

## Etude du temps de commutation d'un relais coaxial

Cette étude a pour but de déterminer les temps de commutation des relais coaxiaux afin de pouvoir adapter en conséquence le timing des séquenceurs émission-réception. Elle a été menée avec un relais coaxial Radiall R560 703 de tension nominale 26V, puis généralisée à d'autres types de relais.



Les caractéristiques de la bobine ont été mesurées: inductance  $L=1\text{H}$ , résistance  $R=328\ \Omega$ , soit une constante de temps  $L/R=3\text{ms}$ . La tension nominale de ce relais est de 26V (soit un courant de 80mA). Il colle à partir de 15,4V (soit  $i=47\text{mA}$ ) et décolle à 6,5V (soit  $I=20\text{mA}$ ). On notera que c'est le courant dans la bobine qui crée le champ magnétique, on va donc tout d'abord s'intéresser à l'évolution de ce courant.

Photo 1 – Relais utilisé pour l'étude

### Réponse du relais à un échelon de tension 0-26V

C'est le cas du passage de réception à émission. Le contact va s'établir entre le point commun (généralement relié à l'antenne) et le contact travail (connecté à la sortie de l'émetteur). Nous appellerons cette commutation « fermeture ». Notons que le temps de commutation du relais est totalement indépendant du circuit RF, il ne dépend que des caractéristiques de la bobine et de la constitution mécanique.

Le courant dans la bobine s'établit selon l'équation :

$$I = \frac{E}{R} (1 - \exp(-\frac{R}{L}t)) \quad \text{Soit ici} \quad I = \frac{26}{328} (1 - \exp(-\frac{t}{3.10^{-3}}))$$

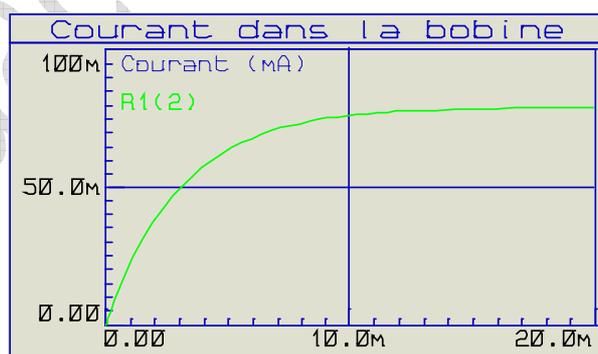


Figure 1 – Réponse de la bobine du relais à un échelon 0-26V

On peut calculer le temps nécessaire pour atteindre 47mA (courant minimum pour faire coller le relais) à partir de l'équation précédente, on trouve 2,7ms, ce qu'on peut vérifier facilement sur le graphe (fig.1). On remarquera que ce temps est proche de la constante de temps  $L/R$ .

A ce retard purement électrique, va s'ajouter le retard mécanique dû au temps nécessaire pour que la lame mobile quitte le contact repos pour aller sur le contact travail.

## Mesure du temps de commutation

On utilise le circuit de test de la figure 2. Il se compose d'un interrupteur suivi d'un circuit anti rebond et d'un transistor de commande. L'alimentation s'effectue en 12V, les mesures sont faites à l'aide d'un oscilloscope numérique Tektronix TDS310. La voie 1 est prise à la sortie de l'anti rebond. La voie 2 mesure l'établissement du courant dans le circuit travail. Le retard entre les deux voies est le temps de commutation à la « fermeture du circuit travail ».

