Dec 1883

moteur électrique et 0,25 5 kgm 8 kgm

Electricité
applications

Moteurs électriques
à électro aimants.

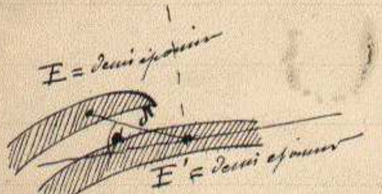
Théorie du fonctionnement.

64

Moteur électrique de 5^{Kgm}

Nous partirons de la formule du travail que nous avons déterminée ailleurs.

$$T = \frac{K R E R' E' l n \cos\alpha \, V}{\delta}$$



K, R, R' sont des coefficients également déterminés, l est la largeur de l'anneau, n le nombre de pôles et V la vitesse à la circonférence.

L'anneau dont on doit se servir étant déjà exécuté les quantités E' et l étant connues, il reste à donner à V une valeur convenable pour avoir un rendement donné, l'inconnue sera donc E.

Les données sont alors les suivantes:

$T = 5^{Kmg}$
$K = 0{,}0468$
$R = 0{,}445$
$R' = 0{,}312$
$E' = 3{,}5$
$l = 42{,}5$
$n = 4$
$V = 20$
$\delta = 36$
$\alpha = 0$

En substituant ces quantités dans l'équation il vient:

$$E = \frac{TS}{KRR'E' \ln V}$$

$$E = \frac{5 \times 36}{0{,}0468 \times 0{,}445 \times 0{,}312 \times 3{,}5 \times 42{,}5 \times 4 \times 20}$$

$$E = \frac{180}{77} = 2{,}34^{m/m}$$

Ainsi en prenant le fer de l'anneau tel qu'il existe on arrive à avoir des électro aimant excessivement faibles si l'on ne veut obtenir que 5^kg^ que.

Mais étant donné la construction de l'anneau, ~~cherchons s'il n'y aurait pas avantage à modifier~~ quelle est la valeur de i dans la formule

$$\rho = \frac{E'R'}{2i - E'R'} \quad \text{et} \quad \rho = \frac{e}{E}$$

$$\text{d'où} \quad i = \frac{ER'(E+e)}{2e} \quad \text{or } e = 4^{m/m}$$

Remplaçons par leurs valeurs il vient:

$$i = \frac{3{,}5 \times 0{,}312 \times 7{,}5}{8} = \frac{8{,}15}{8} = 1{,}02$$

La circonférence $150 \times \pi = 0{,}470$ étant divisée en 54 parties, chaque partie présente un rectangle de $35^{m/m^2}$ de section soit en tout 35,7 ampères pour saturer le fer.

La section réelle du cuivre est de $18^{m/m^2}$ il faudra donc par m/m de fil faire passer en ampères

$102 \times 35{,}7$ ...

Or le fil pourrait supporter beaucoup plus. On peut donc affirmer que la quantité de cuivre disposée autour du fer est plus considérable qu'il n'est nécessaire pour le saturer.

Faire passer un courant plus fort n'augmenterait en rien la puissance de la machine et aurait comme conséquence immédiate de diminuer son rendement.

Chaque spire a 2^m de longueur le courant étant divisé en 4 parties aura à parcourir un conducteur ayant par conséquent comme section 4$^{m/m^2}$ et comme longueur 27^m sa résistance sera

$$\frac{0{,}016 \times 27}{4} = 0{,}108$$

Supposons que la résistance de l'électro-aimant fixe soit égale à celle de l'anneau, la résistance totale serait de ———— $0{,}216$ ohm

Nous avons vu plus haut que pour avoir le même rendement dans une machine, il fallait ~~que~~ le rapport

$$\frac{I}{E} = \frac{1-a}{r}$$, (a) étant le rendement

soit constant. (nous prendrons $a = 0{,}8$)

Par conséquent connaissant, a, r et I maxima on a pour E

$$E = \frac{rI}{1-a} = \frac{0{,}216 \times 8}{1-0{,}8} = 8{,}65$$

Le travail électrique dans ces conditions serait $\frac{EI}{g} = \frac{8 \times 8{,}65}{9{,}8} = 7{,}06^{Kgm}$

le travail dont il faudrait prendre les 60 %. Seulement comme travail disponible sur l'arbre est trop faible pour la machine que nous voulons.

Comme ~~l'effort~~ ~~à vitesse égale~~ croît comme le carré du courant si l'on veut une machine susceptible de vaincre une résistance momentanée sans trop diminuer de vitesse, il faut que le courant ~~normal~~ qui la traversera dans le travail moyen soit loin d'être celui qui sature le fer dans de la machine. ~~De~~ cette façon, si on dispose d'un potentiel sensiblement constant quand on fera varier le courant entre certaines limites, l'effort de la machine ~~et par conséquent~~ croîtra comme le carré du courant et la vitesse diminuera comme le courant de sorte que le travail aura augmenté ~~aussi~~ comme le courant.

