

erreurs fécondes

Les seules vraies erreurs sont celles dont personne ne tire aucune leçon

compilation par **CJ Abate** (Elektor Labs)

Des perturbations électromagnétiques, un circuit imprimé grillé, une batterie qui explose et des relevés de capteurs non conformes : tout cela peut résulter d'une simple erreur technique. Les seules vraies erreurs sont celles dont personne ne tire aucune leçon.

Pour s'améliorer, rien de tel que de tirer les leçons des erreurs des autres en plus de celles qu'on a faites soi-même. Sous le titre "erreurs fécondes" de cette nouvelle série, nous partageons les points de vue des membres de la communauté Elektor sur leurs erreurs et ce qu'ils ont tiré de leurs expériences. Avec aussi des conseils et des astuces qui vous aideront à diversifier vos compétences en matière de conception, de test et de programmation.

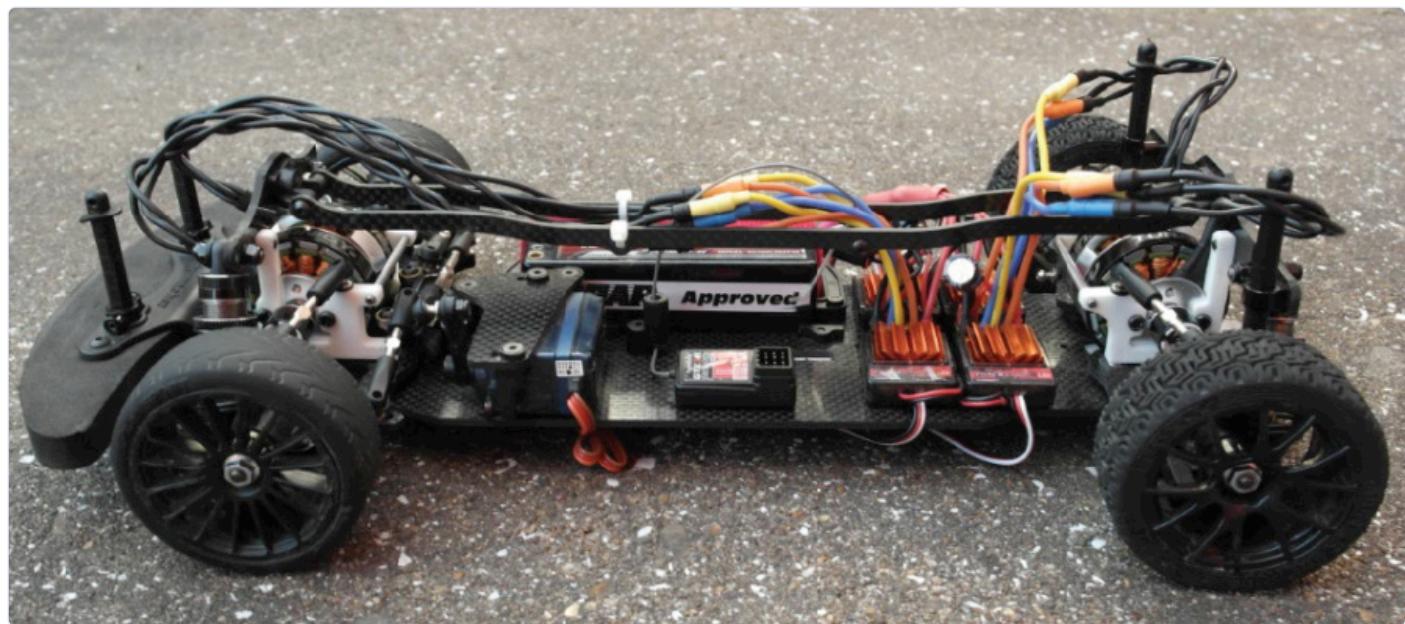


Figure 1: Rajesh Nakarja's RC project.

L'AMDE pour améliorer la fiabilité

Quelle que soit la complexité de votre projet, l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) peut faire la différence. Rajesh Nakarja, ingénieur établi à Stockholm, le sait bien. Il nous raconte ici l'histoire d'un projet de radiocommande basé sur du logiciel Arduino et ce qu'il retenu de son expérience.

