

Principes de base des relais statiques (SSR)



Sommaire

Introduction	1
I/ Constitution d'un relais statique	2
A/ Circuit d'entrée	2
B/ Fonctionnement de l'entrée d'un relais statique	3
1. Types de couplages	3
2. Commande au zéro de tension ou relais synchrones (zero cross)	4
3. Commande instantanée ou relais non synchrones (random)	4
4. Commande à la crête de la tension ou relais démarrage crête	5
5. Autres types de commande : Relais statiques évolués	5
C/ Organe de commutation de puissance	5
1. Relais statiques DC	5
2. Relais statiques AC (SCR & Triac)	6
II/ Caractéristiques des relais statiques	8
A/ Caractéristiques d'entrée	8
B/ Caractéristiques de sortie	9
C/ Paramètres généraux	10
D/ Sélectionner le relais statique approprié	11
III/ Protections des relais statiques	12
A/ Sensibilité au bruit	12
B/ dv/dt	12
C/ Réseau RC (ou Snubber)	12
D/ Ecrêteur de surtension (ou VDR)	13
E/ Diodes et Zener	14
F/ MOV : varistances à oxyde métallique	14
G/ Fusibles	16
H/ Disjoncteurs	17
IV/ Gestion thermique	19
A/ Principes de transfert de chaleur	19
1. Effet de la température sur un semi-conducteur	19
2. Génération et évacuation de la chaleur dans un semi-conducteur	19
3. Conduction	19
4. Convection	20
5. Radiation	20
B/ Chute directe à l'état passant	21
C/ Calcul thermique	21
1. Rappels de la loi de Ohm	21
2. Relais statiques sans dissipateur thermique externe	22
3. Relais statiques avec semelle, à monter sur dissipateur	23
4. Montage en fond d'armoire	23

5. Montage de plusieurs relais sur un seul dissipateur	23
6. Relais statiques “prêts à l’emploi”, montés sur dissipateur	24
7. Précautions et conseils de montage/installation	24
D/ Courbes thermiques	25
V/ Relais particuliers	28
A/ Relais statiques modules d’interface	28
1. Modules de sortie	28
2. Modules d’entrée	29
B/ Relais statiques avec fonctions avancées	29
C/ Modules spéciaux de diagnostic et de contrôle	30
VI/ Fiabilité et conformités	31
A/ Influence de la conception du produit sur la fiabilité	31
B/ Tests de fiabilité, MTTF et durée de vie prévue	32
C/ Normes de sécurité	36
1. Termes et définition	38
2. Immunité	41
3. Emissions	43
E/ Directive RoHS	45
F/ Directives DEEE (WEEE en anglais)	46
VII/ Comment tester un relais statique ?	47
A/ Paramètres de déclenchement (“Turn On” / “Turn Off”)	47
B/ Paramètres de sortie (charge)	47
C/ Isolation (tenue diélectrique)	48
D/ Courant de surtension (Surge Current)	48
E/ Tension transitoire de blocage (Peak Transient Voltage)	48
F/ Modes de défaillance	48
VIII/ Applications	50
A/ Contrôle de température	50
B/ Variateur de lumière	51
C/ Applications en environnements dangereux	51
D/ Applications dans les énergies renouvelables	52
E/ Inverseur moteur	53
F/ Applications IoT	54

Introduction

Dans le secteur en constante évolution des systèmes électroniques, **le relais statique (SSR - Solid State Relay) est une preuve d'innovation et d'efficacité**. Contrairement à leurs homologues électromécaniques, les relais statiques utilisent des éléments de commutation à semi-conducteurs tels que les thyristors, triacs, diodes et transistors pour contrôler la puissance électrique sans pièces mobiles, ce qui leur confère une **durée de vie pratiquement illimitée, sans arc électrique** (antidéflagrant), entièrement moulés — les rendant ainsi idéaux pour les environnements difficiles (poussière, gaz, etc.), **silencieux, résistants aux chocs et aux vibrations**. Cette différence fondamentale prolonge non seulement leur durée de fonctionnement, mais améliore également leur fiabilité et leurs performances dans une multitude d'applications.

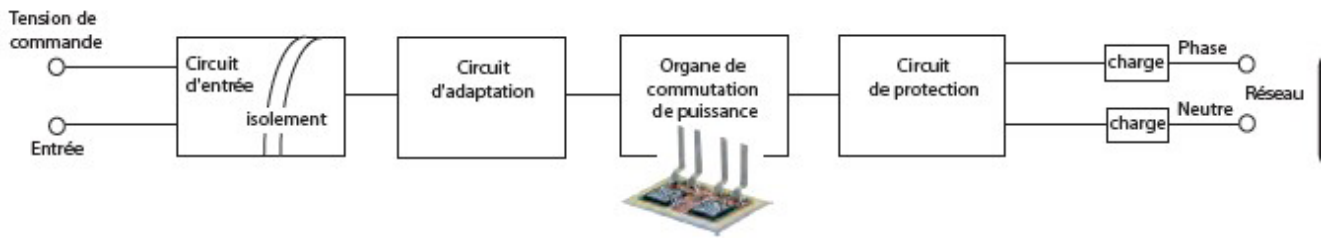
L'histoire du relais statique a débuté au début des années 1970, marquant un tournant majeur dans notre approche de la commutation électrique. En éliminant l'usure mécanique, les SSR offrent une vitesse de commutation plus rapide et une durabilité accrue, les rendant indispensables dans l'automatisation moderne, le contrôle industriel et l'électronique grand public. Leur capacité à gérer avec précision des charges en courant alternatif (AC) et continu (DC), tout en nécessitant peu d'entretien, a révolutionné notre conception des systèmes de commande électrique, notamment grâce à la possibilité de choisir le moment de la commutation : déclenchement au passage par zéro (relais synchrone) pour les charges résistives ou commutation instantanée (relais asynchrone), dès l'application de la tension de commande, pour éviter les variations brusques et instantanées de courant génératrices d'interférences. Ce point est essentiel face aux nouvelles directives relatives à la compatibilité électromagnétique (CEM), tant en ce qui concerne les perturbations conduites que rayonnées.

Depuis leur apparition, les SSR se sont imposés tout particulièrement dans les équipements à base de microprocesseurs, grâce à leur grande précision dans le contrôle des processus, pour l'industrie, l'automatisation, le domaine médical et d'autres équipements. Les SSR exploitent les avantages de la commutation par semi-conducteurs dans un format pratique, avec une puissance de commande très faible, directement adaptée en tension et courant aux sorties logiques des systèmes électroniques, ce qui permet un circuit de commande extrêmement simplifié, sans bobines de relais, lesquelles ont toujours tendance à générer des interférences. Cette introduction met en lumière les remarquables capacités des SSR et ouvre la voie à une exploration approfondie de leur conception, de leur fonctionnement et de leurs applications.

celduc® relais fabrique une **large gamme de relais statiques de puissance allant jusqu'à 130 ampères**, en version monophasée, biphasée ou triphasée, des modules d'interface entrée/sortie, ainsi qu'une gamme de relais statiques améliorés conçus pour un meilleur contrôle de certaines charges, notamment en termes de puissance, de vitesse, de démarrage ou de sens de rotation.