L'anneau étant saturé à 8 ampères, nous prendrons pour ~~valeur~~ du courant normal la moitié, ce qui diminue l'effort dans le rapport de 1 à 4

Or c'est dans ces conditions que la machine devra faire les 7 Kgm trouvés plus haut; avec 8 ampères elle devra donc en faire 4 fois plus et nous aurons

$$\frac{EI}{g} = 28^{\text{Kgm}} \text{ d'où}$$

$$E = \frac{28 \times 9}{8} = 31,3^{\text{volts}}$$

Si nous cherchons ... l'intensité

dans $\mathcal{E} = \dfrac{rI}{1-a}$

$$r = \frac{\mathcal{E}(1-a)}{I} = \frac{34{,}3(0{,}2)}{8} = 0{,}86$$

Ce qui donne pour la résistance de l'électro-aimant fixe $0{,}860 - 0{,}108 = 0{,}752$ en le supposant construit comme l'anneau.

En reprenant la formule fondamentale qui donne l'attraction T sur l'anker, nous prendrons pour valeur de T les 60 % de 28 kgm ou 17 kgm environ et il vient :

$$E = \frac{17 \times 36}{0{,}0468 \times 0{,}445 \times 0{,}312 \times 3{,}5 \times 42{,}5 \times 4 \times 20}$$

d'où $E = \dfrac{612}{77} = 7{,}9$ environ 8

Ainsi la section du fer du corps de chaque électro-aimant devra être de $2.E.l = 2 \times 8 \times 42{,}5 = 680^{m/m}$

En divisant ce corps en deux pour chaque pôle et celui conservant la même longueur l, E sera diminué de moitié, cherchons ce que devient le rapport $\rho = \dfrac{e}{E}$ en employant du fil cylindrique ordinaire recouvert de soie, le rapport entre la section réelle de cuivre et la section totale

section du fil

de $\frac{1}{2}$ en moyenne pour des petits fils ; si nous pouvons passer 8 ampères dans $2^{m/m^2}$ de section qu'a le fil on aura pour valeur de

$i = 2$ et il vient dans la formule

$$\rho = \frac{e}{E} = \frac{ER}{2i - ER}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{4\times 0,445}{2\times 2 - 4\times 0,445} = \frac{1,78}{2,22}$$

D'où $e = 3,\cancel{2}$

Nous allons former le corps des électroaimants de tubes de fer au lieu de corps plats on a ainsi l'avantage de soustraire le fer à l'action magnétique du courant qui agit de l'autre côté.

La section totale étant $680^{m/m^2}$ en prenant 4 tubes dont le diamètre extérieur sera de $17^{m/m}$ on a pour le diamètre intérieur

$$\frac{\pi d^2 - \pi x^2}{4} = \frac{680}{4}$$

$$x^2 = \sqrt{d^2 - \frac{680}{\pi}} = \sqrt{289-216} = \sqrt{73}$$

$$x = 8,5^{m/m}$$

L'épaisseur sera $E = \frac{17-8,5}{2} = 4,25^{m/m}$

on prendra $E = 4,5$

On a pour e

$$\frac{e}{4,5} = \frac{4,5\times 0,445}{2\times 2 - 4,5\times 0,445} =$$

On trouve $e = 4,5$

Ce chiffre un peu fort provient de ce que nous avons pris $i = 2$ en prenant du fil de 1.6 de diamètre recouvert de soie et en en mettant deux couches, i sera supérieur à 2 et probablement égal à 2.5, dans cette valeur on trouve $e = 3^{m/m}$

Prob. pièce 4 tubes recouverts de deux couches de fil de $1^{m/m},2$ entourés

Armature 13 bobines recouvertes de $7\times 3 = 21$ tours de fil de $0.9^{m/m}$

Résistance calculée
0,283
0,108
0,391
0,40
ohms

Machine de 0,25 Kilogrammètres.

Comme dans la Machine de 5 Kilogrammètres nous établirons celle-ci de manière à ce qu'elle soit loin de son point de saturation.

On obtient en opérant ainsi, une machine dont la puissance est élastique et qui permet de vaincre facilement sans ~~augmentation~~ diminution sensible de vitesse des inégalités de résistance provenant du travail à accomplir.

On peut toujours s'arranger de manière à avoir un potentiel constant; nous le supposerons dans tel et dans ces conditions, le rendement seul variera en même temps que la résistance à vaincre.