"Étudiant, j'adorais le modélisme RC. Ma formation en pilotage embarqué m'a amené à développer un contrôleur DSP personnalisé pour le vectoriage de couple sur des modèles réduits à l'échelle 1/10. Le véhicule à quatre roues motrices indépendantes et divers capteurs atteignait des vitesses élevées normalement réservées à la compéti-

tion sur piste (fig. 1). Grâce au traitement en temps réel, il maintenait la stabilité à pleine puissance tout en détectant la perte de traction, et se corrigeait avec des gyroscopes.

Le code déployé à partir du codeur Simulink sur une carte STM32F4 personnalisée comportait de nombreuses caractéristiques de sécurité : débordements et déficits de données, perte de données radio ou de capteurs, tous ces problèmes étaient résolus en toute sécurité et... arrêtaient le véhicule en cas de pépin. De nombreux tests et simulations ont montré que cela fonctionnait, et j'étais persuadé que la conduite du véhicule serait sans danger.



Outils et méthodes modernes, telles que la conception modélisée, permettent l'automatisation des tests et le suivi de tout le processus.



Il ne pesait que quelques kilos, mais la vitesse et la puissance de quatre moteurs BLDC 40A impliquaient un risque d'accident dévastateur en cas de collision.

Pour commander la voiture, j'avais bricolé un contrôleur Xbox sur un pont Arduino-ZigBee, qui pilotait la voiture en temps réel et commandait l'accélérateur. Le contrôleur de la voiture était fiable et robuste, mais pas le contrôleur Arduino qui se contentait d'arrêter la voiture en cas de perte de la radio. La solution semblait assez raisonnable. Un après-midi, lors d'un test en plein air, le contrôleur USB a perdu brièvement la connexion avec l'unité Arduino/ZigBee. Le pilote USB

Ce jour-là, j'ai appris que la plus simple des erreurs peut n'avoir rien d'anormal pour tous les dispositifs de sécurité d'un système. Il suffit d'un petit hic pour que tout finisse par un grand crac. Depuis, j'ai pris beaucoup plus au sérieux l'analyse des effets des modes de défaillance, et, par principe, je l'applique dès le départ à chaque projet sur lequel je travaille.

Outils et méthodes modernes, telles que la conception modélisée, permettent d'automatiser les tests. Utilisés en combinaison avec un plan de progression, ils permettent d'éviter les bourdes dès le début ou de les déceler rapidement au fil du processus. Les choses peuvent encore mal tourner, mais avec un bon plan de test on évitera toute reproduction des erreurs déjà commises. Les photos montrent le véhicule modifié et la carte de pilotage. L'électronique a été moulée pour éviter les dommages causés par la saleté ou l'eau. Une vidéo sur YouTube décrit le projet en détail [1].



Figure 2. Les désastres ne sont pas tous inévitables.

s'est alors planté, donnant – chose imprévue – le plein badin à la radio qui continuait d'émettre. Le véhicule s'est alors propulsé à pleine vitesse droit vers une rue très fréquentée.

Avec la longue portée des modules ZigBee utilisés, il faudrait que le véhicule soit hors de vue avant que la sécurité ne fasse son travail. Pendant que j'arrachais en toute hâte les batteries de l'Arduino, le véhicule est passé en trombe sous le nez d'une foule de gens avant de s'écraser sur un trottoir à une vitesse de plusieurs dizaines de km/h. Pas de blessé, mais sous l'impact, les batteries au lithium ont été éjectées. J'ai couru récupérer mon tas de fibre de carbone et suis rentré chez moi penaude (fig. 3).

Régulation et freinage des courants forts

Lars Krüger est enseignant à Potsdam (Allemagne) et lit le magazine Elektor depuis huit ans. Il conçoit des vélos électriques depuis 1992. La régulation des courants de forte intensité, ça le connaît, de même que le test de circuits de vélos électriques, mais ça n'a pas toujours été le cas !

C'est avec des projets comme celui-ci que L. Krüger a commencé son apprentissage de la propulsion électrique dès 1994.

« Quand j'étais jeune, j'étais pressé. Une idée qui me venait le matin devait être concrétisée le soir même. Je ne m'embarrassais pas de trop de certains détails dysfonctionnels, pourvu que ça marche, à peu près... Il y a donc forcément eu beaucoup de casse, des semi-conducteurs grillés par des tensions et des courants indubitablement excessifs !

Mon premier vélo électrique date de 1992. J'avais lu le premier quart d'un livre qui m'a suffi pour me lancer dans une PWM à environ 100 Hz, une armada de 10 MOSFET "BUZ", une énorme batterie de voiture de 100 Ah et le démarreur de 2 kW d'une **Citroën CX 2.5D**.

