

TD et TP - Energies

F. Kölbl

S1 décalé : Janvier 2019 - Juin 2019



Avant propos

Le **cours** de S1 décalé contient deux chapitres :

- un chapitre sur les circuits utilisant des grandeurs continus. Ce chapitre utilise les bases du génie électrique qui doivent **impérativement être maîtrisées pour la suite du parcours IUT.**
- un chapitre sur les Machines à Courant Continu, exemple le plus simple de machines tournantes.

Ce cours est évalué par des devoirs sur tables pour chacun des chapitres. Par ailleurs des interrogations écrites ponctuelles sont possibles.

L'électronique de puissance et l'électrotechnique sont des disciplines relevant de la physique appliquée, il est donc obligatoire :

- d'utiliser des unités relevant du système international d'unités,
- de veiller à respecter les règles d'écriture et de calcul sur les chiffres significatifs,
- de référencer (grandeurs, unités et valeurs) correctement chaque axe de chaque figure.

Table des matières

1	Circuits à grandeurs Continues	1
2	Circuits à grandeurs Continues	17

Circuits à Grandeurs Continues

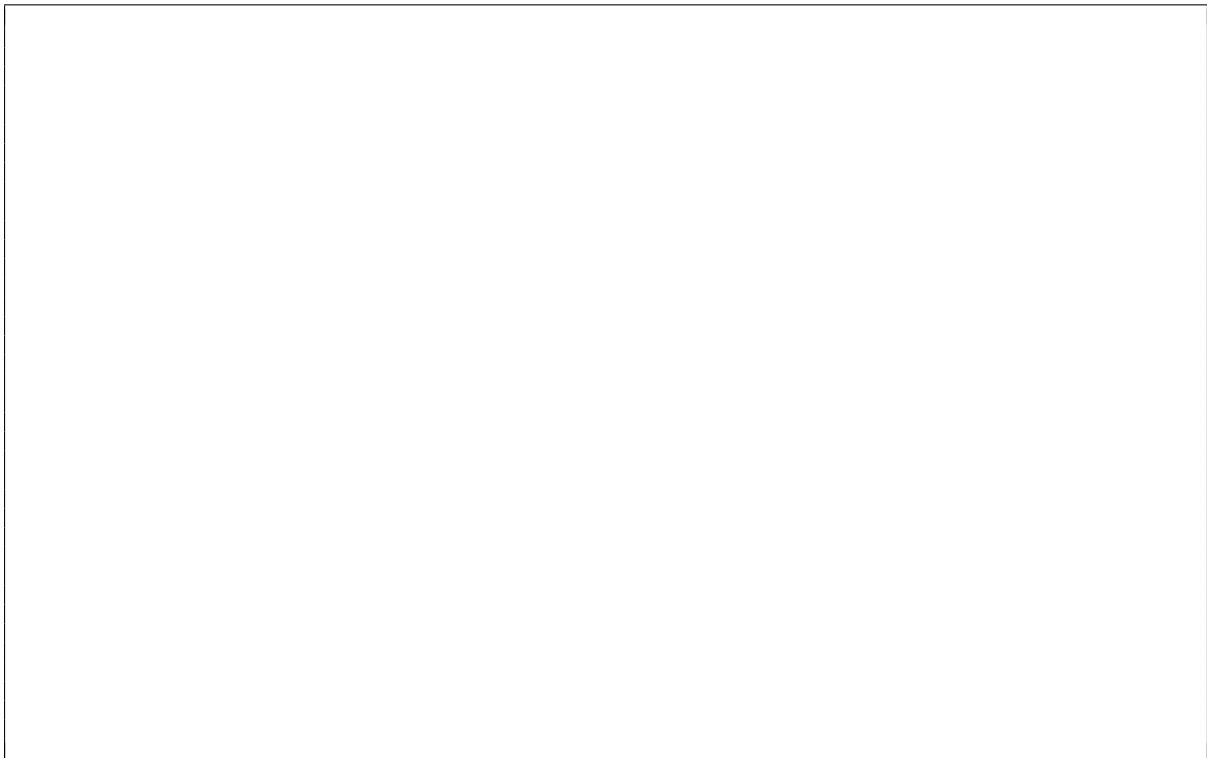
Le chapitre sur les circuits utilisant des courants continus utilise les lois fondamentales de l'électricité. Les seuls composants pris en compte dans le cas de grandeurs continues (qui ne varient pas au cours du temps) sont des résistances, et des générateurs, idéaux ou non. Il est donc indispensable de rappeler (et apprendre) les notions de base d'électricité.

Dans un second temps nous ferons des exercices simples d'application directe du cours, **vous devez par la suite être capable de faire ses exercices sans problème**. Puis des exercices plus complexes.

1 Rappels de cours

1.1 Grandeurs électriques

Quelles sont les trois grandeurs électriques d'intérêt lorsqu'on parle de grandeurs électriques continues ?