I/ Constitution d'un relais statique

Le relais statique (SSR) est un dispositif électronique qui s'appuie sur les propriétés électriques, magnétiques et optiques des semi-conducteurs et des composants électroniques pour assurer les fonctions d'isolation et de commutation. Sa construction, illustrée ci-dessous, se compose de **quatre sections principales** :



Exemple : Relais statique AC

- ❶ Types de circuits d'entrée
- ❷ Optocoupleur = Isolation
- ❸ Options de commutation selon le type de charge
- ❹ Élément de commutation de puissance
- ❺ Protection en sortie
 - Plages de tension **celduc® relais**
 - Surtension
 - Normes CEM / Sécurité
 - Solutions **celduc® relais**

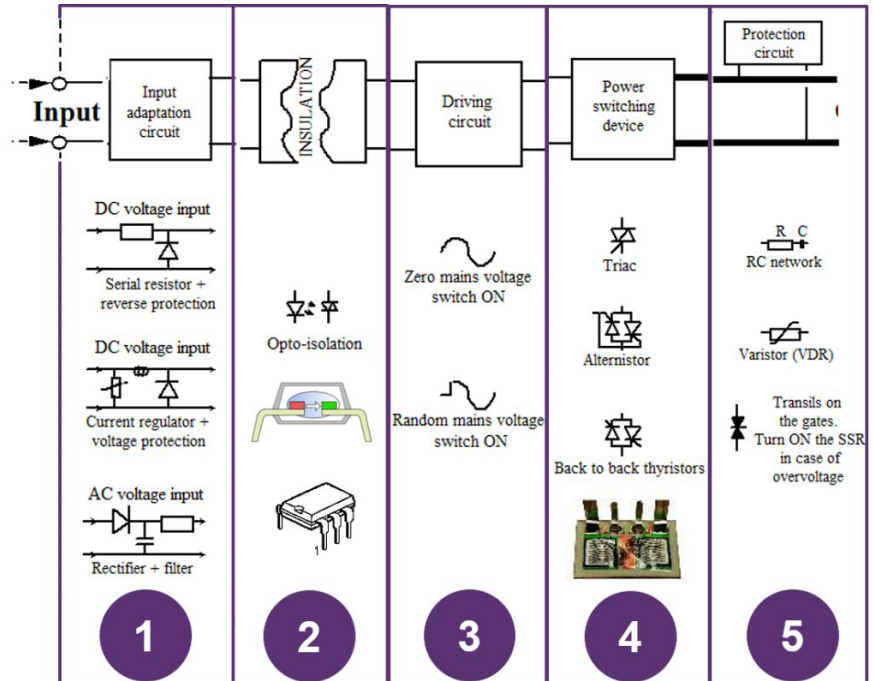


Fig.1

Comparé au relais électromécanique (EMR), le relais statique (SSR) permet une réduction significative des interférences électromagnétiques. L'enclenchement contrôlé du SSR au point de passage par zéro de la ligne AC contribue à réduire le courant d'appel élevé associé aux charges capacitatives et aux lampes. De plus, la fonction d'extinction au passage par le courant nul, rendue possible par les thyristors utilisés dans les relais statiques pour courant alternatif, représente une amélioration majeure par rapport aux contacts à arc des relais électromécaniques.

A/ Circuit d'entrée

Ce circuit assure l'isolement galvanique entre le circuit d'entrée et le reste du montage. Il est réalisé par une commande optique appelée opto-coupleur (figure 2). Le courant d'entrée, limité par la résistance R, proportionnel à la tension de commande est appliqué à une diode électroluminescente (LED). La lumière agit sur un élément photosensible qui transmet l'information à la sortie. Le courant de fonctionnement étant typiquement de 2 à 3mA, la puissance nécessaire à la commande est donc très faible. La LED acceptant des courants de 2 à 30mA, la tension de commande peut être généralement comprise entre 4V et 30VDC.

Une diode en série ou en anti parallèle sur la LED, protège celle-ci d'un branchement d'entrée de polarité inverse. Pour une commande en tension alternative un pont redresseur, un filtre et une résistance sont interposés (figure 3). Ainsi la commande de la LED du photocoupleur se trouve inchangée. La tolérance sur le courant permet de même des écarts de 17 à 80VAC ou de 90 à 240VAC. Un certain nombre de relais **celduc® relais** intègrent en plus une LED de visualisation de l'état de l'entrée. Les optocoupleurs utilisés dans les relais **celduc® relais** sont conformes à la norme VDE0805 et présentent un isolement entrée/sortie > 3750VRMS, une capacité entrée/sortie très faible avec un niveau d'immunité très élevé : >10 000V/μs.

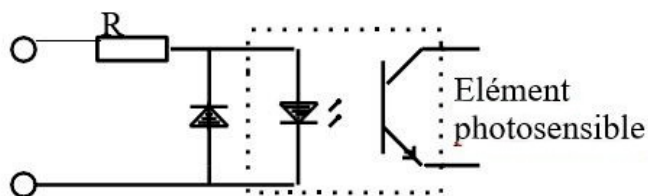


Fig.2

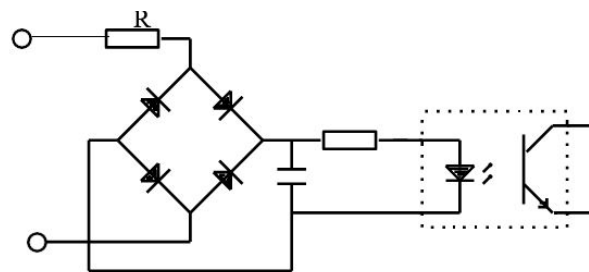


Fig.3

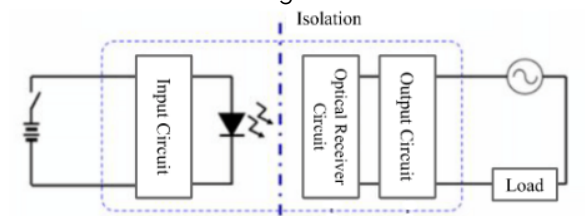
B/ Fonctionnement de l'entrée d'un relais statique