Au premier coup d'accélérateur, le moteur a marché, je devrais plutôt dire le vélo *avait* marché. Les MOSFET étaient grillés et le vélo s'est changé en moto : il dépassait les 60 km/h, il était parfaitement inarrêtable. Inutile de couper la tension d'alimentation de la commande de largeur d'impulsion, les FET cramés ne se souciaient plus de leur tension de grille.

J'avais heureusement monté un fusible et surtout un frein assez solide



Figure 3. Avec ce modèle de vélo électrique de 1994 et quelques autres qu'il a conçus depuis, L. Krüger a beaucoup appris sur les courants de forte intensité.

pour finir par faire sauter le fusible. Étape suivante : je construis un gros interrupteur, fait de cuivre épais et d'un ressort, connecté au câble Bowden au lieu du potentiomètre. Les 10 premiers mètres sur ce vélo étaient amusants. Après il devenait incontrôlable dans les rues étroites de ma ville natale, mais j'adorais faire le pitre. Et j'ai appris que, quand on augmente la taille d'un moteur, la limitation du courant est o-bli-ga-toire. Et que cette commande doit être suffisamment rapide pour faire face au gradient de la montée du courant, au risque d'avoir des oscillations dans la boucle de régulation. Par après, j'ai étudié sérieusement les tenants et les aboutissants de la régulation, mais c'était bien moins drôle que la vie réelle. Plus tard encore, les outils de simulation comme PSpice, ou son successeur SIMetrix, m'ont permis d'acquérir une meilleure expérience. J'ai eu de moins en moins de problèmes avec la régulation des courants de forte intensité, mais dans mon labo, il n'est toujours pas interdit de griller des MOSFET de temps en temps à condition de porter des lunettes de protection.

Parfois, ça arrive par accident : une sonde de mesure dérape et provoque un court-circuit. Au fait, la photo montre mon deuxième e-bike de 1994. Le premier était si rapide que je n'ai même pas eu le temps de le photographier. »

Lars Krüger

MOSFET, BJT et PLL

Robert Owen à une riche expérience dans divers domaines de l'électronique. Il partage ici ce qu'il a appris un jour qu'il fallait désynchroniser périodiquement la commande de poursuite d'un projecteur vidéo à tube cathodique. Du fait de l'utilisation pourtant a priori évidente d'un transistor MOSFET, il s'est heurté à des problèmes. Heureusement, résolus sans trop de difficultés. Voyons comment.

« Il y a des années, dans une autre vie, j'ai eu à me pencher sur la séparation de la synchronisation et de la commande de suivi de vidéoprojecteurs à tube cathodique. Afin de plaire aux utilisateurs

PARTAGEZ VOS ERREURS

Êtes-vous prêt à partager l'expérience de vos erreurs ? Que vous soyez professionnel, familier de systèmes embarqués, ou un amateur, électronicien du dimanche, nous pensons que toutes les erreurs peuvent se révéler fécondes

www.elektormagazine.com/pages/error-analysis-submission

qui insistaient pour que l'image de leur magnétoscope à 200 \$ soit parfaite sur nos projecteurs à 10.000 \$, nous devions pouvoir interrompre la boucle de pilotage PLL pendant la commutation de la tête du magnétoscope. Heureusement, la puce de commande avait pour cela une entrée de pilotage idoine. J'ai donc inséré un transistor MOSFET comme résistance variable et assemblé une nouvelle carte. Pourtant, non seulement ce circuit n'a pas permis d'ouvrir la boucle, mais celle-ci essayait au contraire de suivre le signal de synchronisation de plus près encore ! Résultat : image déchirée en haut de l'écran. Nos projecteurs affichaient toutes les lignes de l'image, contrairement à un téléviseur, qui ne se gênait pas pour en couper bien 10 à chaque extrémité. J'ai fini par comprendre que l'entrée de pilotage réagissait à l'impulsion de courant issue de ce condensateur géant formé par la jonction grille-source du MOSFET. Il a donc suffi de remplacer ce MOSFET par un JFET ou, comme je l'ai fait, par un simple BJT pour résoudre le problème. »

Robert Owen 

200303-03

LIEN

- [1] "Independent Wheel Drive 1/10 Scale RC Car - Project Aelith", SiliconWitch Couture, YouTube, 2014 :
<https://youtu.be/ET1HEyqEQJQ>