④ The $U_2 = f(I_2)$ curve is visualised for $f_2 = 160$ Hz. The representation obtained is shown in the following page. The $U_2 = f(I_2)$ curve for $f_1 = 80$ Hz (not shown) is similar.

- ⑤ Observation: the curve obtained (within limits of the measurements carried out) is a straight line with a negative slope and not going through the origin.

**Step three: Utilisation of results****❖ Current-voltage characteristic of the generator**

- ① The straight line obtained can be modelled by the function $U_2 = E - r \cdot I_2$

The value of the intercept E is:

$$E = 11,6 \text{ V}$$

The value of the slope r is:

$$r = 3,3 \Omega$$

- ② E is the electromotive force and r is the self-resistance of the generator

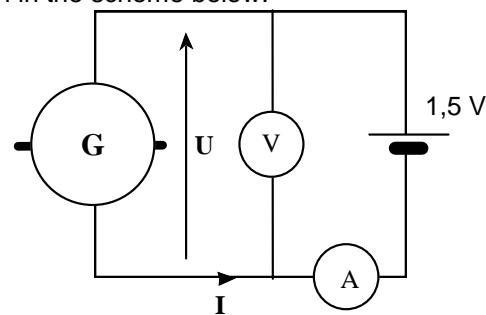
❖ Direct measurement of the generator self-resistance

- ① The self-resistance of the generator is that of the windings of the machine.

It is possible to measure this self-resistance directly by means of an ohmmeter, with the generator disconnected. Several successive measurements must be carried out while manually turning the motor shaft in order to avoid bad contacts due to the position of the brushes of the collector.

An average value of $r = 3,3 \Omega$ is found for a series of 10 measurements.

- ② Another method of measurement consists of assembling a circuit containing the generator in series with a 1,5 V battery and measurement devices as shown in the scheme below:



A few measurements of U and I give – locked motor – *and for various positions of the shaft: $r=U/I$* .

Beware of the temperature rise of the motor !

Average values $U=1,58 \text{ V}$ and $I=0,46 \text{ A}$ are found, hence

$$r = 3,43 \Omega$$

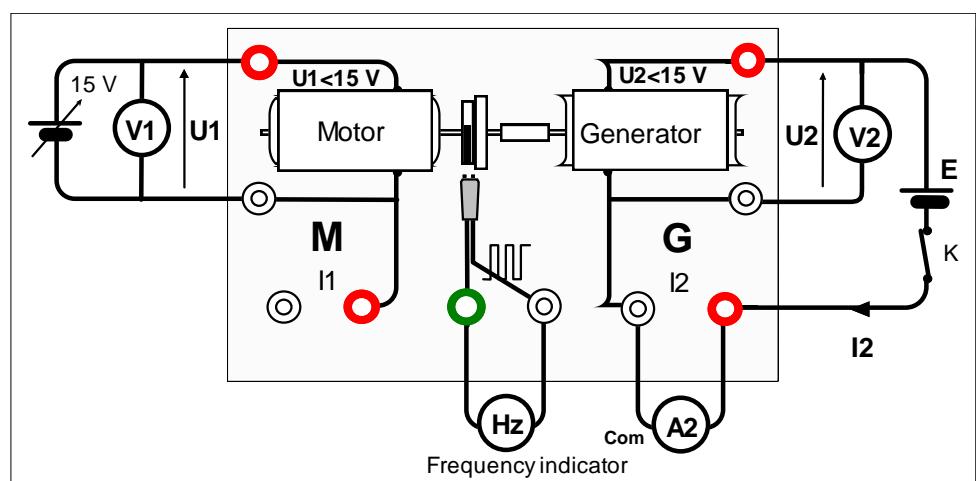
Comment: The measurements and results obtained can vary from one series of motor to another.

4.4 Reversibility of a rotating machine

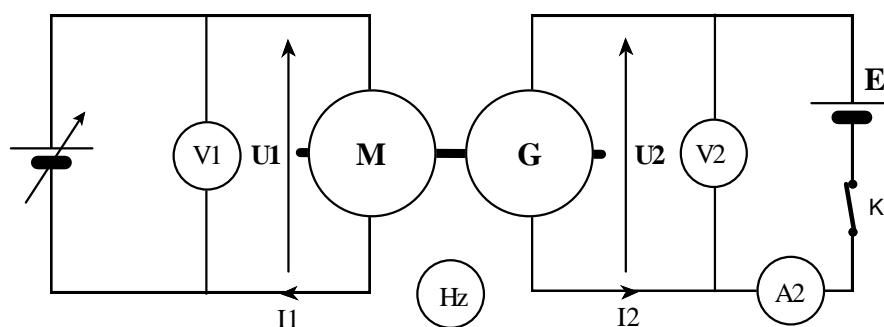
The purpose of the experiment is the demonstration that a motor can behave as a generator and inversely that a generator can become a motor.

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Another multimeter operates as a milliammeter to measure the current in the circuit of the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



The assembly scheme is shown below:



Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A 4.5 V battery
- A switch
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A 0/15 V variable regulated power supply

Comment: The voltmeter V1 branched to the motor M is only used to control the applied voltage in order to avoid any overload of the motor. The voltages reached (between around 3 V and 8 V) are lower than the maximum voltage. The voltmeter V1 can therefore be suppressed.

Step two: Protocol

① A Leclanché battery of electromotive force of around $E=4,5$ V is positioned opposite to the generator. A switch K allows the closure of the opening of the electrical circuit of the generator.

② When the regulated power supply of the circuit of the motor does not operate, the battery forces the generator G to operate as a motor and to drive the motor M. The current I_2 in the circuit of the generator is then *negative* if the ammeter A2 is connected as indicated in the scheme (Common on the white terminal, input mA on the red terminal)

The supply voltage of the motor M is gradually varied from zero. The current I_2 in the circuit of the generator is always *negative* however it decreases in absolute value and moves closer to zero.