1. Types de couplages

L'isolation entre l'entrée et la sortie est assurée par un couplage optique ou par une combinaison oscillateur-transformateur. Les configurations optiques et par transformateur offrent une isolation électrique similaire entre l'entrée et la sortie (comprise entre 1,5 kV et 4 kV), empêchant les hautes tensions ou courants susceptibles d'endommager les circuits d'entrée. L'isolation entre l'entrée/sortie et le boîtier est généralement spécifiée avec la même valeur que l'isolation entre l'entrée et la sortie.

a) Couplage optique

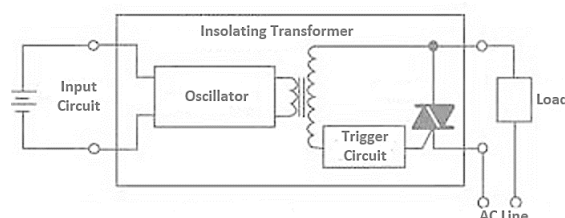
Cette conception utilise la lumière pour transférer les signaux entre les circuits d'entrée et de sortie, garantissant ainsi une isolation électrique. Elle est généralement réalisée à l'aide d'une diode électroluminescente (LED) et d'un dispositif semi-conducteur photosensible. Lorsqu'un signal électrique est appliqué à l'entrée du SSR, la LED émet de la lumière. Cette lumière est détectée par le dispositif photosensible du côté sortie, qui génère alors un signal électrique pour commander la charge.



b) Couplage par transformateur

Bien que le couplage optique soit le système d'isolation le plus utilisé par les fabricants de relais statiques (SSR), le couplage par transformateur est également employé lorsqu'on recherche l'avantage d'une commande directe par signal de contrôle. Ce type de couplage utilise un transformateur présentant des caractéristiques de faible perte et de haute fréquence. Le signal d'entrée en courant continu (DC) est pris en charge par un oscillateur, tandis que la sortie du transformateur est redressée puis appliquée comme puissance de commande aux semi-conducteurs de sortie.

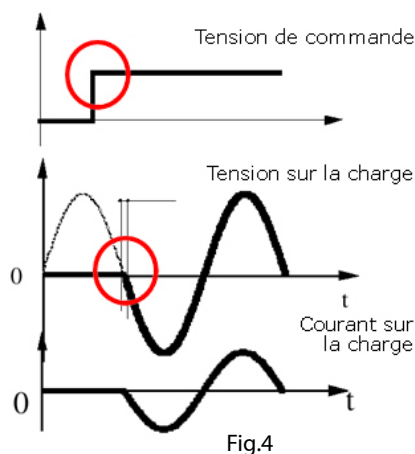
Le couplage par transformateur offre une efficacité élevée de gain entre l'entrée et la sortie et permet également de réduire les courants de fuite en état bloqué (off-state leakage) du côté sortie. Cependant, comme la majorité des applications SSR utilisent une commande en courant continu, le principal inconvénient réside dans la nécessité d'un oscillateur côté primaire et d'un redresseur/filtre côté secondaire. En effet, l'oscillateur peut générer un très faible niveau de bruit électromagnétique (EMI), ce qui peut être indésirable pour certaines applications sensibles. Néanmoins, le couplage par transformateur dans les SSR constitue une méthode robuste et fiable pour assurer une isolation électrique et un transfert de puissance efficace. En tirant parti des avantages du couplage par transformateur, les SSR peuvent offrir des performances améliorées et une longévité accrue dans un large éventail d'applications.



2. Commande au zéro de tension ou relais synchrones (zero cross)

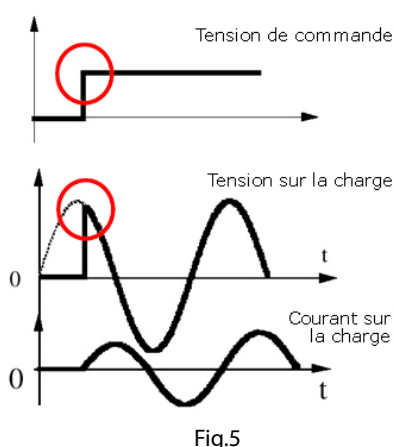
La commutation de puissance n'a lieu qu'au début de l'alternance qui suit l'application de la commande. La commutation de l'élément de puissance n'est permise que dans la zone autour du zéro de tension. Cette zone est encore appelée « fenêtre de passage par zéro » ou parfois « niveau de passage par zéro ». Les relais statiques **celduc® relais** présentent un niveau de passage par zéro très faible (généralement inférieur à 10 Volts). Ce paramètre de commande permet d'éviter les variations brusques de courant sur toutes les charges résistives (Fig. 4), telles que les lampes, les éléments chauffants, et prolonge la durée de vie des composants de commutation.

Ce circuit de commande est également adapté à la gestion de charges capacitives, moyennant quelques précautions supplémentaires (une note d'application spécifique est disponible sur demande). Les relais statiques **celduc® relais** peuvent également être utilisés avec des charges inductives, bien que le contrôle au passage par zéro ne soit pas optimisé pour ce type d'application.



3. Commande instantanée ou relais non synchrones (random)

Dans le cas d'une commande instantanée (ou relais asynchrone) la commutation de puissance a lieu dès l'application de la tension de commande (temps de fermeture inférieur à $100\mu s$). Ce type de commande est plus adapté à toutes les charges très INDUCTIVES du fait du déphasage entre courant et tension. Il est également adapté aux systèmes nécessitant une commutation immédiate. (Fig. 5)



4. Commande à la crête de la tension ou relais démarrage crête

La commutation de puissance n'a lieu qu'à la crête de tension de l'alternance qui suit l'application de la commande. Cette commande est particulièrement adaptée à la commande de charges selfiques saturables du type transformateurs. Ce qui permet d'empêcher la saturation du transformateur et d'éviter des pointes de courants magnétisants importantes. (Fig. 6). Note application spécifique sur demande.

5. Autres types de commande : Relais statiques évolués

Modèles intégrant des fonctions d'interfaçage plus sophistiquées ou spécifiques:

- Démarreurs progressifs de moteurs,
- Régulateur de lumière ou de vitesse (gradateurs à angle de phase - Fig 7)
- Régulateur de puissance de chauffe (trains d'ondes standards, «syncopé»- Fig 8)
- Relais adaptés à la commutation de charges alimentées en courant continu
- Relais d'interface entrée/sortie

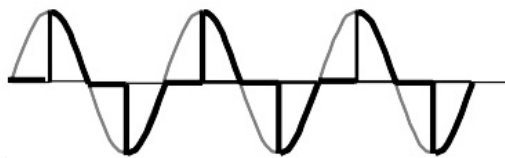


Fig.7

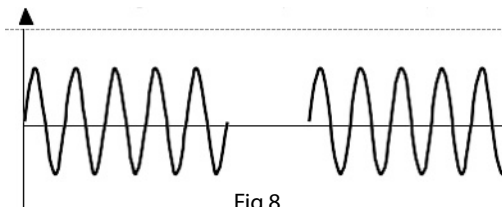


Fig.8

C/ Organe de commutation de puissance

La désignation SSR (AC ou DC) fait référence au type de commutation en sortie, contrairement aux caractéristiques de la tension de commande en entrée, qui peuvent également être en courant alternatif (AC) ou continu (DC).