1.2 Lois de Kirchhoff



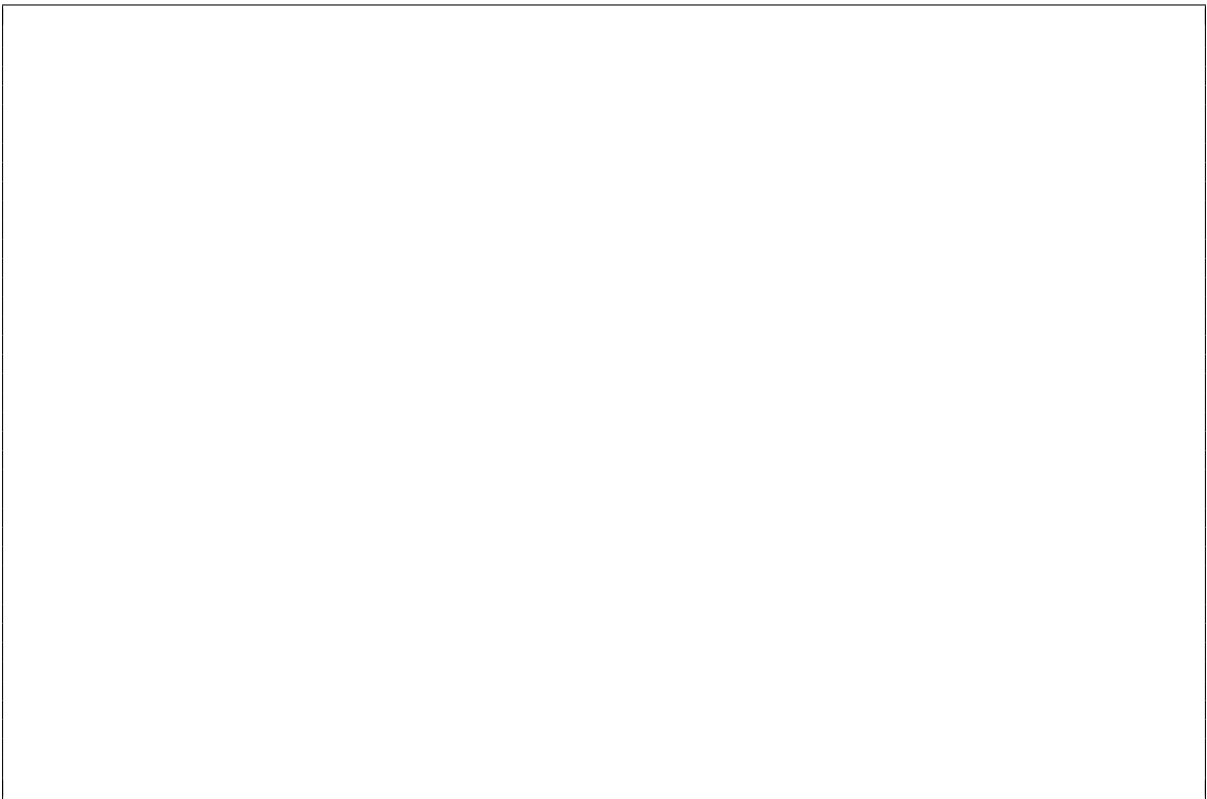
1.3 Définition des générateurs parfaits



1.4 Définition de la résistance électrique



1.5 Ponts diviseurs de tension et de courant



1.6 Définition des générateurs non idéaux



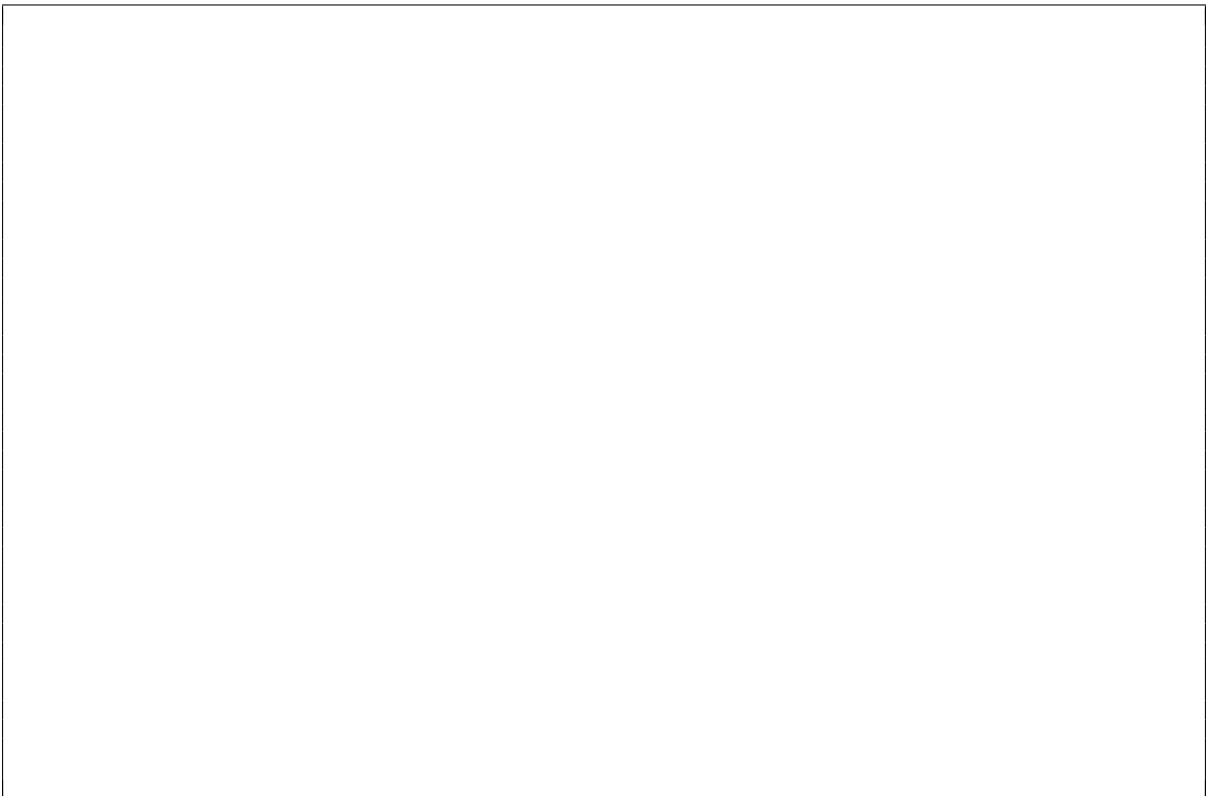
1.7 Méthodes de Thévenin et Norton



1.8 Théorème de Superposition



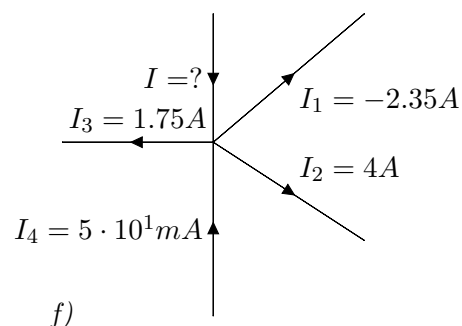
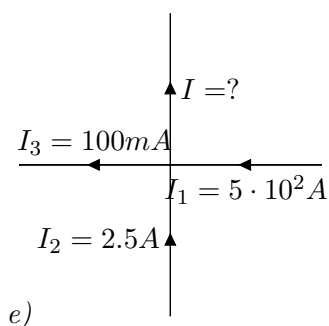
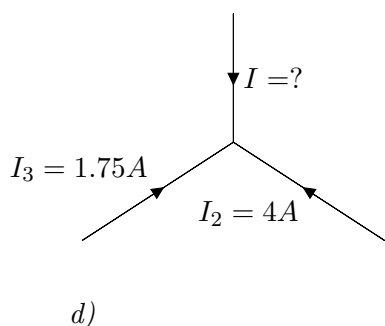
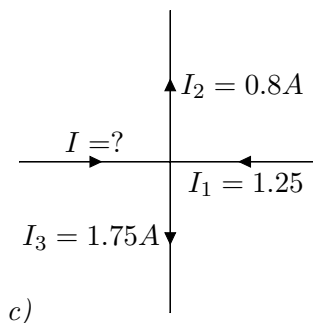
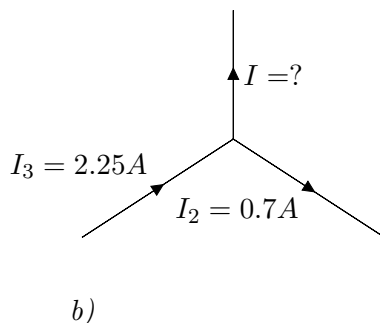
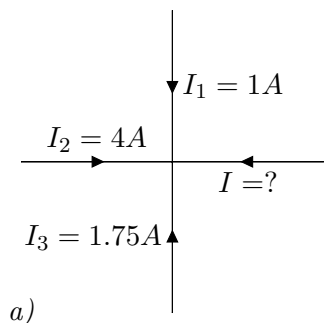
1.9 Théorème de Millman



2 Exercices d'application

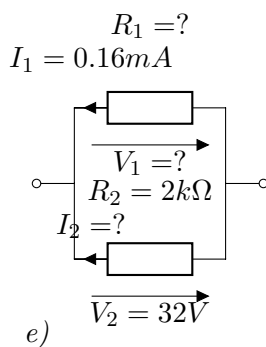
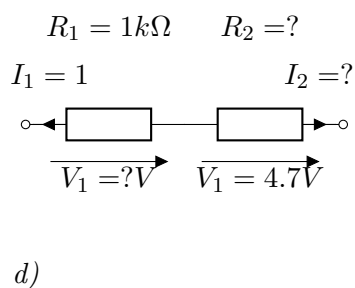
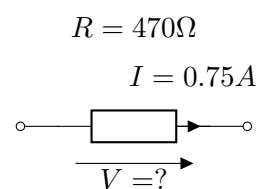
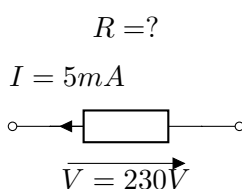
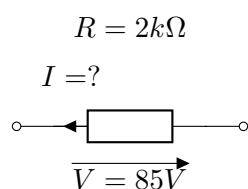
2.1 Exercice 1 :

Trouvez pour chaque circuit la formule et la valeur du courant I manquant.



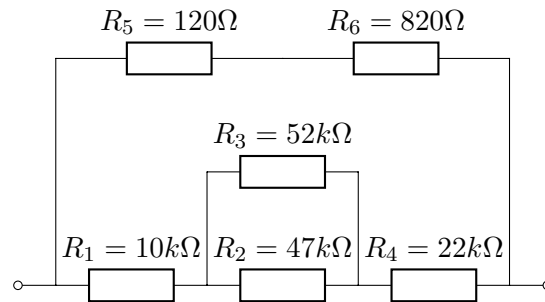
2.2 Exercice 2 :

Trouvez pour chaque résistance ou association de résistance la ou les grandeurs manquantes.

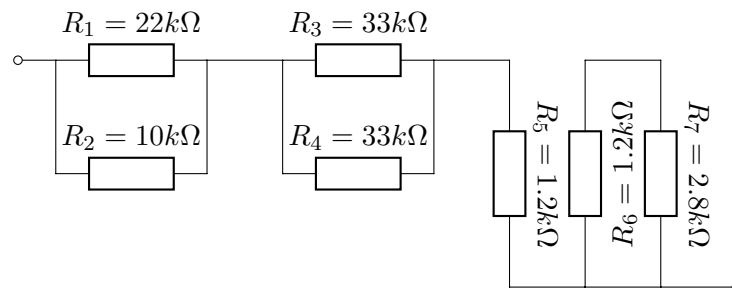


2.3 Exercice 3 :