For a certain value of the supply voltage U_1 of the motor M, the current I_2 inverses, becomes positive and continues to increase.

③ The values of U_1 , U_2 and I_2 are recorded.

Values of I_2 are separated by around 10 to 20 mA and are chosen while keeping the same caliber of 200 mA for the ammeter.

The values of I_2 therefore vary between around - 190 mA and +190 mA.

Meanwhile values of the rotational frequency f of the device are recorded.

The measurement of f is only possible for a supply voltage of the motor M of around 3,5 V. The frequency f is then of the order of 40 Hz at the beginning of the measurements.

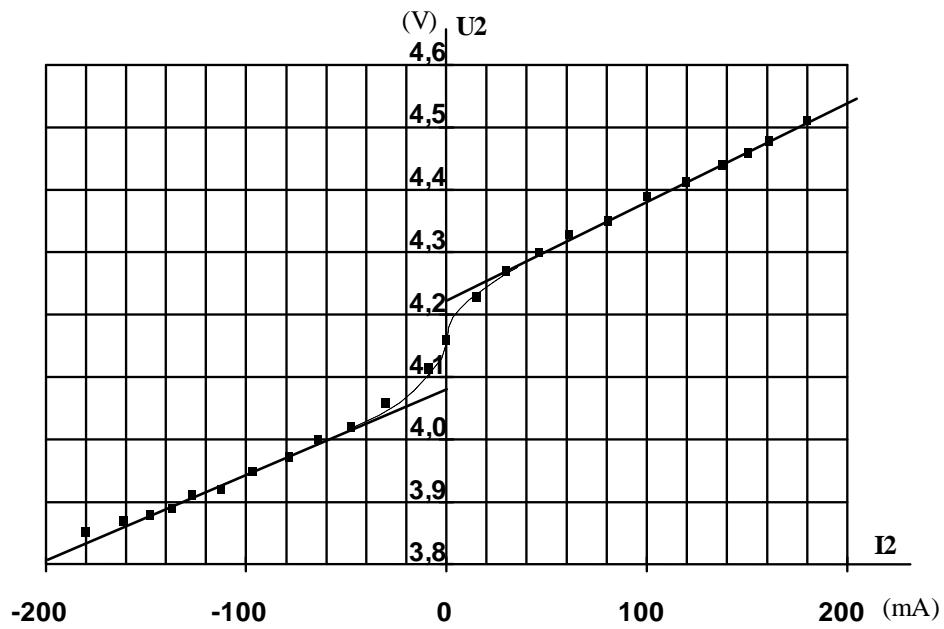
The table of measurements is shown below:

f (Hz)	U_1 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)	f (Hz)	U_1 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)
42	3,67	-180	3,85	56	5,25	0	4,16
43	3,83	-161	3,87	58	5,48	+15	4,23
44	3,94	-148	3,88	59	5,62	+30	4,27
45	4,02	-137	3,89	60	5,76	+46	4,30
45	4,13	-127	3,91	62	5,88	+61	4,33
46	4,25	-113	3,92	63	6,05	+80	4,35
48	4,36	-97,2	3,95	65	6,22	+100	4,39
49	4,52	-79,	3,97	66	6,36	+119	4,41
50	4,65	-64	4,00	67	6,55	+138	4,44
51	4,80	-48	4,02	68	6,65	+150	4,46
53	4,96	-30	4,06	69	6,74	+161	4,48
54	5,10	-15	4,10	71	6,93	+180	4,51

Step three: Utilisation of measurements

❖ **Voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed**

- ① Curve giving the voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed:



- ② Observation:

It is observed that the $U_2 = f(I_2)$ curve consists of *two rays that do not go through the origin*.

The two rays have approximately the same slope but do not completely extend to each other.

❖ **Modelling**

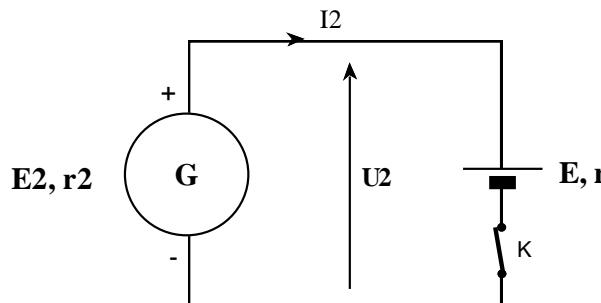
The rays observed are modelled by the expressions:

$$U_2 = E_{2a} + r_{2a} \cdot I_2 \quad \text{and} \quad U_2 = E_{2b} + r_{2b} \cdot I_2$$

$I_2 < 0$	Intercept of the curve $E_{2a} = 4,09 \text{ V}$ Slope of the curve $r_{2a} = 1,42 \Omega$	$E_{2a} = 4,09 \text{ V}$ $r_{2a} = 1,42 \Omega$
$I_2 > 0$	Intercept of the curve $E_{2b} = 4,23 \text{ V}$ Slope of the curve $r_{2b} = 1,56 \Omega$	$E_{2b} = 4,23 \text{ V}$ $r_{2b} = 1,56 \Omega$

❖ Interpretation

- ① Simplified scheme of the circuit generator-battery.



The direction of the current was fixed arbitrarily. With the direction chosen, the generator operates as a generator, and the battery as a receiver. By using Ohm's laws for a generator and a receiver, the voltage U_2 can be expressed as:

$$U_2 = E_2 - r_2 \cdot I_2$$

$$\text{Therefore } I_2 = (E_2 - E) / (r + r_2)$$

$$U_2 = E + r \cdot I_2$$

- If the electromotive force E_2 of the generator G is lower than the electromotive force E of the battery ($E > E_2$), the amount of current I_2 is negative. The direction of the current indicated in the scheme is therefore not the right one. In this case it is the battery that behaves as the generator and the generator operates as a receiver (motor).
- If the electromotive force E_2 of the generator G is greater than the electromotive force E of the battery ($E < E_2$), the amount of current I_2 is positive. The direction of the current indicated in the scheme is therefore correct. In this case it is the generator that behaves as the generator and the battery operates as a receiver (motor).
- When the amount of current I_2 is null, the two electromotive forces E_2 of the generator G and E of the Leclanché that are positioned opposite to each other are equal.
- This study is only approximate. It supposes that the generator keeps the same electromotive force when it behaves either as a generator or a motor which is not the case. It can just be stated that $E_2 = E$ when the current I_2 is null.