La commutation AC peut être réalisée à l'aide de transistors ou de thyristors montés en pont ou en configuration inverse parallèle. Les transistors présentent l'avantage de pouvoir commuter aussi bien en AC qu'en DC, et ils ne sont pas sensibles aux effets de régénération (dv/dt) associés aux thyristors. Toutefois, les thyristors conservent l'avantage pour les applications en courant alternatif, en raison de leurs capacités supérieures en courant, en surtension et en tension, ce qui rend les transistors de puissance actuellement mieux adaptés à la commutation en courant continu.

1. Relais statiques DC

Dans un relais statique DC, le degré d'amplification est généralement directement lié au faible courant disponible dans l'optocoupleur. Ainsi, plus le courant de sortie requis est élevé, plus il faudra de niveaux d'amplification. Tant que la polarité est respectée, la charge peut être commutée en série avec l'un ou l'autre des terminaux de sortie du relais, comme c'est le cas pour les relais statiques AC.

L'élément de commutation peut être un transistor bipolaire (BIPOLAR), un MOSFET ou un IGBT, selon les modèles, fonctionnant en état saturé ou bloqué. Pour un relais statique DC, la borne positive de la charge (marquée +) doit être orientée vers la borne positive de l'alimentation. Si les bornes de la charge sont inversées, le relais peut s'enclencher immédiatement. Certains relais statiques DC intègrent une diode de protection qui permet au courant de circuler librement en cas de mauvaise connexion, évitant ainsi d'endommager le transistor à cause d'une erreur de câblage. Un relais statique DC peut être installé de part et d'autre de la charge et fonctionnera correctement.

Cependant, il est préférable de l'installer entre l'alimentation et la charge. En effet, si la charge est directement connectée à l'alimentation, une tension potentiellement dangereuse peut être présente même lorsque le système ne fonctionne pas. La protection de ces relais est généralement assurée par une diode de roue libre montée en parallèle avec la charge, notamment lorsqu'elle est inductive.

La gamme de relais DC **celduc® relais** est actuellement limitée à 100 V / 60 A ou 200 V / 20 A (voir les spécifications des relais DC). En complément, **celduc® relais** développe également des relais spéciaux sur cahier des charges, adaptés à des applications spécifiques : relais pour l'automobile, contrôle de moteurs à courant continu (vitesse et sens de rotation), énergies renouvelables, etc.

2. Relais statiques AC (SCR & Triac)

Les composants de sortie les plus couramment utilisés dans les relais statiques AC sont les redresseurs contrôlés au silicium (SCR) et les triacs, regroupés sous le terme générique de thyristors, une famille d'interrupteurs à semi-conducteurs dont l'état bistable dépend d'une rétroaction régénérative. Leur principal intérêt dans les relais statiques réside dans leur capacité à commuter des charges de forte puissance, pouvant atteindre 125 A et des tensions secteur jusqu'à 660Vac, tout en nécessitant moins de 50 mA de courant de

gâchette.

De plus, ils peuvent supporter des surtensions de courant de crête d'un cycle supérieures à 10 fois leur valeur nominale en régime permanent. Les thyristors sont des diodes à gâchette, conductrices dans une seule direction. Il est donc nécessaire d'en monter deux en antiparallèle pour pouvoir transmettre les deux demi-alternances d'un signal alternatif (voir Fig. 9).

La caractéristique régénérative (latch) du thyristor lui confère sa capacité élevée en courant et en surcharge, mais elle est également à l'origine de sa sensibilité aux variations rapides de tension – un phénomène moins souhaitable connu sous le nom de dv/dt ou effet de taux de montée. Contrairement à un transistor, un SCR ne peut pas être polarisé pour rester dans une zone de transition entre les états bloqué et conducteur. Une fois que la régénération est amorcée par un signal de gâchette, la transition est rapide et uniquement contrôlée par la rétroaction interne positive.

L'amplitude du signal de déclenchement (gate) dépend très peu du courant d'anode (ou de collecteur), car la conduction est contrôlée en interne. En revanche, elle est fortement influencée par l'impédance de gâchette, la tension d'anode et la température de jonction.

Les triacs sont des semi-conducteurs commandés par la gâchette capables de conduire dans les deux directions. Un seul triac peut donc commuter les deux demi-alternances d'un réseau alternatif (voir Figure 10).

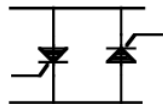


Fig.9 : Thyristors tête-bêche



Fig.10 : Triac

Ces éléments de commutation ont une fonction commune : ils ne conduisent que lorsqu'un courant approprié est appliqué à l'électrode de commande (gâchette). Une fois l'état conducteur atteint, la conduction est maintenue, même en l'absence de courant de gâchette, tant que le courant circulant reste supérieur à un certain seuil, appelé courant de maintien (holding current). Dans un relais statique, ce courant de maintien est généralement spécifié, et il est utile à connaître lorsqu'un relais est commandé par impulsions, mais il ne doit pas être confondu avec le courant de fonctionnement minimal du relais statique. En effet, lorsque le signal de commande est appliqué de manière permanente, et que le courant de charge est inférieur au courant de maintien, c'est le circuit de commande (pilotage) du composant de puissance qui assure la conduction du courant dans la charge.

Les SCR et les triacs utilisent des circuits de commande similaires, et ils présentent également des zones de sensibilité équivalentes au bruit et aux transitoires.

Il existe 2 autres façons de rendre ces éléments de puissance conducteurs mais qui sont néfastes à l'utilisation et contre lesquelles on doit se prémunir :

- **Amorçage par dv/dt (statique)** : Le composant étant à l'état bloqué (non commandé), si une brusque variation de tension est appliquée à ses bornes, la capacité parasite Anode/Gâchette génère un courant de gâchette ($i = Cdv/dt$) pouvant entraîner la mise en conduction du semiconducteur pendant une alternance secteur.
- **Amorçage par tension crête** : si une tension importante supérieure à la tension maximale admissible (tension crête max.) est appliquée, le semiconducteur se met en avalanche et devient conducteur. Cet amorçage peut être destructif s'il est suivi d'un courant important.