On représentant par

I le courant

e potentiel disponible

r résistance intérieure de la machine

e' potentiel transformé en travail

R résistance résultant du travail produit

Nous avons vu plus haut que :

$$R = \frac{e - Ir}{I} \text{ et } e' = e - Ir$$

Le travail total étant T et le travail recueilli T' on a

$$T = eI$$

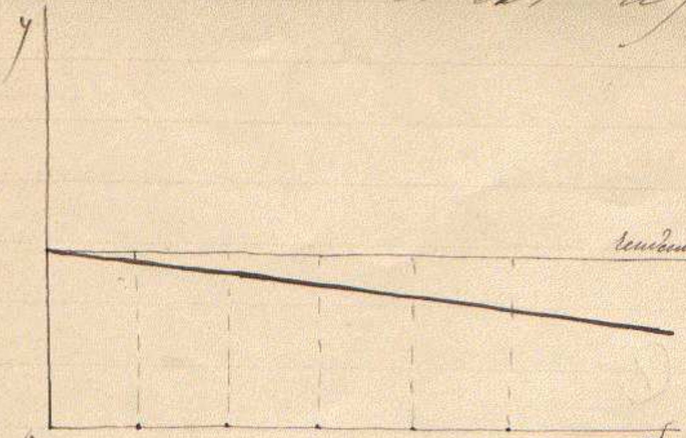
$$T' = e'I$$

d'où $\frac{T'}{T} = \frac{e'}{e} = K$ rendement.

En remplaçant e' par sa valeur on a

$$(1) \qquad K = \frac{e - Ir}{e}$$

Ainsi le rendement ~~[illegible]~~ va en diminuant en sens inverse du courant.



Il est représenté par une ligne droite dont l'inclinaison sur l'axe des x est donné par le rapport $\frac{r}{e}$ on voit donc de suite que plus r sera petit et plus on pourra faire varier le Courant tout en restant dans le voisinage d'un bon rendement.

Le travail recueilli est

(2) $$T' = e'I = (e - Ir)\,I$$

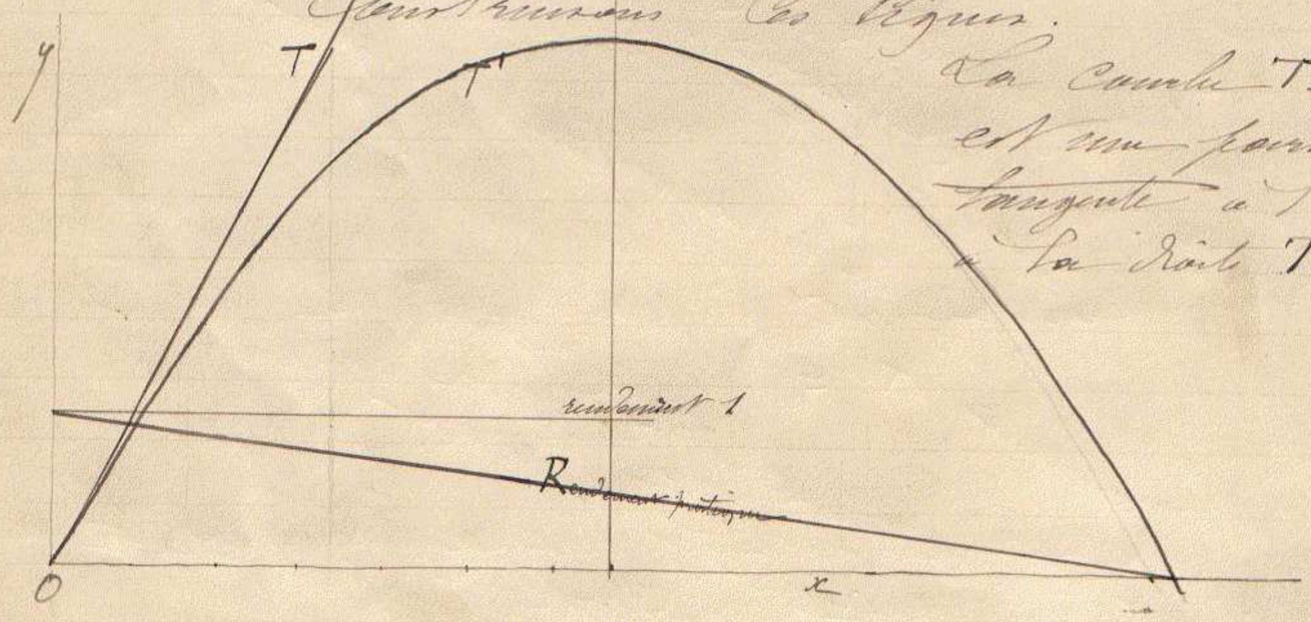
tandis que le travail total est

$$T = eI$$

C'est à dire une droite dont la tangente est e

Construisons ces lignes.

La courbe $T' = (e - Ir)\,I$ est une parabole tangente à l'origine à la droite $T = eI$



La droite T viendra donc couper l'axe de la parabole à une distance de celle-ci égale à l'ordonnée de cette parabole. C'est en ce point que le travail recueilli est la moitié du travail produit donc $\frac{T'}{T} = \frac{1}{2}$

En effet si nous prenons la dérivée de l'équation (2) on a pour équation de la tangente

$$y = e - 2Ir$$

En différentiant nous avons pour

$$2Ir = e \quad \text{ou}$$

$$I = \frac{e}{2r}$$

en remplaçant I par sa valeur dans l'équation (1) on a

$$K = \frac{e - \frac{er}{2r}}{e} = \frac{1}{2}$$

Nous n'avons considéré jusqu'à présent dans l'évaluation du rendement que le travail absorbé par la résistance propre de la machine, travail qui croît comme le carré du courant puisqu'il est

$$T'' = T - T' = I^2(R + r - R) = I^2 r$$

Mais il existe d'autres pertes de force inhérentes à la construction de la machine.