- ② Conclusion

The behaviour of the rotating machine has gradually gone from that of a receiver to that of a generator. It is reversible:

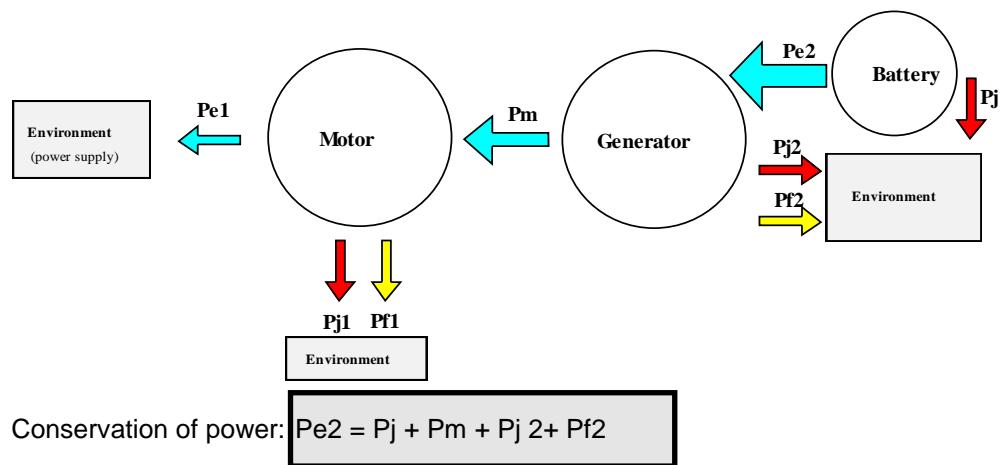
- *it behaves as a motor if it is provided with some electrical energy*
- *it behaves as a generator if it is provided with some mechanical energy*

Comment: The measurements and the results obtained can vary from one series of motor to another.

❖ Energy transfer diagrams in the circuit

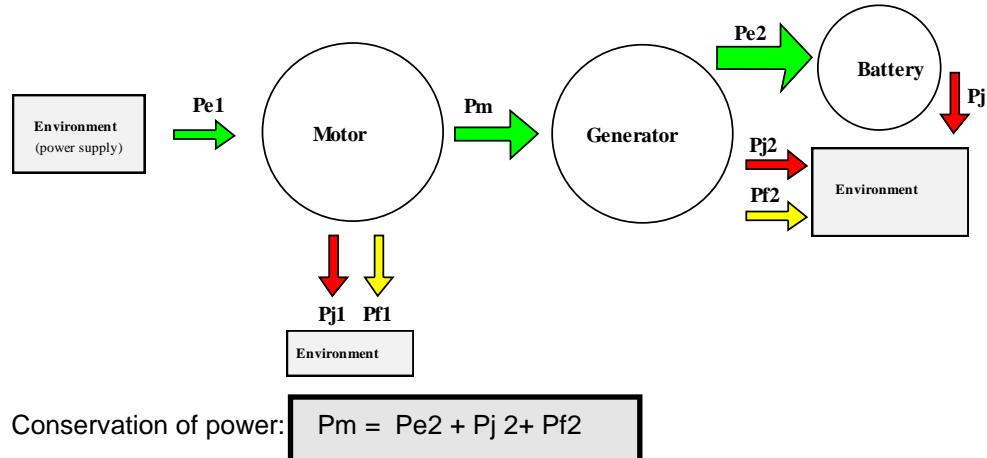
- ① The current I_2 is negative: the generator behaves a motor.

It provides some mechanical power to the motor M. This motor then behaves as generator and transfers some electrical energy from itself to the source that supplied it.



Pm is the mechanical power transferred by the motor to the generator. It is converted to the electrical power Pe_2 in the motor M. In the motor, as well as in the generator or the battery, part of the power is transferred to the environment as heat: Pj , Pj_1 or Pj_2 by the Joule effect. Pf_1 or Pf_2 are losses through various mechanical frictions or other origins (especially magnetic).

- ② The current I_2 is positive: the generator behaves as a generator. It receives some mechanical power Pm from the motor M and provides some electrical energy. The battery becomes a receiver. The losses remain of similar nature.



EXPERIMENT SHEETS



Documents intended for pupils

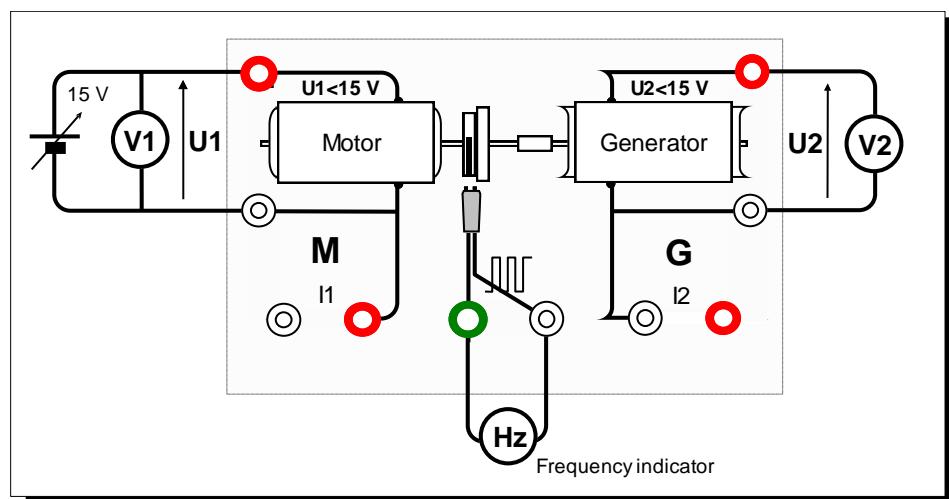


❖ Study of a no-load generator

The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the no-load voltage of a motor operating as a generator, as a function of the operating speed.