Les triacs standards ont aussi un autre inconvénient. Lorsqu'un triac est conducteur, au moment où le courant s'annule, il ne faut pas réappliquer une tension trop rapidement à ses bornes car il y a risque qu'il ne se bloque pas. Lors d'une commutation OFF sur charge selfique (quelque soit le type de relais), la tension secteur est réappliquée rapidement au moment de l'arrêt du courant dû au déphasage entre courant et tension. La tenue d'un triac à cette réapplication de tension appelée dv/dt à la commutation ($(dv/dt)_c$) dépend beaucoup de la pente du courant au moment du blocage ($(di/dt)_c$). (fig. 11). C'est pourquoi les triacs ne sont utilisés que pour les petits courants.

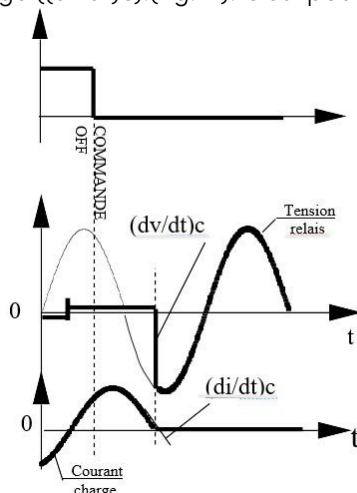


Fig.11 : Commutation OFF charge selfique

II/ Caractéristiques des relais statiques

La 1ère page d'une fiche technique de relais statique (SSR) définit le type de boîtier, le type de commutation (AC ou DC), ainsi que la plage de courant et la tension commutable pour un modèle ou une famille produit. Il existe de nombreux styles de boîtiers, tout comme il existe différentes configurations de bornes et types de montage. Les configurations de bornes les plus couramment utilisées — et adaptées à certains domaines d'application — incluent : bornes à vis, connecteurs rapides pour fils, Fast-on ou broches (pins). La Figure 12 illustre la plage de courant de charge optimale pour chaque type de boîtier et de borne de connection, ce qui permet d'assurer l'efficacité de l'application en termes de compatibilité, de montage et en fonction du courant de charge. Les valeurs maximales sont indiquées pour chaque ensemble lorsqu'il est monté avec le dissipateur thermique approprié (si nécessaire), mais ces limites restent dépendantes des conditions environnementales : température ambiante, circulation d'air, taille de l'armoire et ventilation.



Montage en
fond d'armoire
(1-Monophasé)
(0,1A à 125A)



Montage en
fond d'armoire
(2-Biphasé)
(0,1A à 75A)



Montage en
fond d'armoire
(3-Triphasé)
(0,1A à 85A)



«Prêt à l'emploi»
(0,1A à 50A)



Circuit imprimé
(0,1A à 5A)



Relais spécifique
(0,1A à 100A)

Fig.12 : Types de SSR par boîtier et configuration des bornes

Les spécifications des relais statiques sont par nature plus complexes que celles des relais électromécaniques, principalement en raison des caractéristiques des semi-conducteurs et des paramètres de fonctionnement. Chaque type de SSR possède un ensemble très spécifique de spécifications, qui varient selon le courant de charge, la tension et les plages d'entrée.

A/ Caractéristiques d'entrée

- **Plage de tension de commande** – La plage de tensions qui doit être appliquée sur les bornes d'entrée pour maintenir un état « Marche » (On) aux bornes de sortie.
- **Tension maximale de mise en marche** – La valeur maximale de tension qui doit être appliquée sur les bornes d'entrée pour maintenir un état « Marche » (On) aux bornes de sortie.
- **Tension minimale de coupure** – La valeur minimale de tension qui doit être appliquée sur les bornes d'entrée pour maintenir un état « Marche » (On) aux bornes de sortie. Dans la zone de seuil entre la mise en marche et la coupure (environ 2 volts), le SSR peut se trouver dans l'un ou l'autre état.
- **Courant d'entrée maximal** – Le courant maximal drainé par le circuit de commande, généralement spécifié à deux points dans la plage de tension de commande (la sortie étant supposée être à l'état Marche sauf pour les versions normalement fermées). Ce paramètre définit les besoins en puissance d'entrée.

- **Impédance d'entrée minimale** – L'impédance minimale à une tension donnée, qui définit les besoins en puissance d'entrée, comme alternative ou en complément au paramètre de courant d'entrée.
- **Temps maximal de mise en marche** – Le temps maximal entre l'application du signal de commande de mise en marche et la transition de la sortie vers son état de conduction complète.
- **Temps maximal de coupure** – Le temps maximal entre la suppression du signal de commande de mise en marche et la transition de la sortie vers son état bloqué.

B/ Caractéristiques de sortie

- **Plage de tension de fonctionnement** – La plage de tensions qui doivent être présentes en sortie, sur laquelle le SSR fonctionnera continuellement, en commutant, bloquant ou effectuant toute autre fonction prévue. Le paramètre de fréquence est soit inclus, soit spécifié séparément (pour les modèles AC).
- **Courant maximal de charge** – C'est le courant maximal continu que le SSR peut délivrer, lequel peut être limité par les contraintes thermiques du dissipateur, la température ambiante et d'autres conditions environnementales ou d'installation. Le courant qui circule dans le SSR ne doit jamais dépasser le courant maximal admissible du composant de puissance en fonctionnement permanent. Ce courant est directement proportionnel à la taille de la puce de silicium montée dans le relais statique et dépend du système de refroidissement. **celduc® relais** utilise généralement des puces dimensionnées en fonction du courant maximal indiqué. Pour mieux comprendre la taille réelle des puces utilisées par les fabricants de SSR, il est intéressant de comparer les valeurs de courant d'appel (paramètres I_{tsm} et I^2t), qui sont directement liées à la taille du semi-conducteur. La gamme **celduc® relais** est de 4A, 12A, 25A, 50A, 75A, 95A, 125A. Cependant, le courant maximal ne peut être atteint que si la température du composant de puissance ne dépasse pas la valeur maximale admissible (habituellement 125°C).
- **Phénomènes de fatigue thermique** – Les composants électroniques de puissance qui subissent de nombreux cycles thermiques chaud-froid, comme c'est le cas pour les relais statiques soumis à un fonctionnement on/off relativement continu, peuvent être affectés par un phénomène de fatigue thermique, susceptible de réduire leur durée de vie, dû aux contraintes thermo-mécaniques induites par les variations constantes de température. EN RÈGLE GÉNÉRALE, LES RELAIS STATIQUES DOIVENT TOUJOURS ÊTRE SURDIMENSIONNÉS. IL EST CONSEILLÉ DE LES REFROIDIR CORRECTEMENT POUR UN FONCTIONNEMENT OPTIMAL.
- **Courant minimal de charge** – C'est le courant minimal de charge requis pour que le SSR fonctionne comme prévu. Cette spécification, combinée au courant maximal, définit la plage de courant de fonctionnement.
- **Surtension transitoire** – C'est la surtension maximale que le SSR peut supporter sans dommage ni dysfonctionnement tout en restant à l'état bloqué. Un dépassement de cette valeur peut provoquer la mise en marche du SSR sans dommage si les conditions de courant sont respectées. La durée de la surtension dépend de certaines caractéristiques du SSR, telles que la capacité interne de dissipation et les protections installées.
- **Courant d'appel maximal (non répétitif)** – C'est le courant maximal admissible, sur une durée limitée, que le SSR peut supporter sans dommage ni dysfonctionnement. Il est généralement spécifié en valeur crête et représenté dans des courbes courant/temps. Le contrôle du SSR peut être perdu pendant et immédiatement après ce pic.
- **Surcharge maximale (non répétitive)** – Similaire au précédent, mais spécifié en courant efficace (RMS) sur une durée déterminée. Le cycle de service n'est pas nécessairement indiqué pour les valeurs non répétitives, mais la durée est généralement de l'ordre de quelques secondes, liée au temps de refroidissement nécessaire pour la jonction du semi-conducteur.
- **Chute de tension maximale en conduction** – C'est la tension crête maximale présente aux bornes de sortie du SSR à pleine charge.
- **I^2t maximal** – C'est la capacité maximale de courant pulsé non répétitif que le SSR peut supporter, utilisée pour le choix des fusibles et exprimée en ampères carrés secondes (A^2s) pour une largeur d'impulsion donnée.