Dans les machines qui ne sont sujettes à aucun changement brusque de polarités magnétiques on n'observe pas d'échauffement sensible du noyau des électro-aimants ; ainsi les pôles fixes ne doivent rien absorber de travail pendant la marche si l'intensité du courant ne varie pas. Dans le cas que nous examinons cette intensité varie moins brusquement, la perte de travail est donc négligeable.

Pour l'électro-aimant mobile il n'en est pas de même. Le magnétisme est obligé de se mouvoir avec une vitesse moyenne égale à celle de l'anneau et en réalité par saccades excessivement brusques à chaque passage d'une spire à l'autre du courant amené par les balais sur le commutateur.

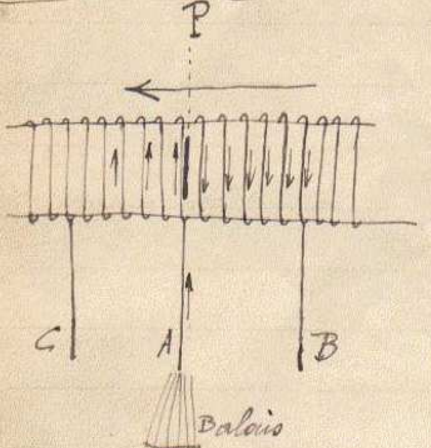
Le fer de l'anneau est donc obligé de s'aimanter et de se désaimanter brusquement et cet effet amène un ~~production~~ dégagement de chaleur produit aux dépens du travail.

2° intensité magnétique étant proportionnelle au courant I, le travail absorbé sera proportionnel à ce courant et à la ~~vitesse de rotation qui est proportionnelle à la force électromotrice~~ e' et sera de la forme $t = 2IV$ ×

donc $t = \alpha e'$.

Mais on a $T' = fV$ f effort tangentiel
or $f = KI^2$
et $T' = e'I$
d'où
$e' = \frac{fV}{I}$ et
$V = \frac{e'I}{f} = \frac{e'}{KI}$

Un phénomène d'un autre ordre se produit au moment du changement de sens du courant dans chaque bobine élémentaire ~~passe~~ pendant son passage devant le balai du commutateur.



Tant que le courant arrive par la ligne A, le pôle P reste fixe et se transporte avec l'anneau dans le sens de la flèche.

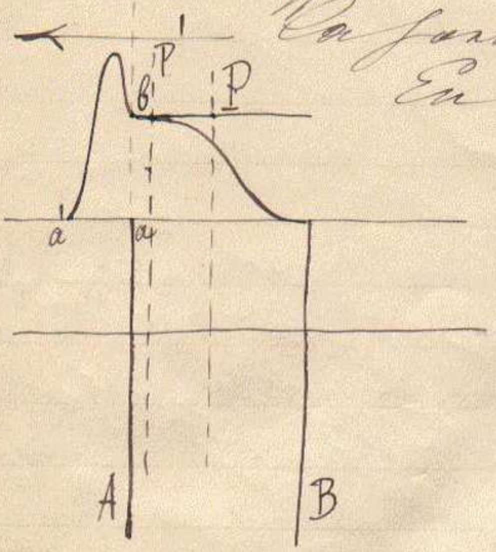
Au moment où la ligne B viendra toucher le balai, le courant qui circule dans la bobine élémentaire AB sera rompu, et fera naître un courant induit de même sens qui renforcera un instant le premier et par suite en même temps le pôle P. Ce premier extra courant a donc comme effet de déplacer dans le sens du mouvement le pôle P et de ~~renforcer~~ le potentiel, au moment de la rupture du courant par le balai, ce qui se traduit par une étincelle qui brille entre le balai et le conducteur A.

A cette première période succède une seconde pendant l'établissement du courant qui est changé de sens, dans la bobine AB

Ce courant naissant, produit dans

la bobine un courant inverse qui retarde l'établissement de l'intensité du courant et par suite celle du pôle P.

Cet extra courant a encore comme effet d'entraîner dans le sens du mouvement la position moyenne du pôle.



En effet supposons que (a,b) représente l'intensité magnétique par suite du mouvement, le pôle se porte de B en A et sa position moyenne étant au milieu suivant la ligne P. Mais arrivé en A, par suite de la rupture du courant, l'intensité magnétique augmente brusquement pour retomber ensuite à 0 mais la vitesse de translation ~~lui les~~ fait parcourir un espace a a'. Pendant l'instant suivant, l'établissement du courant se faisant lentement, l'intensité magnétique n'atteint ~~sa~~ sa valeur réelle qu'après un temps donné pendant lequel le pôle s'est ainsi transporté dans le sens du mouvement.

