

Rapport de laboratoire

Ecole supérieure
Électronique

Laboratoire ELAN
Salle R112-SLO1

Transistor Suiveur

Réalisé par :

Steeve Pouly
Christophe Allenbach

A l'attention de:

M.Bovey
M.Moreno

Dates:

Début du laboratoire : 06 octobre 2025
Fin du laboratoire : 10 novembre 2025

Table des matières

1	Introduction	2
2	Analyse théorique	2
2.1	Dimensionnement d'un montage émetteur suiveur	2
2.1.1	Mesure de la tension moyenne de V_{be}	2
2.1.2	Analyse du montage émetteur suiveur.	3
2.1.3	Equation du montage pour le rapport de résistance	4
2.1.4	Dimensionnement du pont diviseur	6
2.1.5	Choix des composants	7
3	Partie simulation	9
3.1	Schéma de simulation	9
3.2	Réglages méthodiques pour la simulation	10
3.3	Résultats de la simulation	11
3.4	Comparaison entre théorie et simulation	11
4	Partie Mesures	13
4.1	Matériels de mesure	13
4.2	Schéma de mesure	13
4.3	Réglages méthodiques pour la simulation	14
4.4	Mesures pratique	15
4.5	Comparaison entre les mesures et la simulation	16
5	Observation	16
6	Conclusion	16
7	Annexes	17
7.1	Courbe simulation	17

1 Introduction

Dimensionner un montage émetteur suiveur et comparer les mesures obtenues afin de mieux comprendre son fonctionnement.

2 Analyse théorique

2.1 Dimensionnement d'un montage émetteur suiveur

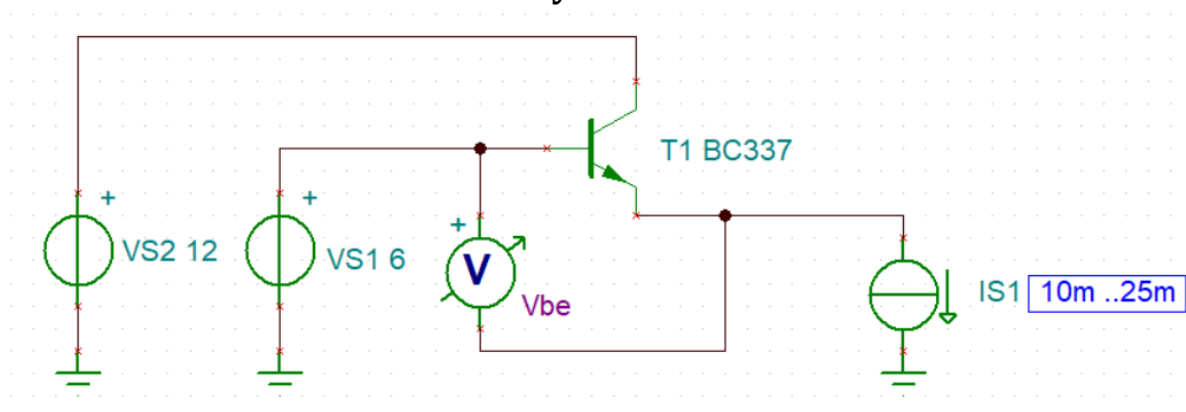
Valeurs à respecter figurant dans le CDC pour le dimensionnement du montage :

- Alimentation variable (Worth Case) entre 12[V] et 13[V].
- Tension de sortie entre 4.75[V] et 5.25[V]
- Consommation entre 10[mA] et 25[mA]

Pour ce faire, nous avons décidé de scinder dans ce rapport notre analyse théorique en plusieurs étapes ordonnées :

- 1) Mesure de la tension moyenne V_{be} .
- 2) Analyse du montage émetteur suiveur.
- 3) Tirer une équation de ce montage afin de trouver un rapport de résistances.
- 4) Dimensionnement du pont diviseur sur la base du transistor.
- 5) Choix des composants selon les valeurs théoriques obtenues.

2.1.1 Mesure de la tension moyenne de V_{be}



Mesure de la tension V_{be} moyenne « V_{bemoy} » aux bornes du transistor BC337 imposé. Mesures réalisées selon le schéma ci-dessus, donné dans le cahier des charges. La mesure a été simulée sur le logiciel Tina lors des explications données en lien avec le rapport.

Valeurs obtenues dans la simulation sur le voltmètre :