- **Résistance thermique jonction-boîtier ($R_{\theta jc}$)** – Ce paramètre définit le gradient de température entre la jonction du semi-conducteur (T_j) et le boîtier du SSR (T_c) pour une puissance dissipée donnée. $R_{\theta jc}$ sert à calculer le refroidissement nécessaire en fonction du courant et de la température ambiante, dans la limite des capacités opérationnelles du composant.
- **Dissipation de puissance** – C'est la puissance maximale dissipée (en watts), principalement issue de la chute de tension effective (perte de puissance) dans le semi-conducteur, généralement exprimée sous forme de courbes selon le courant du SSR.
- **Mise en marche maximale à tension nulle** – C'est la tension maximale à l'état bloqué présente aux bornes de sortie juste avant la mise en marche initiale, après application du signal de commande. Ce paramètre définit la fenêtre de mise en marche permise.
- **Tension maximale crête répétitive** – C'est la tension maximale à l'état bloqué présente aux bornes de sortie avant chaque mise en marche à chaque demi-cycle suivant le premier, avec un signal de commande actif. La pratique la plus courante est d'utiliser des semi-conducteurs dont la tenue en tension est au moins le double de la tension crête de l'application. C'est pourquoi **celduc® relais** recommande des relais 600 V pour des applications 12-280 VAC, 1200 V pour 24-520 VAC et 1600 V pour 600 VAC.
- **Courant de fuite maximal à l'état bloqué** – C'est le courant de fuite maximal traversant les bornes de sortie sans signal de commande appliqué. Ce paramètre est généralement spécifié à la tension maximale nominale sur toute la plage de température de fonctionnement. Le courant de fuite varie exponentiellement avec la température de jonction, restant très faible si celle-ci est raisonnable. Sur la nouvelle génération de SSR **celduc® relais**, ce courant est inférieur à 0,2 mA, ce qui permet de minimiser les réseaux de protection RC. Cela réduit aussi au maximum le courant de fuite dû au réseau RC, qui dépend de la tension secteur et de la fréquence ($I_c = 6,28 \times U \times C \times F$). Ce courant de fuite peut poser problème dans la commande de très petites charges (petites électrovannes, etc.), car il peut suffire à alimenter la charge. La réduction de ce courant de fuite permet donc aux SSR **celduc® relais** de fonctionner correctement avec des charges très faibles.
- **dv/dt minimal à l'état bloqué** – C'est la vitesse de montée de la tension appliquée aux bornes de sortie que le SSR peut supporter sans se mettre en conduction, en l'absence de signal de commande, exprimée en volts par microseconde (V/ μ s) à la tension nominale maximale.

C/ Paramètres généraux

- **Rigidité diélectrique** – Aussi appelée « tension d'isolement », ce paramètre est exprimé en tension efficace (RMS) à 50/60 Hz et indique la valeur minimale que tout SSR peut supporter sans claquage. Les SSR **celduc® relais** ont une tension d'isolement entre entrée et sortie de 4000 VAC. La spécification d'isolement entre sortie et dissipateur thermique est comprise entre 2 500 VAC et 4 000 VAC selon la construction du modèle, en conformité avec les normes européennes et internationales. La norme EN60947 spécifie la tension assignée à la résistance aux chocs = U_{imp} . La plupart des modèles **celduc® relais** sont spécifiés pour $U_{imp} = 4000$ V et sont conçus pour un degré de pollution 2 selon IEC664-1.
- **Résistance d'isolement** – Valeur minimale résistive (exprimée en ohms) mesurée sous une tension spécifique donnée.
- **Capacité maximale entrée-sortie** – Valeur maximale de couplage capacitif entre les bornes de commande et de puissance.
- **Plage de température ambiante** – Limite de la température ambiante environnante, généralement spécifiée pour les conditions de fonctionnement et de stockage. La température maximale de fonctionnement peut être restreinte davantage par les conditions environnementales ainsi que par les capacités de refroidissement et de dissipation thermique.

D/ Sélectionner le relais statique approprié

Lors du choix d'un relais statique (SSR), les concepteurs doivent d'abord prendre en compte les principales spécifications et plages de fonctionnement requises pour leur application spécifique, telles que les exigences d'entrée, de sortie, de charge et d'installation. **Dans de nombreux cas, c'est la charge qui déterminera le boîtier du SSR.** Généralement, les courants de charge supérieurs à 8 ampères nécessitent un dissipateur thermique, quel que soit le courant nominal du SSR. Par exemple, un SSR de 10 A a une capacité en air libre de 6 A à une température ambiante de 40 °C, tandis qu'un SSR de 40 A dans le même boîtier a une capacité de 8 A dans les mêmes conditions environnementales. Cette légère amélioration provient d'une dissipation un peu plus faible, mais elle ne peut pas être plus élevée car les deux SSR sont thermiquement similaires et ont la même interface boîtier/air. Cela reflète le fait que **les capacités maximales d'un SSR ne peuvent être atteintes qu'avec un dissipateur thermique adéquat**, permettant de maximiser l'efficacité de cette interface pour évacuer la chaleur du composant de puissance à l'intérieur du SSR.