Il résulte de ceci que la position moyenne du pôle se trouve transportée dans le sens du mouvement d'une ~~quantité~~ distance P P'.

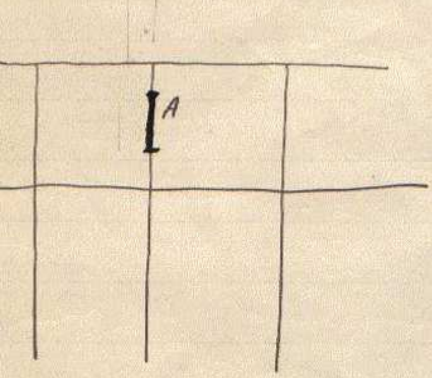
Cet effet de transport n'a pas par lui-même d'inconvénient puisque pour ramener au point P qui doit occuper la position moyenne du pôle la nouvelle position P' il suffira de reculer les balais de cette quantité P'P.

Mais l'augmentation de l'intensité

magnétique au moment de la rupture
du courant augmente la variation
d'intensité du pôle, variation qui se
traduit par un dégagement de chaleur
d'autant plus grand que cette variation est
plus forte.

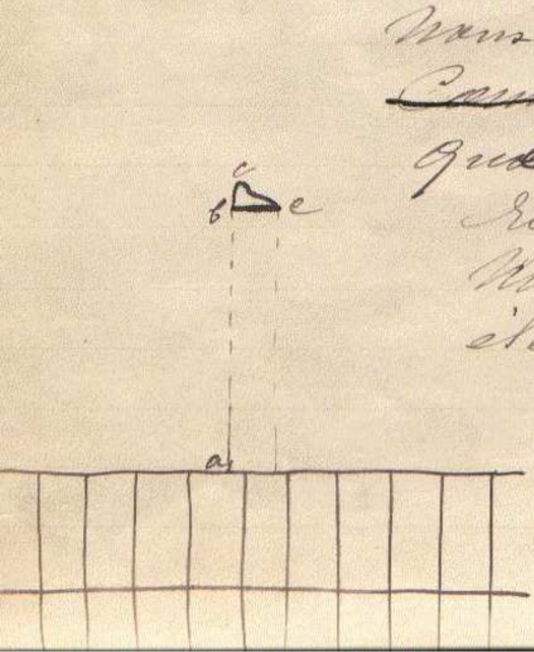
Pour combattre cet effet de la
variation il faut diminuer autant
que possible l'influence que produit
la rupture du courant.

Le courant induit de rupture est
d'autant plus fort que les spires de la
bobine sont plus nombreuses; pour le
diminuer il faut donc diminuer l'importance
de chaque bobine élémentaire en en augmentant
le nombre.



Le pôle produit a sa résultante
placée en A mais il est la
conséquence de l'action de toutes
les bobines élémentaires qui
constituent l'électroaimant.

Si ~~toutes~~ ~~les bobines pouvaient à la fois~~ courant étant rompu
à la fois dans toutes les bobines
la variation de l'intensité magnétique
serait donnée par la courbe que
nous venons de décrire; mais
~~comme~~ en réalité il n'est rompu
que dans une bobine; si donc nous
représentons par (a,b) l'intensité
magnétique due aux (n-1) bobines
élémentaires, la $n^{\text{ième}}$ produira
seulement la variation
(b, c, e).



Donc plus le nombre de ces
bobines sera grand ~~plus~~ moins

la variation magnétique produite au moment du passage des bobines devant les balais aura d'importance.

L'étincelle qui jaillit entre le balai et le conducteur de la bobine élémentaire dont on change le courant sera par la même raison diminué d'intensité.

La grandeur des bobines élémentaires aura donc comme influence de changer le coefficient α dans l'équation du travail absorbé par l'échauffement du fer de l'anneau, et on aura toujours

$$t = \alpha e'$$

Une autre perte de travail est celle qui provient des courants d'induction (courants de Foucault) développés dans les masses métalliques en mouvement.

Le fer de l'anneau est le siège de semblables courants ainsi que les autres pièces métalliques continues qui entrent dans sa construction.

Ces courants crées en pure perte se manifestent par un dégagement de chaleur et contribuent par suite à diminuer le rendement.

Le travail absorbé est à chaque instant proportionnel au courant I qui ~~règle~~ l'intensité magnétique des pôles fixes et à la vitesse de rotation qui est proportionnelle à la force électromotrice (e') de réaction.

On aura donc

$$t' = \cancel{I e}\ \alpha e'$$

Enfin les résistances et pertes de forme dus aux frottements, à la resistance de l'air aux chocs etc., absorbent une partie du travail qu'il l'on doit amoindrir le plus possible mais qui peuvent se mettre sous deux formes.