Trouver la valeur de résistance équivalente :



a)



b)

2.4 Exercice 4 :

Dans les équations suivantes, les lettres :

- V symbolisent les tensions,
- I symbolisent les courants,
- R symbolisent les résistances,
- G symbolisent les conductances,
- P symbolisent les puissances.

Pour chacune des équations ci-dessous, indiquer si le résultat est homogène ou non, entourez en rouge le passage non-homogène le cas échéant :

a)

$$V_1 = \frac{\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_D}{R_D} + \frac{V_C}{R_C}}{G_A + G_B + G_C + G_D + G_E}$$

b)

$$P = R_1 I_1^2 + V_2 I_2 + (R_3 I_3) U_3$$

c)

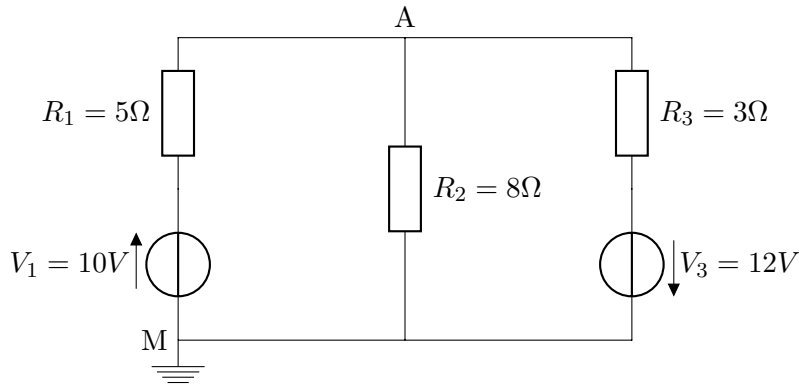
$$I = \frac{V_1^2}{R} \cdot \frac{1}{G_2 V_2} \cdot \frac{1}{R_1 + R_2}$$

d)

$$V_1 = \frac{R_1 \cdot \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}$$

2.5 Exercice 5 :

On cherche à trouver la tension V_{AM} sur le schéma suivant :



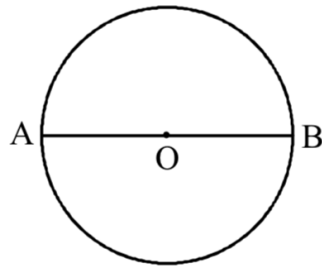
Nous allons résoudre ce problème par différentes méthodes, plus ou moins directes, plus ou moins facile, plus ou moins dangereuse (à VOUS d'être propre sur vos calculs). Le résultat numérique n'est pas intéressant ($V_{AM} = -3V$), c'est la méthode qui l'est !