Step one: Assembly

Firstly, the assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Another multimeter operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- Two multimeters
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A 0/15 V variable regulated power supply

Draw the assembly scheme:

Step two: Protocol

Plotting of the curve that represents the no-load generator voltage U_2 (in V) as a function of the operating speed f (in Hz).

- ① The motor power supply is gradually varied from the lowest allowed value.

Comment: The measure of the operating speed is obtained by an electronic device that requires a voltage of at least 3,2 V.

- ② The values of f , U_1 and U_2 are recorded and reported in a table (10 measurements):

Frequency (Hz)	Voltage U_1 (V)	Voltage U_2 (V)	Frequency (Hz)	Voltage U_1 (V)	Voltage U_2 (V)

- ③ These values are copied in a spreadsheet table (this can be done as soon as measurements begin): f in the first column (*Abscissa*) and U_1 and U_2 in the second and third columns respectively (C. n°1 and C. n°2).

- ④ The $U_2 = f(f)$ curve is visualised. Paste or draw the representation obtained:



- ⑤ Observation: what is the nature of the curve obtained (within limits of the studied domain)?

Step three: Utilisation of results

❖ Electromotive force of the generator

- ① From the previous graph, what relation is there between the voltage at the no-load generator terminals and the rotational frequency of this generator?
- ② What represents this voltage for the generator?

Record its value for two operating speeds (50 Hz and 100 Hz for example):

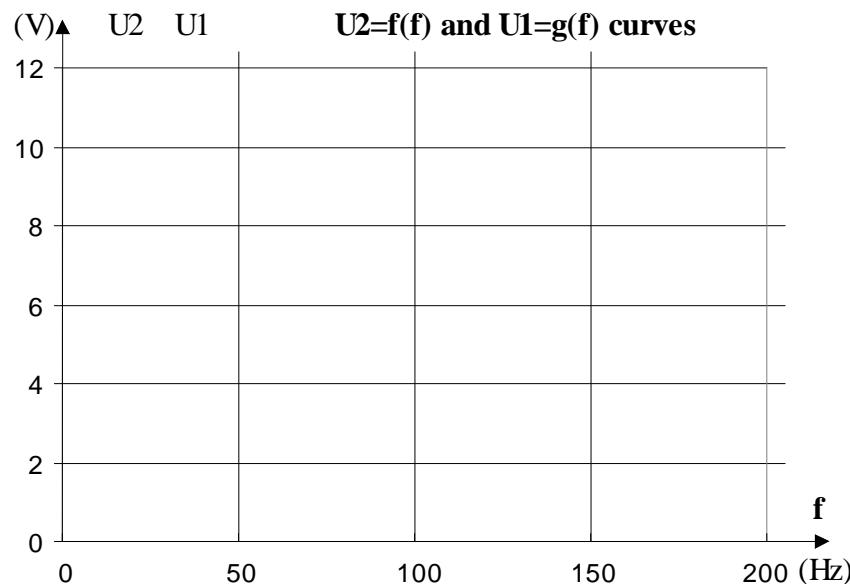
at $f=50$ Hz

at $f=100$ Hz

❖ Voltage at the motor terminals

- ① The $U_1 = g(f)$ curve is visualised on the same graph as the $U_2 = f(f)$ curve.

Give the representation of the two curves:



- ② What is the nature of the $U_1=g(f)$ curve? Compare it to the $U_2=f(f)$ curve.

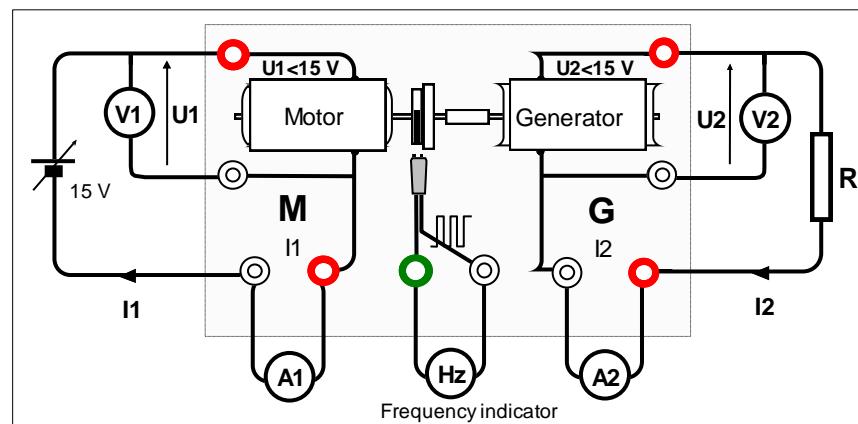
What can be said about the power supply voltage with respect to the operating speed of the motor (within the domain of the measurements carried out)?

❖ Study of an generator on-load

The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the voltage on-load of a motor operating as a generator, as a function of the operating speed, and the efficiency study of the energetic chain thus performed (as well as its variation as a function of the operating speed).

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Two other multimeters are used as milliammeters in order to measure the currents in the circuits of the motor and the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



Draw the assembly scheme:

Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A $22\ \Omega - 5\ W$ resistance
- Three or four multimeters
- A frequency indicator
- A 0/15 V variable regulated power supply

Comment: To avoid the use of a large number of controllers, it is possible to:

- measure the rotational frequency by means of an oscilloscope,
 - measure the voltages at the terminals of the motor and generator by means of the same voltmeter (successively connected to the terminals of the machines through a dual reversing switch).