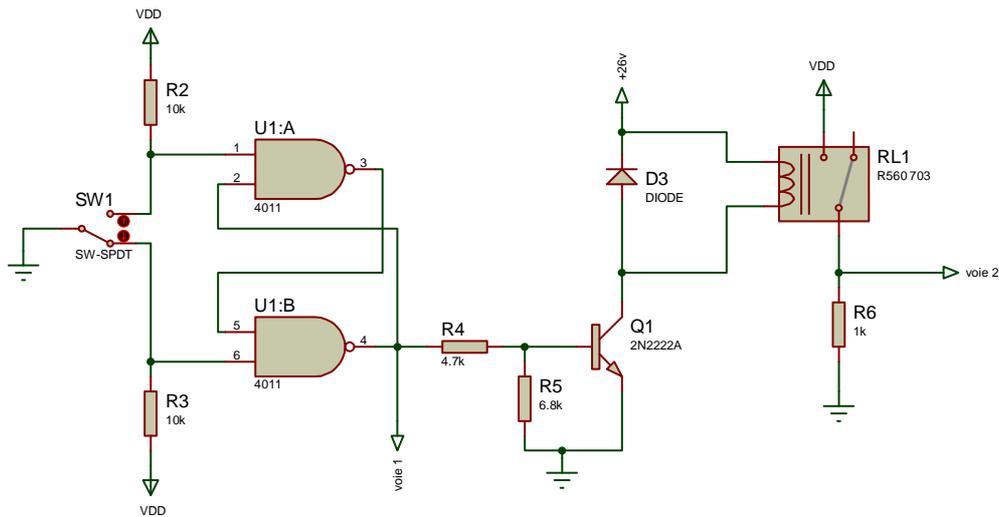


Figure 2 - Schéma du circuit de test

La mesure montre que la commutation s'effectue en 10ms et que le contact rebondit ensuite pendant environ 2ms (figure 3).

Le temps de commutation du relais se décompose donc approximativement en 3ms pour atteindre le courant qui fait coller le relais, 7 ms de « temps de vol » de la lame mobile et 2 ms de rebonds.

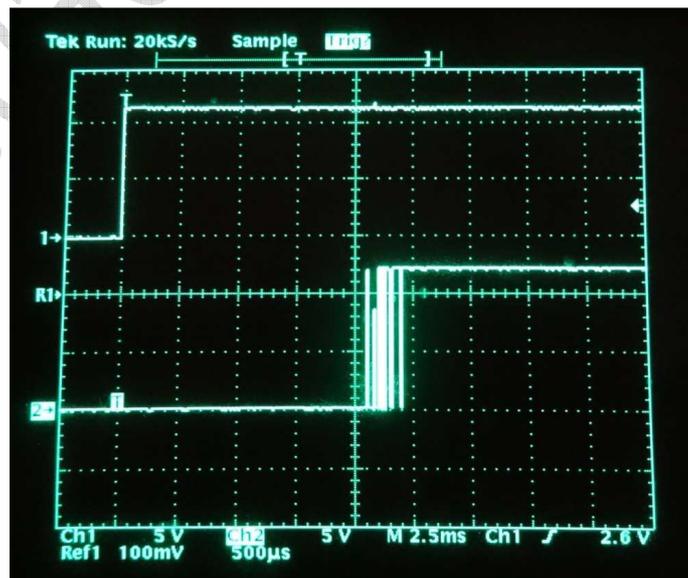


Figure 3 - Commutation à la fermeture - 2,5ms/carreau

L'oscillogramme de la figure 4 montre les oscillations dues aux rebonds du contact

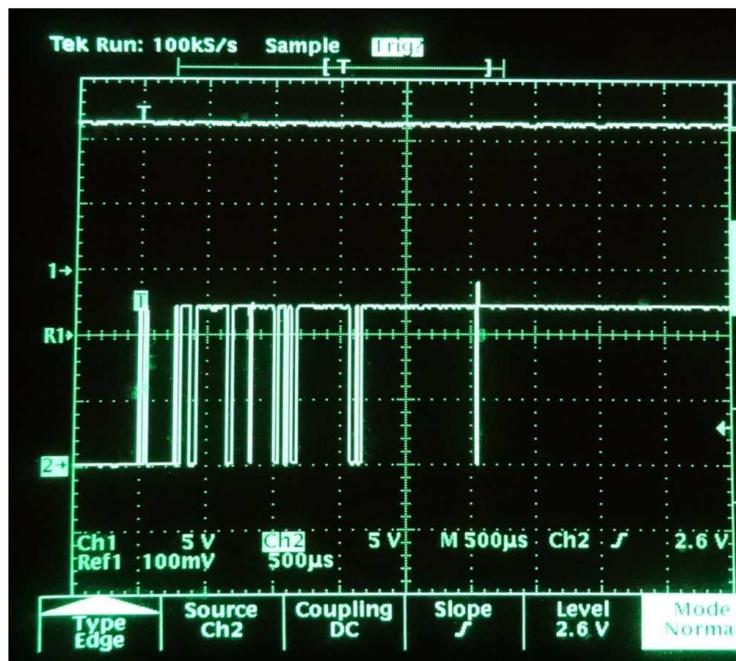
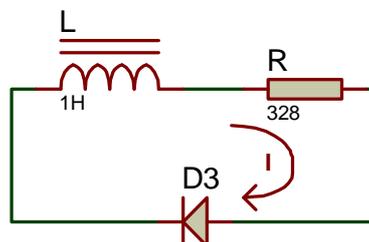


