

60/84

2x

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

**E.N.P.A.**

Département d'Electronique

PROJET DE FIN D'ETUDES  
FILIERE INGENIORAT EN ELECTRONIQUE

Etude d'un Système Antibloquant  
d'un Véhicule Automobile

Proposé par :  
M. SCHREYER

Etudié par :  
A. YAHI  
K. YOUSSEF

Janvier 1984



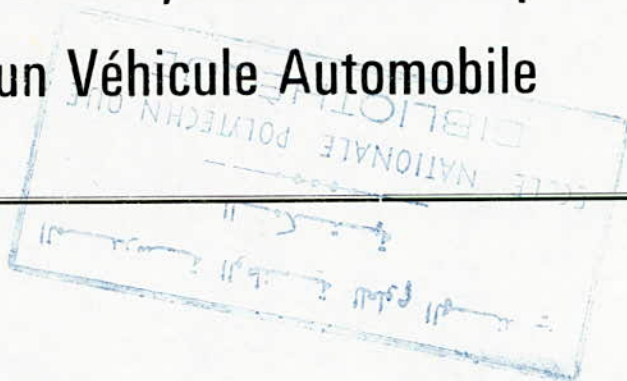
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

**E.N.P.A.**

Département d'Electronique

PROJET DE FIN D'ETUDES  
FILIERE INGENIORAT EN ELECTRONIQUE

Etude d'un Système Antibloquant  
d'un Véhicule Automobile



Etudié par :

A. YAHI

K. YOUSSEF

Proposé par :

M. SCHREYER

Janvier 1984

-§- R E M E R C I E M E N T S -§-

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation et nous ont aidé à la réalisation de cet humble ouvrage.

Nous remercions plus particulièrement M. SCHREYER pour son aide précieuse et ses conseils judicieux qui nous ont énormément servi.

Nous remercions M. LABZOUZI pour la frappe et le tirage de cette thèse.

-o- D E D I C A C E S -o-

-----

- A mon père, à la mémoire de ma regrettée mère.
- ÷ A Abdelwahab, Mustapha, Kamel.
- A tous mes neveux et soeurs
- A ma grand mère, à ma belle soeur
- ÷ A tous mes cousins et amis.

Je tiens à dédier cet humble ouvrage en témoignage de ma  
profonde affection pour eux.

√- MMAR.  
=====

Je dédie ce présent ouvrage

- A mon père
- A ma mère
- A mes frères et ma soeur
- A tous mes amis.

K A M A L.  
=====

-o- TABLE DES MATIERES -o-

	Pages
INTRODUCTION	01
Chap. 1 - NOTIONS GENERALES SUR LE FREINAGE	03
1.1- But du freinage	
1.2- Notion de glissement	
1.3- Notion d'adhérence	04
1.3.1- Adhérence longitudinale	
1.3.2- Adhérence transversale	05
Chap. 2 - ETUDE DU SYSTEME I	09
2.1- Caractéristiques du système I	
2.2- Principe de fonctionnement	10
2.3- Etablissement des équations de mouvement	13
2.4- Calcul des différentes forces agissant sur le véhicule	14
2.4.1- Calcul de $N_V^i$ et $N_R^i$	
2.4.2- Calcul de $N_V^{\prime\prime}$ et $N_R^{\prime\prime}$	15
2.4.3- Calcul de $N_V^f$ et $N_R^f$	17
2.5- Dépendance de $M_V^f$ et $M_R^f$	
2.5.1- Calcul de $M_V^f$	
2.5.2- Expression de $M_t^f$	20
2.6- Critères de l'efficacité du freinage	
2.6.1- Minimisation de la distance d'arrêt	
2.6.2- Critère du freinage optimal	21
2.7- Notions générales sur les fonctions logiques.	24
2.7.1- Généralités	
2.7.2- Inversion logique	
2.7.3- Addition logique	

2.7.4-	Multiplication logique	25
2.7.5-	Addition logique avec inversion	
2.7.6-	Multiplication logique avec inversion	26
2.7.7-	Bascule T	
2.8-	Schéma électrique du système I	27
2.8.1-	Schéma synoptique et logique	
2.8.2-	Commande de la pression de freinage	28
2.8.3-	Schéma électrique	34
2.8.4-	Fonctionnement du système I	35
<b>Chap. 3 -</b>	<b>ETUDE DU SYSTEME II</b>	<b>36</b>
3.1-	Caractéristiques du système II	
3.2-	Principe de fonctionnement	
3.2.1-	Select LOW (SL)	
3.2.2-	Select High (SH)	37
3.3-	Equations du mouvement	39
3.4-	Moment du couple de freinage	
3.5-	Critère du freinage optimal	
3.6-	Schéma électrique du système II	41
3.6.1-	Schéma synoptique et logique	
3.6.2-	Fonctionnement	45
<b>Chap. 4 -</b>	<b>NOTIONS SUR L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.</b>	<b>46</b>
4.1-	Définition des caractéristiques	
4.2-	Application de l'amplificateur opérationnel	49
4.2.1-	Comparateur de tension	
4.2.2-	Intégrateur	
4.2.3-	Dérivateur	52
<b>Chap. 5 -</b>	<b>ETUDE DU SYSTEME III.</b>	<b>60</b>
5.1-	Signal de prédiction P	
5.2-	Signal de résélection R	66

<b>Chap. 6 - ALIMENTATION - DETECTION.</b>	<b>69</b>
6.1- Alimentation	72
6.2- Détection	79
<b>CONCLUSION</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>82</b>



- I N T R O D U C T I O N -

Le freinage est une opération importante et délicate à la fois. Importante parce que beaucoup de vie en dépendent. La sécurité du véhicule et des passagers se trouve le plus souvent liée à ces organes que sont les freins. Pour assurer cette sécurité, il faut que le freinage soit efficace et adapté aux conditions du sol.

Le freinage par voie classique ne dépend que de l'instinct et du réflexe du chauffeur; Aussi, nous assistons régulièrement à plusieurs accidents graves dus à une mauvaise utilisation des freins et cela même de la part des conducteurs les plus expérimentés.

Pour pallier à ces défauts du freinage classique, et dans le but d'améliorer la sécurité, on a pensé à équiper le véhicule automobile de nouveaux dispositifs de freinage électronique capables de détecter et d'enrayer le blocage des roues : ce sont les systèmes antibloquants.

De nos jours, plusieurs dispositifs sont apparus de part le monde. On peut citer, au risque d'en omettre : DUNLOP-Maxaret, Girling, Automotive Products en Grande Bretagne, Teldix, Bosch, Westinghouse en Allemagne, Fiat en Italie, Général Motors, Bendix aux Etats Unis.

Tous ces dispositifs sont basés sur le même principe: ils exploitent le maximum d'adhérence disponible au niveau de la liaison pneu-sol pour exercer un freinage optimal.

Ils se distinguent les uns des autres par la méthode de calcul suivie et dont découlent les qualités et parfois les défauts du système considéré, en plus du mode de contrôle des roues. Les uns procèdent par contrôle globale de l'essieu arrière du véhicule, d'autres contrôlent indépendamment les deux roues avant et arrières, et une troisième catégorie opère un contrôle séparé

des quatre roues.

Dans notre ouvrage, nous vous présentons une méthode de calcul qu'on appliquera pour construire deux systèmes différents:

Le premier consiste en un contrôle par essieu arrière du véhicule et le second opère un contrôle séparé des essieux avant et arrière avec asservissement du calcul à la roue allant la première au blocage ( Select Low ) ou à la roue allant la dernière au blocage ( Select High ).

Nous aborderons par la suite un troisième système dit adaptif qui consiste à exercer la pression de freinage entre deux limites constituées par un signal de Prédiction "P" et un autre signal "R" dit de reselection.

Nous terminerons en indiquant une méthode d'obtention d'une alimentation symétrique à partir de la batterie du véhicule, ce qui nous permettra d'alimenter certains modules électroniques qu'on pourrait rencontrer dans quelques circuits présentés ici.

Enfin nous donnerons un bref aperçu sur la détection en citant quelques capteurs pouvant être utilisés pour passer des grandeurs mécaniques aux grandeurs électriques.

## C H A P I T R E 1

### NOTIONS GENERALES SUR LE FREINAGE

#### 1.1 - BUT DU FREINAGE.

Tous les véhicules automobiles sont munis d'organes appelés freins.

Les freins sont conçus de façon à permettre au conducteur de diminuer plus ou moins la vitesse du véhicule ou de l'annuler complètement. En d'autres termes, le freinage a pour but de détruire l'énergie cinétique du véhicule, pour la transformer en énergie calorifique par frottement entre un organe lié au châssis ( organe fixe ) et un organe lié à la roue ( organe mobile ).

Les freins sont des organes de sécurité. Pour que celle-ci soit totale, il faut que le freinage soit efficace: c'est-à-dire adapté à la liaison pneu-sol, conformément aux caractéristiques et aux états de la route.

D'autre part, il faut que le véhicule jouisse d'une grande stabilité lors du processus de freinage. Ceci est difficilement réalisable sans qu'il y ait risque de blocage des roues.

De ce fait, l'adjonction d'un automate parfaitement adapté aux différentes conditions de la route devient nécessaire: il doit s'interposer entre l'action du pied sur le frein proprement dit dont il va réguler la pression.

La solution idéale a été trouvée avec le freinage électronique que d'aucuns appellent: Antipatinant, antibloquant, anti-Skid....

#### 1.2 - NOTION DE GLISSEMENT.

La vitesse périphérique de la roue qui se bloque pendant

le freinage évolue entre une vitesse qui correspond à la vitesse du véhicule ( $V_V$ ) et la vitesse nulle.

Cette vitesse périphérique des roues qu'on appellera ( $V_R$ ) passe donc par toutes les valeurs intermédiaires entre la vitesse du véhicule  $V_V$  et 0 .

Le ralentissement de la roue ou glissement est défini par :

$$G = \frac{V_V - V_R}{V_V}$$

Le glissement  $G$  évolue entre les valeurs 0 et 1 .

Il est égal à l'unité si la vitesse périphérique des roues est nulle : ceci correspond au blocage .

Le glissement est nul si les vitesses  $V_V$  et  $V_R$  sont égales : ceci correspond à des roues libres.

### 1.3 - NOTION D'ADHERENCE.

Les systèmes de freinage électronique mettent à profit le passage par une adhérence maximale afin de réguler la pression de freinage. Ceci nous amène à définir donc l'adhérence.

Un véhicule initialement immobile ne peut se mouvoir que si on dispose d'une certaine résistance ou frottement au niveau du contact pneu-sol.

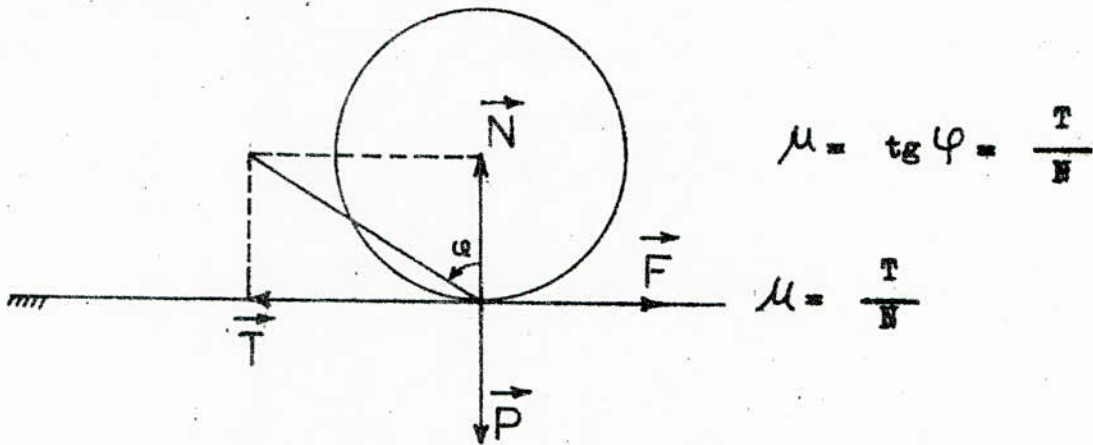
En effet, pour une résistance nulle, les roues tourneraient sans pour autant entraîner le véhicule et dans le cas d'extrême résistance (roue et sol collés); La rotation des roues devient impossible, ce qui empêche donc tout mouvement de translation du véhicule.

Cette résistance ou frottement traduit la notion d'adhérence pneu-sol .

#### 1.3.1 - Adhérence longitudinale.

On définit un coefficient d'adhérence longitudinal

comme étant :



Le coefficient d'adhérence longitudinal dépend de la nature des surfaces en contact ainsi que des paramètres cinétiques du véhicule.

En général, le coefficient d'adhérence longitudinal est fonction du glissement  $G$ .

L'allure de la caractéristique  $\mu(G)$  est donné par la figure 1

On remarque que si on applique un couple de freinage, l'adhérence croît avec le glissement jusqu'à une valeur maximale  $\mu_m$  à laquelle correspond un glissement  $G_m$ .

A partir de cette valeur et si le couple de freinage reste appliqué, le coefficient d'adhérence va diminuer jusqu'à une certaine valeur limite correspondant à  $G = 1$ ; ce qui nous situe dans la zone de blocage des roues.

La zone stable est délimitée par les valeurs du coefficient d'adhérence allant de zéro à  $\mu_m$ .

La zone instable pour le freinage se situe au delà de la valeur maximale ( $\mu_m$ ) de l'adhérence pour se terminer par la zone de blocage pour laquelle le glissement vaut l'unité.

### 1.3.2 - Adhérence transversale.

L'adhérence transversale est l'adhérence disponible suivant l'axe perpendiculaire à la roue.

Ce type d'adhérence intervient pour l'amélioration de la stabilité ainsi que de la directibilité du véhicule.

Son allure est donnée par la figure : 2

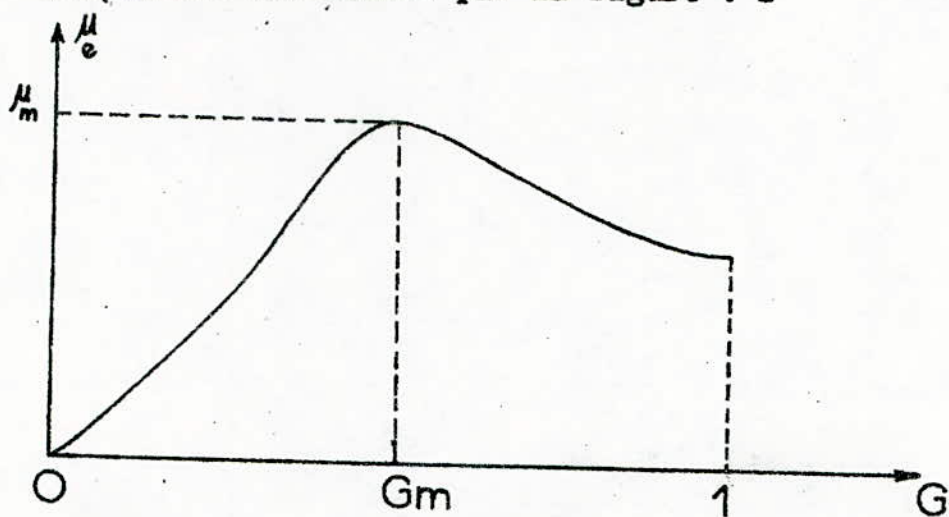


fig. 1 - Variation du coefficient d'adhérence longitudinale avec le glissement.

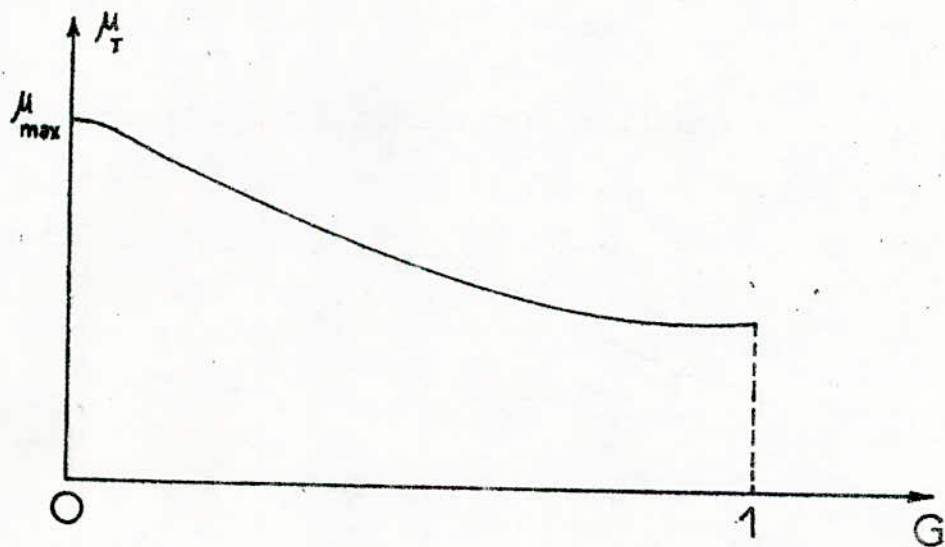
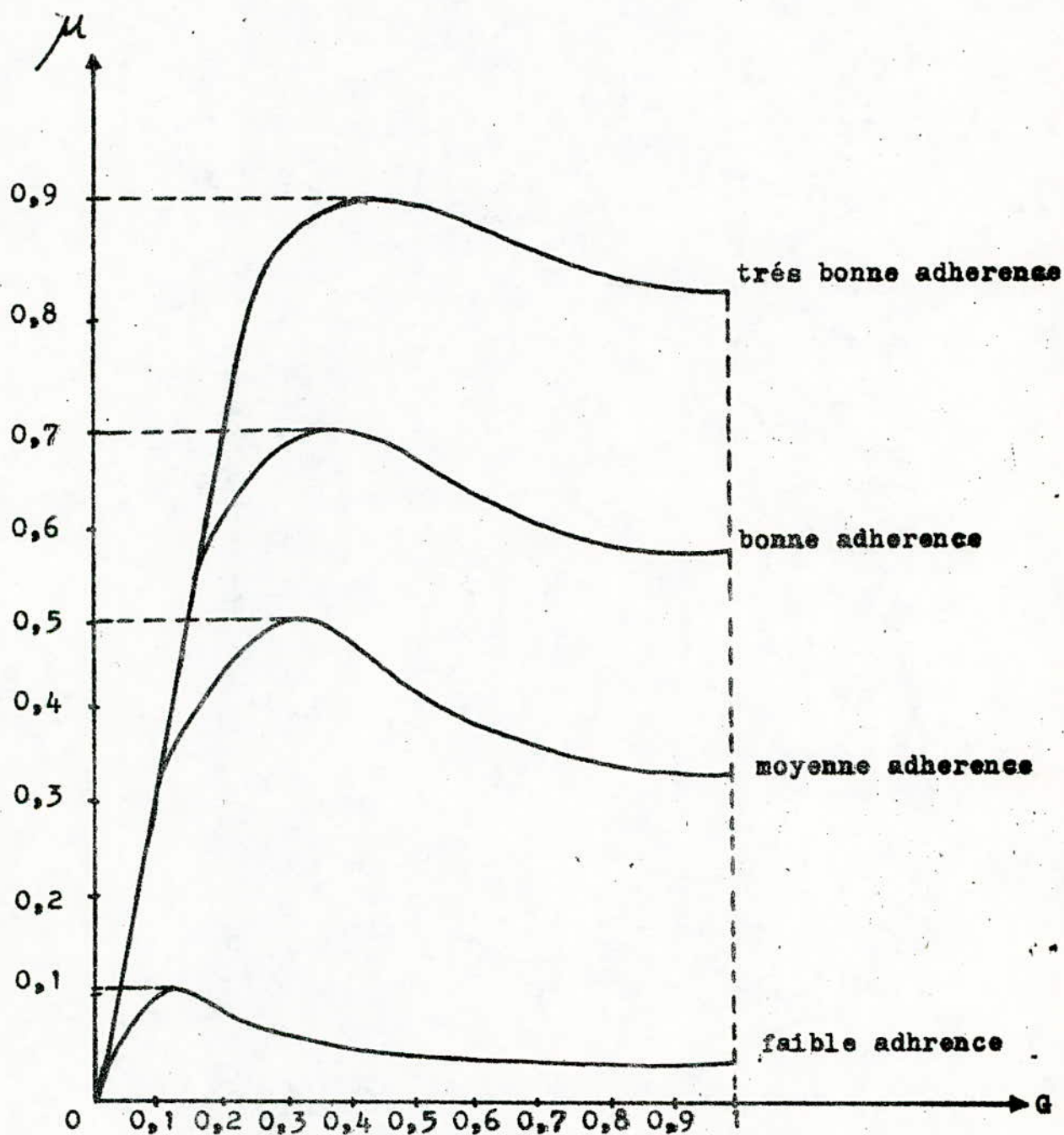
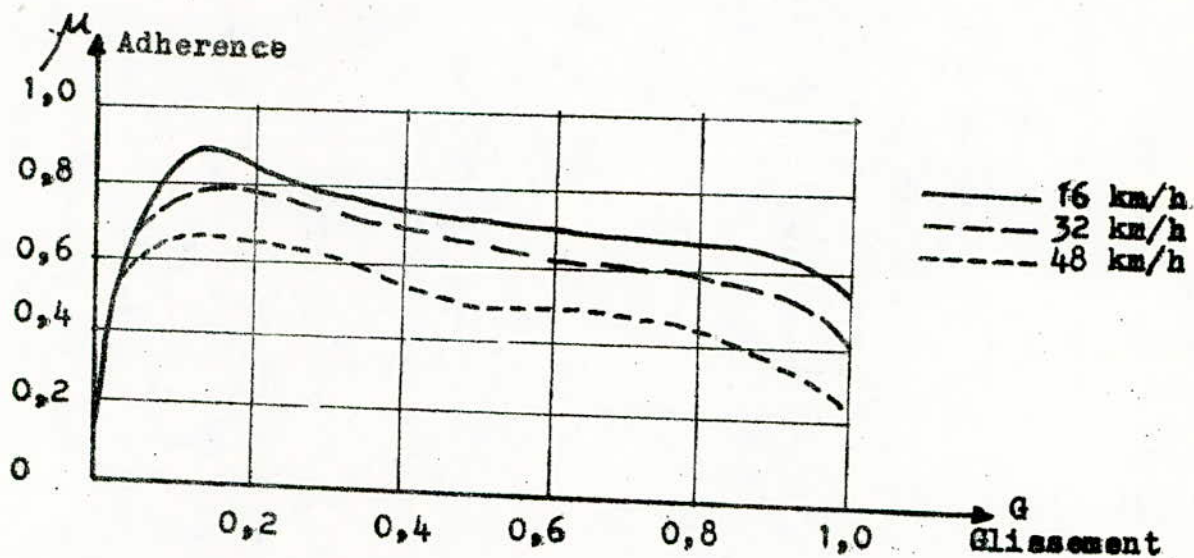


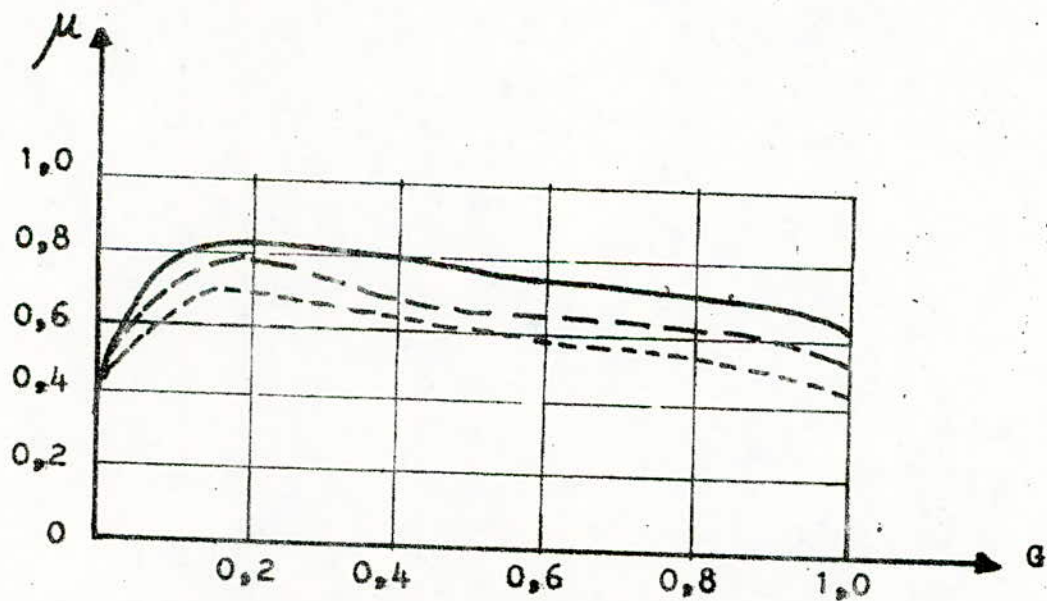
fig. 2 - Variation du coefficient d'adhérence transversale avec le glissement.