Measure the value of the resistance of load R used in the circuit of the generator by means of an ohmmeter. Also record its admissible power:

R =

Step two: Protocol and measurements

- ① The operating speed of the system is gradually varied and the values of the rotational frequency f , the voltages and the currents U_1 and I_1 , U_2 and I_2 in the motor and the generator on-load are recorded.

Around fifteen measurements are carried out. The power supply voltages used go from the lowest voltage allowing for the reading of the operating speed on the frequency indicator up to 15 V.

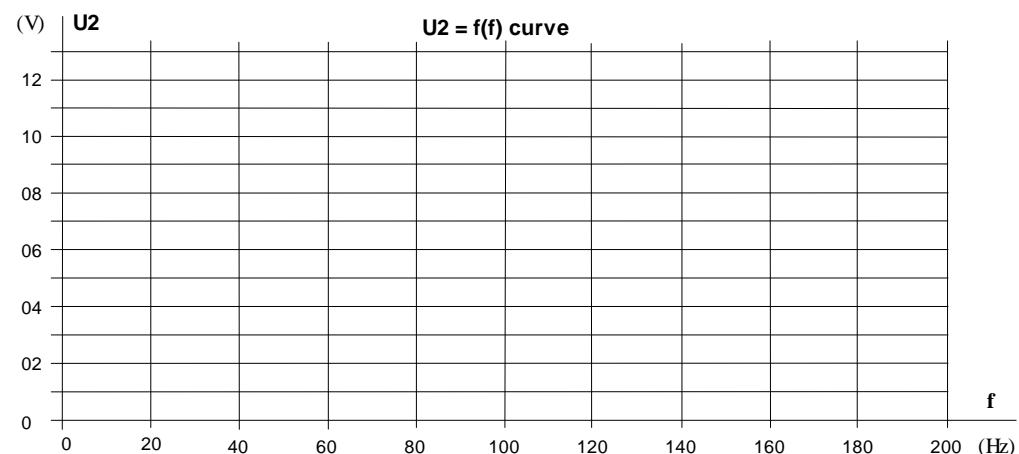
For voltages greater than the rated voltage (12 V) it is recommended to operate the device only during the time necessary for measurement!

- ② The measurements and the calculations are reported in the table below:

Step three: Utilisation of measurements

- ❖ Voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed

- ① Draw the curve that represents the voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed:



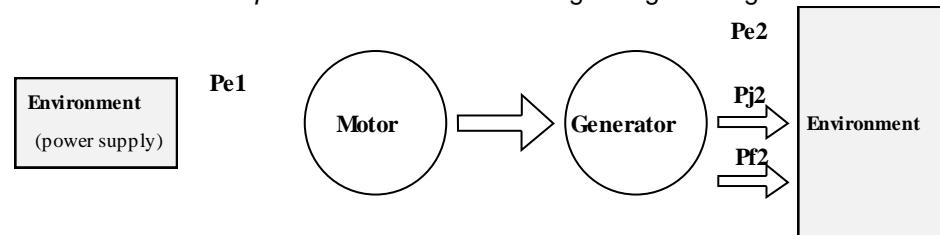
What is the nature of the $U_2 = f(f)$ curve obtained?

- ② How does the voltage at the terminals of the generator on-load vary as a function of the operating speed?

- ❖ Load of the motor and the generator. Efficiency.

- ① The electrical powers $P_1=U_1 \cdot I_1$ et $P_2=U_2 \cdot I_2$ are calculated. They are reported in the previous table.

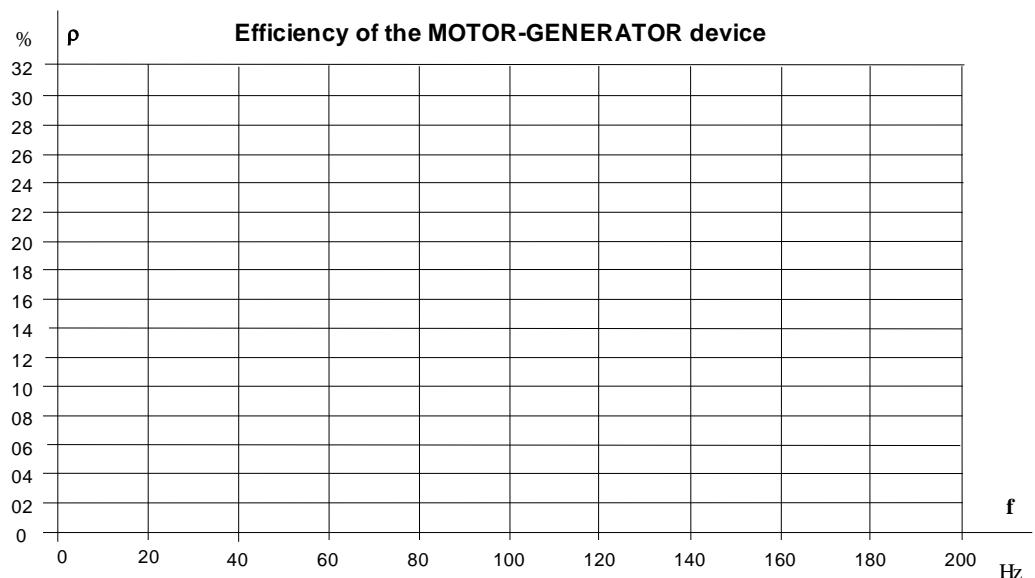
The conservation of power leads to the following energetic diagram:



$$P_m = Pe2 + Pj2 + Pf2$$

Complete the diagram above (arrows or comments) and indicate the nature of the different powers involved.

- ② Draw the curve that gives the efficiency ρ as a function of the operating speed:



- ③ Efficiency ρ of the motor

What expression defines the efficiency of the motor-generator device?

What is the shape of the curve that represents the efficiency as a function of the operating speed?

What noteworthy value can be highlighted?

What is the value of the efficiency for the rated voltage of the motor (12 V)?
What is then the operating speed in rpm?