$$V_{bemax} = 756.42[mV]$$

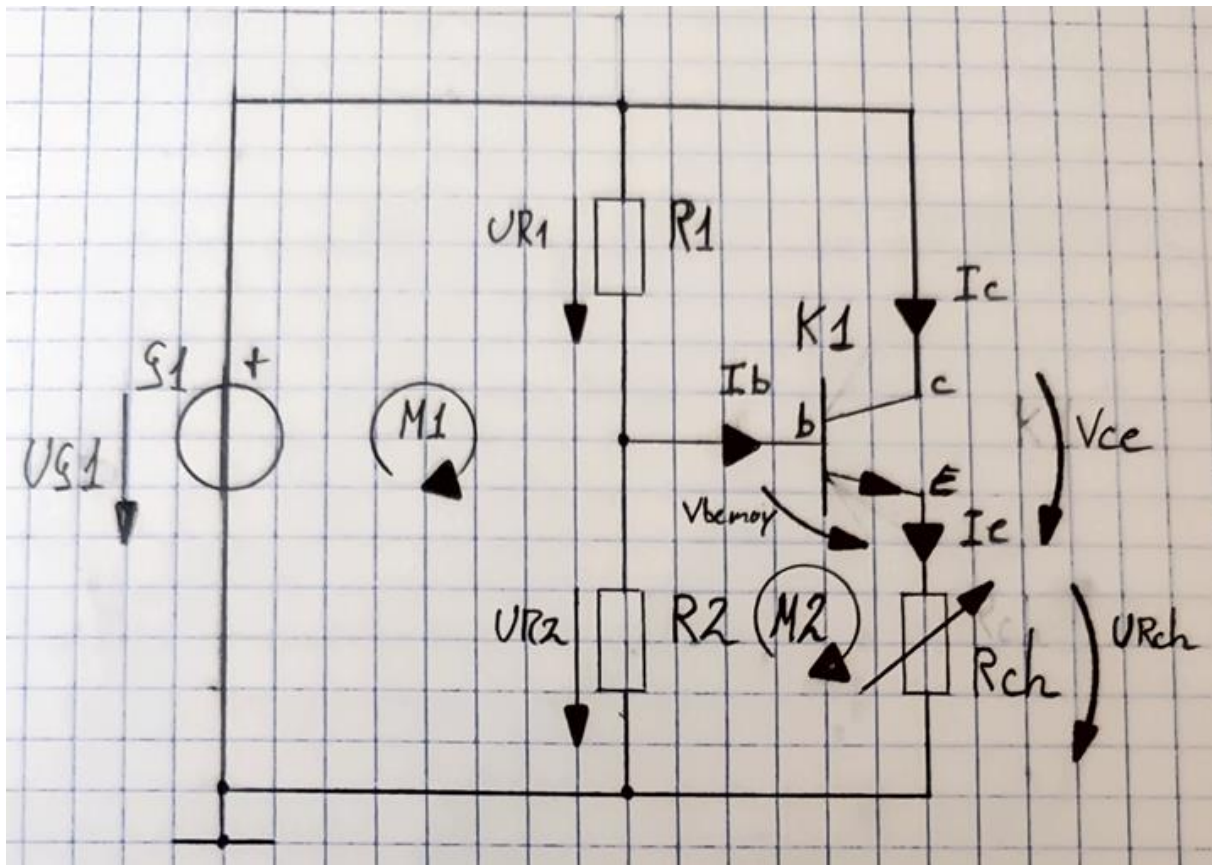
$$V_{bemoin} = 731.23[mV]$$

Calcul de la valeur V_{be} moyenne :

$$V_{bemoy} = \frac{V_{bemax} + V_{bemoin}}{2} = \frac{756,42 \cdot 10^{-3} + 731,23 \cdot 10^{-3}}{2} = \underline{\underline{743.83 [mV]}}$$

2.1.2 Analyse du montage émetteur suiveur.

Schéma d'analyse :



Données :

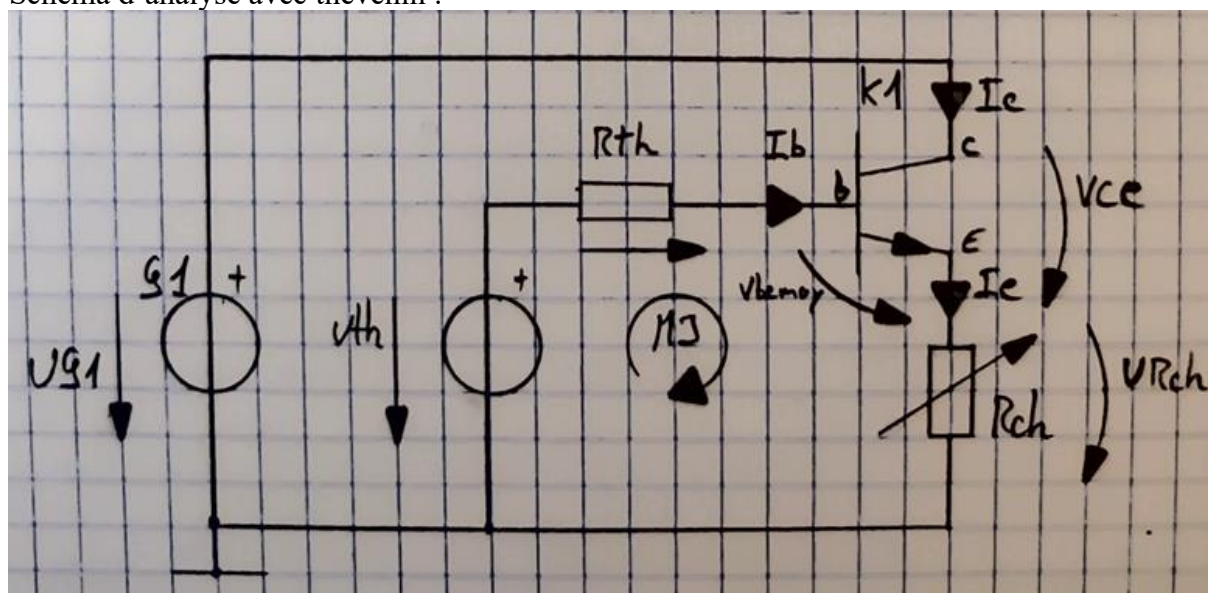
- K1 = BC337-25 (transistor disponible dans le stock)
- B = Béta du transistor (h_{fe})
- G1 = Tension d'alimentation variable
- Rch = Résistance de charge variable (remplace la charge de courant du schéma dans le CDC).
- R1 et R2 = Résistances du pont diviseur dont, on ne connaît pas la valeur.
- Vbemoy = Tension moyenne entre les bornes base-émetteur du transistor, elle est calculée au point « 2.1.1 Mesure de la tension moyenne de Vbe ».

Analyse numérique :

Tableau de calculs & raisonnements	
Calculs	Raisonnements
$M1 = U_{G1} - U_{R1} - U_{R2} = 0$	Equation maille 1
$M2 = U_{R2} - V_{bemoy} - U_{Rch} = 0$	Equation maille 2
$U_{R2} = V_{bemoy} + U_{Rch}$	Observation

Une fois les mailles obtenues, on va chercher à simplifier notre montage avec thévenin. On constate, qu'il est possible d'avoir une troisième maille

Schéma d'analyse avec thévenin :



Analyse numérique :

Tableau de calculs & raisonnements	
Calculs	Raisonnements
$R_{th} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$	Resistance thévenin égale R1//R2
$U_{th} = \frac{U_{G1} \cdot R2}{R1 + R2}$	Tension thévenin représente tension pont diviseur sur R2
$U_{Rth} = R_{th} \cdot I_b$	Tension résistance thévenin
$M3 = U_{th} - U_{Rth} - V_{bemoy} - U_{Rch} = 0$	Equation maille 3

2.1.3 Equation du montage pour le rapport de résistance

Pour correspondre aux valeurs demandées dans le cahier des charges.

On va chercher à trouver un rapport résistif idéal entre la sortie et l'entrée du montage, à l'aide de l'équation de la 3ème maille, obtenue ci-dessus.

On connaît déjà les formules ci-dessous, pour caractériser un transistor bipolaire :

Tableau des formules connues
$le = lb + lc$
$le = lb * (B + 1)$
$lb = \frac{le}{(B+1)}$
$Uth = \frac{UG1 * R2}{R1 + R2}$

Il nous reste plus qu'à appliquer ces formules sur notre 3^{ème} maille afin de trouver un rapport.