Les frottements chocs etc., peuvent être compris dans la formule

$$t'' = \beta \cancel{V}^x = \beta \frac{e'}{I}$$

et ceux relatifs à la resistance de l'air sous la forme

$$t''' = \beta \cancel{V}^2 \beta \frac{e''}{I^2}$$

Nous aurons pour expression du travail total :

$$T = T' + T'' + t + t' + t'' + t'''$$

d'où l'on tire :

$$T' = T - T'' - t - t' - t'' - t'''$$

en remplaçant par leurs valeurs il vient :

$$T' = eI - I^2 r - \alpha \cancel{V}(e-Ir) - \alpha' \cancel{V}(e-Ir) - \frac{\beta(e-Ir)}{I} - \frac{\beta e''(e-Ir)}{I^2}$$

ou

$$\cancel{T' = (e-Ir)\left[I - (\alpha+\alpha')\right] \frac{\beta}{I} - \frac{\beta e''}{I}}$$

$$T' = (e-Ir)I - (e-Ir)(\alpha+\alpha') - (e-Ir)\left(\frac{\beta}{I} + \frac{\beta e''}{I^2}\right)$$

Ainsi le travail qu'il l'on peut recueillir se compose d'une première quantité de laquelle il faut retrancher deux quantités variables avec I et e

Reprenons le cas théorique ~~pour~~ lequel nous avions :

Travail électrique $T = eI$

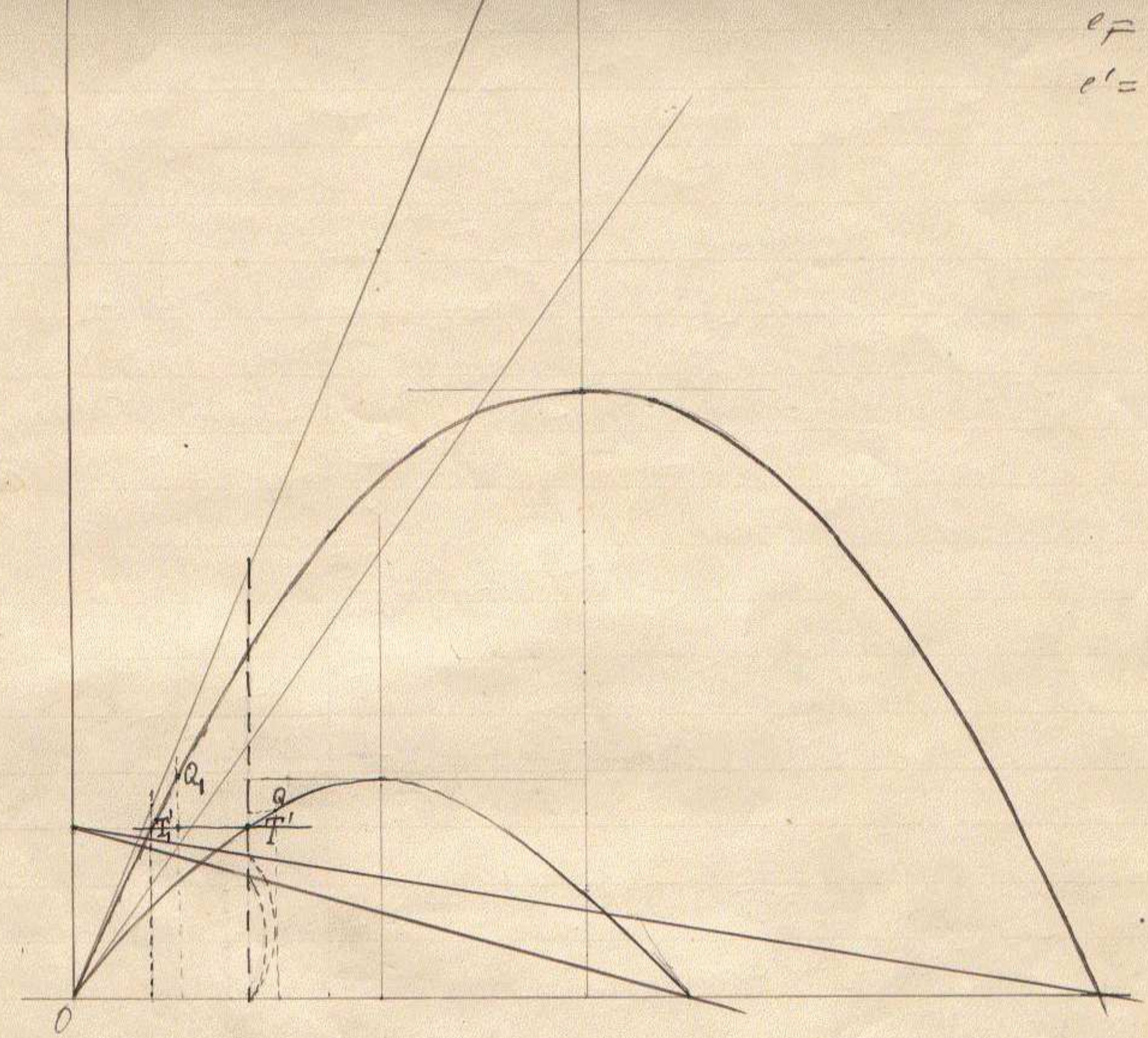
Travail recueilli $T' = (e - Ir)I$

et rendement

$$R = \frac{e - Ir}{e}$$

$e = 1,46$

$e' = 2,45$



Si nous prenons un potentiel différent e' nous aurons

$$T_1 = e'I$$

$$T_1' = (e' - Ir)I$$

$$K_1 = \frac{e' - Ir}{e'}$$

pour une machine donnée, I est la même le rapport des travaux électriques est

$$\frac{T}{T_1} = \frac{e}{e'}$$

et celui des travaux recueillis:

$$\frac{T'}{T_1'} = \frac{e - Ir}{e' - Ir}$$

Il ressort clairement de là que plus le potentiel sera élevé, plus le rendement sera bon à courant constant.

en prenant toujours la même machine,
voyons comment varie le travail
quand I varie un peu à travail
égal bien entendu.

Soit T' le travail dont on a besoin
en menant une parallèle par le point
T' à l'axe des x, elle rencontre la
courbe du potentiel e' en T, on voit
déjà combien le rendement est [illegible]

La valeur de I' sera la suivante :
On a

$$(e'-I'r)I' = (e-Ir)I$$

d'où l'on tire

$$I' = \frac{e'}{2r} \pm \sqrt{\frac{e'^2}{4r^2} - \frac{(e-Ir)I}{r}}$$

Nous avons évidemment deux solutions
Mais la première, celle avec signe + doit
être rejetée dans la pratique car elle
correspond à la branche descendante
de la parabole dans laquelle le rendement
est au dessous de 50 %

Nous supposons aussi que $e' > e$

Quand la quantité placée sous le radical
est nulle, I' est à son maximum
car $\frac{e'}{2r}$ est la valeur de I' pour laquelle
la dérivée est nulle car on a

$$o = e' - 2Ir \text{ d'où}$$

$$I' = \frac{e'}{2r}$$

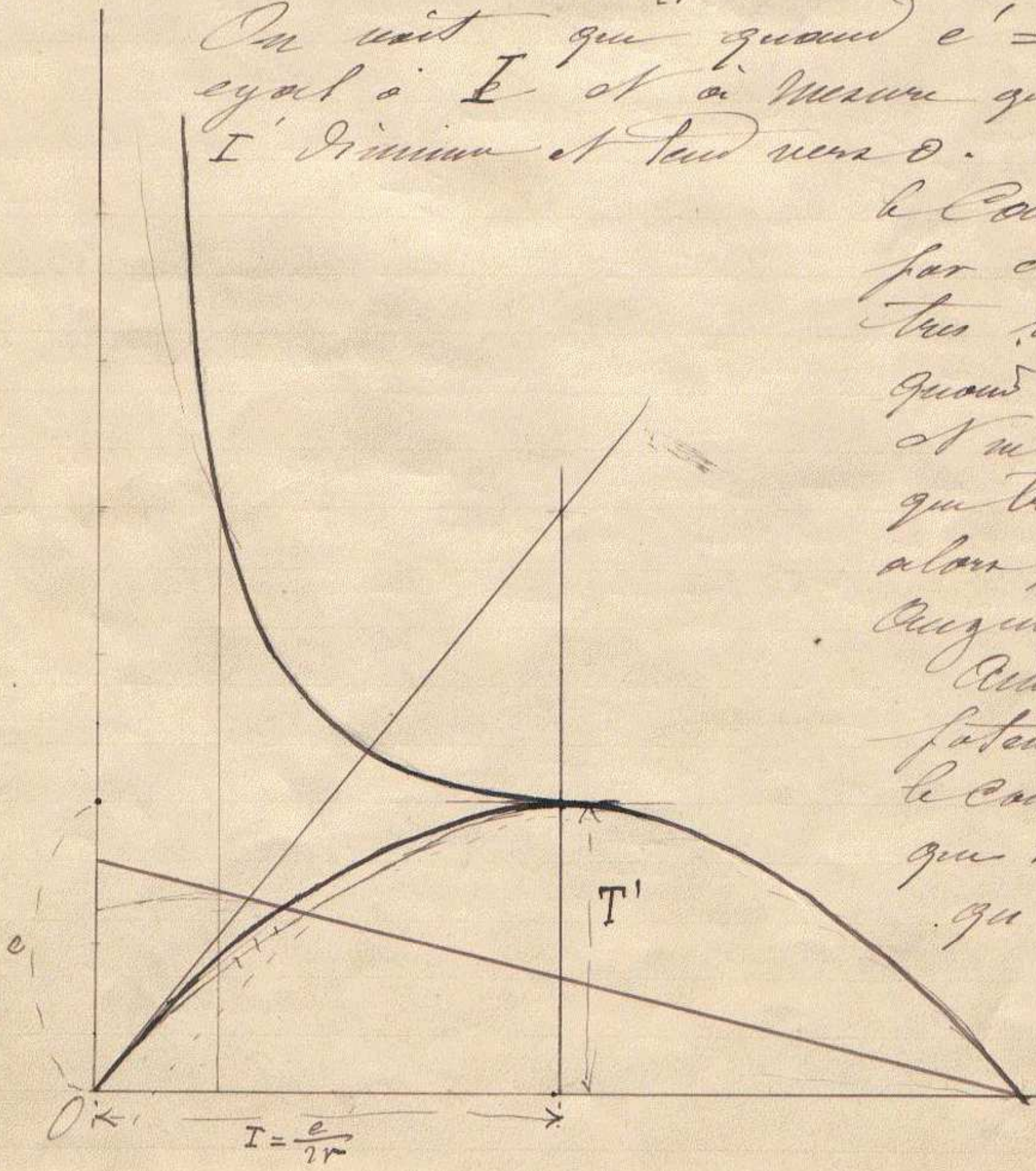
Ce maximum ne peut être atteint que
quand $e = e'$ on a en effet en égalant
la quantité sous le radical à 0