Une fois le boîtier et la configuration des bornes appropriés sélectionnés, les paramètres suivants à considérer sont l'isolation, les **paramètres d'entrée et la tension et le courant de sortie**. La valeur d'isolation et les paramètres d'entrée sont généralement faciles à identifier, en revanche, les paramètres de sortie nécessitent une sélection plus minutieuse en fonction de chaque application. La plupart des fabricants de SSR proposent des plages de tensions et courants de fonctionnement similaires, cependant, la **capacité aux surtensions transitoires** ou les tensions de blocage peuvent varier jusqu'à 200 V, ce qui, dans certaines installations, peut faire la différence entre une installation fiable avec une marge de sécurité adéquate contre les surtensions ou une installation inadaptée, très vulnérable aux dysfonctionnements graves dus aux pics de tension. Si la capacité aux surtensions transitoires est trop faible, cela peut même empêcher l'utilisation d'un dispositif externe de suppression des transitoires pour protéger contre ces pics. Le **choix de la plage de courant de charge du SSR** doit prendre en compte les exigences d'installation et l'influence que la charge peut avoir sur ses performances, comme l'**espace physique nécessaire** pour associer le SSR à un dissipateur thermique adéquat. Les paramètres de **courant de charge minimum et maximum en régime permanent**, ainsi que la **capacité aux courants de pointe non répétitifs et répétitifs**, sont également des facteurs importants à considérer.

III/ Protections des relais statiques

A/ Sensibilité au bruit

Le niveau de défaillance d'un SSR dû au bruit n'est généralement pas catastrophique, sauf s'il se produit un déclenchement intempestif lors d'un point du cycle du courant où un courant d'appel très élevé pourrait survenir (par exemple, un filament de tungstène froid peut générer un courant instantané jusqu'à 20 fois son intensité nominale au pic de tension du réseau). Une autre possibilité, plus rare, est un déclenchement répétitif d'une même polarité, ce qui pourrait provoquer la saturation d'une charge inductive, entraînant ainsi des surintensités destructrices pour le SSR et la charge.

Dans la plupart des cas, un dysfonctionnement dû au bruit est seulement temporaire, comme un allumage alors que le SSR devrait être éteint, ou inversement. Il existe des tests spécifiques permettant de déterminer le niveau précis de sensibilité au bruit. Certaines techniques utilisées pour réduire le bruit dans les circuits de couplage et de commande sont également efficaces contre les déclenchements intempestifs causés par des transitoires de tension sur les lignes d'entrée. Par exemple, l'ajout d'un condensateur, dont le temps de réponse n'est pas très critique pour les SSR à courant alternatif, peut allonger ce temps de quelques microsecondes à quelques dixièmes de millisecondes. Cette temporisation permet de rejeter les transitoires ou rafales de tension de courte durée, améliorant ainsi l'immunité au bruit dans le temps. Concernant l'amplitude d'un transitoire, un thyristor peut se déclencher de manière intempestive lorsque la vitesse de montée (dv/dt) d'un transitoire ou de la tension appliquée dépasse certaines limites. Les suppressions de transitoires sont efficaces pour limiter l'amplitude, tandis que le réseau RC (snubber) améliore la tolérance d'un SSR face aux effets liés à la vitesse de montée (dv/dt).

B/ dv/dt

L'effet de vitesse de montée (dv/dt) dans les thyristors est causé par le couplage capacitif à l'intérieur de la structure du dispositif, entre la borne haute (anode) et la gâchette (gate), ce qui peut entraîner un déclenchement auto-induit si les limites de dv/dt du SSR sont dépassées. L'expression dv/dt définit la variation de tension par rapport au temps, exprimée en volts par microseconde ($V/\mu s$), voir Fig. 13. Appliqué à un SSR AC, le dv/dt "statique" ou "en état bloqué" représente le paramètre définissant la vitesse maximale admissible de montée de tension aux bornes de sortie qui ne provoquera pas la mise en conduction du SSR.

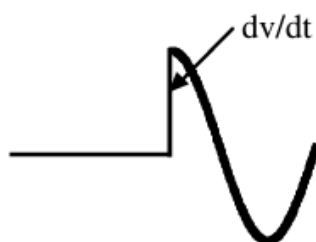


Fig.13

Lorsque les paramètres opérationnels critiques et les limites d'un SSR sont correctement spécifiés, incluant le facteur de puissance de la charge et la plage de température, l'effet du dv/dt de commutation a déjà été pris en compte dans la conception. Par exemple, lorsque le dispositif de sortie est un triac, un snubber est considéré comme essentiel pour les charges inductives afin d'égaliser la performance des deux SCR montés en inverse-parallèle. Bien que le snubber puisse ne pas être nécessaire pour la commutation des SCR, il est souvent inclus pour améliorer la capacité du SSR à supporter le dv/dt statique. De plus, le snubber offre une certaine immunité aux pics de tension brefs et facilite l'utilisation de suppressions de transitoires.

C/ Réseau RC (ou Snubber)

Le réseau interne RC (snubber) utilisé dans les SSR AC est une implantation importante **pour la suppression des surtensions transitoires et du dv/dt** . Il est capable de gérer efficacement deux aspects d'un transitoire de tension : en ralentissant la vitesse de montée (rate of rise) vue par les thyristors et les circuits de commande

sensibles, et en limitant l'amplitude maximale que cette surtension peut atteindre. Cependant, cette protection a ses limites, car une surtension prolongée ou une impulsion persistante finira par atteindre la tension de blocage, ce qui peut potentiellement provoquer une défaillance.

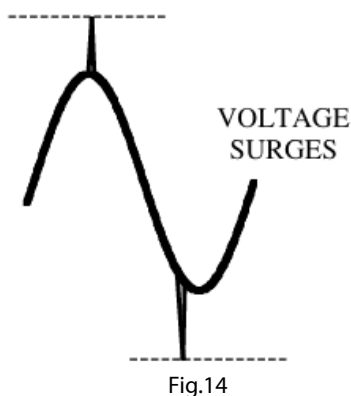
Étant donné que ces effets peuvent apparaître lors de la mise sous tension, du commutation de charges inductives ou d'interférences sur le réseau, les relais **celduc® relais** ont été améliorés pour mieux résister à ces facteurs, en permettant de réduire considérablement, voire d'éliminer pratiquement, le réseau RC. **celduc® relais** garantit ses relais pour une immunité conforme à la norme EN61000-4-4, qui correspond aux transitoires rapides. La majorité des relais sont garantis sans arcs jusqu'à 2 kV (voire 4 kV), alors que le test est réalisé avec des temps de montée de l'ordre de la nanoseconde.