Variation du coefficient d'adhérence  $\mu(G)$  avec la nature du sol



Variation du coefficient d'adhérence avec la vitesse de la roue  
(Pneu-lisse) (Route goudronnée)



Variation du coefficient d'adhérence longitudinale avec la  
vitesse de la roue (Pneu-normal) (Route goudronnée)



## CHAPITRE 2.

### ETUDE DU SYSTEME I

#### 2.1 - DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DU SYSTEME I

Le système I est techniquement le plus simple des dispositifs de freinage électronique. Il présente un contrôle global de l'essieu arrière et de ce fait on peut l'assimiler à un compensateur de freinage électronique.

Si ce système n'apporte pas plus d'avantages que les autres dispositifs, il permet néanmoins, par l'interdiction de blocage des roues arrières dans toutes les conditions de sol et de charge de conserver le véhicule en ligne droite, ce qui évite déjà beaucoup d'accidents.

Le système I se caractérise par :

$$\omega_v = \omega_r = \omega$$

$$\mu_v(t) = \mu_r(t) = \mu(t)$$

où :

$\omega_v$  = vitesse rotationnelle des roues avants

$\omega_r$  = vitesse rotationnelle des roues arrières

$\mu_v$  = coefficient d'adhérence des roues avants

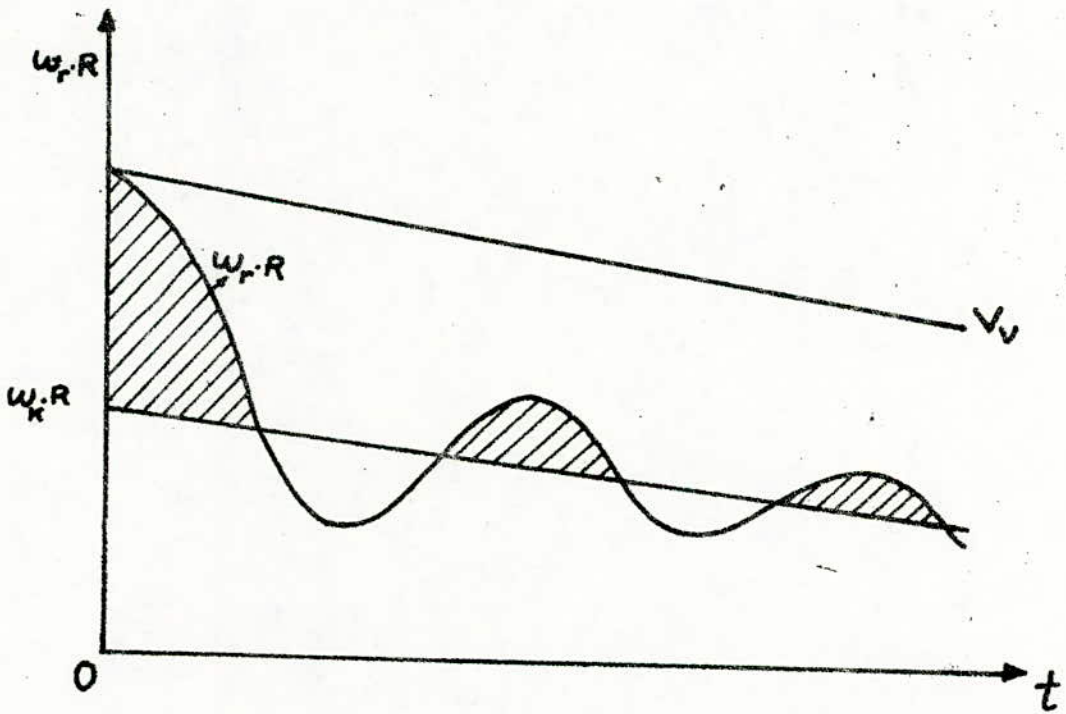
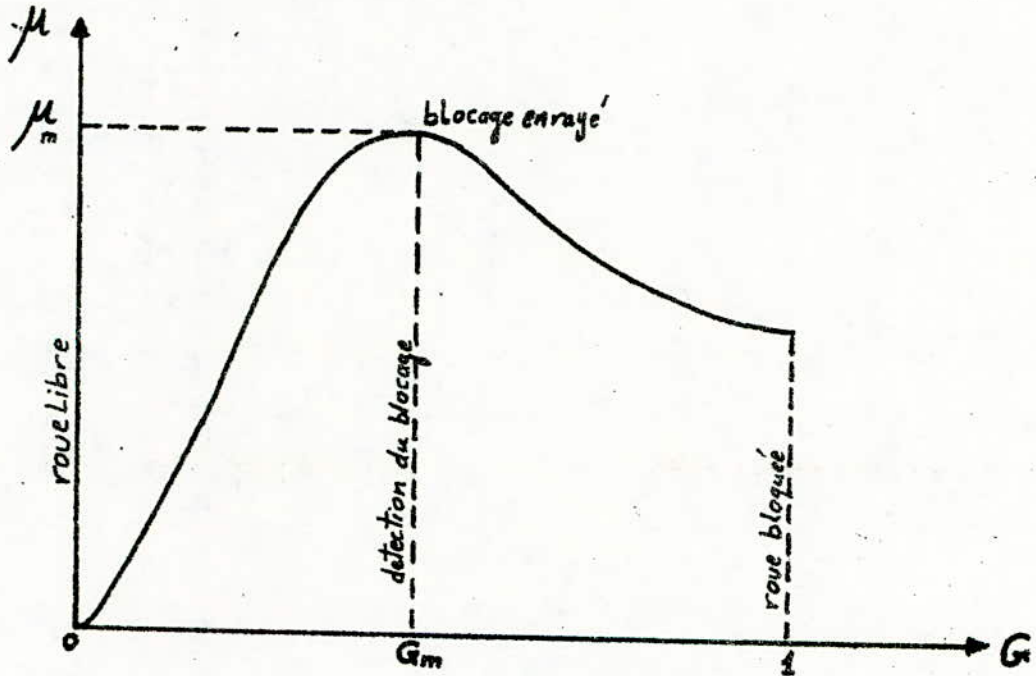
$\mu_r$  = coefficient d'adhérence des roues arrières.

## 2.2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

Tous les dispositifs de freinage électronique ont pour but de réguler la pression de freinage pour que l'adhérence utilisée soit maximale.

Dans le cas du système I, seules les roues arrières sont contrôlées, mais il existe une dépendance entre les moments des couples de freinage avant ( $M_V^f$ ) et arrière ( $M_R^f$ ).

Le processus va donc consister à détecter le passage par l'adhérence maximale, à faire décroître la pression de freinage en conséquence pour la réappliquer une fois que l'équilibre dynamique de la roue est redevenu stable.

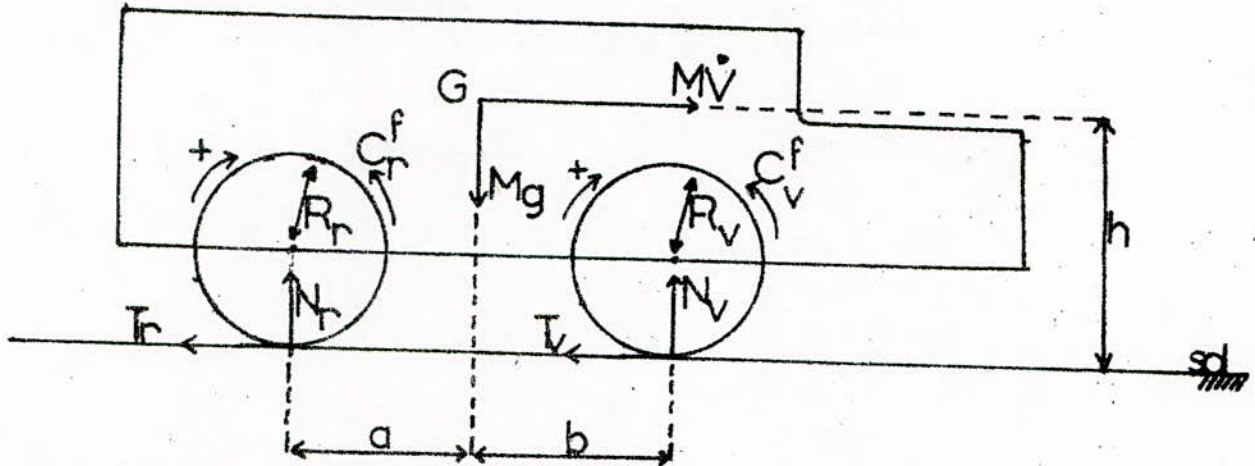


Notations utilisées :

- $M$  : masse totale du véhicule  
 $V$  : vitesse du véhicule  
 $\dot{V}$  : accélération du véhicule  
 $\omega_V$  : vitesse de rotation des roues avants  
 $\omega_R$  : vitesse de rotation des roues arrières  
 $\dot{\omega}_V$  : accélération rotationnelle des roues avants  
 $\dot{\omega}_R$  : accélération rotationnelle des roues arrières  
 $T_V$  : force d'adhérence de la roue avant  
 $T_R$  : force d'adhérence de la roue arrière  
 $I_V$  : moment d'inertie de la roue avant  
 $I_R$  : moment d'inertie de la roue arrière  
 $R_V$  : rayon de la roue avant  
 $R_R$  : rayon de la roue arrière  
 $C_V^f$  : couple de freinage avant  
 $C_R^f$  : couple de freinage arrière  
 $N_V$  : réaction de la roue avant sur le sol durant le freinage  
 $N_R$  : réaction de la roue arrière sur le sol lors du freinage  
 $\mu_V$  : coefficient d'adhérence longitudinal de la roue avant  
 $\mu_R$  : coefficient d'adhérence longitudinal de la roue arrière  
 $F_V$  : force de freinage de la roue avant  
 $F_R$  : force de freinage de la roue arrière  
 $N_R'$  : force due à la transmission d'énergie de la roue arrière du véhicule lors du freinage  
 $N_V'$  : force due à la transmission d'énergie de la roue avant du véhicule lors du freinage  
 $N_V''$  : réaction totale de la roue avant sur le sol  
 $N_R''$  : réaction totale de la roue arrière sur le sol.

2.3.- ETABLISSEMENT DES EQUATIONS  
DE MOUVEMENT.

Ecrivons les équations qui régissent le mouvement d'un véhicule se déplaçant le long d'une route rectiligne et soumis à un couple de freinage.



La relation fondamentale de la dynamique donne :

- pour le mouvement de translation :

$$(1) M \dot{V} = - T_v - T_r$$

- pour la rotation des roues :

$$(2) I_v \dot{\omega}_v = T_v R_v - M_v^f \quad (\text{roues avants})$$

$$(3) I_r \dot{\omega}_r = T_r R_r - M_r^f \quad (\text{roues arrières})$$

Le coefficient d'adhérence étant :

$$T_v = \mu_v N_v$$

$$T_r = \mu_r N_r$$

L'équation (1) devient :

$$(1') M \dot{V} = - \mu_v N_v - \mu_r N_r$$

Dans le cas du système I :

$$M \dot{V} = -T$$

$$I \omega = T.R - M_R^f$$

avec :

$$* T = T_V + T_R$$

$$* I = I_V + I_R$$

$$* \omega = \omega_R = \omega_V$$

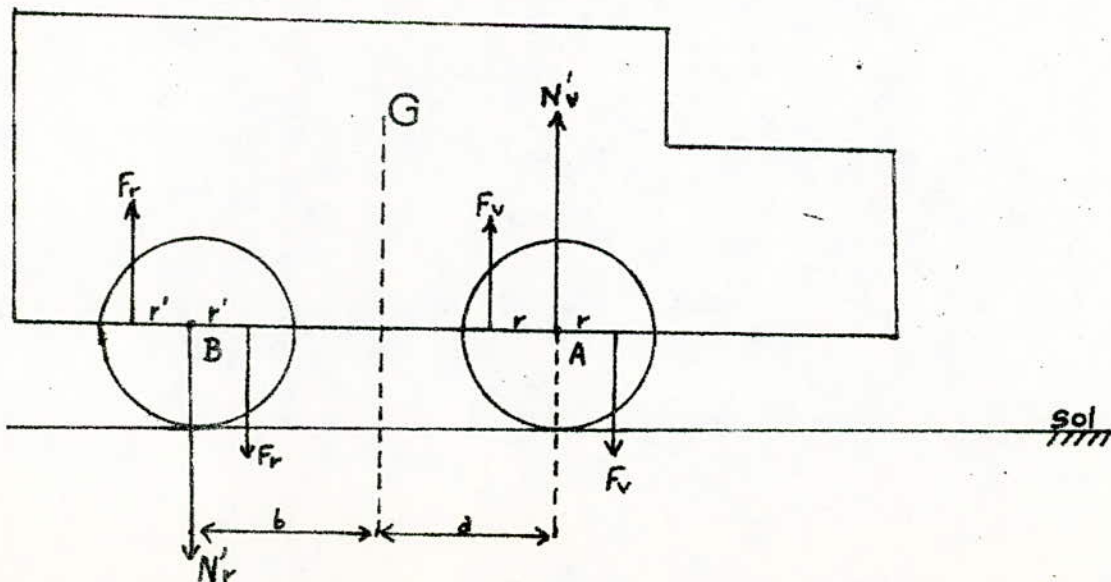
$$* R = R_V = R_R$$

## 2.4 - CALCUL DES DIFFERENTES FORCES

### AGISSANT SUR LE VEHICULE.

#### 2.4.1- Calcul de $N'_V$ et $N'_R$

Nous avons dit plus haut que le freinage d'un véhicule est assuré par le frottement entre un organe lié aux roues et un organe solidaire du châssis (disque ou tambour). L'un transmettant à l'autre de l'énergie. Il en résulte donc des forces  $N'_V$  et  $N'_R$  au niveau des roues avant et arrière.



Pour calculer  $N'_v$  et  $N'_r$ , on applique le théorème des moments respectivement aux points A et B.

$$\sum \mathcal{M}_A = 0$$

$$2F_v \cdot r + F_r (a+b+r') - F_r (a+b-r') - N'_r (a+b) = 0$$

d'où on tire :

$$N'_r = \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

$$\sum \mathcal{M}_B = 0$$

$$2F_r \cdot r' - F_v (a+b-r) + F_v (a+b+r) - N'_v (a+b) = 0$$

d'où on tire :

$$N'_v = \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

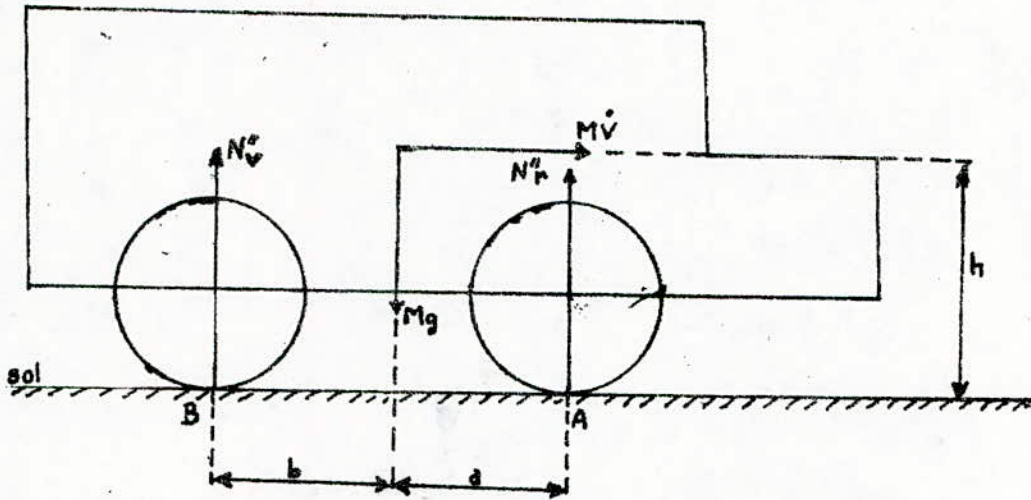
C'est là l'expression du module de chaque force.

En réalité,  $N'_v$  et  $N'_r$  sont égales mais de sens opposé.

Donc, la transmission d'énergie des roues avant et arrière sont égales. On remarquera cependant que la force  $N'_v$  a tendance à soulever le véhicule tandis-que la force  $N'_r$ , elle a tendance à enfoncer les roues arrière dans le sol et cela bien entendu durant le processus de freinage.

#### 2.4.2 - Calcul de $N''_v$ et $N''_r$ :

On va procéder de la même manière en appliquant le théorème des moments respectivement en A et B.



$$\sum \mathcal{M}_A = 0$$

$$(4) \dots hM\dot{v} - Mga + N_r'' (a+b) = 0$$

$$(5) \dots M\dot{v} = -N_v'' - N_r''$$

$$(6) \dots Mg = -N_v'' - N_r''$$

L'équation (5) devient compte tenu de (6)

$$M\dot{v} = -\mu_v (-Mg - N_r'') - \mu_r N_r''$$

$$(5) \quad M\dot{v} = N_r'' (\mu_v - \mu_r) + \mu_v Mg$$

Les équations (4) et (5) donnent finalement :

$$N_r'' = Mg \frac{a - h\mu_v}{(a+b) + h(\mu_v - \mu_r)}$$

$$\sum \mathcal{M}_B = 0$$

$$(7) \dots hM\dot{v} - N_v'' (a+b) + Mgb = 0$$

$$(8) \dots N_r'' = -Mg - N_v''$$



A l'aide de l'équation (5) on aura :

$$(9) \dots N_V' = N_V'' (\mu_r - \mu_v) + \mu_r M_g$$

Les équations (7) et (9) donnent finalement :

$$N_V'' = M_g \frac{b+h\mu_r}{(a+b) + h(\mu_v - \mu_r)}$$

### 2.4.3 - Calcul de $N_V$ et $N_R$ :

On remarque dans ce qui précède que  $N_V'$  et  $N_V''$  sont de même sens et par conséquent la réaction totale de la roue avant ( $N_V$ ) sur le sol pendant le freinage sera donnée par :

$$N_V = N_V' + N_V''$$

Par contre,  $N_R'$  et  $N_R''$  elles sont de sens opposé et par conséquent :

$$N_R = N_R' + N_R''$$

En remplaçant  $N_V'$ ,  $N_R'$ ,  $N_V''$  et  $N_R''$  par leurs valeurs respectives on trouve :

$$N_V = M_g \frac{b + h\mu_r}{(a+b) + h(\mu_v - \mu_r)} + \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

$$N_R = M_g \frac{a - h\mu_v}{(a+b) + h(\mu_v - \mu_r)} - \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

## 2.5 - DEPENDANCE DE $M_V^f$ et $M_R^f$

### 2.5.1 - Calcul de $M_V^f$ :

Dans le cas du système I on a :

$$\omega_V = \omega_R = \omega$$

$$\dot{\omega}_V = \dot{\omega}_R = \dot{\omega}$$

$$\mu_V(t) = \mu_R(t) = \mu(t)$$

Des équations (2) et (3) on tire :

$$\dot{\omega}_V = \frac{1}{I_V} (T_V R_V - M_V^f) = \frac{1}{I_V} (\mu_V N_V R_V - M_V^f)$$

$$\dot{\omega}_R = \frac{1}{I_R} (T_R R_R - M_R^f) = \frac{1}{I_R} (\mu_R N_R R_R - M_R^f)$$

Comme  $\dot{\omega}_V = \dot{\omega}_R$  :

$$\frac{1}{I_V} (\mu_V N_V R_V - M_V^f) = \frac{1}{I_R} (\mu_R N_R R_R - M_R^f)$$

On aura finalement :

$$M_V^f = \frac{I_V}{I_R} \cdot M_R^f + \mu (N_V R_V - \frac{I_V}{I_R} N_R R_R)$$

d'où en supposant :

$$I_V = I_R = I_1$$

$$R_V = R_R = R$$

$$M_V^f = M_R^f + \mu R (N_V - N_R)$$

Dans le cas où :

$$\mu_v = \mu_r = \mu$$

Les expressions de  $N_v$  et  $N_r$  deviennent :

$$N_v = M_g \frac{b + \mu h}{a + b} + \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

et

$$N_r = M_g \frac{a - \mu h}{a + b} - \frac{2F_v \cdot r + 2F_r \cdot r'}{a + b}$$

On aura ainsi :

$$N_v - N_r = M_g \left[ \frac{b + \mu h}{a + b} - \frac{a - \mu h}{a + b} \right] + \frac{4F_v \cdot r + 4F_r \cdot r'}{a + b}$$

$$N_v - N_r = M_g \left[ \frac{b - a + 2\mu h}{a + b} \right] + \frac{4F_v \cdot r + 4F_r \cdot r'}{a + b}$$

L'expression de  $M_v^f$  devient :

$$M_v^f = M_r^f + \mu R M_g \frac{b - a}{a + b} + 2\mu^2 R M_g \frac{h}{a + b} + 4\mu R \frac{F_v \cdot r + F_r \cdot r'}{a + b}$$

ou :

$$M_v^f = M_r^f + \mu R M_g \frac{b - a}{a + b} + 2\mu^2 R M_g \frac{h}{a + b} + 2\mu R \frac{M_v^f + M_r^f}{a + b}$$

il vient :

$$\left[ 1 - \frac{2\mu R}{a + b} \right] M_v^f = \left[ 1 + \frac{2\mu R}{a + b} \right] M_r^f + \mu R M_g \frac{b - a}{a + b} + 2\mu^2 R M_g \frac{h}{a + b}$$

$$M_v^f = \frac{(a + b) + 2\mu R}{(a + b) - 2\mu R} M_r^f + M_g \frac{(b - a) \mu R}{(a + b) - 2\mu R} + 2M_g \frac{\mu^2 R h}{(a + b) - 2\mu R}$$

2.5.2 - Expression de  $M_t^f$  (moment du couple total)

$$M_t^f = M_V^f + M_R^f$$

Eb remplaçant  $M_V^f$  par sa valeur on obtient :

$$M_t^f = M_R^f + \frac{a+b+2\mu R}{a+b-2\mu R} M_R^f + M_g \frac{(b-a)\mu R}{a+b-2\mu R} + 2 M_g \frac{2 R \cdot h}{a+b-2 R}$$

$$M_t^f = \frac{2(a+b)}{(a+b)-2\mu R} M_R^f + \mu R M_g \frac{b-a}{(a+b)-2\mu R} + 2\mu^2 R M_g \frac{h}{(a+b)-2\mu R}$$

2.6 - CRITERES DE L'EFFICACITE DU FREINAGE.