Analyse numérique :

Tableau de calculs & raisonnements	
Calculs	Raisonnements
$M3 = U_{th} - U_{Rth} - V_{bemoy} - U_{rch} = 0$	Equation maille 3
$M3 = \frac{UG1 \cdot R2}{R1 + R2} - R_{th} \cdot I_b - V_{bemoy} - U_{rch} = 0$	Equation M3 avec les formules connues
$M3 = \frac{UG1 \cdot R2}{R1 + R2} - \left(\frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \cdot \frac{I_e}{B+1} \right) - V_{bemoy} - U_{rch} = 0$	Remplacement de R_{th} et I_b avec les formules connues
$\frac{R2}{R1 + R2} \cdot \left(UG1 - R1 \cdot \frac{I_e}{B+1} \right) - V_{bemoy} - U_{rch} = 0$	Mise en évidence du Rapport de résistances
$\frac{R2}{R1 + R2} \cdot \left(UG1 - R1 \cdot \frac{I_e}{B+1} \right) = V_{bemoy} + U_{rch}$	Isolation du rapport de résistances
$\frac{R2}{R1 + R2} = \frac{V_{bemoy} + U_{rch}}{UG1 - \frac{R1 \cdot I_e}{B+1}}$	Isolation du rapport de résistances

On obtient notre rapport :

$$\frac{R2}{R1 + R2} = \frac{V_{bemoy} + U_{rch}}{UG1 - \frac{R1 \cdot I_e}{B+1}}$$

Cependant ce rapport-là, joue pour un montage avec des valeur définies.

Comme, on nous demande de nous situer dans une gamme de valeur min et max données dans le CDC, on va devoir trouver un rapport qui fait la moyenne de celle-ci, selon des valeurs optimums recherchées pour notre montage.

Rappelle des valeurs demandées :

- Alimentation variable (Worth Case)
 - $UG1_{max} = 13[V]$
 - $UG1_{min} = 12[V]$
- Tension de sortie
 - $U_{rchmax} = 5.25[V]$
 - $U_{rchmin} = 4.75[V]$
- Consommation
 - $I_{emax} = 25[mA]$
 - $I_{emin} = 10[mA]$

On arrive à ceci :

$$\frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{UG1_{max} - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}} = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{UG1_{min} - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$$

2.1.4 Dimensionnement du pont diviseur

Pour calculer le résultat du rapport précédent, il nous manque la valeur de R1, on ne la connaît pas.

Données :

$$\begin{aligned} V_{bemoy} &= 743,83[\text{mV}] & B &= 160 \text{ (*une explication est donnée plus pas sur le choix)} \\ U_{rchmax} &= 5.25[\text{V}] & U_{rchmin} &= 4.75[\text{V}] \\ U_{G1max} &= 13[\text{V}] & U_{G1min} &= 12[\text{V}] \\ I_{emax} &= 25[\text{mA}] & I_{emin} &= 10[\text{mA}] \end{aligned}$$

Transformation de formule pour trouver R1	
Calculs	Raisonnements
$\frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{U_{G1max} - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}} = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{U_{G1min} - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$	Analyse numérique
$\frac{743.83 \cdot 10^{-3} + 5.25}{13 - \frac{R1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{160+1}} = \frac{743.83 \cdot 10^{-3} + 4.75}{12 - \frac{R1 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{160+1}}$	Analyse avec les valeurs réels
$\frac{5.993}{13 - 62.11 \cdot 10^{-6} R1} = \frac{5.49}{12 - 155.2 \cdot 10^{-6} R1}$	Multiplication des valeurs sous les fractions
$5.993 \cdot (12 - 155.2 \cdot 10^{-6} R1) = 5.49 \cdot (13 - 62.11 \cdot 10^{-6} R1)$	
$71.92 - 930.7 \cdot 10^{-6} R1 = 71.41 - 341 \cdot 10^{-6} R1$	
$R1(-930.7 \cdot 10^{-6} + 341 \cdot 10^{-6}) = 71.41 - 71.92$	Mise en évidence de R1
$R1 = \frac{71.41 - 71.92}{-930.7 \cdot 10^{-6} + 341 \cdot 10^{-6}}$	
$R1 = 858.7[\Omega]$	Valeur finale obtenue

Maintenant, avec R1, on peut obtenir le rapport moyen, pour calculer la valeur de R2.

On sait que le rapport :

$$\frac{R2}{R1+R2} = \frac{V_{bemoy} + U_{rch}}{G1 - \frac{R1 \cdot I_e}{B+1}} \text{ est théoriquement le même que } \frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{U_{G1max} - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}} = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{U_{G1min} - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$$

On peut donc dire que :

$$\frac{R2}{R1+R2} = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{U_{G1max} - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}} \text{ et que } \frac{R2}{R1+R2} = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{U_{G1min} - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$$

Autrement dit :

$$RappA = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{U_{G1max} - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}} \text{ et } RappB = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{U_{G1min} - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$$

En faisant la moyenne de RappA et RappB, on peut alors trouver le rapport moyen Rapp.

Avec le Rapp, on peut ensuite calculer R2.

Transformation de formule pour trouver R2	
Calculs	Raisonnements
Calculs RappA	
$RappA = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmax}}{UG1max - \frac{R1 \cdot I_{emin}}{B+1}}$	Analyse numérique
$RappA = \frac{743.83 \cdot 10^{-3} + 5.25}{13 - \frac{858.7 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{160+1}} = 463[m-]$	
Calculs RappB	
$RappB = \frac{V_{bemoy} + U_{rchmin}}{UG1min - \frac{R1 \cdot I_{emax}}{B+1}}$	Analyse numérique
$RappB = \frac{743.83 \cdot 10^{-3} + 4.75}{12 - \frac{858.7 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{160+1}} = 463[m-]$	
Calcul Rapp	
$Rapp = \frac{RappA + RappB}{2}$	Analyse numérique
$Rapp = \frac{463 \cdot 10^{-3} + 463 \cdot 10^{-3}}{2} = 463[m-]$	
Calcul R2	
$Rapp = \frac{R2}{R1 + R2}$	Analyse numérique
$R2 = \frac{Rapp \cdot R1}{(1 - Rapp)}$	Formule transformée
$R2 = \frac{463 \cdot 10^{-3} \cdot 858.7}{(1 - 463 \cdot 10^{-3})} = \underline{740.2[\Omega]}$	Résultat final obtenu

2.1.5 Choix des composants.

Pour le choix des résistances, nous l'avons fait selon la norme E24 et la disponibilité de celle-ci en stock.

$$R1 = 858.7 \Rightarrow E24 = R1' + R1'' = 820 + 39 = \underline{859[\Omega]}$$

$$R2 = 740.2 \Rightarrow E24 = R2' + R2'' = 120 + 620 = \underline{740[\Omega]}$$

Nous allons prendre deux résistances pour une valeur, afin d'obtenir un résultat plus précis.