What are its coordinates?

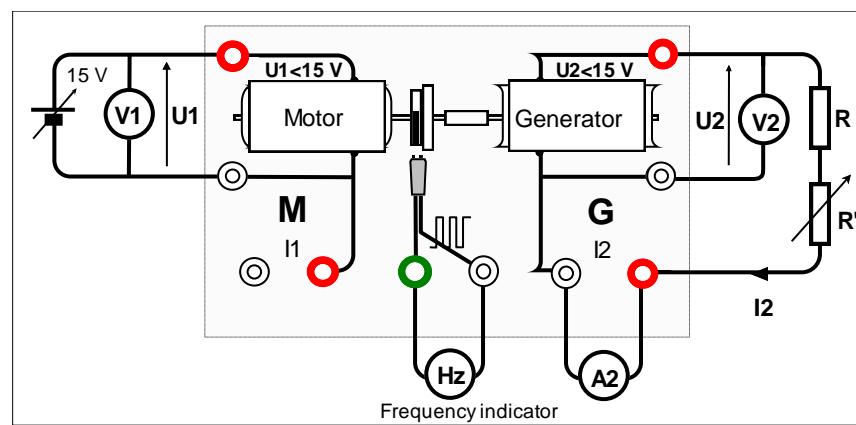
What can you say about the various losses?

❖ Study of the current-voltage characteristic of a generator

The purpose of the experiment is the plotting of a curve that represents the characteristic of a generator at a constant speed, and the determination of its electromotive force E and self-resistance r' .

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of a motor and a generator. Another multimeter operates as a milliammeter to measure the current in the circuit of the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



Draw the assembly scheme:

Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A $22\ \Omega - 5\ W$ resistance
- A $470\ \Omega - 3\ W$ variable resistance
- Three multimeters
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A $0/15\ V$ variable regulated power supply

Step two: Protocol

- ① An operating speed that will be kept during the measurements is chosen.

$$f = 160 \text{ Hz}$$

During the measurements, the frequency indicator is used to verify that the speed is constant. It is adjusted at will by changing the voltage delivered by the regulated power supply. The voltmeter V_1 is especially useful to verify that the voltage U_1 does not dramatically increase.

If you have some spare time, run a second series of measurements with $f=80 \text{ Hz}$.

- ② The electrical circuit of the generator G uses a set of two resistances, one is a fixed resistance (standard resistance) and the other a variable resistance, record the values of these resistances:

$$R =$$

$$R' =$$

R' is regularly varied from its greatest value down to zero.
The values of U_2 and I_2 are recorded (choosing for I_2 values separated by around 10 to 20 mA)

Complete the table of measurements shown below (15 to 20 measurements):

$$\text{Speed} = 160 \text{ Hz}$$

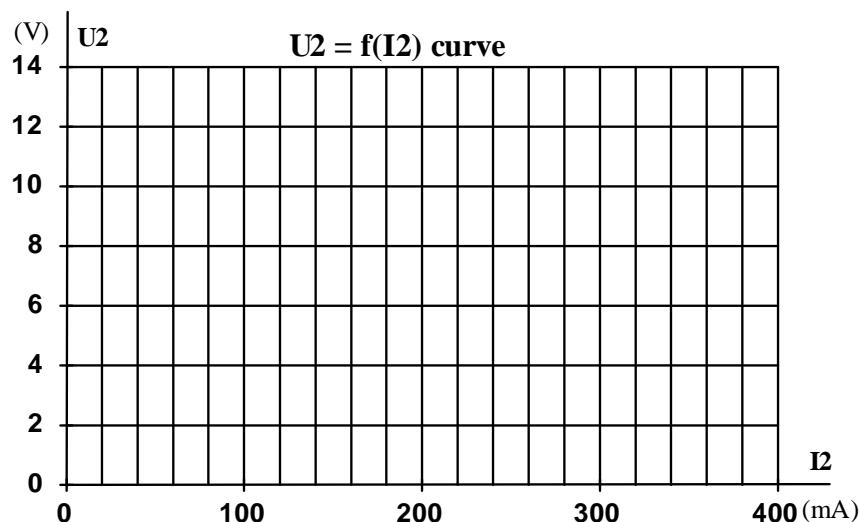
I_2 (mA)	U_2 (V)	I_2 (mA)	U_2 (V)

- ③ These values are copied in the spreadsheet of the ACTILAB software (this can be done as soon as measurements begin): I_2 in the first column (*Abscissa*) and U_2 in the second column (*C. n°1*).

The $U_2=f(I_2)$ curve is visualised.

- ④ Observation: what is the nature of the curve obtained (within limits of the measurements carried out)?

Draw (or paste) the curve obtained.



Step three: Utilization of results

❖ Current-voltage characteristic of the generator

- ① What is the mathematical model than can model the curve obtained?

What law relative to a generator does it remind you of?

Give the numerical values of the parameters describing the generator:

$$= \quad V \quad = \quad \Omega$$

- ② What represents these two parameters?

❖ Direct measurement of the self-resistance of the generator

- ① The self-resistance of the generator is that of the windings of the machine.

It is possible to directly measure this self-resistance by means of an ohmmeter, while the generator is disconnected. Several successive (5 to 6) measurements must be carried out while manually turning the motor shaft in order to avoid bad contacts due to the position of the brushes of the collector.

Calculate the average value

$$r = \quad \Omega$$

- ② Another method of measurement consists of assembling a circuit containing the generator in series with an 1,5 V battery and measurement devices. Draw the scheme below:

The measurements of U and I give – *locked motor* – $r = U/I$.