2.6.1 - Minimisation de la distance d'arrêt.

Parmi les buts recherches du freinage, l'arrêt du véhicule après un court instant de freinage semble être le plus important.

Ceci va nous amener à étudier les critères pour lesquels la distance d'arrêt est la plus petite que possible.

A partir de l'équation :

$$M \dot{V} = -\mu_V N_V - \mu_R N_R$$

On obtient en remplaçant  $N_V$  et  $N_R$  par leur valeur trouvées en :

$$M \ddot{V} = -\mu_V \left[ M_g \frac{b+h\mu_R}{(a+b)+h(\mu_V-\mu_R)} + 2 \frac{F_V \cdot r + F_R \cdot r'}{a+b} \right] - \mu_R \left[ M_g \frac{a-h\mu_R}{(a+b)+h(\mu_V-\mu_R)} - 2 \frac{F_V \cdot r + F_R \cdot r'}{a+b} \right]$$

il vient que :

$$-\frac{\dot{v}}{g} = \frac{a\mu_r + b\mu_v}{(a+b)+h(\mu_v - \mu_r)} + \frac{2.3}{Mg} (\mu_v - \mu_r) \frac{F_v \cdot r + F_r \cdot r'}{a + b}$$

On définit ainsi une fonction :

$$f = -\frac{\dot{v}}{g} = f(\mu_v, \mu_r)$$

L'étude de cette fonction montre que celle ci atteint son maximum pour  $\mu_r = \mu_v = \mu_{max}$

En effet, pour assurer la stabilité du véhicule il faut prendre :  $a > h$

d'où  $a + b > h$

et comme :  $|\mu_r - \mu_v| \leq 1$

Nous auons :

$$-\frac{\dot{v}}{g} \sim \frac{a\mu_r + b\mu_v}{a + b} + \frac{2}{Mg} (\mu_v - \mu_r) \frac{F_v \cdot r + F_r \cdot r'}{a + b}$$

### 2.6.2 - Critère du freinage optimal:

Le principe de tout dispositif de freinage électronique est de réguler la pression de freinage pour que l'adhérence utilisée soit maximale. Il va falloir étudier les conditions sur les paramètres cinétiques pour que cette adhérence soit maximale, donc un freinage optimal.

En considérant la caractéristique  $\mu(G)$  donnée par la

figure ; On voit que celle-ci nous amène à étudier les contraintes pour lesquelles  $d\mu/dG$  est positive.

En effet, le freinage sera d'autant plus efficace que l'adhérence est importante : il sera optimal quand celle-ci passe par sa valeur maximale. Dans ce cas, le risque de blocage de la roue est totalement enrayé.

A partir de cette valeur, l'adhérence diminue, le glissement augmente et si le couple de freinage reste maintenu, le risque de blocage commence à se dessiner pour se produire quand  $G = 1$  et à ce moment la force de freinage est égale à la force motrice entraînant le véhicule.

$$d\mu/dG = d\mu/dt \times dt/dG + \frac{d\mu/dt}{dG/dt} = \frac{\dot{\mu}}{\dot{G}} \text{ avec } G \neq 0$$

Pour que le freinage soit optimal il faut :

$$\frac{d\mu}{dG} > 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\dot{\mu}}{\dot{G}} > 0$$

Donc il faut :

$$\dot{\mu} > 0 \quad \text{et} \quad \dot{G} > 0$$

ou

$$\dot{\mu} < 0 \quad \text{et} \quad \dot{G} < 0$$

Le glissement  $G$  est défini par :

$$G = \frac{V_v - V_R}{V_v} = \frac{V - \omega R}{V}$$

Nous aurons :

$$\dot{G} = \frac{\omega R \dot{V} - \dot{\omega} R V}{V^2}$$

$$\frac{dG}{dt} > 0 \quad \Rightarrow \quad \omega R \dot{V} - \dot{\omega} R V > 0 \quad \Rightarrow \quad \omega \dot{V} - \dot{\omega} V > 0$$

$$\frac{dG}{dt} < 0 \quad \Rightarrow \quad \omega R \dot{V} - \dot{\omega} R V < 0 \quad \Rightarrow \quad \omega \dot{V} - \dot{\omega} V < 0$$

A partir de l'équation (1) et dans le cas où  $\mu_V = \mu_R = \mu$

$$M\dot{V} = -\mu(N_V + N_R) \implies \mu = -\frac{M\dot{V}}{N_V + N_R}$$

donc :

$$\frac{d\mu}{dt} = -M \frac{\ddot{V}(N_V + N_R) - \dot{V}(N_V + N_R)'}{(N_V + N_R)^2}$$

On sait que :

$$N_V + N_R = M_g = \text{Cte}$$

d'où :

$$\frac{d}{dt}(N_V + N_R) = 0$$

Il vient que :

$$\frac{d\mu}{dt} = -\frac{\ddot{V}}{g}$$

ou

$$\frac{d\mu}{dt} > 0 \implies \ddot{V} < 0$$

et

$$\frac{d\mu}{dt} < 0 \implies \ddot{V} > 0$$

Finalement :

$$\begin{aligned} \omega\dot{V} - \dot{\omega}V > 0 \quad \text{et} \quad \ddot{V} < 0 \\ \frac{d\mu}{dG} > 0 \implies \text{ou} \\ \omega\dot{V} - \dot{\omega}V < 0 \quad \text{et} \quad \ddot{V} > 0 \end{aligned}$$

Si l'on écrit ces deux conditions autrement :

$$\begin{aligned} \dot{\omega}V - \omega\dot{V} < 0 \quad \text{et} \quad \ddot{V} < 0 \\ \frac{d\mu}{dG} > 0 \implies \text{ou} \\ \dot{\omega}V - \omega\dot{V} > 0 \quad \text{et} \quad \ddot{V} > 0 \end{aligned}$$

2.7. - NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES FONCTIONS LOGIQUES.

2.7.1. Généralités:

Une fonction logique ou variable binaire est une grandeur qui ne peut prendre que deux états notés "0" et "1", et ne peut pas varier de façon continue.

Ceci s'exprime par les axiomes suivants :

$$X = 0 \quad \text{si } X \neq 1$$

$$X = 1 \quad \text{si } X \neq 0$$

Une fonction logique de n variable  $X_1, X_2, \dots, X_n$  est une fonction qui ne peut prendre que deux valeurs: 0 ou 1.

Les variables logiques ainsi que les fonctions logiques sont traitées par l'algèbre Booléenne qui est une algèbre d'état et non de nombres.

2.7.2 - Inversion logique:

Opération N O N

Cette opération parfois dite négation est définie par la table de vérité suivante:

A	$\bar{A}$
0	1
1	0



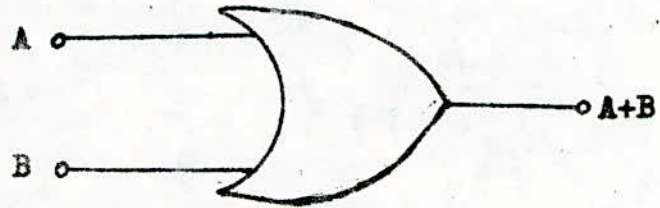
2.7.3 - Addition logique:

Opération O R

Elle est aussi dite réunion. Appliquée à deux variables logiques, elle conduit à leur somme logique conformément à la table de vérité suivante :



A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

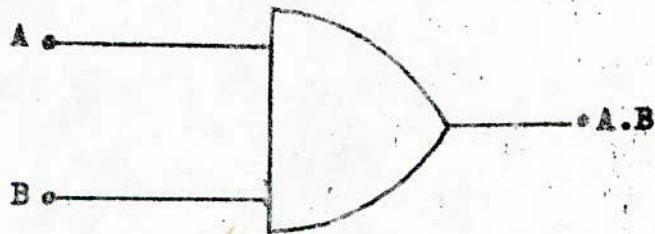


2.7.4- Multiplication logique :

Opérateur A N D

Elle est aussi dite intersection. Appliquée à deux variables logiques, elle conduit au produit logique qu'on note  $A \cap B$  ou plus simplement  $A.B$

A	B	A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

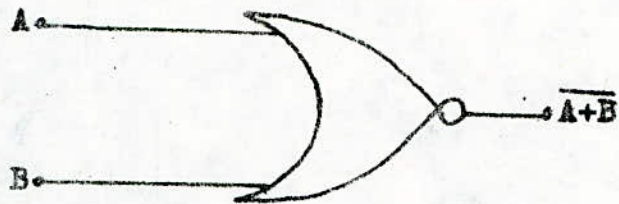


2.7.5 - Addition logique avec inversion :

Opérateur N O R

Le circuit N O R réalise l'addition logique avec inversion. Le résultat de cette opération est à 1 si les variables sont simultanément à 0 .

A	B	$\overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



2.7.6 - Multiplication logique avec inversion:

Opérateur N A N D

Le circuit NAND réalise la multiplication logique avec inversion du résultat.

A	B	$\overline{A.B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



2.7.7 - Bascule T :

La bascule T est un circuit capable de maintenir la sortie dans un état donné ou de l'inverser lorsqu'on applique à son entrée un niveau 1.

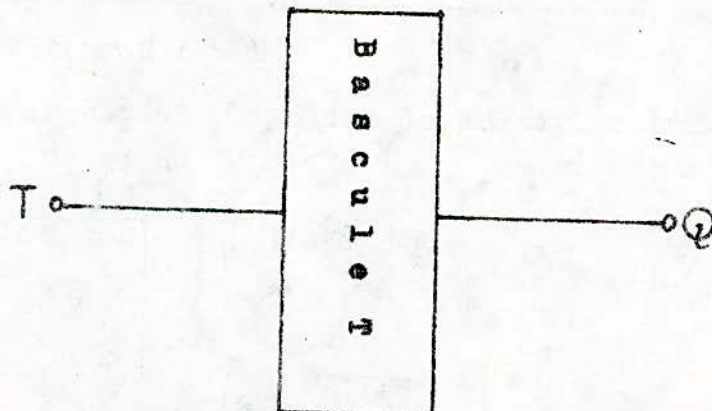


Table de vérité

T	Q	Q <sup>+</sup>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ou sous forme condensée

T	Q <sup>+</sup>
0	Q
1	Q

2.8 - SCHEMA ELECTRIQUE DU SYSTEME I

2.8.1 - Schéma synoptique et logique :

Le principe de fonctionnement du système I se base sur la relation :

$$\frac{d\mu}{dG} > 0 \iff [(\dot{\omega}_V > \dot{\omega}_{\dot{V}}) \cap (\ddot{V} > 0)] \cup [(\dot{\omega}_V < \dot{\omega}_{\dot{V}}) \cap (\ddot{V} < 0)]$$

D'après ces conditions, on peut déjà trouver un schéma synoptique.

Pour cela, on doit élaborer deux signaux A et B tels que:

$$A \iff (\dot{\omega}_V > \dot{\omega}_{\dot{V}}) \cup (\dot{\omega}_V < \dot{\omega}_{\dot{V}})$$

$$B \iff (\ddot{V} > 0) \cup (\ddot{V} < 0)$$

on pose :

$$A = 0 \iff \dot{\omega}_V < \dot{\omega}_{\dot{V}}$$

$$A = 1 \iff \dot{\omega}_V > \dot{\omega}_{\dot{V}}$$

$$B = 0 \iff \ddot{V} < 0$$

$$B = 1 \iff \ddot{V} > 0$$

Table de vérité donnant l'état de  $\frac{d\mu}{dG}$

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Le signal S détermine le signe de  $\frac{d\mu}{dG}$

$$S = 1 \iff \frac{d\mu}{dG} > 0$$

$$S = 0 \iff \frac{d\mu}{dG} < 0$$

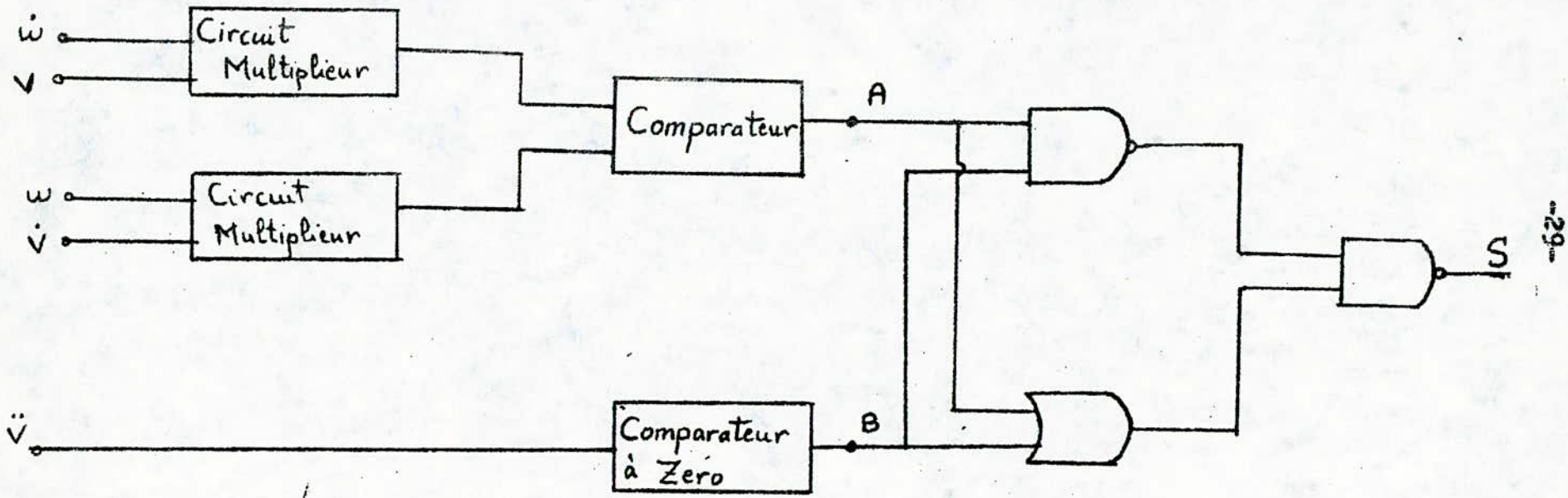
Ceci va nous permettre de dresser le schéma synoptique et logique du système I. (voir figure)/

### 2.8.2- Commande de la pression de freinage:

Le système de freinage électronique ainsi réalisé va être associé à d'autres signaux de commande qui permettront sa mise en service puis de contrôler son mode d'action sur la pression de freinage.

Ainsi, quand le conducteur décide de freiner, le freinage s'effectuera tout d'abord par voie classique jusqu'à l'apparition d'un "P" dit signal de prédiction caractérisant l'approche de la zone de blocage et qui marquera le début du freinage électronique.

Dans le cas du système I, le principe consiste à détecter le passage par une adhérence maximale, et ceci nous amène à élaborer un signal S qui sera à "1" ou à "0" suivant que  $\frac{d\mu}{dG} > 0$  ou  $\frac{d\mu}{dG} < 0$ .



SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME I

Ces trois informations : F,

F : décision de freinage du chauffeur

P : signal de prédiction

S :

vont nous permettre à notre système de réguler la pression du freinage.

On prendra :

F = 1 ( frein actionné )

F = 0 ( frein enlevé )

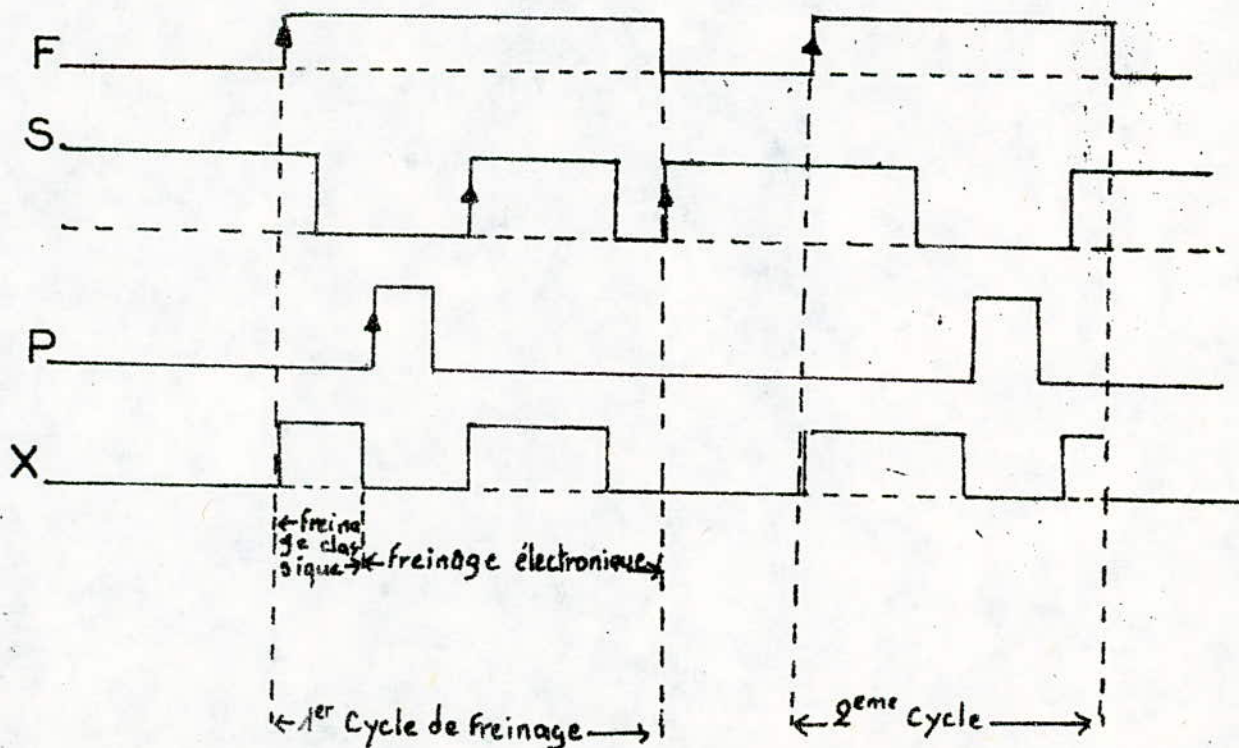
P = 1 ( risque de blocage imminent )

P = 0 ( roue libre )

S = 1 (  $d\mu/dG$  positive )

S = 0 (  $d\mu/dG$  négative )

chronogramme des signaux :



Ce chronogramme de signaux traduit toutes les possibilités susceptibles d'être rencontrées lors du processus de freinage. Il nous permet aussi de délimiter la zone d'action du freinage classique ainsi que celle du freinage électronique que nous allons présenter tout en mentionnant les états des différents signaux et cela durant le premier cycle de freinage:

a - freinage classique :

Il intervient dès que l'action de freinage est entamée et prend fin une fois que le signal de prédiction P apparaît.

F	S	P	X
1	1	0	1
1	0	0	1

On remarque que la commande de pression de freinage reste " indifférente " au signal S et par conséquent, elle se trouve toujours appliquée ( X = 1 ) durant cette première phase.

b - freinage électronique :

Il commence à devenir opératoire au moment de l'apparition du signal de prédiction, pour se terminer avec le cycle de freinage, c'est à dire quand le signal F passe à zero.