Figure 4 -Rebonds du contact à la fermeture (500 µs/carreau)

#### Commutation à l'ouverture (travail vers repos)

Nous appellerons « commutation à l'ouverture » la phase de retour de la position travail, à la position repos. Cette commutation est intéressante à plusieurs titres. D'abord parce que le relais « décolle » pour un courant plus faible que celui qui le fait « coller » et ensuite à cause de l'influence de la diode de roue libre connectée en parallèle avec la bobine afin de protéger le transistor de commande.

Supposons qu'à l'instant  $t=0$ , on bloque le transistor Q1. Comme il ne peut y avoir de discontinuité de courant dans une inductance, le courant continue de circuler dans la bobine via la diode D3



En négligeant la chute de tension dans la diode, l'équation du courant s'écrit :

$$I = \frac{E}{R} \exp\left(-\frac{R}{L} t\right) \quad \text{Il décroît exponentiellement de sa valeur nominale vers zéro.}$$

Au bout de 3 fois la constante de temps  $L/R$ , le courant atteint 5% de sa valeur de départ.

De la même manière que précédemment, on peut calculer le temps nécessaire pour que le courant atteigne 20mA (courant au-dessous duquel le relais décolle), on trouve 4,2ms. A ce temps, il faudra ajouter le temps de transit de la lame mobile qui va dépendre de la force du ressort de rappel.

La figure 5 montre la commutation à l'ouverture (travail vers repos) du circuit travail. On relève environ 12ms (temps que mets le contact commun-travail pour s'ouvrir). On remarque que le contact commun-travail s'ouvre sans rebond.

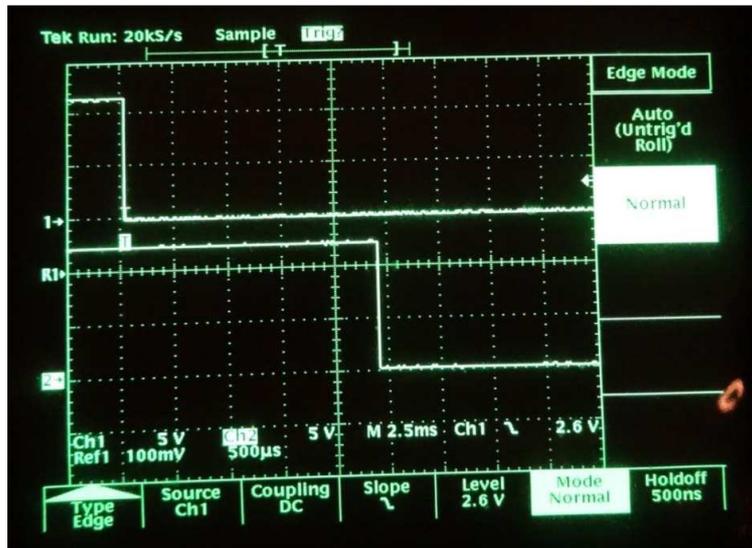


Figure 5 – Commutation à l'ouverture avec diode de roue libre vue du contact travail (2,5ms/carreau)

Si l'on observe la même commutation, mais vue du contact repos (circuit commun-repos) on constate que le temps de commutation est d'environ 14ms avec des rebonds pendant 2ms (figure 6). Le contact n'est vraiment stable qu'au bout de 17 à 18ms.