$$\frac{e'^2}{4r^2} = \frac{(e-rI)I}{r} \qquad I^2 - \frac{e}{r}I + \frac{e'^2}{4r^2} = 0$$

d'où
$$I = \frac{e}{2r} \pm \sqrt{\frac{e^2}{4r^2} - \frac{e'^2}{4r^2}}$$

Comme nous avons admis que $e' > e$ il faut pour que la racine soit réelle que $e' = e$ d'où il suit que $I' = I$.

Dans le cas que nous considérons, $e' > e$ I' sera maximum pour la valeur maxima de I qui est
$$I = \frac{e}{2r}$$
On a alors.
$$I' = \frac{e'}{2r} \pm \sqrt{\frac{e'^2}{4r^2} - \frac{e^2}{4r^2}}$$
$$I' = \frac{e' \pm \sqrt{(e'+e)(e'-e)}}{2r}$$
On voit que quand $e' = e$ I' est égal à I et à mesure que e' augmente I' diminue et tend vers 0.



Le Courant commence par diminuer d'abord très rapidement quand le potentiel augmente et ne diminue ensuite que très lentement alors que le potentiel augmente très rapidement.

Ainsi quand le potentiel est doublé le courant n'est plus que les 27 % de ce qu'il était.

et le rendement est de 85 % au lieu de 50 %

On aura donc les deux relations suivantes dans lesquelles

e = potentiel disponible
I = Intensité du Courant.
T' = Travail à recueillir en (Kgm × g)
r = résistance intérieure de la dynamo.

$$T' = (e - Ir)\,I \qquad \left[\text{ou } I = \frac{e \pm \sqrt{e^2 - 4rT'}}{2r}\right.$$

$$T' = \frac{\frac{e^2}{4}}{4r} = \frac{e^2}{8r}$$

On pourra prendre deux de ces quantités comme inconnues et se donner les autres.

Exemple. On a

$$\left.\begin{array}{l} e = 75 \text{ Volts.} \\ T' = 5300 \end{array}\right\} \text{ machine du ballon dirigeable}$$

On en déduit

$$r = \frac{\overline{75}^2}{8 \times 5300} = \frac{5620}{42400} = 0,1325 \text{ ohms}$$

et

$$I = \frac{e - \sqrt{e^2 - 4rT}}{2r}$$

$$= \frac{75 - \sqrt{5620 - 2820}}{0,265} = 87 \text{ ampères}$$

La résistance calculée de la machine en partant des éléments mêmes de sa construction et en supposant le cuivre pur, a été trouvée de 0,101 ohms.

Mais à 50°, température qu'atteindra vraisemblablement la machine quand elle aura fonctionné un certain temps, la conductibilité ne sera plus que les $\frac{83,3}{100}$ de ce qu'elle est à 0°, ~~Elle deviendra~~ par conséquent la résistance deviendra

$$r = \frac{0,101}{83,3} = 0,1215$$

En outre le Cuivre employé n'est certainement pas pur, par conséquent si on le suppose à 91 % qui est la moyenne on arrive à la valeur

$$r = \frac{0,1215}{0,91} = 0,1325$$

Cherchons ce que devient le rendement en procédant ainsi.

On a

$$\frac{T'}{T} = K = \frac{e - Ir}{e}$$

Nous avons par hypothèse $T' = \frac{e^2}{8r}$

et $T = eI$

On a

$$KT = T' = \frac{e^2}{8r}$$

$$KeI = \frac{e^2}{8r} \quad \text{d'où} \quad r = \frac{e}{8KI}$$

En remplaçant on a

$$Ke = e - \frac{e}{8K}$$

$$K^2 = K - \frac{1}{8}$$

$$K^2 - K + \frac{1}{8} = 0$$

$$K = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{8}} \quad \sqrt{\frac{1}{8}}$$

$$K = \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2,83} = \frac{283}{566} + \frac{200}{566} = \frac{483}{566} = 0,85 \text{ environ.}$$