Beware of the temperature rise of the motor!

$$r = 3,43 \Omega$$

Average of the measurements (from 5 to 6)
 $U = \quad V$ and $I = \quad A$

Hence

$$r = \quad \Omega$$

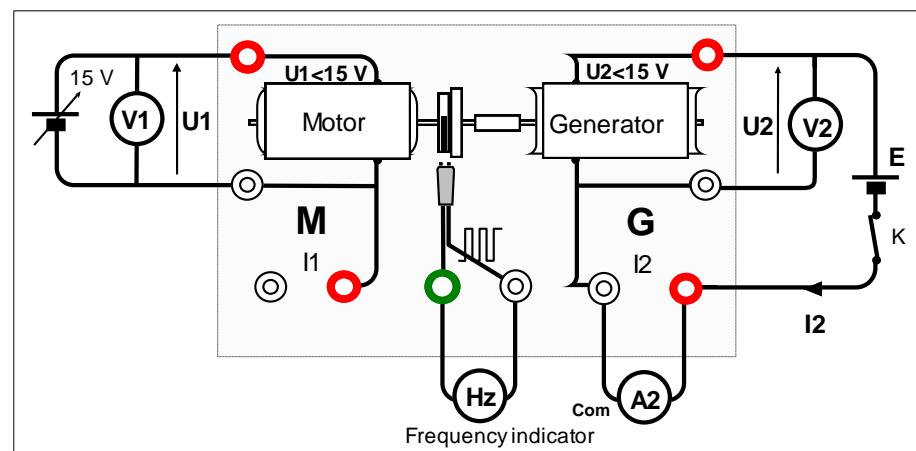
Conclusion:

- ❖ **Reversibility of a rotating machine**

The purpose of the experiment is the demonstration that a motor can behave as a generator, and inversely that a generator can become a motor.

Step one: Assembly

The assembly shown below is performed. Two multimeters are connected as voltmeters to the terminals of the motor and the generator. Another multimeter operates as a milliammeter to measure the current in the circuit of the generator. A final controller operates as a frequency indicator and measures the operating speed (in Hz). This can also be measured by means of an oscilloscope.



Draw the assembly scheme

Materials:

- The MOTOR-GENERATOR module
- A 4.5 V battery
- A switch
- A frequency indicator or an oscilloscope
- A 0/15 V variable regulated power supply

Comment: The voltmeter V1 branched to the motor M is only used to control the applied voltage in order to avoid any overload of the motor. The voltages reached (between around 3 V and 8 V) are lower than the maximum voltage. The voltmeter V1 can therefore be suppressed.

Step two: Protocol

- ① A Leclanché battery of electromotive force of around $E=4,5$ V is positioned opposite to the generator. A switch K allows the closure of the opening of the electrical circuit of the generator.

- ② When the regulated power supply of the circuit of the motor does not operate, the battery forces the generator G to operate as a motor and to drive the motor M. What is observed as far as the sign of the current I_2 is concerned?

(The ammeter A2 is connected as indicated in the scheme, Common on the white terminal, input mA on the red terminal)

The supply voltage of the motor M is gradually varied from zero. Observe and describe of the current I_b in the circuit of the generator?

For a certain value U_1 of the supply voltage of the motor M, the current I_2 takes a noteworthy value. Which one?

$$\cup_1 \equiv \quad \quad \quad \cup_2 \equiv$$

- ③ The values of U_1 , U_2 and I_2 are recorded.
Values of I_2 separated by around 10 to 20 mA are chosen while keeping the same caliber of 200 mA of the ammeter.

The values of I_2 therefore vary between around - 190 mA and +190 mA.

In the meantime, values of the rotational frequency f of the device are recorded.

From which value of the power supply voltage of the motor M is the

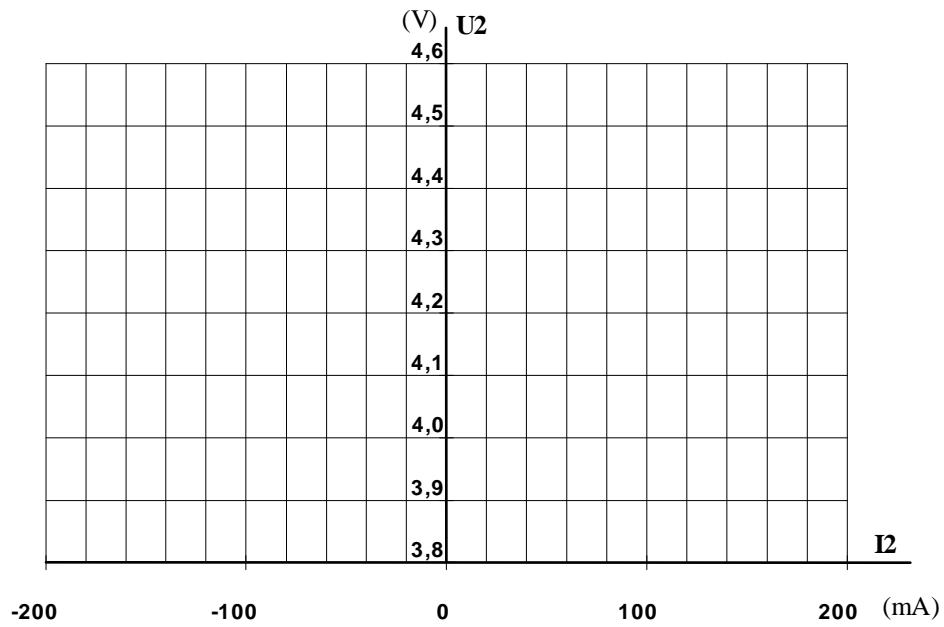
measurement of f is possible? What is its minimum value?

Complete the following table of measurements (around twenty measurements):

Step three: Utilisation of measurements

- ❖ Voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed

- ① Draw the curve that represents the voltage at the terminals of the generator as a function of the operating speed (or paste the document obtained on the printer of the computer)



- ② Observation: what is the shape of the curve obtained?

Does a unique curve have to be plotted?

- ❖ Modelling

What expressions can represent a mathematical model of the curves plotted?