1. Placez sur le schéma la flèche de tension V_{AM} .
2. En utilisant... rien d'autre que les lois de Kirchhoff, retrouvez le résultat. **Il VOUS revient de placer des flèches de tension/courant, idéalement avec des couleurs définies, et de leur donner des noms.**
3. En utilisant des transformations de générateurs Norton-Thévenin, retrouvez le résultat.
4. En utilisant le théorème de superposition, retrouvez le résultat.
5. En utilisant le théorème de Millman, retrouvez le résultat.

3 Exercice 6 : Extrait du concours ENAC Pilote 1999

Cet exercice est issu d'un concours d'école d'aéronautique, parcours pilote de ligne. Il est tombé en 1999, et donne une bonne idée de ce qu'on attend d'un étudiant concernant le cours sur les grandeurs continues.

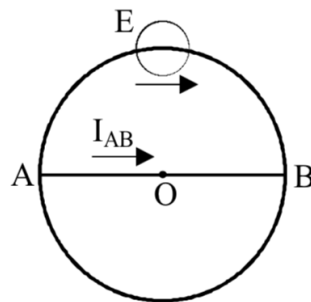
1. A l'aide d'un fil métallique homogène de section constante, on réalise un circuit constitué de deux conducteurs comme illustré dans le schéma suivant :



- l'un a la forme d'un cercle de centre O ;
- l'autre est un diamètre AB du cercle.

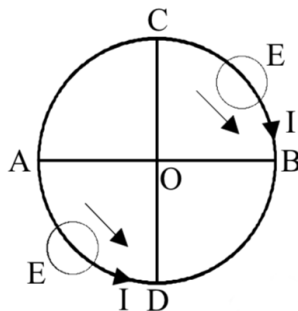
Le conducteur diamétral possède une résistance $2r$. Dans toute la suite, on conservera le nombre π dans les expressions des différents courants et résistances à calculer. Calculer la résistance équivalente entre A et B.

2. On ajoute sur le conducteur circulaire AB, comme l'indique la figure suivante, un générateur de tension continue de f.e.m. E et de résistance interne négligeable devant celle du conducteur. Calculer l'intensité I_{AB} du courant qui circule dans le conducteur diamétral AB.



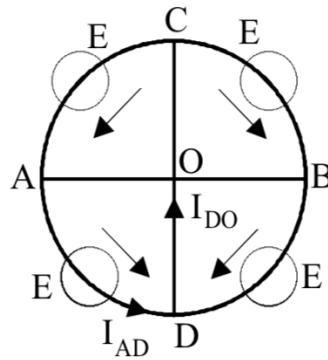
3. On ajoute au circuit de la première figure :

- un autre conducteur diamétral CD perpendiculaire à AB et relié à lui en O, fait du même fil métallique ;
- deux générateurs de tension continue de f.é.m. E et de résistance interne négligeable, montés en opposition comme l'illustre la figure suivante.



Le dispositif est symétrique ; en particulier, les deux générateurs sont traversés par le même courant d'intensité I . Calculer les intensités $I_{AD} = I$ et I_{DB} qui circulent respectivement dans les arcs AD et DB .

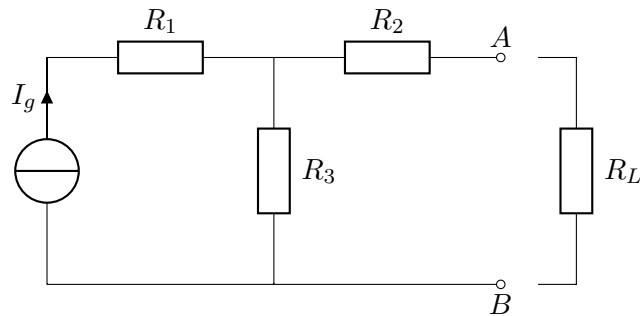
4. On ajoute cette fois-ci quatre générateurs identiques et non plus deux, comme illustré dans la figure suivante :



Calculer les intensités des courants I_{AD} et I_{DO} .

Les 4 exercices suivants sont chacun issus d'un concours d'école d'ingénieur (ici l'ENSEA), accessible depuis un IUT à niveau bac+2. Le principe des exercices est à chaque fois le même : après l'énoncé, 5 propositions sont faites, à vous de dire si elles sont vraies ou fausses, et de les corriger le cas échéant pour pouvoir passer à la suite.

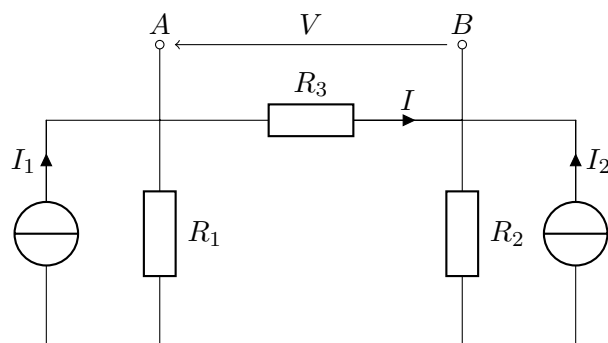
Exercice 7 : extrait du concours ENSEA 2011



1. La résistance de Thévenin R_{TH} est égale à la résistance vue entre A et B lorsque $I_g = 0$.
2. La tension de Thévenin, notée V_{TH} , est égale à la tension vue entre les points A et B lorsque la charge R_L est connectée au circuit.
3. $V_{TH} = R_2 \cdot I_g$
4. $R_{TH} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$
5. $V_{TH} = R_{TH} \cdot I_g$

Exercice 8 : extrait du concours ENSEA 2012

On considère le schéma suivant :



$$I_1 = 1\text{mA}, I_2 = 5\text{mA}, R_1 = 5\text{k}\Omega, R_3 = 3\text{k}\Omega$$

1. $V = R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2$
2. Pour que le courant I soit nul, il faut choisir $R_2 = 1\text{k}\Omega$.