Remarques sur le travail réalisé:

- A la base, on a souhaité réaliser une transformation de formule entièrement sous forme d'analyse théorique pour trouvé R1.
On a perdu beaucoup de temps à la calculer, pour finalement ne pas y arriver.
Celle pour cette raison, que dans les tableaux ci-dessus, on transforme notre formule avec des valeurs réelles au fur et à mesure pour obtenir notre valeur souhaitée.
- Nous avons ensuite refait les calculs plusieurs fois à cause d'erreurs de frappe dû à la calculatrice et de choix du β du transistor.

Au début de nos calculs, nous avons utilisé le « hfe » le plus petit 100 dans le tableau du datasheet de l'entreprise « ONSemiconductor » à la page 2.

DC Current Gain ($I_C = 100 \text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ V}$)	BC337	h_{FE}	100	-	630	-
	BC337-25		160	-	400	
($I_C = 300 \text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ V}$)	BC337-40		250	-	630	
			60	-	-	

Plus tard lors de nos mesures pratiques, on s'est rendu compte que le composant qu'on allait utiliser était le BC337-25 et qui ne correspondait, malheureusement pas à celui que nous avons défini pour nos analyses théoriques et de simulation.

Nous avons donc utilisé cette fois le « hfe » à 160 que l'on a pris dans le graphique du même datasheet à la page 3.

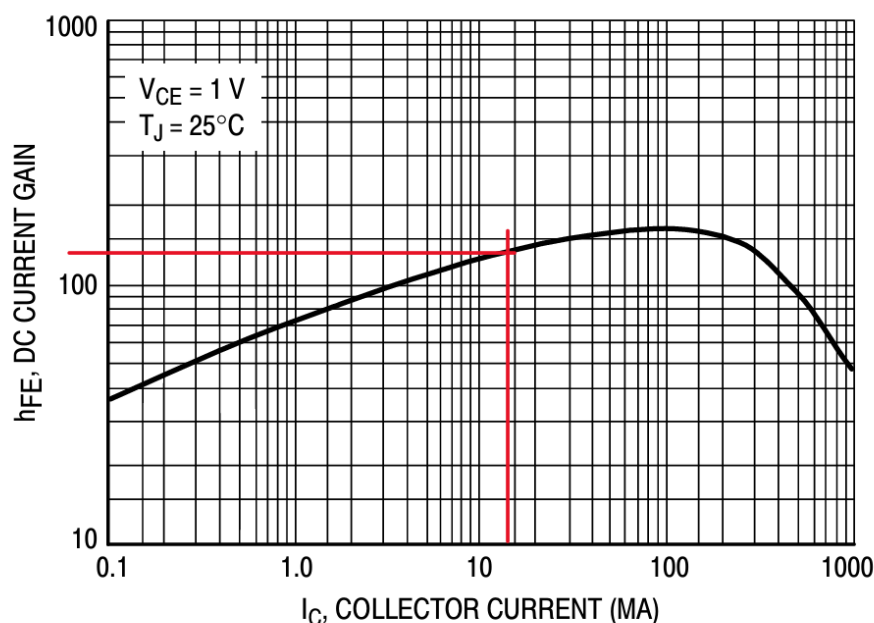


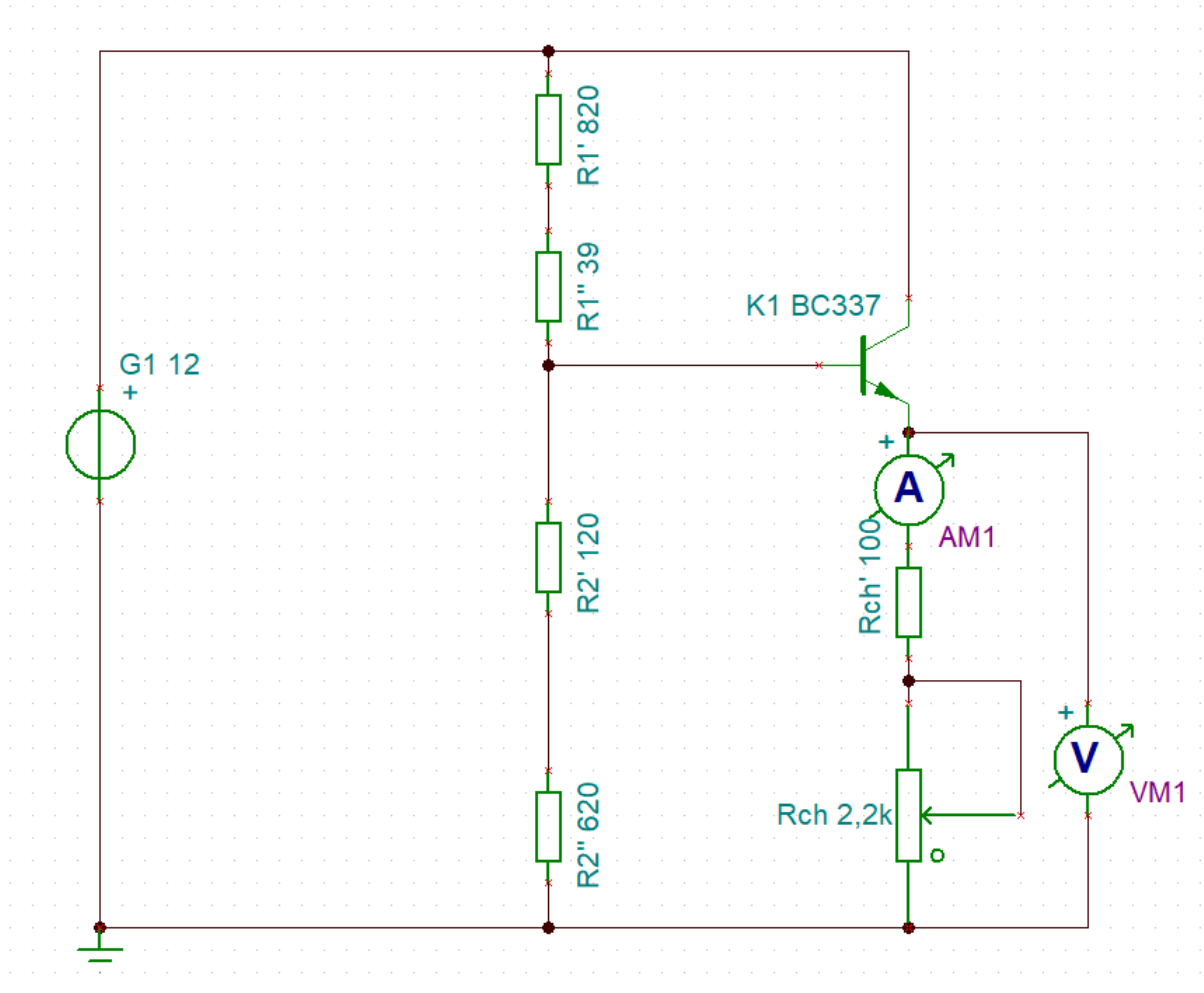
Figure 3. DC Current Gain

Le « hfe » est pris pour une consommation demandée dans le CDC entre 10 et 25 [mA].
A une tension Vce de 1[V].