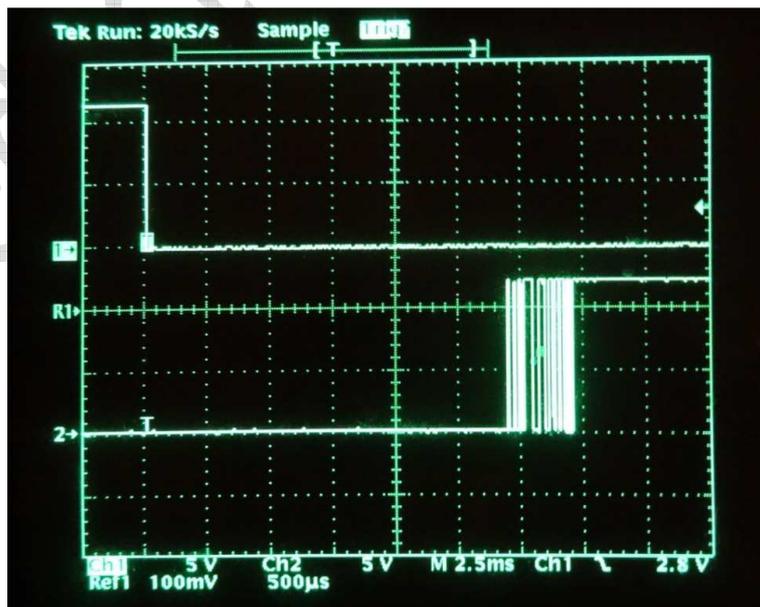


Figure 6 – Commutation à l'ouverture (avec diode), vue du contact repos (2,5ms/carreau)

## Commutation sans diode de roue libre

Lorsque le relais est collé, l'inductance de la bobine qui est traversée par le courant  $I$  emmagasine une énergie  $W = \frac{1}{2}LI^2$  qui, lorsqu'on ouvre le circuit, va se dissiper dans la résistance et dans une moindre mesure dans la diode.

En l'absence de diode de roue libre, cette énergie va donner lieu à une surtension  $V = L di/dt$  que le transistor de commande va devoir supporter. Dans la majorité des cas, cette surtension, qui s'ajoute à la tension d'alimentation, va entraîner la mise en avalanche du transistor (ce qui n'est pas recommandé !). En revanche, la décroissance du courant étant beaucoup plus rapide, le temps de commutation sera fortement raccourci.

C'est ce qu'on constate en observant la figure 7, prise dans les mêmes conditions que la figure 5, mais sans diode. Le temps de commutation passe de 12 à 3,9 ms.



Figure 7 – commutation à l'ouverture sans diode de roue libre (2,5ms/carreau)

On peut mettre à profit ce phénomène, sans toutefois mettre en jeu la vie du transistor de commande, en écrêtant la surtension par une diode zener connectée en parallèle avec celui-ci. On peut aussi connecter une diode zener en série avec la diode de roue libre de manière à accélérer la décroissance du courant (figure 8).

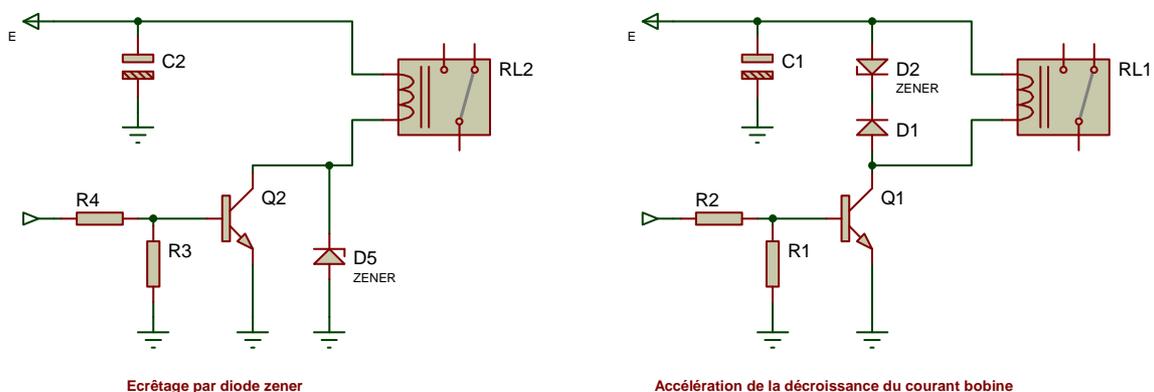


Figure 8 – Accélération de la commutation à l'ouverture

Dans le cas d'un écrêtage par diode zener, la tension Vz de celle-ci devra être inférieure à la tenue en tension VCEO du transistor.

Dans le cas de la diode zener en série avec la diode de roue libre, il faudra veiller à ce que la tension VCEO du transistor soit supérieure à  $E + V_z + 0,7V$ .

### Mesures de quelques relais

De manière à pouvoir généraliser l'étude précédente, nous avons mesuré quelques relais coaxiaux disponibles. La photo 2 montre l'allure de ces relais.