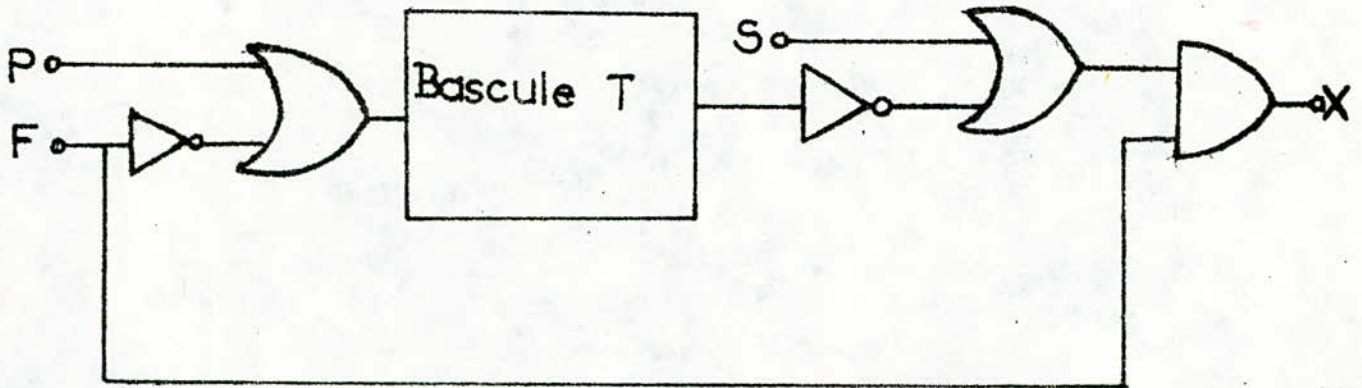
F	S	P	X
1	0	1	0
1	0	0	0
1	1	0	1
1	0	0	0
1	1	0	1
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
0	1	0	0

Nous retrouvons ici le principe de fonctionnement du système I déjà étudié, à savoir que la commande de pression de freinage n'est conditionnée que par le signal " S " et cela bien sûr durant le processus de freinage : c'est à dire  $F = 1$  .

Nous remarquons que le signal de prédiction " P " n'apparaît qu'une seule fois durant un cycle de freinage afin de donner la priorité de freinage au système électronique.

c - schéma de la commande de la pression de freinage :

On doit mettre au point un schéma global, donnant la sortie X de cette commande en fonction des signaux F, P et S.

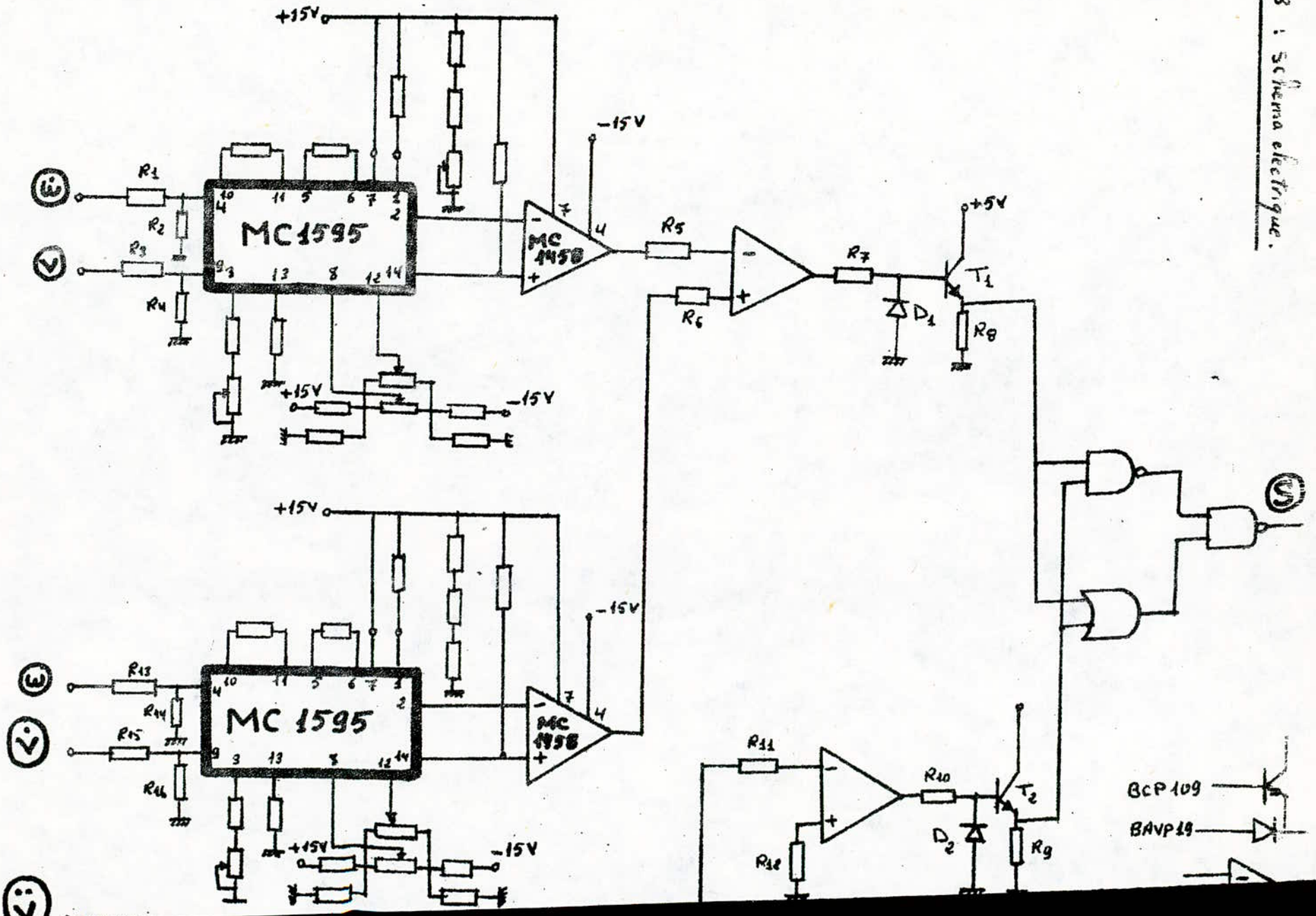


Dressons la table de vérité de la commande ainsi réalisée et comparant la avec.



F	P	$\bar{F}$	$\bar{F}+P$	Q	Q <sup>+</sup>	S	$\bar{Q}^+$	S+Q <sup>+</sup>	X = F (S+Q <sup>+</sup> )
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0	1	1	1	0

On remarque que le résultat est compatible avec la description qu'on s'était donnée au fonctionnement mixte de la commande de pression de freinage par voie classique et électronique.



### 2.8.4 - Fonctionnement du système I :

Le principe de fonctionnement du système I est simple, en effet, il s'agira de réaliser les conditions satisfaisant le critère de freinage optimal, à savoir :

$$(\dot{\omega} V > \omega \dot{V}) \text{ et } \ddot{V} > 0$$

ou

$$(\dot{\omega} V < \omega \dot{V}) \text{ et } \ddot{V} < 0$$

Pour cela, les grandeurs  $\omega$  et  $V$  étant au préalable converties en tension grâce aux transducteurs spécifiques de chacune d'elles, nous aurons besoin de deux multiplicateurs que nous donnons ici en circuits intégrés (MC 1595 et MC 1458) qui permettent d'effectuer les produits  $\dot{\omega}V$  et  $\omega\dot{V}$ .

Ces deux grandeurs sont ensuite appliquées à un comparateur de tension qui présentera à sa sortie un état de saturation positive ou négative suivant que  $\dot{\omega}V > \omega\dot{V}$  ou  $\dot{\omega}V < \omega\dot{V}$  ( $\omega\dot{V}$  étant considérée comme tension de référence). Enfin à la sortie sur émetteur ( Transistor  $T_1$  ) nous aurons des signaux carrés dont le niveau est limité à 5 V.

De la même façon, un troisième comparateur de tension ayant 0 comme tension de référence permet de déterminer les états pour lesquelles  $\ddot{V} > 0$  et  $\ddot{V} < 0$  et sur l'émetteur du transistor  $T_2$  nous obtiendrons des impulsions carrés ayant un niveau de 5V si  $\ddot{V} > 0$  et 0V si  $\ddot{V} < 0$ .

A l'aide de portes logique NAND et OR on définira à la fin de l'état de sortie S qu'on reprendra lors de la réalisation de la commande de la pression du freinage pour le système I.

## CHAPITRE 3

### - E T U D E D U S Y S T E M E I I -

#### 3.1 - CARACTERISTIQUES DU SYSTEME II.

Le système II que nous allons présenter maintenant est un dispositif de freinage électronique dont le principe est de contrôler séparément les roues avants et arrières par essieu.

Il est techniquement plus complexe que le système I, du fait du contrôle séparé des deux roues. Cependant, il présente une meilleure efficacité de freinage pour tous les sols relativement homogènes.

Le système II n'exige pas une dépendance entre les moments des couples de freinage avant ( $M_V^f$ ) et arrière ( $M_R^f$ ). Les caractéristiques fondamentales de ce système sont :

$$\omega_V \neq \omega_R$$

$$\mu_V(t) \neq \mu_R(t)$$

#### 3.2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

Le principe de fonctionnement est le même que dans le système I : c'est à dire que le système II a pour but de réguler la pression de freinage pour que l'adhérence utilisée soit maximale.

Pour plus de commodité on introduit les systèmes "Select-LOW" et "Select High" qui ont pour but d'asservir le calcul respectivement à la roue allant la première au blocage et à la roue allant la dernière au blocage.

##### 3.2.1- Select Low "SL".

Le système II équipé d'un "SL" va nous permettre d'avoir

un contrôle permanent des deux roues avants et arrière tout en réagissant une fois que l'une des roues va au blocage : c'est à dire dépasse une certaine valeur  $\omega_k$  ( valeur critique ).

Ici le risque de blocage est enrayé pour les deux roues. En effet l'asservissement du calcul va à la roue ayant la vitesse rotationnelle de " bas niveau " et la pression de freinage sera admise ou isolée suivant que cette vitesse rotationnelle soit supérieure ou inférieure à la valeur critique  $\omega_k$  .

### 3.2.2 - Select High "SH" .

Le système II doté d'un "SH" est moins efficace du point de vue freinage et stabilité.

En effet, le contrôle de l'admission ou de l'isolement de la pression de freinage est conditionnée par la roue allant la dernière au blocage.

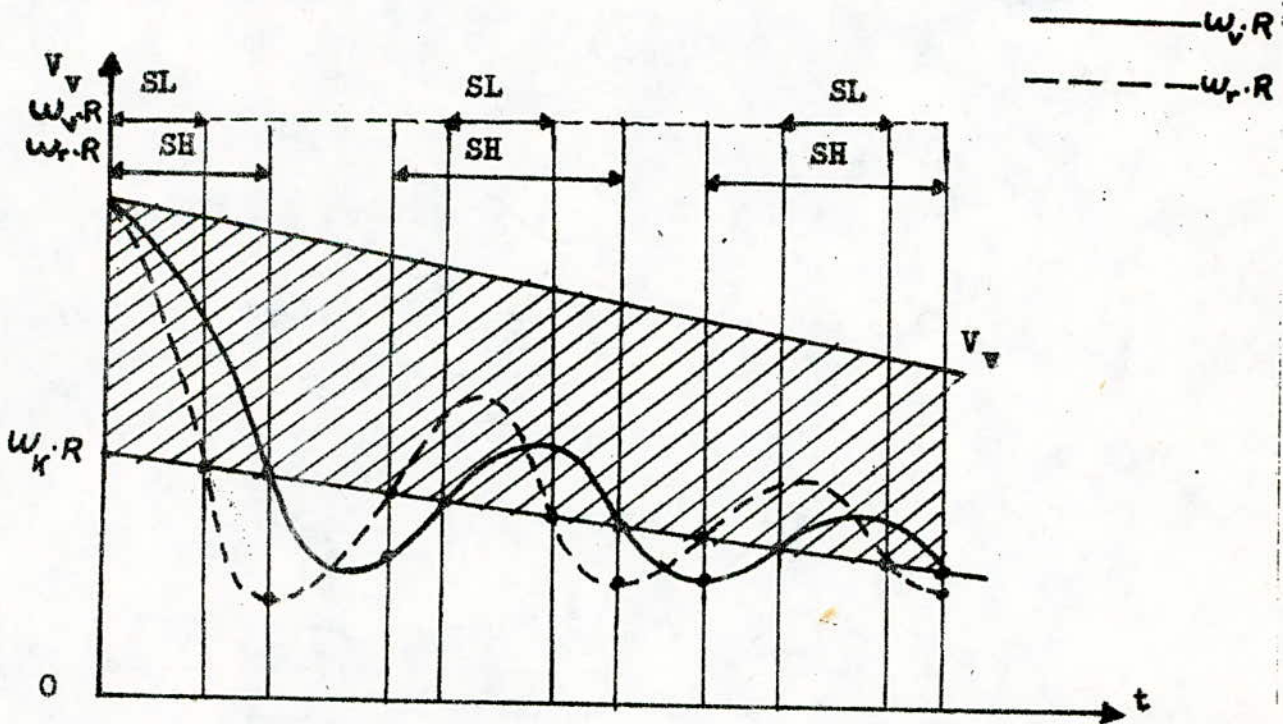
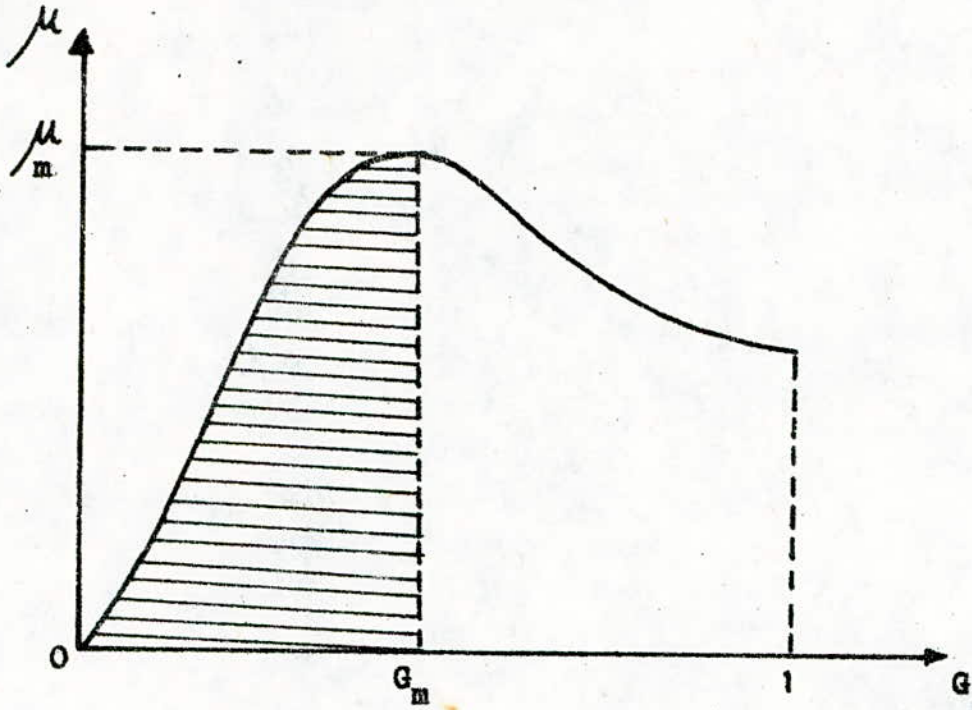
Cette pression de freinage reste appliquée même quand l'une des vitesse rotationnelle "descend" au dessous de la valeur critique  $\omega_k$ . Elle sera isolée par contre une fois que la deuxième vitesse atteint cette même valeur  $\omega_k$ .

L'asservissement du calcul va donc à la roue ayant la vitesse de "haut niveau".

#### Remarque :

Il existe cependant une zone dangereuse où les deux vitesses  $\omega_v$  et  $\omega_r$  se situent en dessous de  $\omega_k$ .

Le freinage dans ce cas est totalement interdit.



### 3.3 - EQUATIONS DU MOUVEMENT.

Dans le cas du système II, les équations du mouvement du véhicule demeurent les mêmes; à savoir :

$$(1) M \dot{V} = -T_V - T_R = -\mu_V N_V - \mu_R N_R$$

$$(2) I_V \dot{\omega}_V = T_V R_V - M_V^f = \mu_V R_V N_V - M_V^f$$

$$(3) I_R \dot{\omega}_R = T_R R_R - M_R^f = \mu_R R_R N_R - M_R^f$$

### 3.4 - MOMENT DU COUPLE DE FREINAGE.

Le système II, à l'avantage du système I ne nécessite aucune dépendance des deux moments du couple de freinage avant et arrière si bien que la modulation de la pression de freinage au niveau des deux va s'effectuer d'une manière indépendante.

### 3.5 - CRITERE DU FREINAGE OPTIMAL.

Le fonctionnement de l'unité de contrôle de la pression de freinage repose sur l'équation:

$$\frac{d\mu}{dG} > 0 \iff (\dot{\mu} > 0 \text{ et } \dot{G} > 0) \text{ ou } (\dot{\mu} < 0 \text{ et } \dot{G} < 0)$$

- Pour déterminer le signe de  $\frac{\partial G}{\partial t} = \dot{G}$ , on applique la relation :

$$\dot{G} > 0 \iff \omega \dot{V} - \dot{\omega} V > 0$$

$$\dot{G} < 0 \iff \omega \dot{V} - \dot{\omega} V < 0$$

Cette relation reste valable pour les roues avant ainsi que les roues arrière.

- Pour déterminer le signe de  $\frac{\partial \mu}{\partial t} = \dot{\mu}$  on part des deux équations :

$$\mu_v = \frac{1}{N_v R_v} \left[ I_v \dot{\omega}_v + M_v^f \right]$$

$$\mu_v = \frac{I_v}{R_v} \left[ \frac{1}{N_v} \right] \left[ \dot{\omega}_v + \frac{M_v^f}{I_v} \right] \text{ (roues avants)}$$

$$\mu_r = \frac{1}{N_r R_r} \left[ I_r \dot{\omega}_r + M_r^f \right]$$

$$\mu_r = \frac{I_r}{R_r} \cdot \frac{1}{N_r} \left[ \dot{\omega}_r + \frac{M_r^f}{I_r} \right] \text{ (roues arrières)}$$

En dérivant on obtient :

$$\dot{\mu}_v = \frac{I_v}{R_v N_v^2} \left[ \ddot{\omega}_v N_v - \dot{\omega}_v \dot{N}_v \right]$$

et

$$\dot{\mu}_r = \frac{I_r}{R_r N_r^2} \left[ \ddot{\omega}_r N_r - \dot{\omega}_r \dot{N}_r \right]$$

Il faut remarquer qu'ici, le moment du couple de freinage est soit nul soit maximal.

$$\dot{\mu}_v > 0 \iff \ddot{\omega}_v N_v - \dot{\omega}_v \dot{N}_v > 0$$

$$\dot{\mu}_v > 0 \iff \ddot{\omega}_v N_v > \dot{\omega}_v \dot{N}_v$$

$$\dot{\mu}_r > 0 \iff \ddot{\omega}_r N_r - \dot{\omega}_r \dot{N}_r > 0$$

$$\dot{\mu}_r > 0 \iff \ddot{\omega}_r N_r > \dot{\omega}_r \dot{N}_r$$

et

$$\dot{\mu}_v < 0 \iff \ddot{\omega}_v N_v - \dot{\omega}_v \dot{N}_v < 0$$

$$\dot{\mu}_v < 0 \iff \ddot{\omega}_v N_v < \dot{\omega}_v \dot{N}_v$$



$$\dot{\mu}_r < 0 \iff \ddot{\omega}_r N_r - \dot{\omega}_r \dot{N}_r < 0$$

$$\dot{\mu}_r < 0 \iff \ddot{\omega}_r N_r < \dot{\omega}_r \dot{N}_r$$

Ceci nous donne le signe de  $\frac{d\mu}{dG}$

$$\frac{d\mu}{dG} > 0 \iff \text{ou } (\dot{\omega}_v V > \omega_v \dot{V}) \text{ et } (\ddot{\omega}_v N_v > \dot{\omega}_v \dot{N}_v)$$

$$(\dot{\omega}_v V < \omega_v \dot{V}) \text{ et } (\ddot{\omega}_v N_v < \dot{\omega}_v \dot{N}_v)$$

(roues avants)

$$\frac{d\mu}{dG} > 0 \iff \text{ou } (\dot{\omega}_r V > \omega_r \dot{V}) \text{ et } (\ddot{\omega}_r N_r > \dot{\omega}_r \dot{N}_r)$$

$$(\dot{\omega}_r V < \omega_r \dot{V}) \text{ et } (\ddot{\omega}_r N_r < \dot{\omega}_r \dot{N}_r)$$

(roues arrières)

Ce sont là, les conditions sur  $\omega_v$ ,  $\omega_r$ ,  $V$ ,  $N_v$ ,  $N_r$  pour avoir un freinage optimal, c'est à dire lors du passage par l'adhérence maximale.

### 3.6 - SCHEMA ELECTRIQUE DU SYSTEME II.

#### 3.6.1 - Schéma synoptique et logique:

Les conditions du freinage optimal, qu'on a vues précédemment vont nous permettre de dresser un schéma synoptique et logique pour le fonctionnement mixte système " Slect High " et " Select Low ".

Pour celà, on va élaborer des signaux A, B, C et D définis comme suit :

$$A \iff (\dot{\omega}_v V > \omega_v \dot{V}) \cup (\dot{\omega}_v V < \omega_v \dot{V})$$

$$B \iff (\ddot{\omega}_v N_v > \dot{\omega}_v \dot{N}_v) \cup (\ddot{\omega}_v N_v < \dot{\omega}_v \dot{N}_v)$$

$$C \iff (\dot{\omega}_r V > \omega_r \dot{V}) \cup (\dot{\omega}_r V < \omega_r \dot{V})$$

$$D \iff (\ddot{\omega}_r N_r > \dot{\omega}_r \dot{N}_r) \cup (\ddot{\omega}_r N_r < \dot{\omega}_r \dot{N}_r)$$

Nous allons maintenant dresser une table de vérité dans laquelle on va citer tous les états possibles, susceptibles d'être pris par les signaux A, B, C, D.