U ₂ =	and	U ₂ =
------------------	-----	------------------

Report in a table, all the measurements relative to the models plotted:

$I_2 < 0$	Intercept of the curve Slope of the curve	$E_{2a} =$ V $r_{2a} =$ Ω
$I_2 > 0$	Intercept of the curve Slope of the curve	$E_{2b} =$ V $r_{2b} =$ Ω

❖ Interpretation

- ① Simplified scheme of the circuit generator-battery.

- ② Theoretical study of all the cases encountered.

- If the electromotive force E_2 of the generator G is lower than the electromotive force E of the battery ($E > E_2$), what are the roles played by the battery and the generator?

By using Ohm's law for a generator and a receiver, give the theoretical expression of the current I_2 in the circuit? What can be said about its sign?

$$I_2 =$$

- If the electromotive force E_2 of the generator G is greater than the electromotive force E of the battery ($E < E_2$) what are the roles played by the battery and the generator?

By using Ohm's law for a generator and a receiver, give the theoretical expression of the current I_2 in the circuit? What can be said about its sign?

$$I_2 =$$

- What happens when two electromotive forces E_2 of the generator G and E of the Leclanché battery that are positioned opposite to each other are equal?

This study is only approximate. It supposes that the generator keeps the same electromotive force when it behaves either as a generator or a motor. Besides the electromotive force of the generator varies with the operating speed.

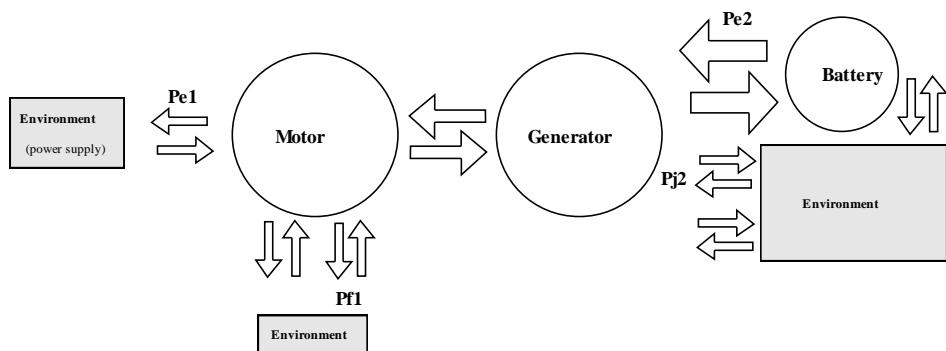
③ Conclusion

The behaviour of the rotating machine has gradually gone from that of a to that of a It is reversible:

- *it behaves as if it is provided some electrical energy*
- *it behaves as if it is provided some mechanical energy*

❖ Energy transfer diagrams in the circuit

- ① If the current I_2 is negative how does the generator behave?

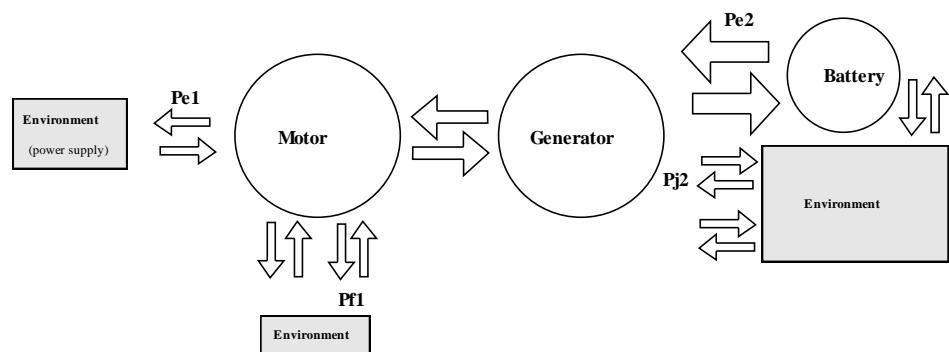


Give the names of the powers involved and complete the diagram above by coloring in red, the arrows whose directions are appropriate and indicating the missing powers.

Write the equation of conservation of power: $Pe_2 =$

How does the motor M behave?

- ② If the current I_2 is positive, how does the generator behave?



Complete the diagram as previously.

Write the equation of conservation of power: $Pm =$

How does the battery behave?

5 After-Sales Service

This material is under a two year warranty and should be returned to our stores in the event of any defects.

For any repairs, adjustments or spare parts, please contact:

JEULIN - TECHNICAL SUPPORT
Rue Jacques Monod
BP 1900
27019 EVREUX CEDEX France

+33 (0)2 32 29 40 50

Assistance technique en direct

Une équipe d'experts à votre disposition du Lundi au Vendredi (8h30 à 17h30)

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge immédiatement votre appel pour vous apporter une réponse adaptée à votre domaine d'expérimentation : Sciences de la Vie et de la Terre, Physique, Chimie, Technologie .

Service gratuit *

0825 563 563 choix n° 3. **

* Hors coût d'appel : 0,15 € ttc / min.
à partir d'un poste fixe.

** Numéro valable uniquement pour
la France métropolitaine et la Corse.

Pour les Dom-Tom et les EEE,
utilisez le + 33 (0)2 32 29 40 50

Aide en ligne :
www.jeulin.fr

Rubrique FAQ



Rue Jacques-Monod,
Z.I. n° 1, Netreville,
BP 1900, 27019 Evreux cedex,
France

Tél. : + 33 (0)2 32 29 40 00

Fax : + 33 (0)2 32 29 43 99

Internet : www.jeulin.fr - support@jeulin.fr

Phone : + 33 (0)2 32 29 40 49

Fax : + 33 (0)2 32 29 43 05

Internet : www.jeulin.com - export@jeulin.fr

Direct connection for technical support

A team of experts at your disposal from Monday to Friday (opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request immediately to provide you with the right answers regarding your activity field : Biology, Physics, Chemistry, Technology .

Free service *

+ 33 (0)2 32 29 40 50**

* Call cost not included

** Only for call from foreign countries