On s'intéresse à la source équivalente de Thévenin équivalente vue entre les points A et B. On note V_{TH} la source de tension et R_{TH} la résistance qui la constituent.

3. $V_{TH} = (R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2) \left(\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right)$

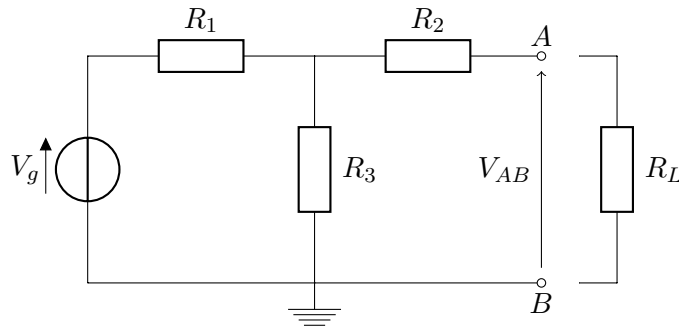
4. $V_{TH} = R_1 + R_2 + R_3$

On s'intéresse maintenant à la source de Norton équivalente vue entre les points A et B. Elle est constituée de la source de courant I_N et de la résistance R_N .

5. $I_N = \left(\frac{R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2}{R_1 + R_2} \right)$ et $R_N = R_3 \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \right)$

Exercice 9 : extrait du concours ENSEA 2015

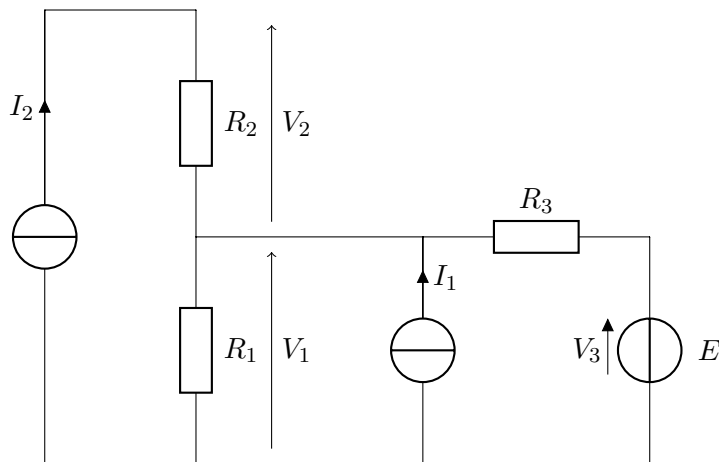
Soit le circuit suivant :



On souhaite déterminer le générateur de Thévenin équivalent entre A et B.

1. On peut considérer, au choix, que l'on a, entre A et B, un générateur de Thévenin ou un générateur de Norton.
2. La tension de Thévenin est la tension que l'on observe entre A et B lorsque le circuit est chargé par une résistance R_L infinie.
3. Le générateur de Thévenin équivalent délivre une tension $v_g = \frac{R_3}{R_1 + R_2} \cdot v_g$
4. La résistance équivalente de Thévenin vérifie $R_{th} = R_2 + (R_1 || R_3)$
5. Si on connecte une charge $R_L = R_{th}$ alors $V_{AB} = \frac{V_{th}}{2}$

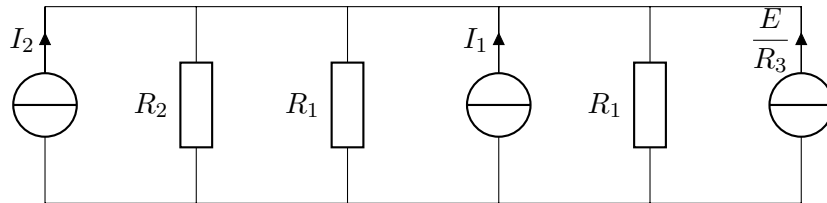
Exercice 10 : extrait du concours ENSEA 2010



$$1. V_3 = \frac{R_3 \cdot E}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

$$2. \frac{V_1}{R_1} = I_1 + I_2 + \frac{E}{R_3}$$

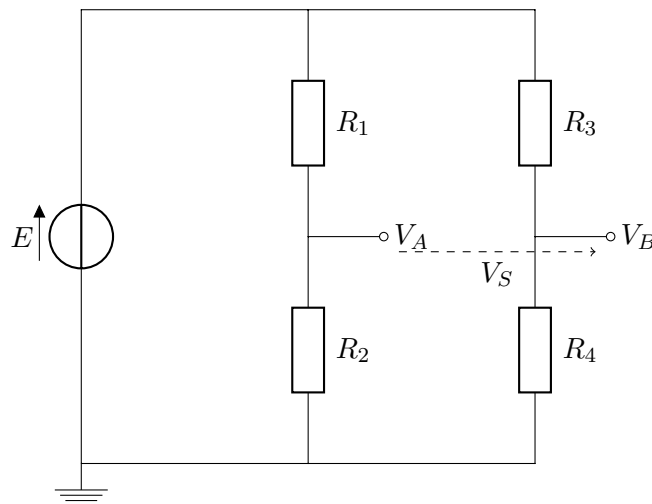
3. le schéma suivant est équivalent :



$$4. V_1 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \left(I_1 + I_2 + \frac{E}{R_3} \right)$$