Relais coaxial				Fermeture* (ms)			Ouverture** (ms)		
Marque	Référence	connecteurs	tension	t commut	rebonds	total	t commut	rebonds	total
Radiall	10 760	BNC	26V	12	2	14	14	2	16
Radiall	561 413	BNC	26V	14	2	16	12	1	13
Amphenol	317-10529-3	N	26V	8	7	15	64	5	69
Londex	NCx 50x	N	24V	10	9	19	42	8	50
Radiall	560 703	N	26V	10	2	12	14	2	16
Tohtsu	CX-600N	N	12V	9	1	10	20	10	30

\* fermeture du circuit commun-travail

\*\* ouverture correspond à la fermeture du circuit commun-repos lorsque le relais est désactivé (mesures effectuées avec diode de roue libre).



Photo 2 - Les relais coaxiaux mesurés

La mesure fait apparaître une grande disparité des temps de commutation. Il semble cependant que la plupart des relais se ferment en moins de 20ms. En revanche, le temps nécessaire pour revenir au

repos semble beaucoup plus long, en grande partie à cause de la diode de roue libre, et peut atteindre près de 70ms.

Par comparaison, j'ai mesuré quelques relais ordinaires, dans les mêmes conditions.

Relais ordinaire				Fermeture* (ms)			Ouverture** (ms)		
Marque	Référence	type	tension	t commut	rebonds	total	t commut	rebonds	total
OMRON	G5V-2	dpdt	12V	3,6	0,2	3,8	2,8	1,8	4,6
Matsushita	HC2P-12	dpst	12V	8	1	9	10,3	0	10,3
SDS	ST2	dpdt	24V	9	2	11	5,4	0	5,4
automobile	-	spst	12V	6	0,18	6,18	2,3	0	2,3

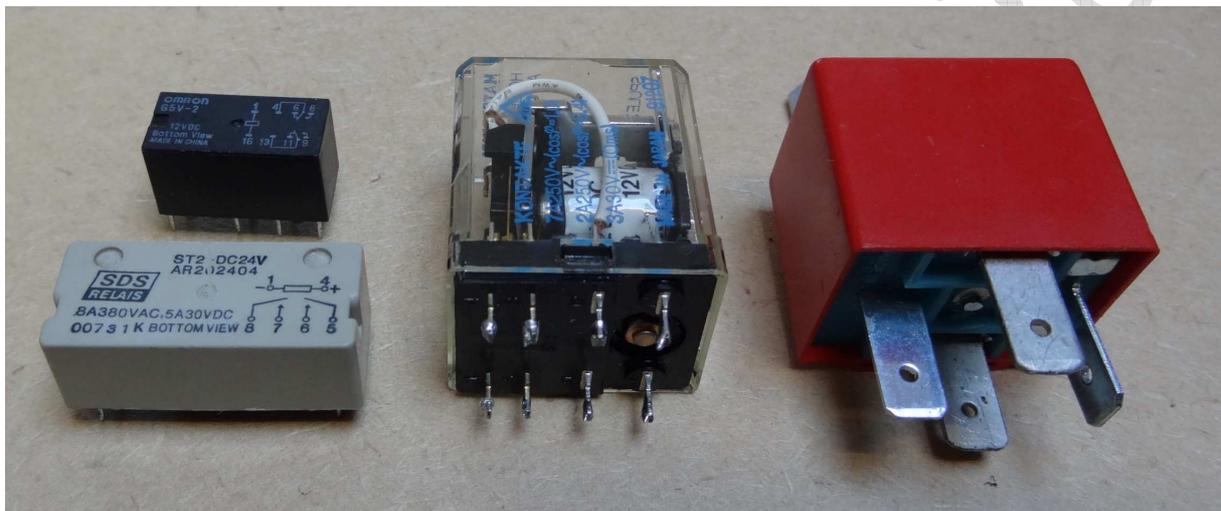


Photo 3- Les relais mesurés

### Conclusion

Un relais électromécanique est un composant très lent par rapport au circuit électronique qui le commande. Il faut en tenir compte par un séquençage rigoureux des diverses commutations et éventuellement intégrer des protections pour les éléments sensibles (comme les préamplis par exemple).

Le temps de commutation d'un relais peut se décomposer en trois phases. La première est purement électrique et tient au fait que la bobine du relais est fortement inductive. La seconde est purement mécanique et dépend de la construction du relais. Enfin, comme tout dispositif électromécanique, le contact rebondit et n'est stable qu'au bout d'un certain temps.

La présence d'une diode de roue libre en parallèle avec la bobine ralentit le retour de l'état travail à l'état repos. Des solutions pour raccourcir ce temps existent et ont été présentées.