On prendra :

$$A = 1 \iff (\dot{\omega}_v V > \omega_v \dot{V})$$

$$A = 0 \iff (\dot{\omega}_v V < \omega_v \dot{V})$$

$$B = 1 \iff (\ddot{\omega}_v N_v > \dot{\omega}_v \dot{N}_v)$$

$$B = 0 \iff (\ddot{\omega}_v N_v < \dot{\omega}_v \dot{N}_v)$$

$$C = 1 \iff (\dot{\omega}_r V > \omega_r \dot{V})$$

$$C = 0 \iff (\dot{\omega}_r V < \omega_r \dot{V})$$

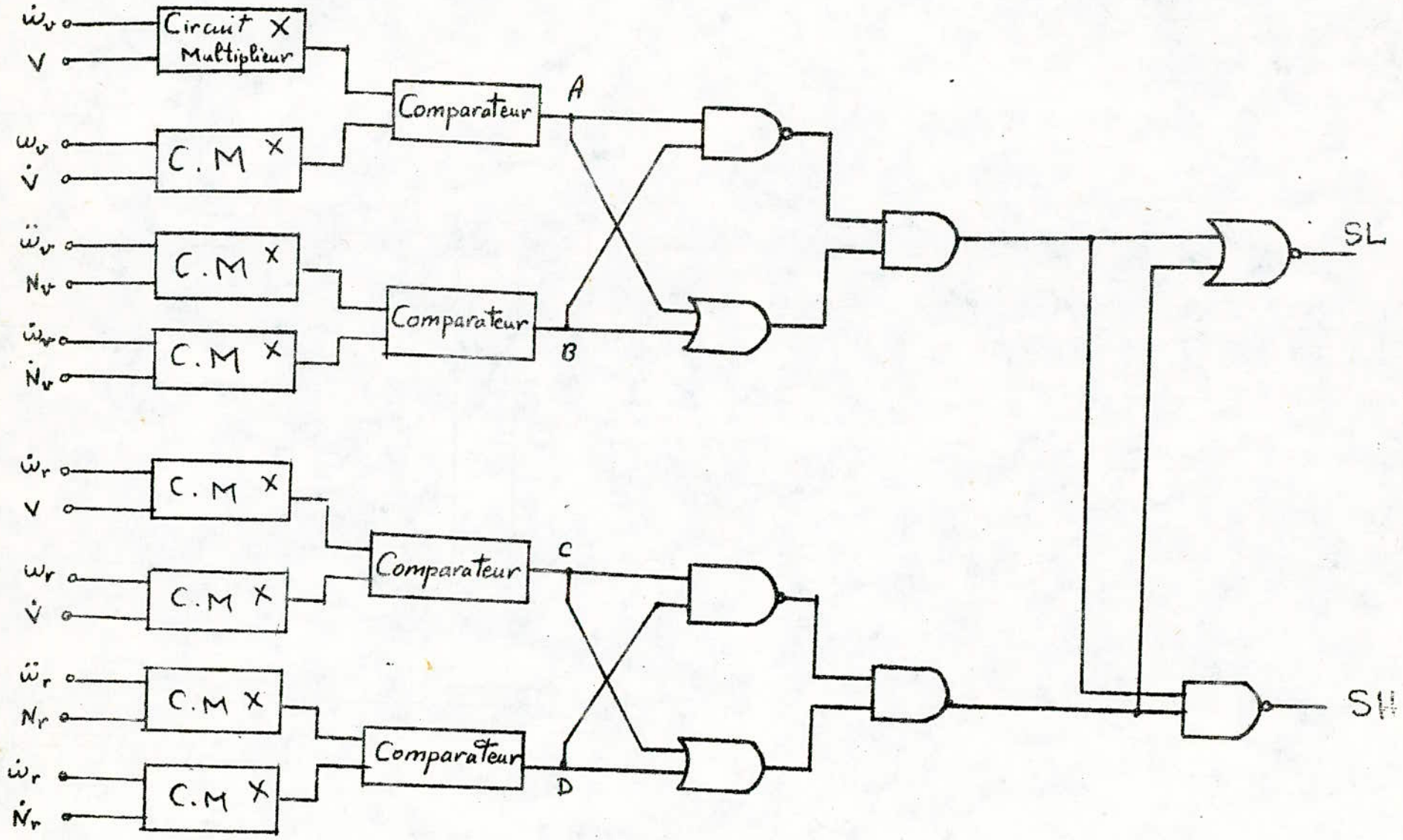
$$D = 1 \iff (\ddot{\omega}_r N_r > \dot{\omega}_r \dot{N}_r)$$

$$D = 0 \iff (\ddot{\omega}_r N_r < \dot{\omega}_r \dot{N}_r)$$

Les signaux A et B, C et D sont les sorties respectivement des comparateurs ( 1, 2, 3 et 4 ) qui vont nous permettre d'effectuer les différentes comparaisons.

TABLE DE VERITE :

A	B	C	D	SL	SH
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1



SCHEMA SYNOPTIQUE DU SL ET SH

### 3.6.2 - Fonctionnement du système SL - SH.

Le fonctionnement du montage présenté sous sa forme synoptique va être analogue à celui déjà décrit dans le cas d'obtention du signal "S" du système I.

En effet ici nous aurons besoin de huit multiplicateurs permettant d'effectuer les produits  $\dot{\omega}_V V$ ,  $\dot{\omega}_V \dot{V}$ ,  $\ddot{\omega}_V N_V$ ,  $\dot{\omega}_V \dot{N}_V$ ,  $\dot{\omega}_R V$ ,  $\dot{\omega}_R \dot{V}$ ,  $\ddot{\omega}_R N_R$  et  $\dot{\omega}_R \dot{N}_R$ .

Les grandeurs électriques de sortie de chaque multiplicateur sont réunies deux à deux ( dans l'ordre ci-dessus ) aux entrées de quatre comparateurs qui vont être saturé positivement ou négativement suivant que :

$$\dot{\omega}_V V > \dot{\omega}_V \dot{V} \quad \text{ou} \quad \dot{\omega}_V V < \dot{\omega}_V \dot{V} \quad (\text{comparateur 1})$$

$$\ddot{\omega}_V N_V > \dot{\omega}_V \dot{N}_V \quad \text{ou} \quad \ddot{\omega}_V N_V < \dot{\omega}_V \dot{N}_V \quad (\text{comparateur 2})$$

$$\dot{\omega}_R V > \dot{\omega}_R \dot{V} \quad \text{ou} \quad \dot{\omega}_R V < \dot{\omega}_R \dot{V} \quad (\text{comparateur 3})$$

$$\ddot{\omega}_R N_R > \dot{\omega}_R \dot{N}_R \quad \text{ou} \quad \ddot{\omega}_R N_R < \dot{\omega}_R \dot{N}_R \quad (\text{comparateur 4})$$

A l'aide de quatre circuit limiteur de tension placés à la sortie de chaque comparateur nous obtiendrons des signaux carrés dont le niveau de tension sera 5 V ou 0 V suivant que l'on a l'une ou l'autre des conditions pour chaque comparateur.

Il conviendra alors de construire un circuit à portes logiques AND, OR, NAND et NOR pour définir séparément les systèmes Select Low (SL) et Select High (SH) pour le système II.

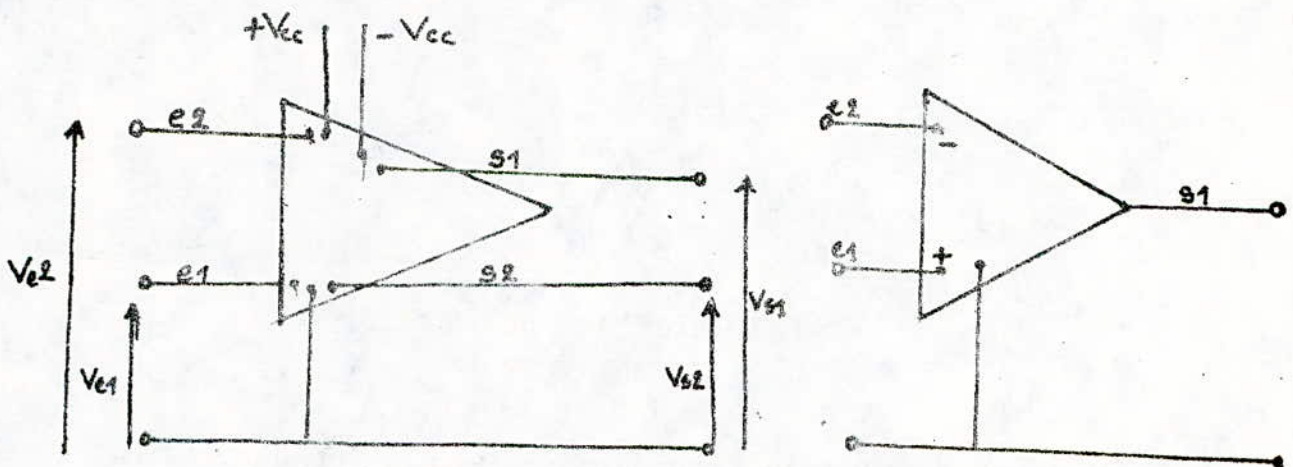
## CHAPITRE 4.

### - NOTION SUR L'AMPLIFICATEUR - OPERATIONNEL

L'amplificateur opérationnel était très souvent employé dans les calculateurs analogiques pour effectuer les opérations usuelles telles que : l'addition, la soustraction, la dérivation, l'intégration...

Depuis, les applications de l'amplificateur opérationnel se sont étendues à de nombreuses autres applications.

#### 4.1 - DEFINITION DES CARACTERISTIQUES .



Pour être polyvalent, un amplificateur opérationnel de tension doit présenter deux entrées et deux sorties. Les sorties permettent de délivrer deux tensions  $V_{s1}$  et  $V_{s2}$  de phase opposées dont les valeurs sont soit positives par rapport au potentiel commun aux deux sources de tension d'alimentation  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ , soit négatives. Ce potentiel commun peut éventuellement être considéré comme le zéro électrique ou la masse.

Cependant, la plus part des amplificateurs opérationnels

présentent deux entrées et une sortie. L'amplificateur de tension doit avoir :

- Une très faible impédance de sortie.  
(quelques centaines d'ohms)
- Une très grande impédance d'entrée.  
(en général  $\geq M\Omega$ )
- Un grand gain en tension.

En plus de ces qualités fondamentales, on peut ajouter d'autres caractéristiques qui permettent de définir les performances réelles d'un amplificateur opérationnel.

a) Caractéristiques d'entrées :

- \* Tension résiduelle d'entrée: (tension d'offset  $V_{io}$ )

L'amplificateur réel peut être représenté par un amplificateur idéal présentant à son entrée une tension équivalente d'erreur  $V_{io}$ .

Pour obtenir une tension de sortie nulle, il devient donc impératif d'appliquer à l'entrée de l'amplificateur réel une tension  $V_{io}$  de l'ordre du milli-Volt qui annule la source parasite.

- \* Courants d'entrée:

Pour les amplificateurs opérationnels réalisés à l'aide de transistors à jonction, on doit avoir des courants de polarisation (courant de base). Ceux-ci doivent être identiques pour les deux entrées.

Ces courants ont une très faible valeur, (de l'ordre de  $\mu A$ ).

- \* Tension d'alimentation:

L'amplificateur opérationnel utilise deux alimentations distinctes, mais ces deux tensions ne doivent pas dépasser une certaine valeur absolue maximale qui risque de détériorer l'amplificateur, comme elles doivent avoir une limite inférieure

(valeur minimale) pour assurer son bon fonctionnement ( zone linéaire).

\* Tension d'entrée maximale :

Celle-ci ne doit en aucun cas dépasser la tension d'alimentation sous risque de détériorer l'amplificateur. Cette tension est en générale inférieure à la tension d'alimentation de 1 à 2 Volt.

\* Taux de réjection en mode commun :

( C.M.R.R )

Un amplificateur réel produit toujours un petit signal à la sortie quand on applique à son entrée deux signaux identiques en mode commun.

Ceci est du au fait que ces deux signaux ne s'équilibrent pas parfaitement.

L'aptitude de l'amplificateur à rejeter ces signaux du mode commun s'exprime par le taux de rejection en mode commun qui diminue énormément avec la fréquence.

$$C.M.R.R = \frac{V_{cm}}{V_i}$$

$V_{cm}$  : tension commune d'entrées

$V_i$  : tension différentielle d'entrée

La sortie  $V_o$  quand on applique la tension  $V_i$  à l'entrée vaut :

$$V_o = A_v V_i$$

où  $A_v$  est le gain en tension de l'amplificateur

$$d'où : C M R R = A_v \frac{V_{cm}}{V_o}$$

Les valeurs courantes du C M R R sont de l'ordre de 90 dB

#### b) Caractéristiques de sortie/

\* Tension de sortie normale.

Si l'amplificateur est surchargé, il se trouve alors à l'état saturé. Dans ces conditions, sa tension de sortie est



limitées par la tension d'alimentation.

#### 4.2 - APPLICATIONS DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.

##### 4.2.1- Comparateur de tension:

Cette fonction est souvent utilisée pour transformer une information analogique en information digitale. Un comparateur est un organe analogique, essentiellement un amplificateur opérationnel qui a pour fonction d'indiquer si la tension analogique appliquée sur l'une de ses bornes est inférieure ou supérieure à une tension de référence appliquée sur l'autre entrée. L'égalité de ces tensions ne donne pas une troisième possibilité au test de comparaison et elle est assimilée au cas d'infériorité.

- comparateur en boucle ouverte (voir figures 3,4,5).

##### 4.2.2 - Intégrateur:

Le schéma de principe d'un montage intégrateur à amplificateur opérationnel est donné par la figure:6. Si on suppose que l'amplificateur est idéal, le courant traversant la résistance R est égal à celui traversant le condensateur d'intégration C donc :

$$i_R = i_C = i$$

Pendant un intervalle de temps fixe, la tension aux bornes du condensateur est :

$$V_C = \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt$$

d'autre part :

$$i_C = i_R = i = \frac{V_e}{R}$$

d'où :

$$V_C = \frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt$$

De plus on a :

$$V_S = V_C$$

il vient que :

$$V_S = - \frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt = - \frac{1}{\tau} \int_0^t V_e dt$$

avec :

$$\tau = \frac{R}{C} \quad : \text{constante d'integration}$$

Réponse en fréquence :

$$V_S = - \frac{1}{\tau} \int_0^t V_e dt \implies V_S = - \frac{V_e}{\tau P} \quad \text{avec } P = j\omega$$

d'où l'expression du gain en tension :

$$G(P) = \frac{V_S}{V_e} = - \frac{1}{\tau P}$$

L'allure du gain en fonction de la fréquence est donnée par la figure : 9

On remarque que la tension de sortie est proportionnelle à l'intégrale de la tension d'entrée.

Ce montage est usuellement utilisé pour obtenir un signal en dents de scie à partir d'un signal en créneau.

Cependant, aux très basses fréquences, il perd sa fonction d'intégrateur.

Pour pallier à cet inconvénient, on utilise un amplificateur inverseur avec circuit correcteur, disposé en parallèle sur la résistance de retour.

On obtient ainsi un intégrateur adapté aux différentes fréquences mais de gain fini.

Schéma pratique ( voir figure 7 )

Le montage integrateur proposé précédemment présente un défaut quant à la saturation de l'amplificateur opérationnel par le courant d'offset. En effet, il devient impératif de compenser ce courant par l'introduction d'une résistance  $R'$  en contre réaction et dont le but serait de réduire le gain aux basses fréquences. soient :

$$Z_1 = R' // C \quad \text{---} \quad Z_1 = \frac{R}{1+R'CP}$$

$$Z_2 = R$$

Le gain en tension s'écrira :

$$G(P) = \frac{V_s(P)}{V_e(P)} = - \frac{Z_1(P)}{Z_2(P)} = - \frac{R'}{R} \cdot \frac{1}{1+R'CP}$$

En continu, le gain est fixé par le rapport  $R'/R$ .

Ce type de montage ne peut intégrer que les signaux dont la pulsation  $\omega$  est telle que :  $\omega \gg \frac{1}{RC}$

La courbe donnant le gain en boucle fermée est représentée par la figure :8

Le module du gain est réduit de 6 dB par octave. du fait de la réduction de la bande passante, l'influence du bruit sur l'intégrateur sera insignifiante.

Integrateur avec conditions initiales (voir figure 10)

La tension est donnée par :

$$V_s = - \frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt + V_0$$

$V_0$  étant la tension initiale introduite aux bornes du condensateur. L'intégration d'un signal doit être précédée d'une mise en conditions initiales avant de passer au calcul proprement dit.

### 4.2.3- Dérivateur :

La fonction de dérivation étant l'inverse de l'intégration. Les montages intégrateurs peuvent être transposés en dérivateurs.

Schéma de principe ; ( figure 11 )

La résistance d'entrée de l'amplificateur opérationnel étant supposée très grande, donc les courants traversant la résistance R et la capacité C sont égaux.

$$i_R = i_C = i$$

On sait que :

$$i = \frac{V_A - V_S}{R} = - \frac{V_S}{R} \quad (A : \text{masse virtuelle})$$

d'autre part :

$$i = C \frac{dV_C}{dt} \quad \text{et} \quad V_C = V_e - V_A$$

Il vient que :

$$V_S = - RC \frac{dV_e}{dt}$$

Réponse en fréquence :

$$V_S = - RC \frac{dV_e}{dt}$$

en posant :

$$P = \frac{d}{dt} \quad \text{on aura :}$$

$$V_S = - RC P V_e$$

posons :

$$T = RC = P \quad V_S = - T_P V_e$$

d'où le gain en tension :

$$G(P) = \frac{V_S}{V_e} = - TP$$

Ce montage n'est pas stable car il conduit à un gain croissant avec la fréquence.

Pour remédier à cet inconvénient, on introduit une capacité en parallèle à la résistance R et une résistance en série avec la capacité C.

Ces éléments rajoutés diminuent le gain, surtout aux fréquences élevées pour laquelle l'impédance d'entrée est très faible.

Schéma pratique ( voir figure 12 )

La figure donne un schéma pratique d'un montage dérivateur avec compensation.

Entre le point A et l'entrée on a une impédance série:

$$Z_s = R + \frac{1}{C P}$$

Entre le point A et la sortie on a une impédance parallèle :

$$Z_p = \frac{R'}{1 + R' C' P}$$

or :

$$i = \frac{V_e - V_A}{Z_s} = \frac{V_e}{Z_s} \quad A : \text{masse virtuelle.}$$

et :

$$i = \frac{V_A - V_s}{Z_p} = - \frac{V_s}{Z_p}$$

ceci entraîne :

$$\frac{V_e}{Z_s} = - \frac{V_s}{Z_p}$$

d'où le gain en tension :

$$G = \frac{V_e}{V_s} = - \frac{Z_p}{Z_s}$$

$$G(P) = - \frac{R' C P}{(1 + R C P) (1 + R' C' P)}$$

En posant :

$$T = RC \quad \text{et} \quad T' = R' C'$$

$$G(P) = - \frac{R'CP}{(1+T_p)(1+T'_p)}$$

En pratique, on veut avoir  $T = T'$  afin d'avoir un amortissement critique, et  $R \ll R'$  donc  $C \gg C'$

Etude de la fonction de transfert :

pour  $T = T'$

$$G(P) = - \frac{R'CP}{(1+T_p)^2} \quad \text{avec} \quad p = j\omega$$

Trois cas peuvent se présenter :

(1)  $T\omega \ll 1$

on aura donc :

$$\omega \ll \frac{1}{T} = \frac{1}{RC} = \frac{1}{R'C'}$$

Dans ce cas :

$$G(P) = - R'CP$$

Le montage se comporte en dérivateur dont la fréquence de coupure est obtenue quand  $|G(P)| = 1$

$$|G(P)| = 1 \implies R' C \omega_0 = 1 \implies \omega_{01} = \frac{1}{R'C}$$

d'où :

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi R'C}$$

$$(2) \quad T \omega \gg 1$$

on aura  $\omega \gg \frac{1}{T}$

L'expression du gain devient :

$$G(P) = - \frac{R'CP}{(TP)^2}$$

$$T = \frac{1}{RC} \implies C = \frac{T}{R}$$

$$\text{d'où : } G(P) = - \frac{R'}{RR'CP} = - \frac{1}{R'CP}$$

Le montage se compose comme un integrateur dont la fréquence de coupure vaut :

$$|G(P)| = 1 \implies \frac{1}{RC'\omega} = 1 \implies \omega_{0.2} = \frac{1}{RC'}$$

d'où :

$$f_{0.2} = \frac{1}{2\pi RC'}$$

$$(3) \quad T\omega = 1$$

dans ce cas on a :

$$\omega = \frac{1}{T} = \frac{1}{RC} = \frac{1}{R'C'}$$

$$\text{d'où : } F = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi R'C'}$$

F est la fréquence à partir de laquelle le montage ne se comporte plus en dérivation, mais en integrateur. On définit ainsi la fréquence critique.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi R'C'}$$