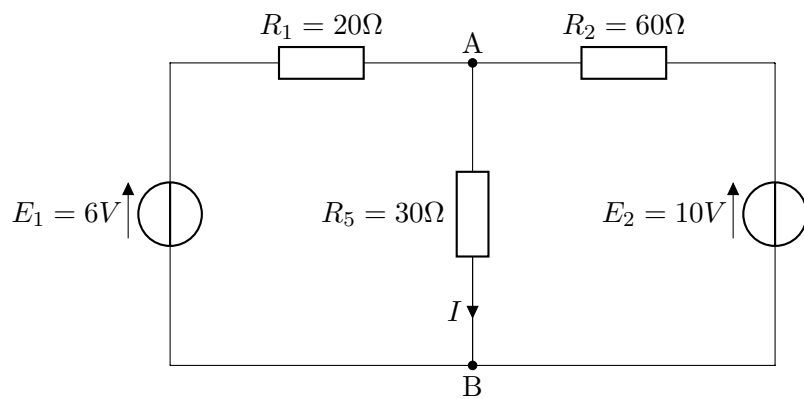
$$5. \text{ Si les sources de courant sont éteintes, } V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_3} E.$$

Exercice 11



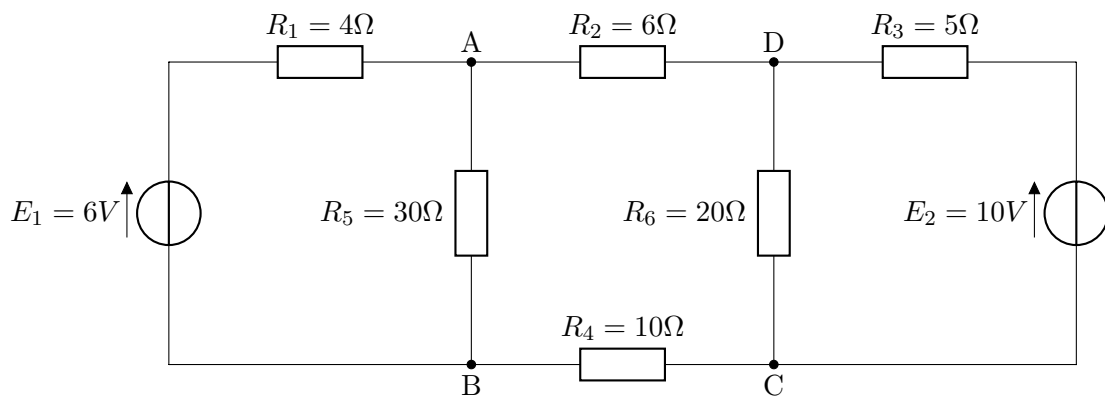
1. Calculer la valeur du potentiel V_A .
2. Calculer la valeur du potentiel V_B .
3. En déduire la valeur de la tension V_S .
4. Déterminer le générateur de thévenin équivalent générant V_S .

Exercice 12



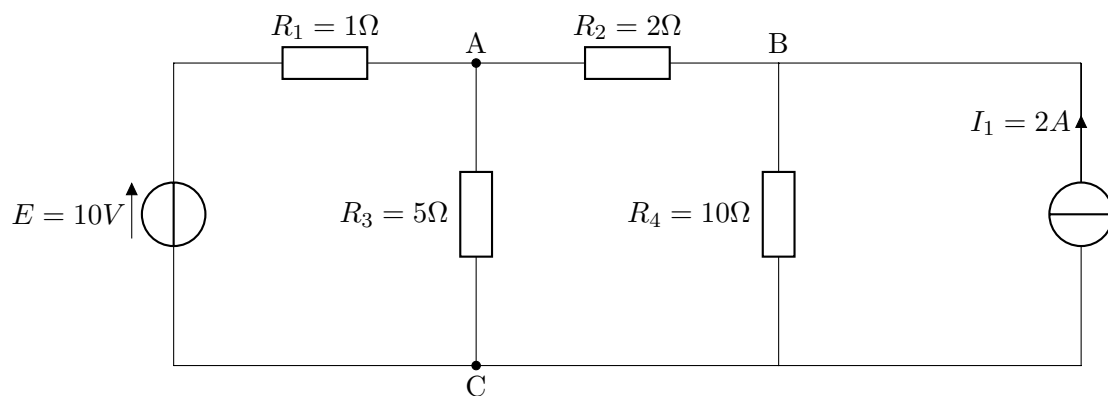
1. Déterminer le courant I .
2. En déduire la tension V_{AB} .

Exercice 13



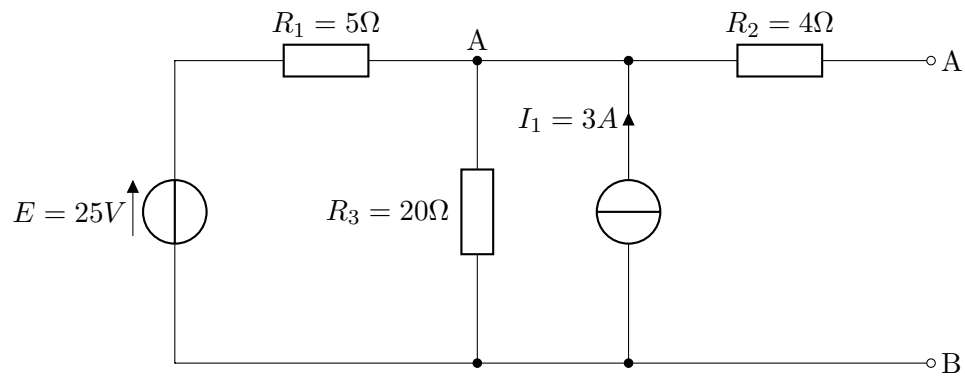
1. Avec la méthode de votre choix, déterminez la puissance dans la source de tension E_1
2. Avec la méthode de votre choix, déterminez la tension V_{AB} .
3. Avec la méthode de votre choix, déterminez la tension V_{CD} .

Exercice 14



1. Déterminer les tensions aux bornes de R_3 et R_4 .

Exercice 15

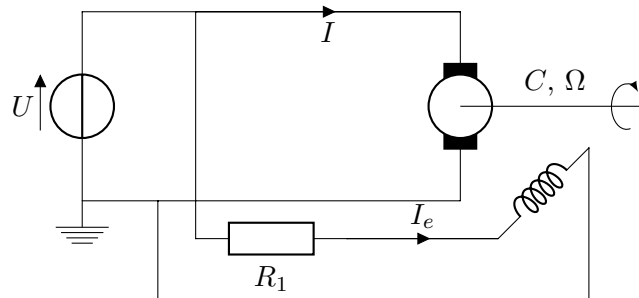


1. Déterminer le générateur équivalent de Thévenin entre les bornes A et B.

Machines à Courant Continu - Sujets de TD

Exercice 1 : Moteur à courant continu en shunt

On considère une machine à courant continu utilisée en moteur. Une source de $110V$ alimente l'inducteur et l'induit (configuration *shunt*), cependant l'inducteur est branché à la source via une résistance R_1 . Le schéma est représenté dans la figure suivante.