- Au total nous avons passés 4 périodes à refaire ces calculs.

3 Partie simulation

3.1 Schéma de simulation



Ce schéma a été fait grâce au logiciel Tina.

Pour s'approcher des composants réels utilisés dans la partie mesure pratique les résistances ont été montées en série comme ceci :

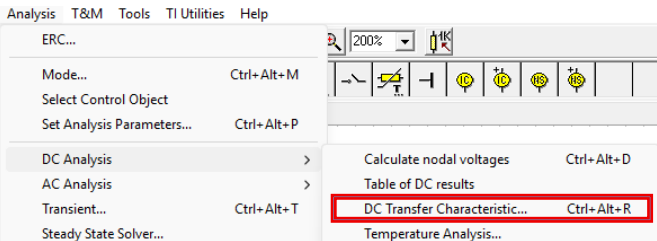
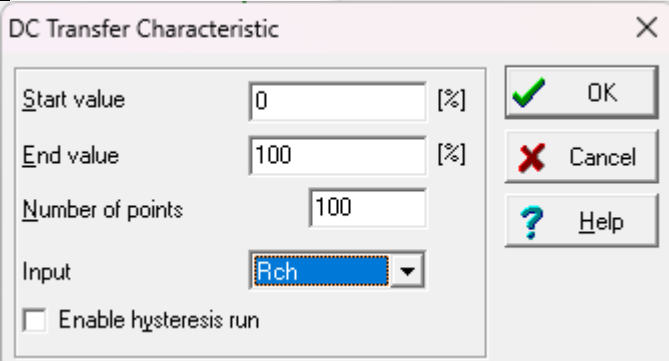
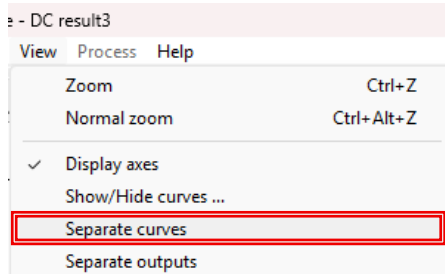
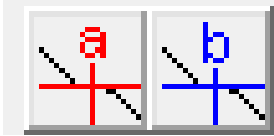
$$R1 = R1' + R1''$$

$$R2 = R2' + R2''$$

Rch = Potentiomètre disponible dans le stock de l'établissement

Rch' = Résistance supplémentaire pour la mesure à 2,5[mA], résistance rajoutée après avoir réalisé les mesures pratiques du chapitre 4 de ce rapport.

3.2 Réglages méthodiques pour la simulation

Procédure afin d'obtenir la tension sur Urch (tension de sortie)		
Numéro	Réglages	Remarques
1	Ouvrir le DC Transfer caractéristique :	
2	Mettre toute la plage du potentiomètre (Rch)	
3	Choisir l'option Séparer les courbes	
4	Mettre le curseur a sur la courbe du courant AM1 et curseur b sur la courbe de la tension VM1	
5	Faire une relever tous les 2,5[mA]	Afin d'avoir 10 points de mesures entre la gamme de 0-25[mA] comme demandé dans le CDC. Prendre les valeurs de l'axe Y

3.3 Résultats de la simulation

Tableau résultats simulation			
UG1@12V		UG1@13V	
AM1 [mA]	VM1 [V]	AM1 [mA]	VM1 [V]
2.5	4.85	2.5	5.31
5	4.82	5	5.29
7.5	4.81	7.5	5.27
10	4.80	10	5.26
12.5	4.78	12.5	5.25
15	4.77	15	5.24
17.5	4.76	17.5	5.23
20	4.76	20	5.22
22.5	4.75	22.5	5.21
25	4.74	25	5.20

Résultats relevés selon les courbes disponibles en annexe.

3.4 Comparaison entre théorie et simulation

Nous pouvons remarquer une différence entre les valeurs demandées (4.75[V]- 5.25[V]) et les valeurs simulées.

Pour UG1@12V, nous pouvons remarquer un léger dépassement à partir du point de mesure à 25 mA, où nous avons une tension inférieure à 4.75[V] de 10[mV].

Pour UG1@13V nous remarquons qu'à partir du point de mesure de 10 mA et ceux en dessous, nous dépassons les 5.25[V].

Cela est certainement dû à la différence entre le « hfe » choisi pour les calculs et le « hfe » de la simulation qui ne peut pas être modifié sur le logiciel Tina.

Nous décidons de calculer le « hfe » de la simulation afin de connaître sa valeur, pour prouver le raisonnement, que nous apportons sur la différence entre les valeurs de la simulation et de la théorie.

Nous avons placé un ampèremètre aux bornes de la base et du collecteur de notre transistor pour obtenir les courants I_c et I_b selon les schémas et les calculs ci-dessous.

On peut constater que les valeurs du « hfe » obtenues dans la simulation ne sont pas les mêmes que celle prise dans la datasheet.

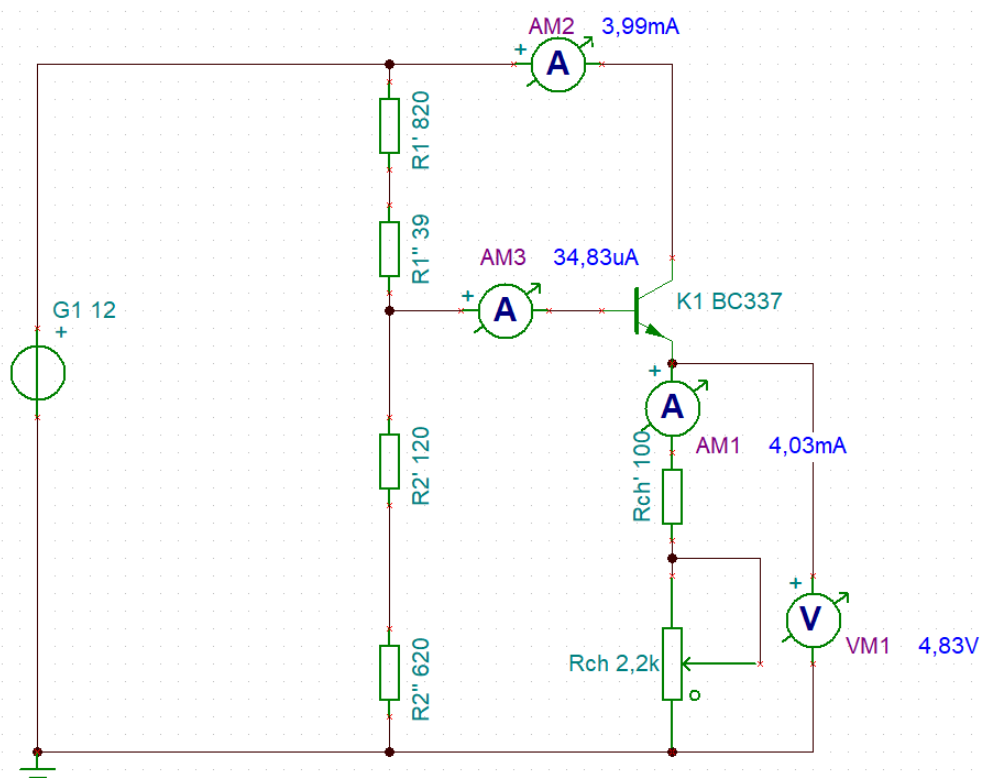
$$hfe_{simu12V} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{AM2}{AM3} = \frac{3.99 \cdot 10^{-3}}{34.84 \cdot 10^{-6}} = 114.6[-]$$