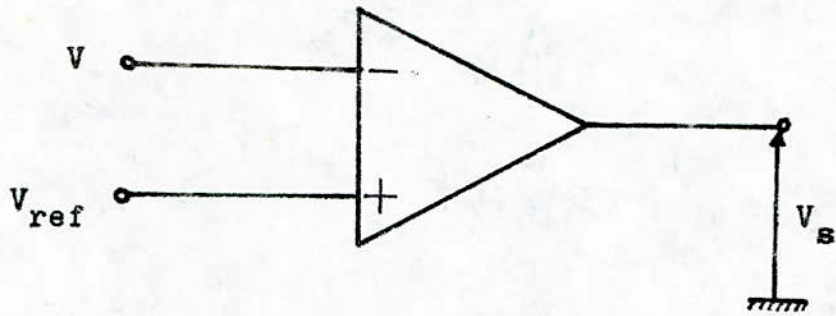


Fig : 3 Comparateur

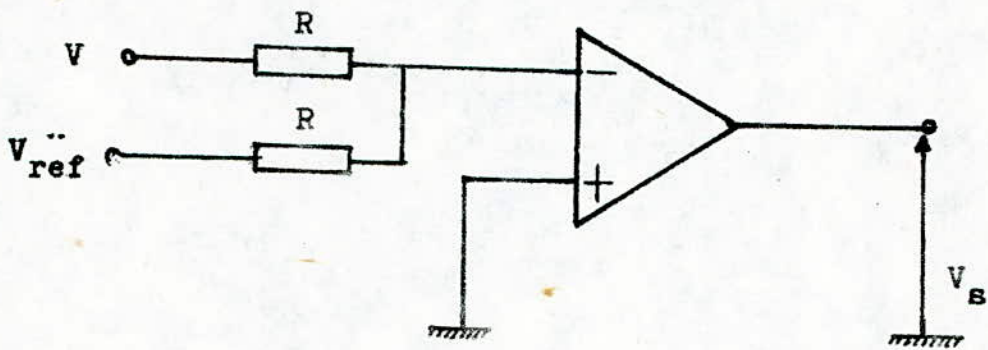


Fig : 4 Comparateur

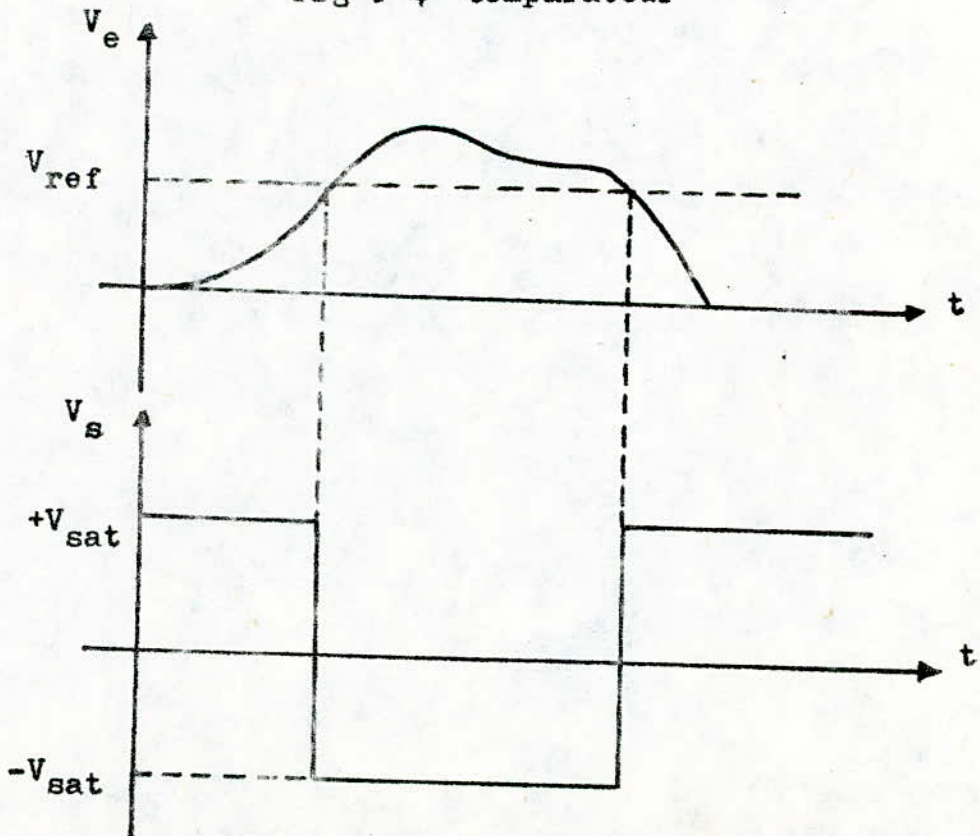


Fig : 5 Principe de fonctionnement



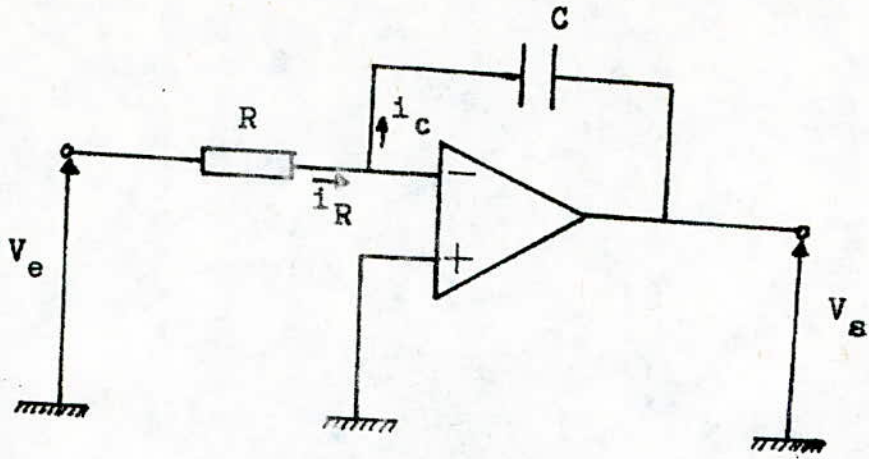


Fig : 6 Integrateur théorique

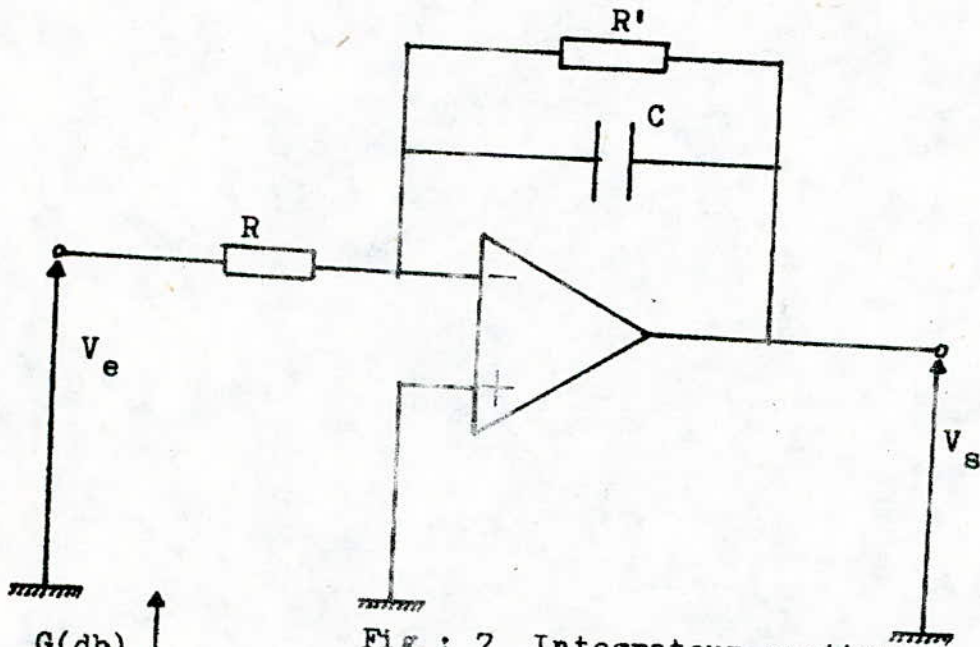


Fig : 7 Integrateur pratique.

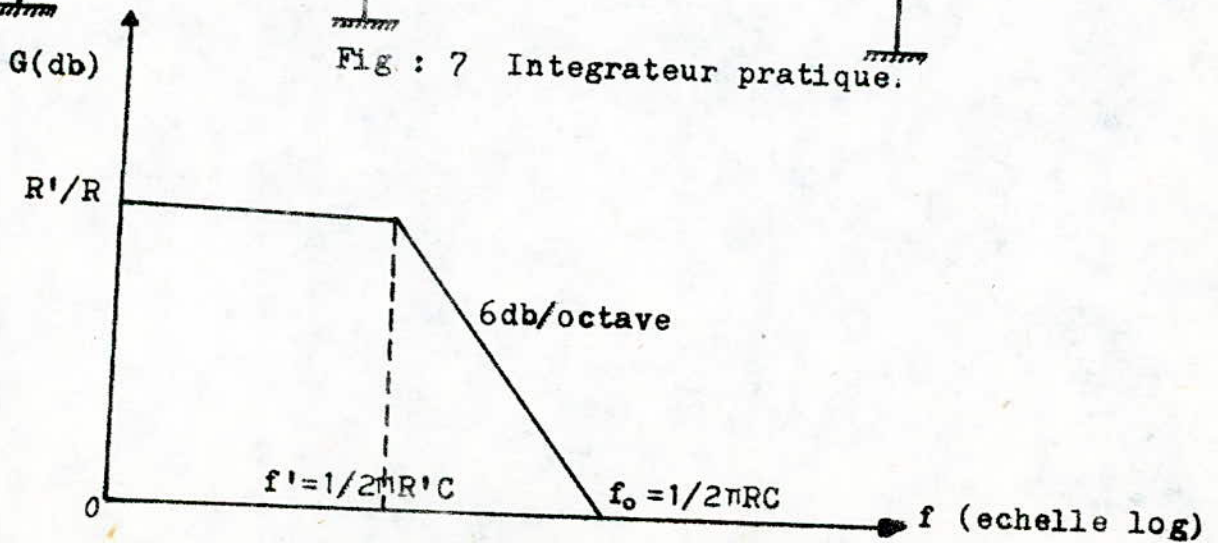


Fig : 8 Reponse réelle

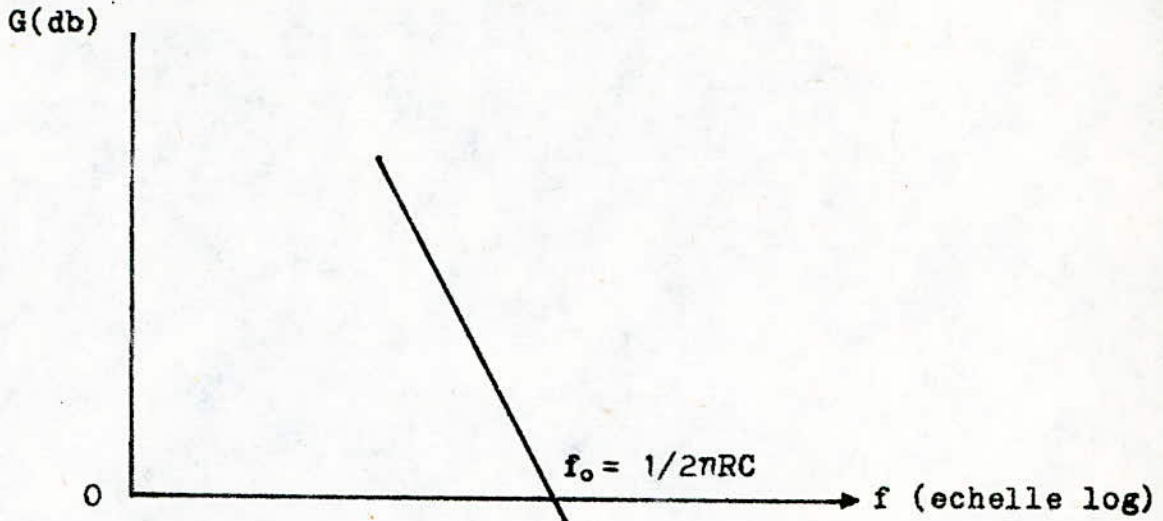


Fig : 9 Reponse théorique

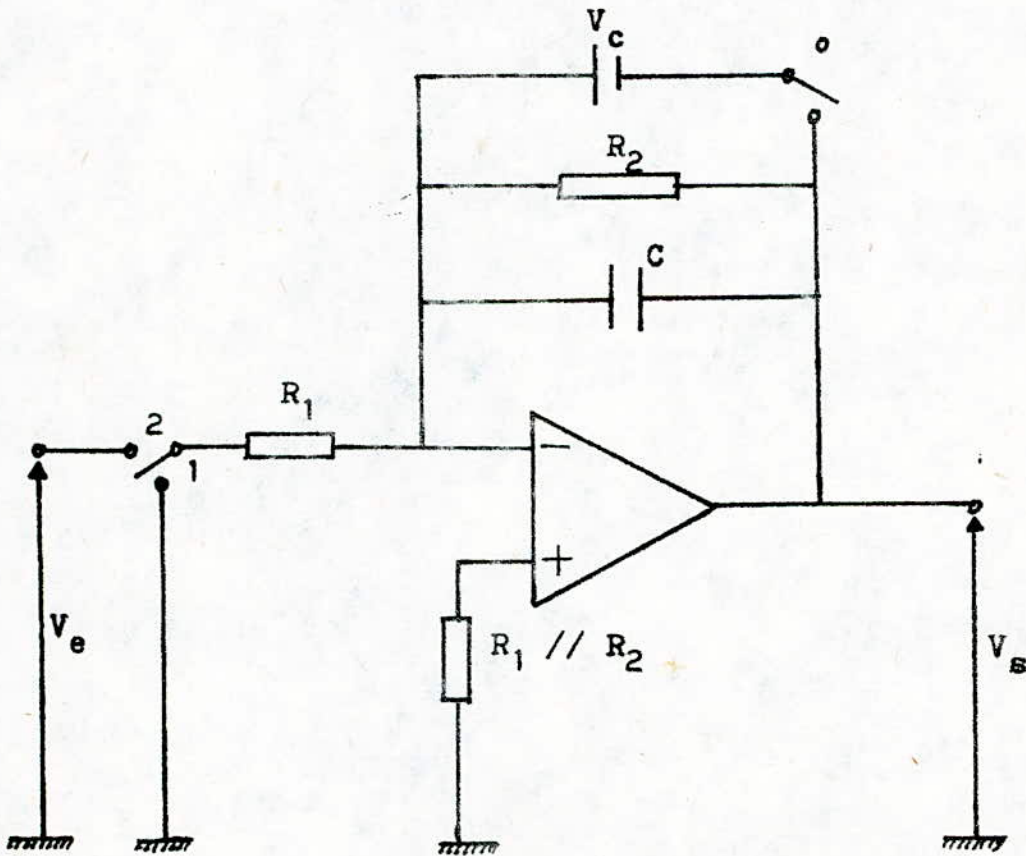


Fig : 10 Integrateur avec conditions initiales

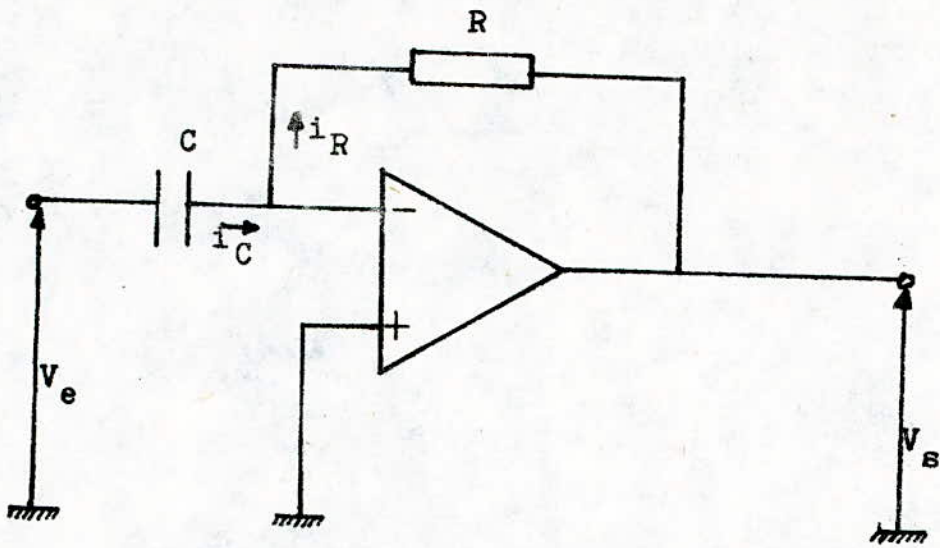


Fig: 11 Derivateur théorique

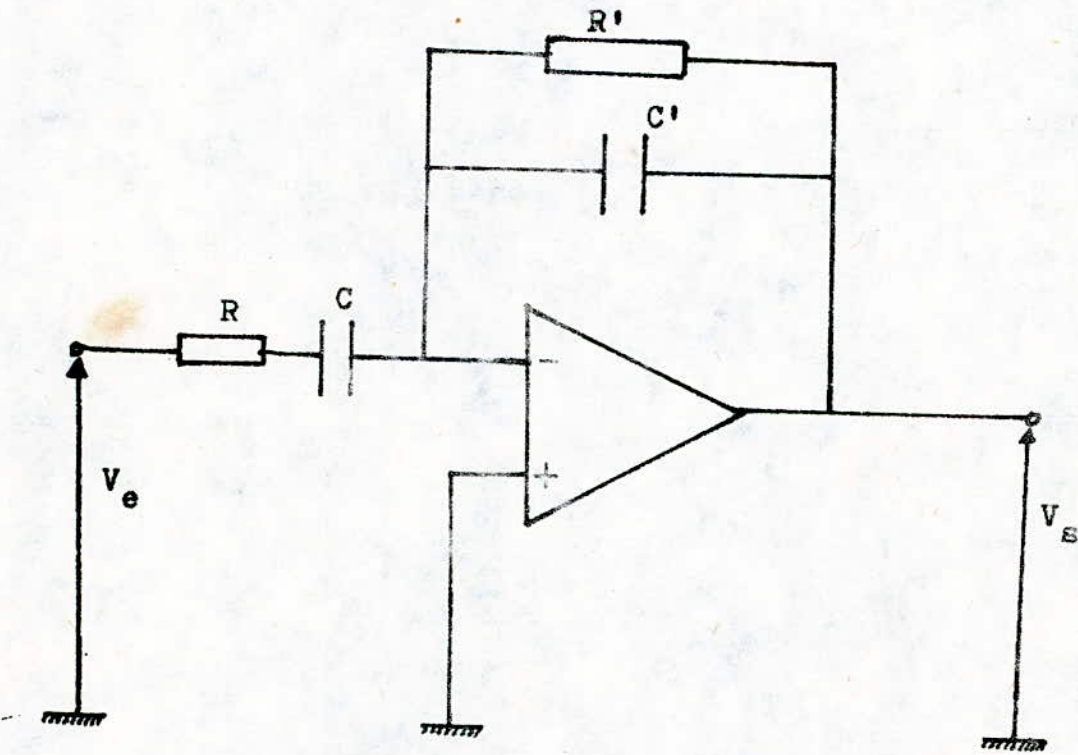


Fig : 12 Derivateur pratique

## - E T U D E D U S Y S T E M E I I I -

5.1 - SIGNAL DE PREDICTION "P"

Pour déterminer le signal de prédiction "P" on doit tenir compte des paramètres cinétiques du véhicule et voir quelles conditions ils doivent remplir dans le cas où le véhicule se trouverait dans une situation dangereuse.

Pour cela, il existe plusieurs types de systèmes permettant de prédire le danger pour un véhicule sur route. Les uns prennent en considération l'accélération  $\dot{\omega}$  de la roue et les autres imposent des conditions sur la vitesse angulaire de la roue en plus de celle déjà imposée sur l'accélération.

$$P_1 \iff -\dot{\omega} \geq \frac{R_1}{R} \quad \text{ou} : -\dot{\omega} R \geq k_1$$

$$P_2 \iff -\dot{\omega} k_2 \geq \omega k_3$$

Nous allons définir le signal de prédiction "P<sub>1</sub>" et donner le schéma d'obtention d'un tel signal.

Pour le signal de prédiction P<sub>1</sub>, la constante K<sub>1</sub> dépend des valeurs prises par la vitesse du véhicule ainsi que de son accélération comparativement à certaines valeurs de vitesse et d'accélération de la roue ayant fixées au préalable.

Tout d'abord, on définira trois zones dans lesquelles la vitesse du véhicule est susceptible durant le processus de freinage.

$$\text{Zone I} \iff V < V_1$$

$$\text{Zone II} \iff V_1 < V < V_2$$

$$\text{Zone III} \iff V > V_2$$

avec  $V_1 = 40 \text{ Km/h}$  et  $V_2 = 100 \text{ Km/h}$

La comparaison de l'accélération du véhicule  $\dot{V}$  avec celle des roues avants  $\dot{V}_v$ , va introduire deux cas distincts pour chaque zone.

En effet, l'accélération du véhicule peut être supérieure ou inférieure à l'accélération périphérique des roues avants.

Le cas d'égalité ne constituera pas un troisième état possible mais il sera assimilé au cas d'infériorité et cela conformément au fonctionnement du comparateur de tension.

On est donc amené à élaborer les signaux  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  et  $A_6$  pour pouvoir définir correctement les trois zones considérées.

$$A_1 \equiv (V < V_1) \cap (\dot{V} > \dot{V}_v)$$

$$A_2 \equiv (V < V_1) \cap (\dot{V} < \dot{V}_v)$$

$$A_3 \equiv (V_1 < V < V_2) \cap (\dot{V} > \dot{V}_v)$$

$$A_4 \equiv (V_1 < V < V_2) \cap (\dot{V} < \dot{V}_v)$$

$$A_5 \equiv (V > V_2) \cap (\dot{V} > \dot{V}_v)$$

$$A_6 \equiv (V > V_2) \cap (\dot{V} < \dot{V}_v)$$

#### Elaboration des signaux $A_i$ :

Trois comparateurs 1, 2, 3 vont effectuer la comparaison des valeurs électriques de  $V_1$  et  $V_2$  utilisées comme tension de référence pour les comparateurs 1, 2 avec celle de  $V$  du véhicule et de l'accélération  $\dot{V}$  avec celle de  $\dot{V}_v$  accélération des roues avants utilisée comme tension de référence du comparateur 3.

Pour élaborer les signaux  $A_i$ , il convient d'utiliser des portes logiques appropriées.