La résistance de l'induit du moteur vaut $R = 0.5\Omega$, la résistance de l'inducteur vaut $R_e = 400\Omega$.

1. A vide, le moteur consomme un courant $I = 1,2A$. Calculer :
 - (a) les pertes mécaniques P_m .
 - (b) la force électromotrice interne E .
2. A vide, pour $R_1 = 0\Omega$, le moteur a une vitesse de $1620 \text{ tr}/\text{min}$. Calculer le couple de pertes mécaniques.
3. En déduire le coefficient k tel que $C = k \cdot I_e \cdot I$.
4. Ce coefficient vérifie-t'il la seconde équation électro-mécanique ?
5. On charge à présent le moteur en le faisant entraîner un dispositif mécanique qui présente un couple de $10Nm$ s'ajoutant au couple de pertes (supposé constant). Calculer alors le courant d'induit.
6. En déduire la valeur de la fem E et la vitesse de rotation du moteur en tr/min .
7. On souhaite que cette charge soit entraînée à $1800 \text{ tr}/\text{min}$. Calculer la valeur de résistance R_1 permettant d'obtenir cette vitesse.

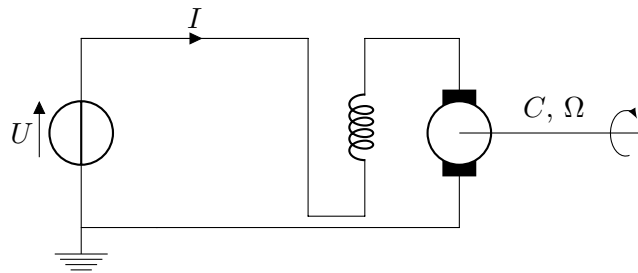
Exercice 2 : Machine en génératrice

Une machine à courant continu à aimants permanents est utilisée en génératrice, entraînée par un ensemble mécanique à la vitesse $N_n = 3000 \text{ tr}/\text{min}$. La tension nominale de la génératrice est $U_n = 220V$, la puissance nominale $P_n = 20kW$ et le rendement nominal est $\eta = 80\%$. La charge est inconnue mais sera considérée comme résistive.

1. Représenter un schéma équivalent de la génératrice et de sa charge.
2. Rappeler les équations électriques et électro-mécanique du système.
3. Calculer la valeur du courant nominal de la génératrice.
4. En déduire la valeur de la résistance d'induit si on néglige les pertes mécaniques de la machine.
5. Calculer la valeur de la tension à vide.
6. Calculer la tension à demi charge, c'est à dire lorsque la puissance fournie est de $P = \frac{P_n}{2}$.
7. Calculer le rendement de la machine à demi-charge.

Exercice 3 : Moteur série

On étudie un moteur utilisé à large échelle dans la traction électrique ferroviaire. Cette configuration est appelée moteur série : il s'agit d'un moteur à excitation séparée par un inducteur bobiné placé en série avec l'induit comme présenté dans le schéma suivant :



1. Faire un schéma équivalent et exprimer les équations électriques de la machine. On considèrera l'inducteur purement résistif de résistance R_e .
2. Rappeler les équations électro-mécanique du système, on utilisera k' une constante.
3. Quelle relation relie alors le couple et le courant de la machine ? Quel peut être l'intérêt de cette relation ?
4. Quelle relation relie la force électromotrice interne E à la vitesse angulaire Ω et au courant I ?
5. Déterminer la relation existant entre Ω , I et les grandeurs constantes du système.
6. De même entre Ω et le couple C .
7. Représenter alors l'allure de l'évolution de Ω en fonction du courant puis du couple.

Exercice 4 : Extrait ENSEA 2016

On considère une machine à courant continu ($6kW$, $120V$, $1200tr/min$) dont la caractéristique à vide mesurée à 1200 tours/min est la suivante :

I_f (A)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2
E_a (V)	5	20	40	60	79	93	102	114	120	125

La résistance d'induit vaut $r = 0,2\Omega$, celle de l'inducteur $R_f = 100\Omega$. L'induit de la machine est entraîné à 1200 tr/min et son inducteur est excité par un circuit séparé. Le courant d'excitation noté I_f vaut $0,8A$. L'induit de la MCC est branché sur une résistance de charge $R_C = 1,8\Omega$. On néglige la réaction magnétique d'induit.

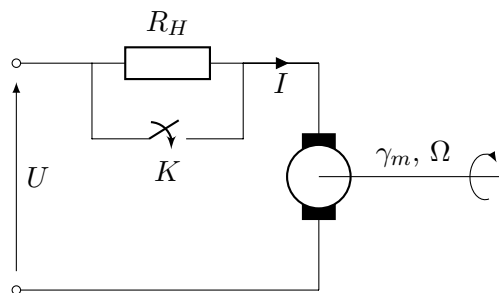
1. Le coefficient K_ϕ de la machine vaut $0.095 \text{ Vs} \cdot \text{rad}^{-1}$.
2. Le courant dans l'induit, en charge, vaut alors $57A$.
3. Le couple C exercé par la MCC sur l'arbre vaut $51Nm$.
4. La puissance dissipée dans la charge vaut $102W$.

La machine est désormais entraînée à 800 tr/min . La charge est toujours $R_C = 1,8\Omega$, avec un courant $I_f = 0,8A$.

5. Le courant absorbé par la charge vaut à présent $83A$.

Exercice 5 : Extrait ENSEA 2011

Le montage étudié est représenté ci-dessous :



Le moteur à courant continu à excitation séparée présente les caractéristiques suivantes :

- Résistance d'induit $R = 2\Omega$,
- Tension nominale $E' = 200V$,
- Courant nominal $I' = 10A$,
- Vitesse nominale $N' = 1500 \text{ tours/minute}$.

Le moteur entraîne une charge de moment de couple γ_R . Le rhéostat de démarrage RH est court-circuité en fonctionnement nominal (interrupteur K fermé sur le montage ci dessous).