$$hfe_{simu13V} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{AM2}{AM3} = \frac{4.37 \cdot 10^{-3}}{36.6 \cdot 10^{-6}} = 118.3[-]$$

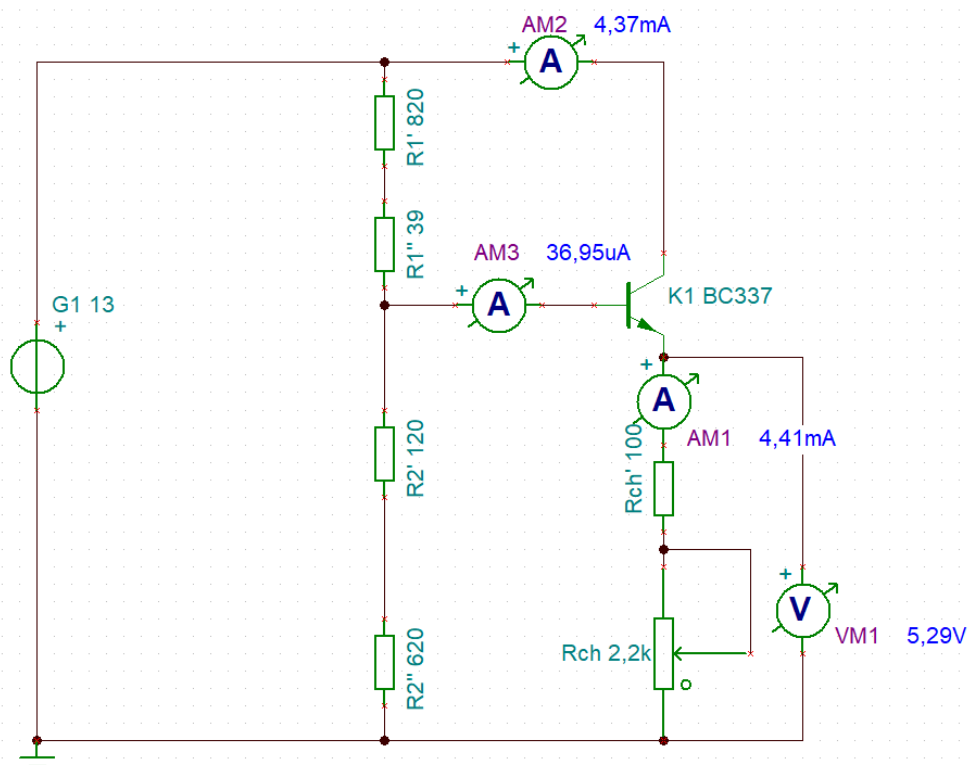
$$Hfemoy = \frac{hfe_{simu12V} + hfe_{simu13V}}{2} = \frac{114.6 + 118.3}{2} = 116.5[-]$$

$$\text{Différence entre } hfe_{théo} \text{ et } hfe_{moy} = 160 - 116.5 = 43.5[-]$$

Valeurs utilisées pour les calculs prises sur les schémas de la page



SIMULATION POUR LE HFE AVEC 12V



SIMULATION POUR LE HFE AVEC 13V

4 Partie Mesures

4.1 Matériels de mesure

Désignation	Marque	Type	Caractéristique	No d'inventaire
G1	Gwinstek	GPS-3303	Alimentation	ES.SLO1.00.02.10
P1	Gwinstek	GDM-396	Multimètre	ES.SLO1.00.04.33
P2	Gwinstek	GDM-396	Multimètre	ES.SLO1.00.04.37