Appelon  $B, C, D$  les sorties respectives des comparateurs 1, 2, 3.

$$B = 1 \iff V > V_1$$

$$B = 0 \iff V < V_1$$

$$C = 1 \iff V > V_2$$

$$C = 0 \iff V < V_2$$

$$D = 1 \iff \dot{V} > \dot{V}_v$$

$$D = 0 \iff \dot{V} < \dot{V}_v$$

Il vient que :

$$A_1 \iff (B = 0) \cap (C = 0) \cap (D = 1) \implies A_1 = \bar{B} \bar{C} D$$

$$A_2 \iff (B = 0) \cap (C = 0) \cap (D = 0) \implies A_2 = \bar{B} \bar{C} \bar{D}$$

$$A_3 \iff (B = 1) \cap (C = 0) \cap (D = 1) \implies A_3 = B \bar{C} D$$

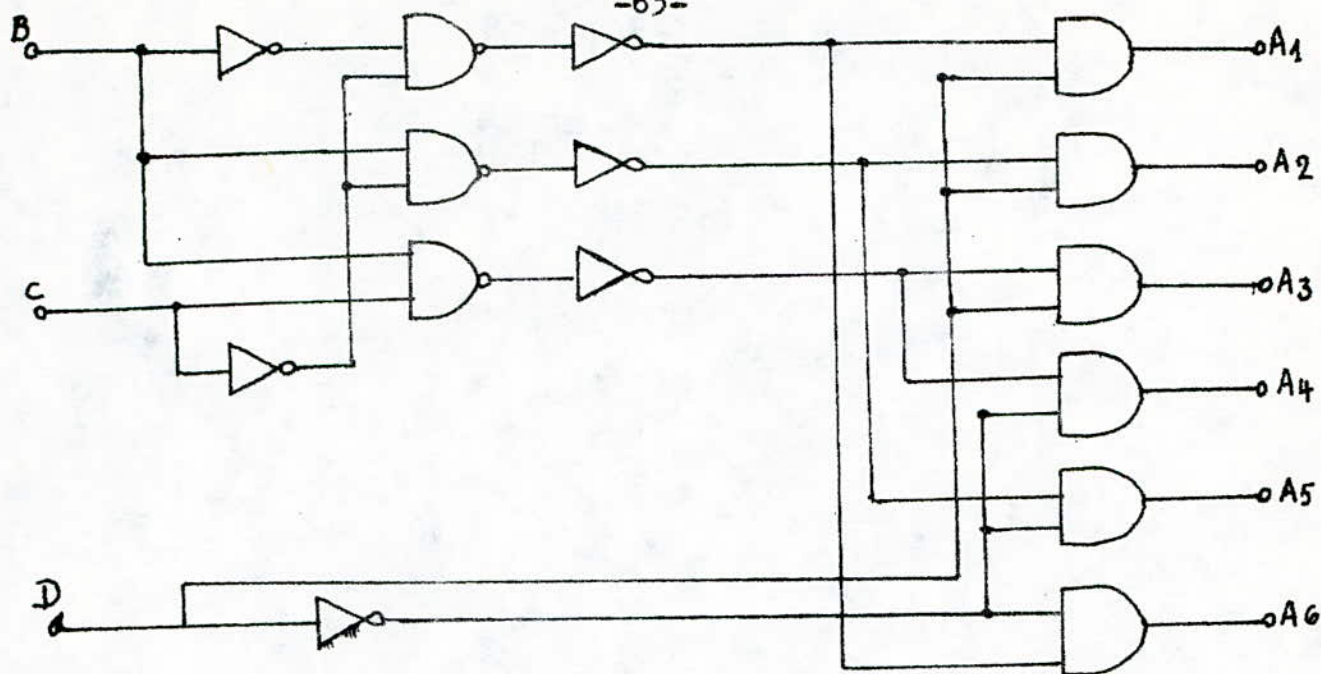
$$A_4 \iff (B = 1) \cap (C = 0) \cap (D = 0) \implies A_4 = B \bar{C} \bar{D}$$

$$A_5 \iff (B = 1) \cap (C = 1) \cap (D = 1) \implies A_5 = B C D$$

$$A_6 \iff (B = 1) \cap (C = 1) \cap (D = 0) \implies A_6 = B C \bar{D}$$

Schéma détrique :

( Voir page suivante )



Ces signaux  $A_i$  vont attaquer par la base six transistors utilisés comme commutateurs électroniques ( collecteur commun ). Ces transistors seront donc utilisés comme des relais statiques. Si le courant de base d'un transistor est nul, celui-ci sera à l'état bloqué.

En effet, toute la tension  $U$  est appliquée entre les bornes collecteur - emetteur. Par contre, si le courant de base n'est pas nul, le transistor devient conducteur et la presque totalité de la tension d'alimentation  $U$  est transmise à la charge  $R$  et la tension d'entrée est entièrement transmise à la sortie.

Ainsi donc, une seule information  $A_i$  peut être recueillie à la fois. Cette tension est appliquée à un circuit diviseur dont la sortie est comparée à  $-\dot{\omega}$ . Le résultat de cette comparaison va ainsi définir le fonctionnement du système de prédiction " P ".

Schéma électrique du signal de prédiction (voir figure).

Le signal de prédiction ainsi défini, permet de détecter le seuil d'accélération de la roue qui prévoit la mise en blocage. Ce seuil marquera la durée de la phase d'admission de la pression de freinage.

Pour le déterminer, on doit tenir compte en plus des paramètres cinétiques, de la notion d'adhérence longitudinale et transversale, de l'inertie des roues ainsi que le temps de délais d'application et d'isolement de la pression de freinage.

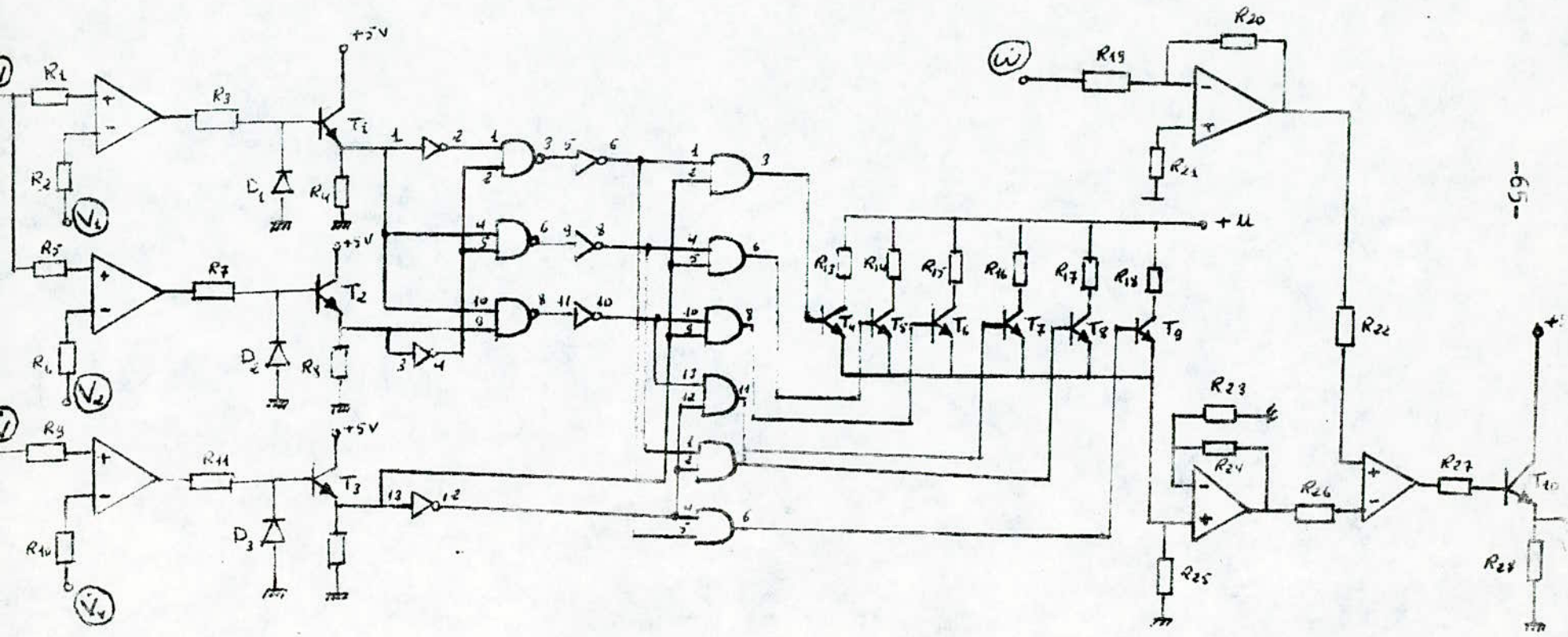
La chute de pression est auto-adaptée aux conditions de sol, cela veut dire que l'on réapplique la pression de freinage juste au point théorique où la dynamique de la roue est à nouveau stable. Ce point correspond au passage par l'adhérence maximale. La roue étant alors à son maximum de réaccélération.

En réalité, ce point théorique n'est pas connu avec exactitude et c'est pour cela qu'on travaille sur un intervalle encadrant la valeur maximale d'adhérence donc d'accélération.

Ainsi on est amené à trouver un seuil ou écart fonctionnel qui permettra l'élaboration d'un nouveau couple de freinage. Celui-ci sera maintenu jusqu'au moment où l'on dépassera le seuil d'admission.

Le cycle de réadmission du couple de freinage est déterminé par un signal R dit de résélection.





-65-

SCHEMA ELECTRIQUE DU SIGNAL DE PREDICTION P.

- portes NAND → SN 7400N (1)
- portes AND → SN 7408N (2)
- Inversion → SN 7404N (1)

5.2 - SIGNAL DE RESELECTION " R " (fig. II.B)

Il existe plusieurs types de signaux de résélection permettant de déterminer le seuil de réadmission de la pression de freinage.

Pour ce qui nous concerne, nous avons adopté le signal de résélection-R-tel que :

$$R \iff \omega \geq \omega_h \cdot k_6$$

étant la vitesse rotationnelle de la roue.  $K_6$  est une constante susceptible de prendre six valeurs diverses et  $\omega_h$  représente la vitesse rotationnelle de la roue au moment de l'apparition simultanée des signaux X (application du couple de freinage) et R.

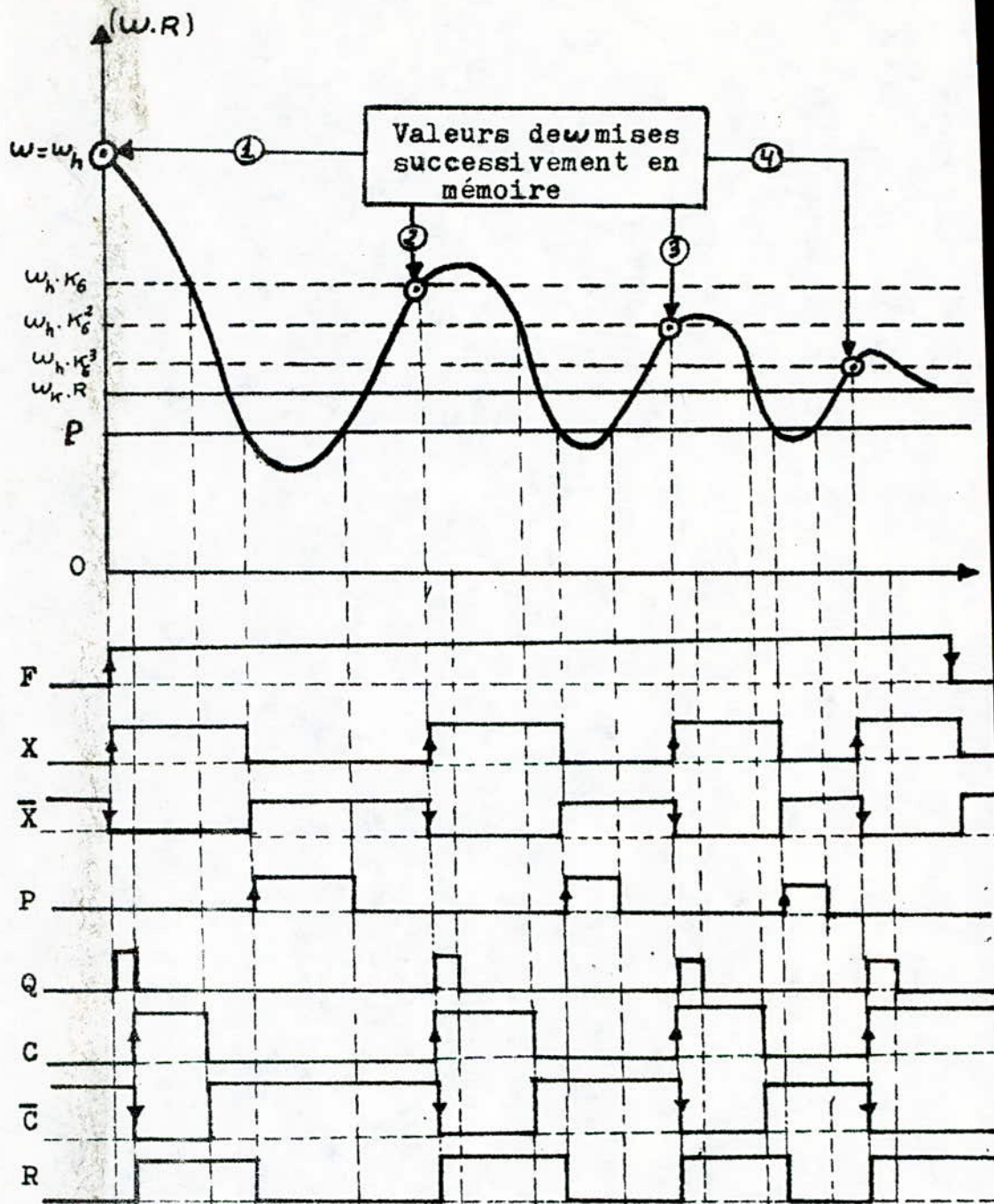
Les valeurs de  $K_6$  sont déduites des différents signaux  $A_i$  définis lors de l'étude du signal de prédiction.

Pour obtenir  $\omega_h$ , on construit un circuit permettant de mémoriser cette valeur dès que les conditions exigées sont remplies et de la restituer en temps voulu pour la détermination de l'état du signal de résélection R.

Description graphique ( voir fig: II.A )

Pour plus de commodité, on choisit pour  $K_6$  une valeur constante durant le processus de freinage.

En pratique, cette valeur est de l'ordre de 0,6.



- F : décision de freinage du chauffeur
- X : commande de la pression de freinage
- P : signal de prediction
- Q : sortie du monostable (SN 74121 N)
- C : sortie du comparateur ( $w \geq w_h \cdot K_6$ )
- R : signal de Résélection

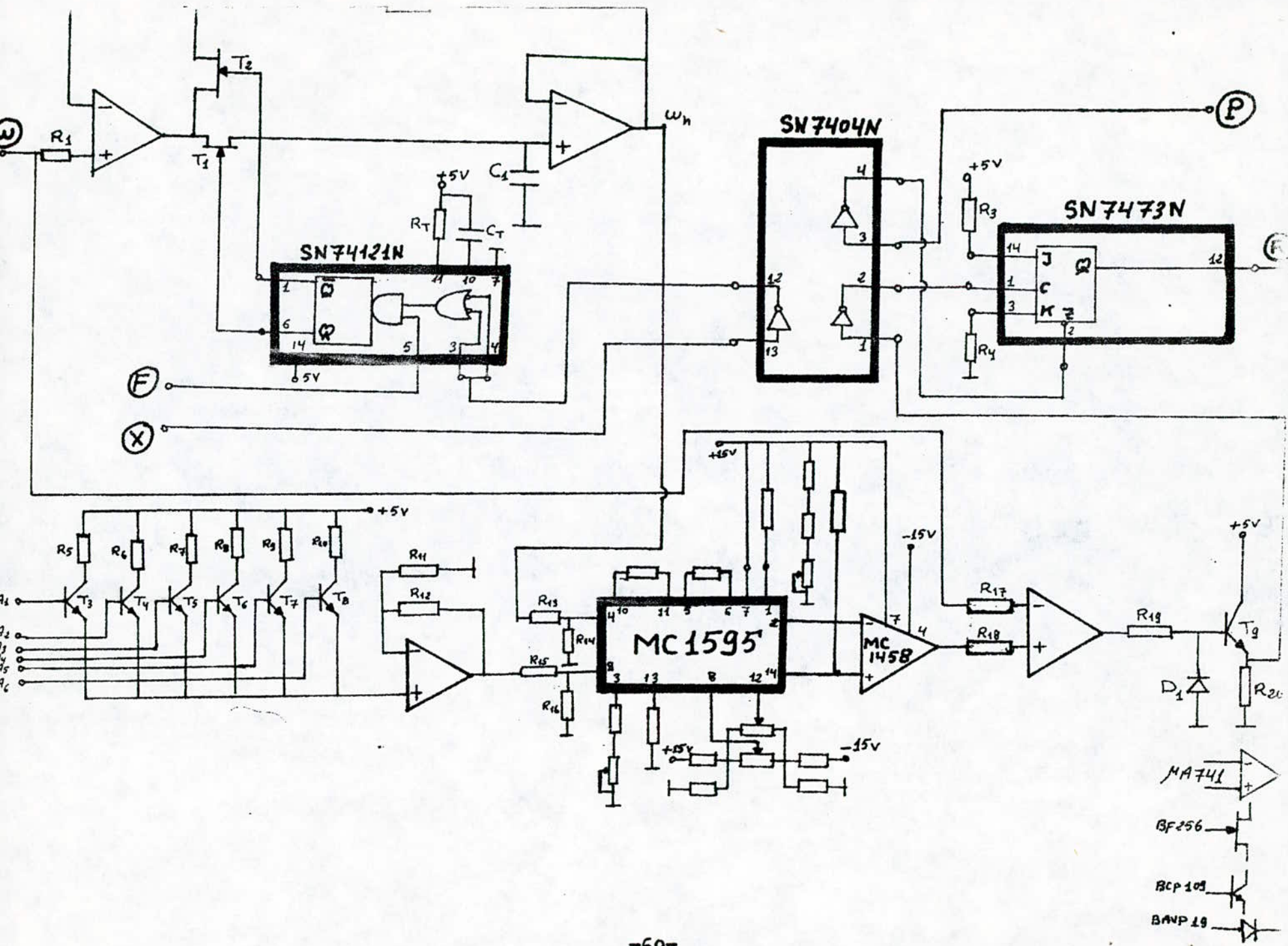
Fig : II . A

Le processus consiste à mémoriser une première valeur de la vitesse rotationnelle du véhicule et de l'utiliser pour établir la condition permettant l'élaboration du couple de freinage suivant.

La première valeur à mémoriser sera donc la vitesse rotationnelle du véhicule juste au moment de l'apparition du signal F cette valeur  $\omega_1 = \omega_h$  va être multipliée par le facteur  $K_6$  pour être comparée à la valeur instantanée de  $\omega$ .

Le couple de freinage sera maintenu jusqu'à l'apparition du signal de prédiction "P". On attend alors la condition  $\omega \gg \omega_h \cdot K_6$  pour que le signal X apparaisse de nouveau et ceci nous permet de mémoriser la valeur actuelle  $\omega_2 = \omega_h \cdot K_6$ , qui permettra de déterminer le cycle suivant d'intervention du système de freinage électronique.

On opère ainsi jusqu'à obtenir une stabilisation ou arrêt du véhicule.



circuit de mémoire :

Le circuit de mémoire analogique est constitué par deux amplificateurs opérationnels ( $\mu A$  741) et deux transistors à effet de champs qui vont être respectivement à l'état bloqué et saturé suivant la sortie Q et  $\bar{Q}$  du monostable (SN 74121 N) qui commande ce circuit.

Lorsque la sortie Q du monostable passe au niveau élevé, le transistor FET ( $T_1$ ) est à l'état conducteur et se comporte comme un court-circuit tandis que  $T_2$  devient bloqué et il est assimilé à un circuit ouvert.

La valeur  $\omega$  va être chargé dans le condensateur C pendant une durée  $T = 0,7 R_T C_T$ .

A l'inverse, quand le signal Q passe de son niveau haut à son niveau faible, le transistor  $T_1$  se comporte comme un circuit ouvert et  $T_2$  comme un court-circuit. Si l'on choisit  $R_1 = R_2$ , on obtiendra à la sortie du  $\mu A$  741 la valeur de  $\omega$  déjà mémorisée dans le condensateur et cela jusqu'à ce que Q passe une nouvelle fois à son niveau élevé où le cycle de mémorisation recommence de nouveau suivant le même principe.

commande du circuit de mémoire :

Le circuit de mémoire est commandé comme nous l'avons déjà dit par un monostable car au moment de l'apparition du signal X on a  $\omega = \omega_h$  donc  $R = 1$ .

La sortie Q du monostable (SN 74121 N) dépend des états des signaux F et X

Le monostable peut être déclenché par l'une des entrées 3 ou 4 en lui appliquant un front descendant rapide, il faut pour cela, que l'une de ces entrées ainsi que l'entrée (5) soit au niveau logique 1.

Il peut être commandé par l'entrée (5), sur le front montant de celle-ci avec la condition que l'on lui applique un front montant relativement lent, mais ceci n'est pas notre cas car cette entrée reste toujours à son niveau élevé et cela durant un cycle de freinage ( $F = 1$ ).

Pour mémoriser une première valeur ( $\omega = \omega_h$ ), le monostable doit être déclenché dès l'apparition de X donc sur le front descendant de  $\bar{X}$  constituant l'entrée commune (3) et (4). A ce moment, on a  $\omega = \omega_h$ , il en résulte donc un état logique 1 pour le signal R car la condition  $\omega \geq \omega_h K_6$  est vérifiée ( $K_6 < 1$ ).

Le signal de résélection R est obtenu à la sortie d'une bascule J K dont on impose  $J = 1$  et  $K = 0$ . De cette façon, R est mis à 1 dès que la condition  $\omega \geq \omega_h K_6$  est remplie. Ceci correspond au front descendant du signal  $\bar{C}$  constituant le signal d'horloge pour la bascule J K déjà mentionnée.

Nous remarquerons cependant que le signal de résélection est mis à zéro dès que le signal de prédiction P apparaît sur l'entrée de remise à zéro de la bascule J K et cela sur le front descendant de  $\bar{P}$ .