1. En fonctionnement nominal, la tension d'alimentation U est continue et vaut $220V$.
2. En fonctionnement nominal, le couple moteur γ_M vaut $1,33N \cdot m$.

Au démarrage, le moteur est arrêté, le courant I ne doit pas dépasser 4 fois le courant nominal. Le rhéostat de démarrage est inséré (l'interrupteur K est ouvert).

3. Un rhéostat de démarrage R_H de $0,5\Omega$ est suffisant.
4. Au démarrage, la puissance fournie par l'alimentation P vaut $8,8kW$.

On souhaite régler la vitesse du moteur à $750 \text{ tours/minutes}$, sans changer le couple moteur. Pour cela, une résistance R_2 est insérée en série, le rhéostat de démarrage R_H est court-circuité.

5. $R_2 = 10\Omega$.

TP : Caractérisation expérimentale d'une Machine à Courant Continu

Dans ce TP nous caractériserons une machine à courant continu en fonctionnement moteur. Vous disposez sur vos paillasses :

- d'un banc moteur, comprenant deux MCC couplées par leur axe moteur. Elles ont donc la même vitesse de rotation Ω , et le même couple mécanique utile C_{meca} . Nous caractériserons uniquement la machine utilisée en moteur. Chaque banc moteur dispose d'un capteur de vitesse renvoyant la vitesse en tours par seconde,
- d'une alimentation $\pm 15V$, qui servira à alimenter le capteur,
- d'une alimentation de puissance à tension réglable et de courant maximum $10A$, qui servira à alimenter l'induit,
- d'un multimètre *Fluke 45*,
- d'un multimètre *metrix MX 430*.

Vous disposez par ailleurs des ordinateurs afin de faire le rapport de ce TP sous format numérique. Il vous est vivement recommandé d'utiliser judicieusement le tableur pour les tracés, cependant veillez à donner un titre, spécifier les axes et leurs unités pour chaque graphique.

1 Relevé de la plaque signalétique de la machine

1. Que valent :
 - (a) la tension d'induit nominale U_N ?
 - (b) le courant d'induit nominal I_N ?
2. En déduire la puissance électrique nominale P_{elec_N}
3. On s'intéresse au chiffre de puissance affiché.
 - (a) Quelle est la puissance nominale affichée ?
 - (b) A votre avis, de quelle puissance s'agit-il ?
4. On s'intéresse à la vitesse affichée.
 - (a) Quelle est la vitesse nominale affichée ?
 - (b) Convertir cette vitesse en tours par seconde, puis en radians par seconde.
5. Quel est le type d'inducteur sur cette machine ? comment le déterminez vous ?

2 Mesures et caractérisation du banc moteur

le schéma étant déjà pré-câblé, vous serez amenés à mettre la machine hors tension pour placer les instruments de mesure. Il est préférable de ne pas éteindre l'alimentation de puissance mais de débrancher la sortie positive sur la face avant pour réaliser cette opération.

2.1 Mesure à rotor bloqué

6. Représenter schématiquement le modèle de la machine à courant continue alimentée par une tension U (celle de l'alimentation de puissance).
7. Que vaut la *fem* E du moteur si la vitesse de rotation est nulle ? Retracer votre schéma dans ce cas.
8. Comment peut-on alors en déduire la valeur de la résistance d'induit R ? Proposez un schéma de câblage pour cette mesure.
9. Réalisez le câblage, et faire vérifier le montage par l'enseignant **avant la mise sous tension**.
10. Réalisez la mesure à rotor bloqué :
 - vous bloquerez manuellement le rotor, veillez donc à avoir une vitesse de rotation faible afin de ne pas vous blesser !!!
 - lorsque le rotor est bloqué, vérifier que la valeur de courant obtenue est inférieure à $10A$.

En déduire la valeur de la résistance d'induit.

2.2 Mesures à vide

11. Rappeler les équations électriques et électromécaniques de la machine à courant continue utilisée en moteur.
12. Le moteur étant à vide, relever ou calculer dans un tableau les grandeurs suivantes pour des valeurs de tension d'induit de 0 à $15V$ par pas de $1V$:
 - le courant d'induit I ,
 - la force électro-motrice E ,
 - la vitesse de rotation N (en *tr/min*),
 - la vitesse de rotation Ω (en *rad/s*),
 - la puissance électrique consommée P_{elec} ,
 - les pertes électriques P_J ,
 - les pertes mécaniques par frottement P_m .
13. Tracer la force électro-motrice en fonction de la vitesse de rotation.
14. En déduire la valeur de la constante K_ϕ .

15. Tracer les pertes mécaniques en fonction de la vitesse de rotation. Comment évolue cette courbe ?

2.3 Mesures en charge

On charge ici l'axe du rotor par une charge mécanique, afin d'imposer un couple. Afin de réaliser cela on utilise la MCC en génératrice que l'on charge avec une résistance variable de puissance, ou rhéostat.

16. Représenter schématiquement le banc de mesure lorsque la génératrice est chargée par le rhéostat.
17. (a) Si le rhéostat est débranché, que vaut le courant généré par la génératrice ? En déduire le couple imposé.
- (b) Si le rhéostat est branché (on supposera sa valeur à R_1), que vaut le courant généré par la génératrice ? En déduire la formule du couple imposé.
- (c) Comment évolue le couple si la valeur du rhéostat diminue ?
18. On fixe la tension d'induit du moteur à $10V$. Au besoin, au cours de la mesure, la tension de l'alimentation de puissance sera ré-ajustée. Pour 5 à 7 positions du curseur du rhéostat, mesurer ou calculer les grandeurs suivantes :
- le courant d'induit I ,
 - la vitesse de rotation N (en tr/min),
 - la vitesse de rotation Ω (en rad/s),
 - la puissance électrique consommée P_{elec} ,
 - les pertes électriques P_J ,
 - les pertes mécaniques par frottement P_m ,
 - la puissance mécanique utile P_{meca} ,
 - le couple mécanique utile C_{meca} ,
19. Tracer le couple en fonction du courant. Le résultat est-il cohérent avec les mesures réalisées précédemment ?
20. Tracer le couple en fonction de la vitesse de rotation.