4.2 Schéma de mesure

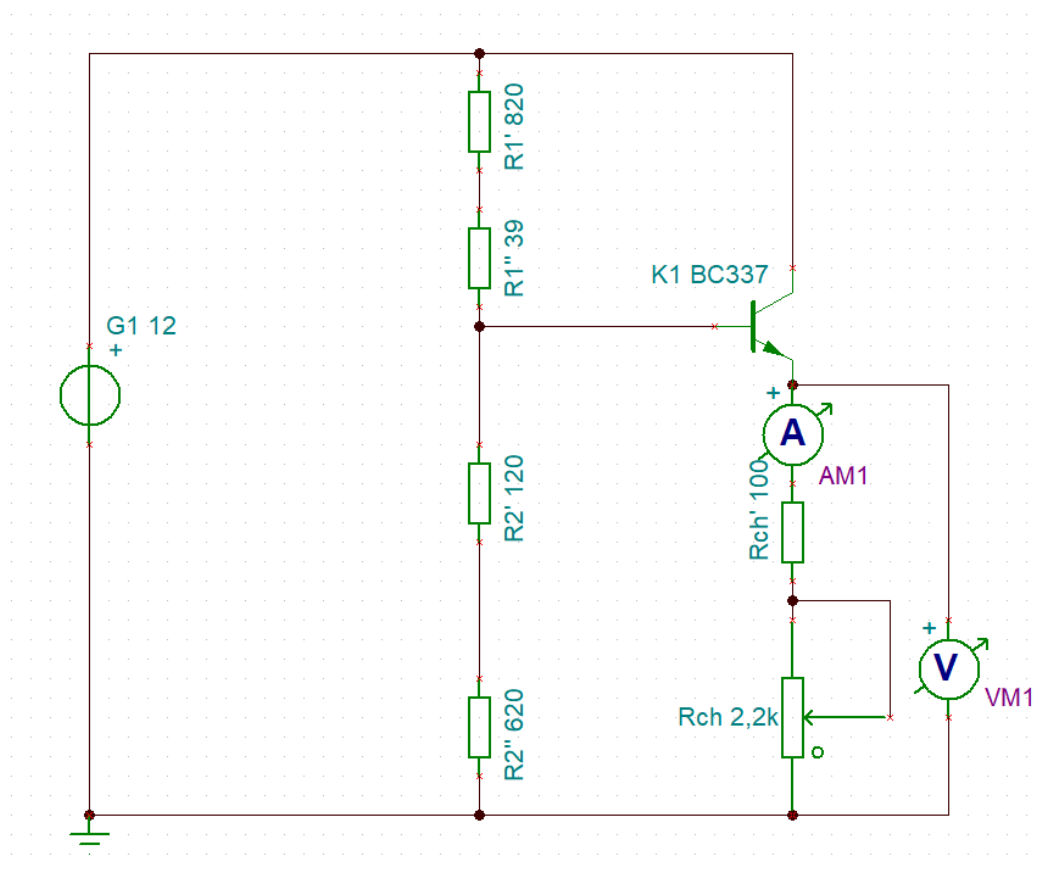


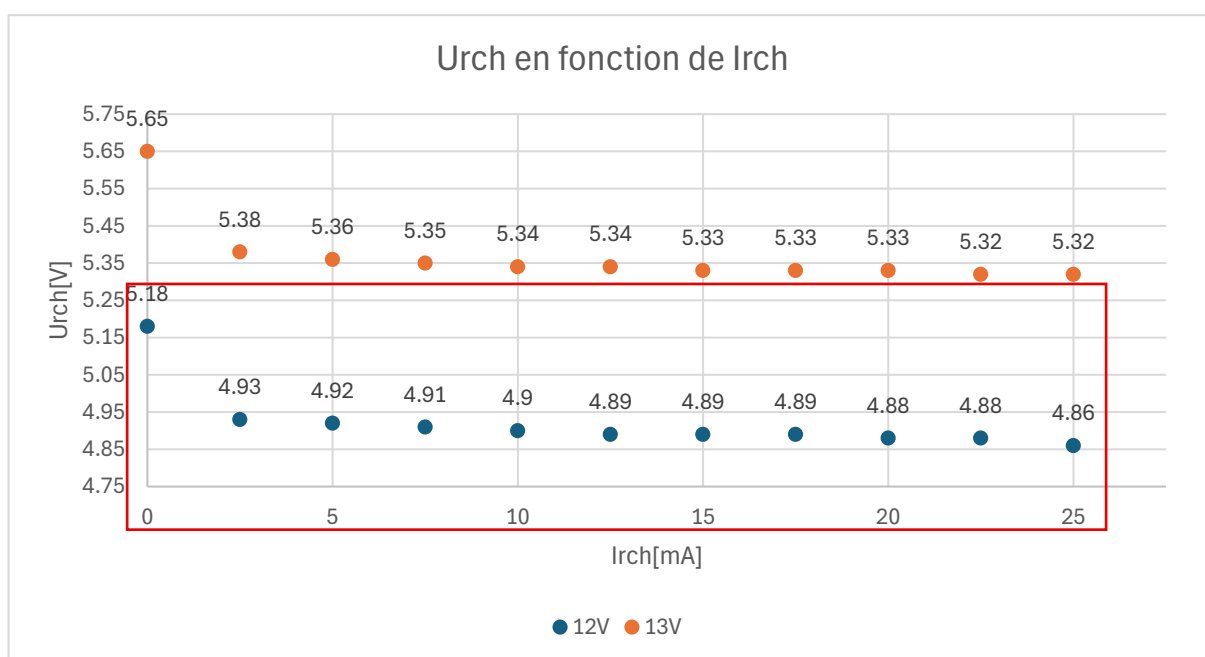
Schéma de mesure repris du schéma de la simulation.

4.3 Réglages méthodiques pour la simulation

Numéro	Étape	Remarque
1	Faire le montage ci-dessus sur une plaque de test (Breadboard)	
Mesure à 12[V]		
2	Alimenter la plaque test en 12[V]	Sur l'alimentation G1, utiliser le connecteur « - » à la place du GND.
3	Faire varier le courant I_{Rch} avec le potentiomètre Rch de 0 à 25[mA], tous les 2.5[mA]	Pour la mesure à 2.5[mA] rajouter la résistance Rch' en série.
4	Relever le courant et la tension mesurée sur les appareils de mesure à chaque points	
Mesure à 13[V]		
5	Réaliser les mêmes étapes : 2 jusqu'à 4	Régler l'alimentation G1 à 13[V]

4.4 Mesures pratique

Tableau de mesure				
Numéros de mesure	Worth case [V]	I_{Rch} [mA]	U_{Rch} [V]	R_{ch} [Ω]
1	12V	0	5.18	0
2	12V	2.5	4.93	1972
3	12V	5	4.92	984
4	12V	7.5	4.91	655
5	12V	10	4.9	490
6	12V	12.5	4.89	391
7	12V	15	4.89	326
8	12V	17.5	4.89	279
9	12V	20	4.88	244
10	12V	22.5	4.88	217
11	12V	25	4.86	194
13	13V	0	5.65	0
14	13V	2.5	5.38	2152
15	13V	5	5.36	1072
16	13V	7.5	5.35	713
17	13V	10	5.34	534
18	13V	12.5	5.34	427
19	13V	15	5.33	355
20	13V	17.5	5.33	305
21	13V	20	5.33	267
22	13V	22.5	5.32	236
23	13V	25	5.32	213



Graphique réaliser sur Excel selon le tableau de mesure.

On observe qu'avec une tension d'alimentation de 13[V], on ne se trouve pas dans la gamme (rectangle rouge) de tension de sortie demandée dans le CDC.