C H A P I T R E : 6

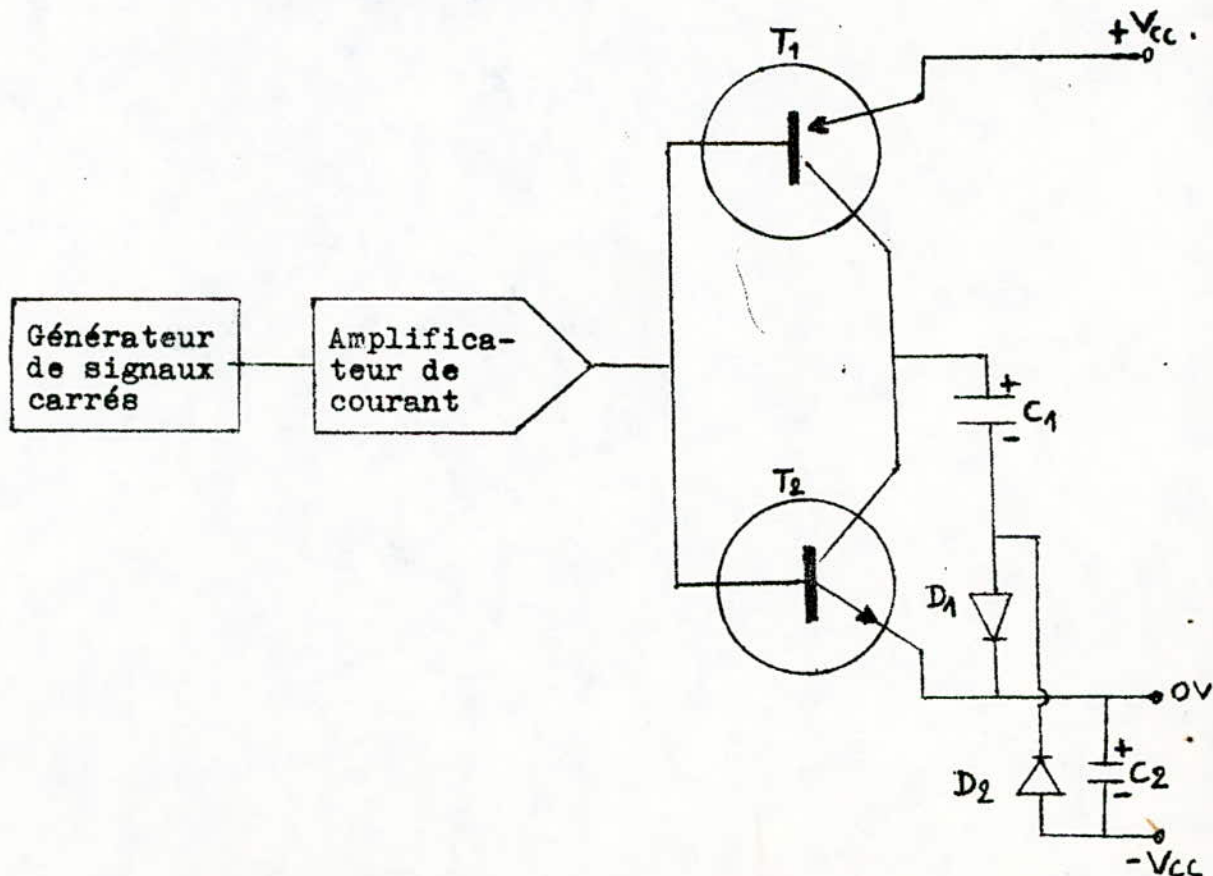
- ALIMENTATION ET DETECTION -

6.1- ALIMENTATION.

Pour assurer le fonctionnement des circuits proposés précédemment, il faut alimenter certains modules électroniques (circuits intégrés) par des tensions symétriques ( $\pm 15V$  et  $\pm 5$ ). Il devient alors impératif de réaliser une alimentation spéciale.

Nous disposons comme source de tension continue une batterie de 12 V. Nous allons construire un convertisseur de tension positive en tension négative. Aux sorties  $+12V$  et  $-12V$  ainsi obtenue, nous adjoindrons en série deux batteries de 6V afin d'obtenir une alimentation symétrique de  $\pm 18V$  et pour terminer, nous procéderons à une régulation afin d'obtenir les tensions régulée  $\pm 15V$  et  $\pm 5V$ .

SCHEMA DE PRINCIPE



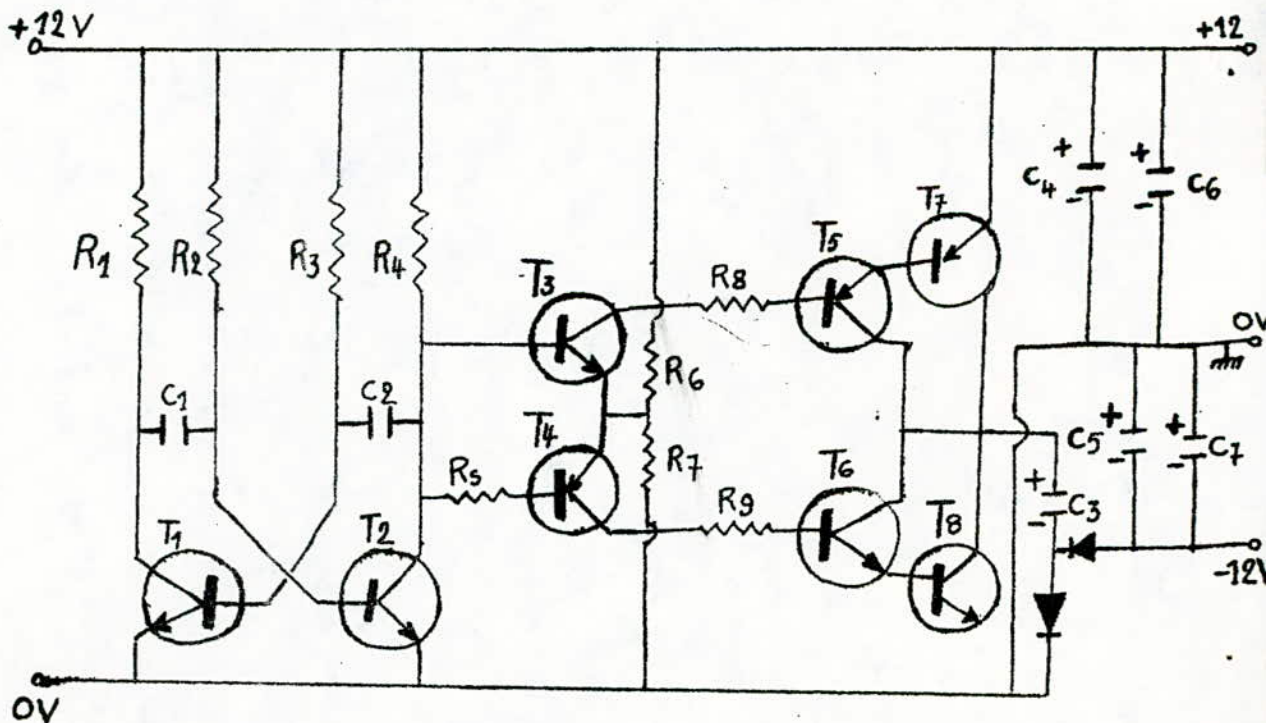


Un générateur de signaux carrés, suivi d'un amplificateur de courant permet la commutation alternée des transistors  $T_1$  et  $T_2$ .

Quand  $T_1$  est saturé et  $T_2$  bloqué, le condensateur  $C_1$  se charge à travers la diode  $D_1$  qui est conductrice alors que  $D_2$  se trouve bloquée.

A l'alternance suivante,  $T_1$  est bloqué et  $T_2$  saturé. L'armature positive de  $C_1$  va donc se retrouver à 0V et son armature négative à  $V_{cc}$ .  $D_1$  va donc être bloquée et  $C_2$  se charge à travers la diode  $D_2$  qui sera conductrice. La tension de sortie ne sera pas parfaitement symétrique car  $C_1$  ne se charge qu'à  $V_{cc} - V_{D1} - V_{CE\text{ sat}}(T_1)$  et donc  $C_2$  ne se charge lui qu'à  $V_{cc} - V_{D1} - V_{CE\text{ sat}}(T_1) - V_{D2} - V_{CE\text{ sat}}(T_2)$

SCHEMA DU MONTAGE PRATIQUE.



Principe de fonctionnement :

Le générateur de signaux carrés est construit à l'aide de deux transistors  $T_1$  et  $T_2$  montés en multivibrateur astable. Les temps de saturation des transistors sont fixés respectivement par :

pour  $T_1 \longrightarrow T = R_2 C_1$

pour  $T_2 \longrightarrow T = R_3 C_2$

Les signaux carrés sont prélevés sur le collecteur de  $T_2$  et attaque les groupements de transistors  $T_3, T_4, T_5, T_6$ , constituant l'amplificateur de courant.

Les résistances  $R_6$  et  $R_7$  permettent de fixer les potentiels émetteurs de  $T_3$  et  $T_4$  à la moitié de la tension d'alimentation.

Quand le transistor  $T_2$  est bloqué, les transistors  $T_3, T_5$  et  $T_7$  seront saturés tandis-que  $T_4, T_6$ , et  $T_8$  seront bloqués et vice versa pour l'alternance suivante. La résistance  $R_5$  permet de saturer le transistor  $T_4$  quand  $T_2$  est saturé et la résistance  $R_4$  permet de saturer le transistor  $T_3$  quand  $T_2$  est bloqué.

Les résistances  $R_8$  et  $R_9$  limitent les surintensités éventuelles pouvant se produire quand  $C_3$  se charge rapidement.

Les condensateurs  $C_6$  et  $C_7$  servent à éliminer d'éventuelles impulsions parasites.

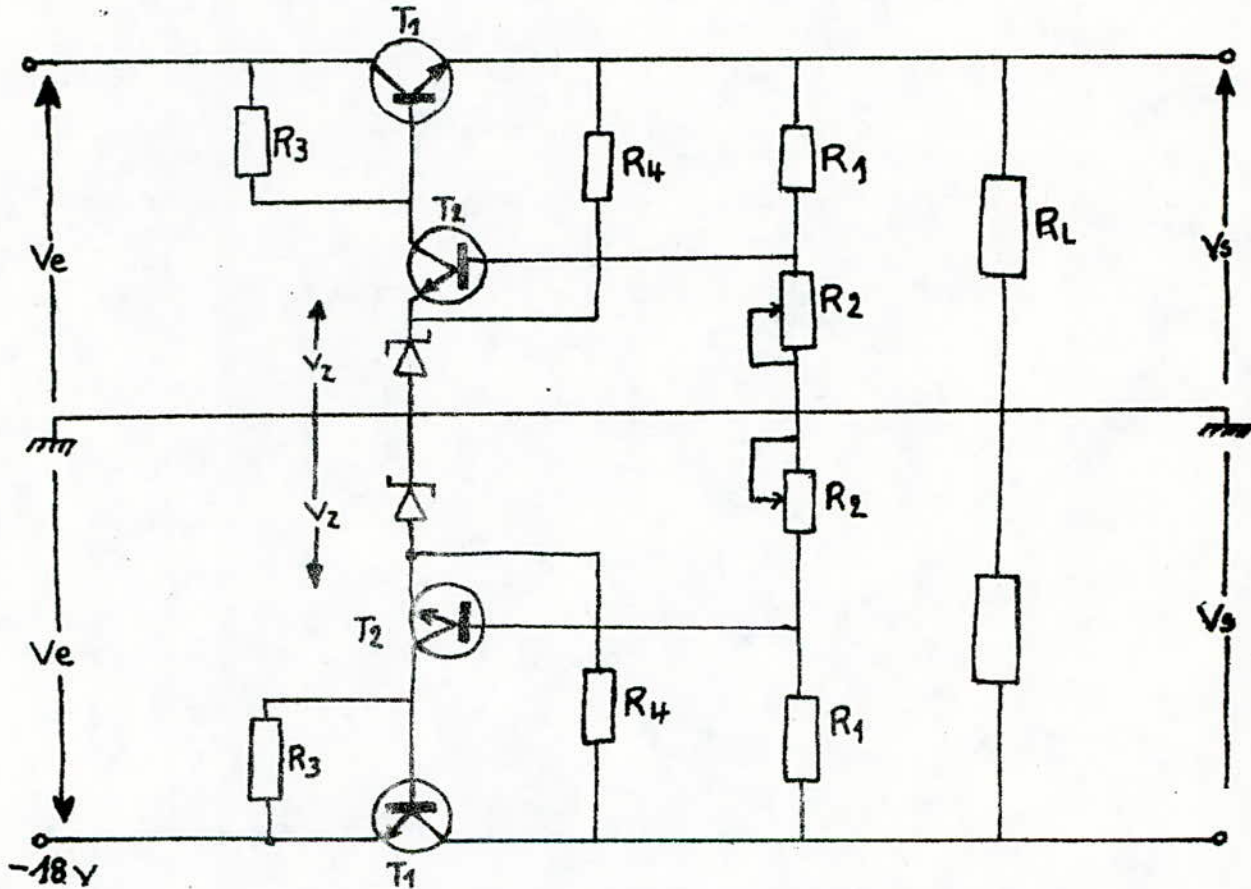
Valeurs des composants:

- $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$
- $R_2 = R_3 = 470 \text{ K}\Omega$
- $R_4 = 10 \text{ K}\Omega$
- $R_5 = 10 \text{ K}\Omega$
- $R_6 = R_7 = 180 \Omega$
- $R_8 = R_9 = 560 \Omega$
- $C_4 = C_2 = 1 \text{ nF}$
- $C_6 = C_7 = 47 \text{ nF}$

- $C_3 = 4700 \mu\text{F}/25\text{V}$
  - $C_4 = 1000 \mu\text{F}/25\text{V}$
  - $C_5 = 2200 \mu\text{F}/25\text{V}$
  - $D_1 = D_2 = \text{MR758 (6A/50V)}$
  - $T_1 = T_2 = T_3 \longrightarrow \text{BC 109 B}$
  - $T_4 : 2 \text{ N } 2907$
  - $T_5 : \text{TIP } 30$
  - $T_6 : \text{TIP } 29$
  - $T_7 : \text{BDX } 18$
  - $T_8 : 2\text{N } 3055 \text{ S}$
- } Condensateurs chimiques

SCHEMA UTILISE :

En ajoutant au montage précédent deux batterie de 6V nous aurons donc une tension d'alimentation de  $\pm 18$  V.



Ce montage représente un régulateur de tension à transistors ballast commandés par un amplificateur à transistors. Dans ce montage, la résistance  $R_4$  sert à alimenter la diode zener constituant la tension de référence. La résistance  $R_3$ , sert à polariser le transistor ballast ( $T_1$ ). Le comparateur est constitué par le transistor ( $T_2$ ) dont l'état de conduction est commandé par la différence de potentiel entre la partie de la tension de sortie ramenée grâce au pont diviseur ( $R_1, R_2$ ) et la tension de référence de la diode Zener.

Calcul des différents éléments :

Nous disposons donc d'une source d'alimentation délivrant une tension de 18 V continu.

Pour avoir une tension de sortie de 15 V régulée, nous utilisons comme tension de référence, une diode Zener BZ x 70 - C10 ayant les caractéristiques suivantes :

- tension Zener :  $V_Z = 10 \text{ V}$
- courant minimal :  $I_Z = 50 \text{ mA}$ .

$$T_1 \text{ et } T_2 : \beta = 100$$

$$V_{BE} \approx 0$$

$$V_S = R_1 I_{R1} = (R_1 + R_2) I_{R1} \quad (I_{B1}, I_{R1}, I_{R2})$$

$$V_{R4} = V_S - V_Z \quad (V_{BE})$$

$$V_{R3} = V_e - V_S \quad (V_{BE} \approx 0)$$

$$V_{C1} = V_e - V_S$$

$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{V_S}{R_1 + R_2} \quad \text{et} \quad I_{R4} = \frac{V_S - V_Z}{R_4}$$

$$I_{E1} = \beta I_{B1} = 100 I_{B1}$$

$$I_{E1} = (I_{R4} + I_{R1} + I_{R1})$$

$$I_Z = I_{E2} + I_{R4} = I_{C2} + I_{B2} \approx I_{C2}$$

$$I_{C2} = I_{R3} - I_{B1}$$

$$I_Z = I_{C2} + I_{R4}$$

$$V_S = V_Z \left[ 1 + \frac{R_1}{R_2} \right]$$

pour  $V_S = 15 \text{ V}$ ;  $V_Z = 10 \text{ V}$  nous aurons :

$$R_2 = 2 R_1$$

on prend:

$$R_1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 2 \text{ K}\Omega \implies I_{R1} = I_{R2} = 5 \text{ mA.}$$

On désire obtenir un courant de charge  $I_L = 500 \text{ mA}$ .

Si on choisit :

$$R_3 = 100 \Omega \text{ et } R_4 = 1,5 \text{ K}\Omega$$

donc :

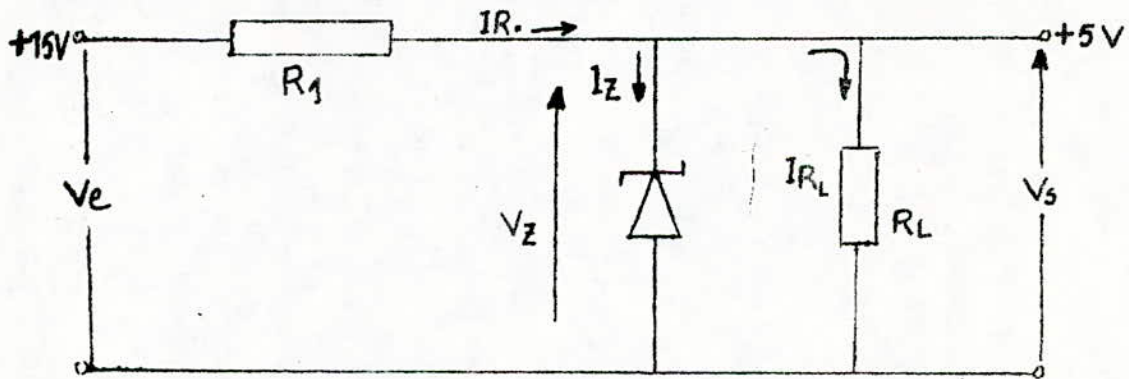
$$I_{R3} = 30 \text{ mA.}$$

$$I_{R4} = 3 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = 5 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = 25 \text{ mA} \quad \text{d'où : } I_Z = 28 \text{ mA.}$$

Pour obtenir la tension d'alimentation de 5V, on précède la source délivrant 15 V par un circuit de simple régulation serie.



$$V_{R1} = V_S = V_Z$$

En choisissant une diode stabilisatrice de 5V avec courant minimal de Zener  $I_Z = 5 \text{ mA}$ .

Si on désire avoir un courant de sortie  $I_{R_1} = 100 \text{ mA}$

$$V_S = 5V$$

$$I_Z = 5 \text{ mA}$$

$$I_{R_1} = \frac{V_e - V_Z}{R_1} = \frac{10}{R_1} = 100 \implies R_1 = 100 \Omega$$

d'où le courant maximal circulant dans la charge

$$I_{R_1} = I_{R_1} - I_Z = 95 \text{ mA}$$

correspondant à une valeur minimale de la charge

$$R_1' \simeq 53 \Omega$$

la valeur du courant de charge minimale est

$$I_{R_1}' = 0 \text{ correspondant à une charge infinie.}$$

Remarque:

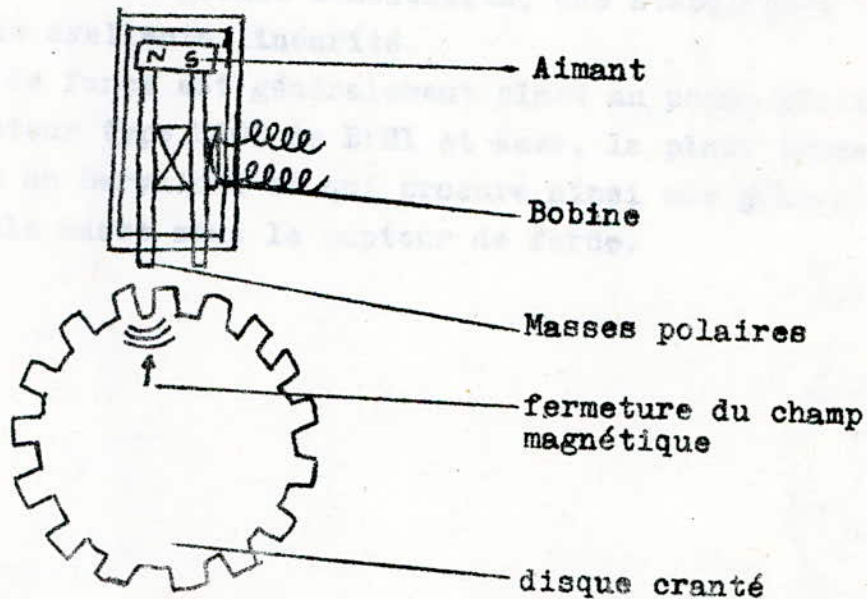
Dans ce cas, le courant maximal disponible au niveau de la charge  $R_1$  du premier circuit vaut  $I_{R_1} = 400 \text{ mA}$ .

## 6.2- DETECTION.

Pour passer des grandeurs cinétiques aux grandeurs électriques, nous proposons ici, l'utilisation de dispositifs électromécaniques spécifiques aux grandeurs injectées dans les différentes entrées des circuits électroniques.

### Vitesse :

On utilise un dispositif électromagnétique appelé capteur de vitesse.



Un disque cranté est solidaire de la roue, et un capteur de vitesse électromagnétique est lié au châssis.

La variation de flux crée par le passage des dents, induit une tension dans le bobinage d'allure sinusoïdale.

Cette tension est à fréquence proportionnelle à la vitesse de la roue.

### Accélération :

Pour obtenir l'information électrique de l'accélération, on peut soit précéder le capteur de vitesse par un circuit dérivateur,

-o- C O N C L U S I O N -o-

Nous avons essayé tout au long de ce projet de vous présenter une étude théorique de trois systèmes électroniques différents, permettant de contrôler le freinage d'un véhicule automobile.

Cependant, des systèmes déjà existants prouvent qu'une adaptation sur véhicule entraînerait certaines complexités d'ordre technique.

Chaque système se caractérise en plus de l'efficacité du freinage par l'apport en coût et stabilité et l'on voit certains d'entre eux sacrifier l'une de ces caractéristiques aux dépend des autres sans pour autant être meilleur ni moins bon.

Nous n'omettrons pas de signaler qu'une réalisation pratique nous était impossible car nécessitant toute une chaîne de mesure ainsi qu'un très grand nombre d'éléments dont nous ne pouvons disposer. Nous souhaitons seulement que nous avons pu vous donner une idée sur le freinage électronique et de là à s'orienter plus vers une réalisation pratique qui verra sans doute jour très prochainement en Algérie comme il est le cas dans beaucoup d'autres pays.



-o- B I B L I O G R A P H I E -o-

1. INGENIEUR de l'automobile Dec. 1971, Mai 1972:  
P. BOUCHARD - ANDRE. FURIA - P. GANCEL - C. TANGUY
2. Guide pratique radioélectrique:  
L. PERICONE
3. L'amplificateur opérationnel:  
J.C. MARCHAIS
4. Logique Binaire :  
M. AUMIAUX
5. Electronique non linéaire T.I:  
CH. MASSELOT - M. GIRARD
6. Electronique Pratique n° 49 Mai 1982
7. Freinage des véhicules sur route:  
H. PERROT