4.5 Comparaison entre les mesures et la simulation

Tableau de comparaisons							
UG1@12[V]				UG1@13[V]			
U _{Rch} simulées [V]	U _{Rch} mesurées [V]	Erreur [%]	Erreur absolue [mV]	U _{Rch} simulées [V]	U _{Rch} mesurées [V]	Erreur [%]	Erreur absolue [mV]
4.85	4.93	1.62	80	5.31	5.38	1.30	70
4.82	4.92	2.03	100	5.29	5.36	1.31	70
4.81	4.91	2.04	100	5.27	5.35	1.50	80
4.80	4.9	2.04	100	5.26	5.34	1.50	80
4.78	4.89	2.25	110	5.25	5.34	1.69	90
4.77	4.89	2.45	120	5.24	5.33	1.69	90
4.76	4.89	2.66	130	5.23	5.33	1.88	100
4.76	4.88	2.46	120	5.22	5.33	2.06	110
4.75	4.88	2.66	130	5.21	5.32	2.07	110
4.74	4.86	2.47	120	5.20	5.32	2.26	120

$$Erreur_{absolue} = U_{Rch_{mesuré}} - U_{Rch_{simulé}}$$

$$Erreur_{réel} = \frac{U_{Rch_{mesuré}} - U_{Rch_{simulé}}}{U_{Rch_{mesuré}}} * 100$$

Nous pouvons observer que la différence entre les valeurs U_{Rch} mesurées et les valeurs simulées à G1@12[V] ou G1@13[V] augmentent lorsque l'on diminue la charge R_{ch}.

Nous avons une erreur absolue de U_{Rch} allant de :

- 80[mV] à 120[mV] pour G1@12[V].
- 70[mV] à 120[mV] pour G1@13[V].

5 Observation

On se trouve bien entre les valeurs 4.75[V] et 5.25[V] demandées à l'exception de quelques points.

Nous observons également un plus grand écart entre les valeurs théoriques et simulées que les valeurs simulées et mesurées.

6 Conclusion

Pour un montage alimenté en 12[V], nous respectons les valeurs demandées dans le CDC, avec des courants allant de 0 à 25[mA].

Mais pour le cas où notre circuit est alimenté en 13[V], nous observons qu'il est impossible d'atteindre les valeurs demandées.

On pense que cela est dû au « h_{fe} » réel du transistor qui devrait être plus grand que celui que nous avons dimensionné pour nos mesures pratiques.

7 Annexes

7.1 Courbe simulation

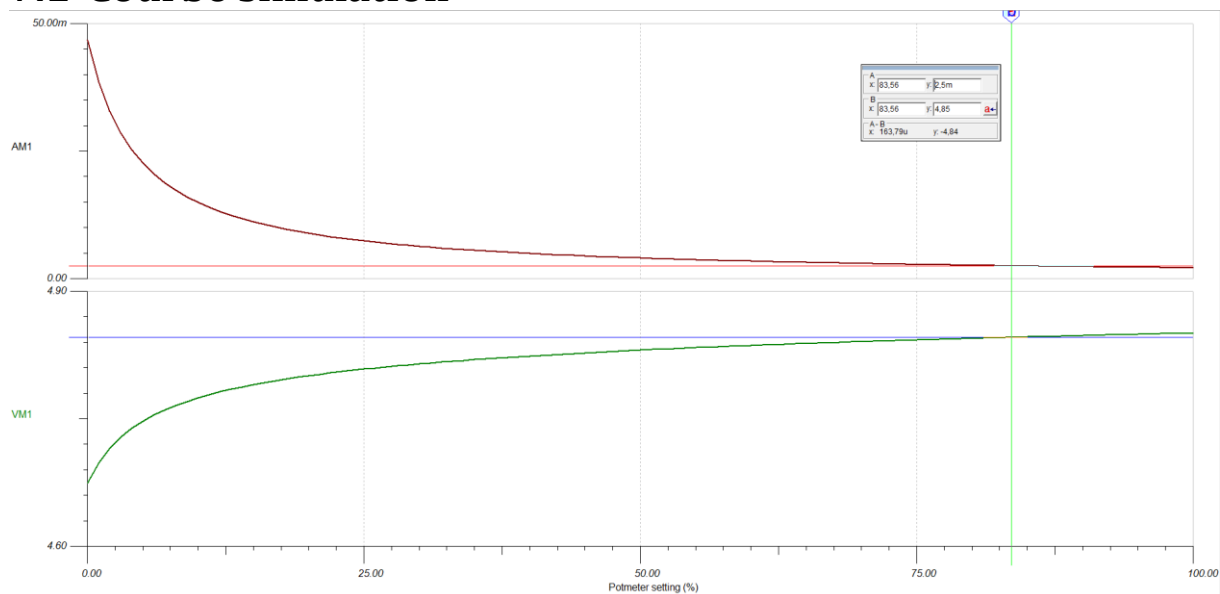


FIGURE 1 COURBE AVEC G1@12V

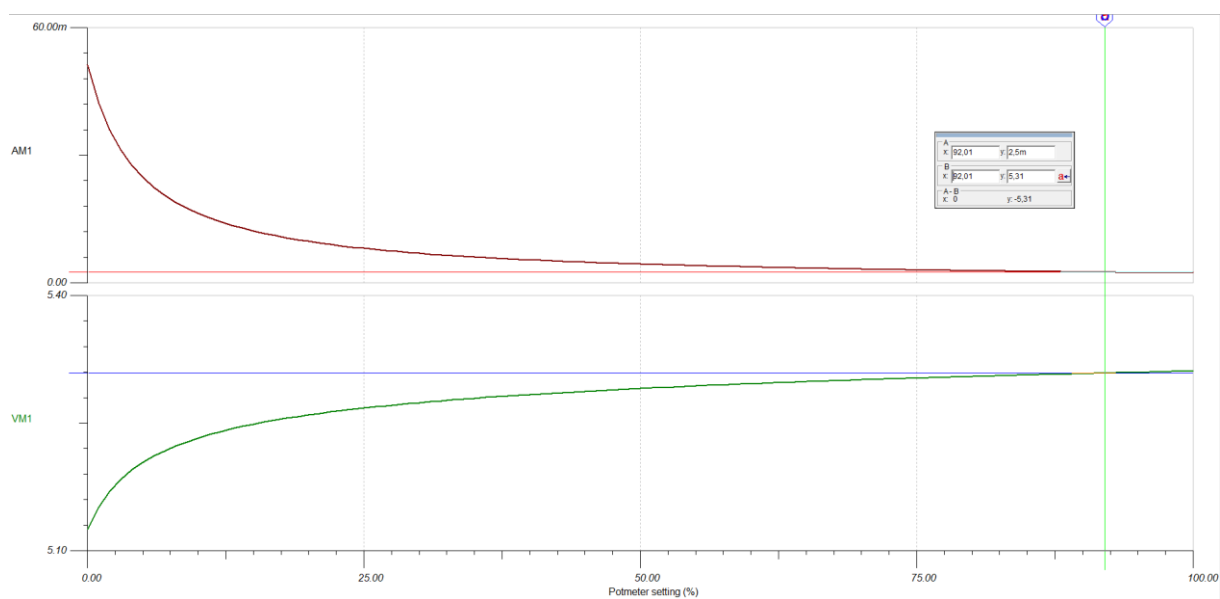


FIGURE 2 COURBE AVEC G1@13V