D/ Ecrêteur de surtension (ou VDR)

Pour les applications où des surtensions transitoires peuvent se produire, provoquant potentiellement un déclenchement intempestif du relais statique (SSR), certains dispositifs de suppression, au-delà des capacités du réseau RC (snubber), peuvent s'avérer efficaces. La technique la plus courante consiste à ajouter un dispositif de limitation de tension (clamping device) aux bornes du relais, qui absorbera l'énergie transitoire au-delà d'un seuil prédéfini. Une fois activés, certains dispositifs de suppression comme les éclateurs (spark gaps) passent à une très faible impédance, transférant ainsi la majeure partie de l'énergie transitoire vers la charge, comme si le SSR s'était enclenché. D'autres dispositifs, tels que les diodes Zener et les varistances (MOV), ne conduisent que lorsque la tension dépasse le seuil défini, partageant l'énergie de la surtension avec la charge – c'est l'approche la plus utilisée. Si, dans une application particulière, il est jugé inacceptable que la charge reçoive une quelconque énergie transitoire, la seule solution peut être soit de supprimer la source de transitoires, soit d'utiliser un SSR ayant une capacité de blocage supérieure à celle de la surtension.

Les réseaux de distribution électrique sont souvent «pollués» par des impulsions de tension parasites de forte amplitude (voir Fig. 14). Ces pics de tension sont nuisibles pour les composants semiconducteurs utilisés dans les relais statiques. **celduc® relais** recommande l'**utilisation de varistances (VDR) installées aux bornes de puissance des relais statiques. Une varistance est un composant non linéaire dont la résistance varie en fonction de la tension.**

À la tension nominale, la varistance est pratiquement non conductrice. En cas de surtension, elle présente une faible impédance, limitant ainsi les pics de tension à des valeurs acceptables pour le relais. **celduc® relais** intègre une varistance en standard sur certaines gammes de relais, et en option sur d'autres (petites séries). Il est donc fortement recommandé d'en utiliser également sur les autres produits du catalogue. Pour les réseaux européens de 230 V $\pm 10\%$ en triphasé, **celduc® relais** recommande l'utilisation de varistances de 275 V pour les réseaux 230 V et de 460 V pour les réseaux 400 V. Il existe différentes tailles de varistances, absorbant plus ou moins d'énergie. **celduc® relais** recommande l'utilisation d'au moins une varistance de taille «14» pour une protection efficace.



E/ Diodes et Zener

Une diode montée en parallèle avec la charge est le moyen le plus efficace de supprimer les centaines de volts de force électromotrice inverse (FEM ou back EMF) qui peuvent être générées par une bobine lors de sa coupure. Les inconvénients de cette méthode sont que le relais statique (SSR) n'est pas totalement protégé contre d'autres sources de transitoires, et que le temps de relâchement de la charge (électro-aimant, relais électromécanique, etc.) peut être allongé de plusieurs millisecondes. Si un temps de relâchement prolongé est inacceptable, il peut être considérablement réduit grâce à un circuit diode-Zener. Dans chaque cas, la diode doit avoir une tension inverse de crête (PIV – Peak Inverse Voltage) supérieure à la tension de fonctionnement maximale de la charge, tandis que la valeur de la Zener (V_z) ne doit pas dépasser la tension de claquage du SSR moins la tension de la charge. Il convient de prévoir une marge pour les valeurs plus élevées que peut

atteindre la Zener en cas de courants impulsifs (pic) ou à température élevée.

La règle générale pour la sélection des diodes de protection et des Zeners est que leur courant de crête non répétitif (courant impulsif) doit être égal ou supérieur au courant maximal de la charge. Les puissances admissibles en régime permanent (steady-state) pour ces composants peuvent être déterminées à l'aide de l'équation suivante :

$$P_{\text{watts}} = \frac{I_L L^2}{t_r}$$

où:

I_L = Courant de charge en DC Amps

L = Inductance de charge en Henrys

t_r = Taux de répétition On / Off en Secondes

Exemple : Une charge avec une résistance de 8 ohms et une inductance de 0,004 Henry est alimentée par une alimentation 32 V CC tout en étant allumée et éteinte 8 fois par seconde : $I_L = 32 \text{ Volts} / 8 \text{ Ohms} = 4 \text{ Amp}$

$t_r = 1/8 = 0.125 \text{ Second}$

$P = 4^2 \times 0.004 / 0.125 = 0.758 \text{ Watt}$

Dans ce cas, une diode de protection ou une Zener d'une puissance nominale de 1 watt serait adéquate.

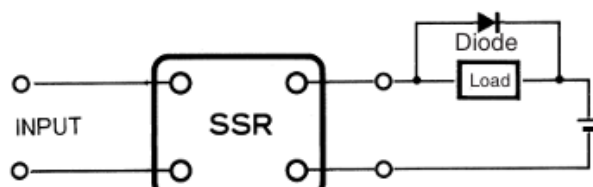


Fig. 15 SSR-Diode Circuit

F/ MOV : varistances à oxyde métallique

Des dispositifs tels que les varistances à oxyde métallique (MOV) ont été développés pour fournir la protection nécessaire dans certains environnements particulièrement sévères. Les MOV, comme leur nom l'indique, sont composés d'oxydes métalliques, principalement d'oxyde de zinc, frittés (fusionnés) sous haute pression et température pour former un matériau céramique. Les types de puissance moyenne, allant de 3 à 300 joules (Watt-secondes), sont généralement fabriqués sous forme de disques de 0,8 à 2,5 cm de diamètre. Dotés de broches radiales et d'un revêtement en époxy rigide, ils ressemblent fortement à des condensateurs céramiques à disque et peuvent être montés de manière similaire. Un MOV peut être utilisé sur la ligne d'alimentation pour supprimer les transitoires externes avant qu'ils n'atteignent le système, sur la charge pour supprimer les transitoires générés par celle-ci, ou, plus fréquemment, directement aux bornes d'un relais statique (SSR), afin de le protéger de toutes les sources de transitoires.

Dans ce dernier cas, le MOV peut être monté aux mêmes bornes de sortie du SSR que le câblage de la charge. L'impédance de la charge étant en série avec le MOV, ce qui limite le courant, une unité de 30 joules est généralement suffisante pour les pointes de tension brèves, tout en étant assez petite pour être supportée par ses propres broches. Certains fabricants proposent des MOV avec des cosses préassemblées afin de faciliter le montage sur les bornes à vis des SSR ou les barrettes de connexion des systèmes d'entrée-sortie à microprocesseur. Lorsqu'un MOV est connecté à travers la ligne d'alimentation, l'impédance limitant le courant est uniquement celle de la source d'énergie et du câblage. Pour absorber les transitoires de haute énergie provenant d'une source à faible impédance, un MOV de plus grande capacité (300 à 600 joules) peut être nécessaire. Le coût plus élevé de ce type d'appareil peut être justifié si la suppression des transitoires sur la ligne est nécessaire en un seul point. On peut également envisager l'usage d'éclateurs, qui peuvent être une solution plus adaptée dans les applications intensives.

Certains transitoires générés par la charge ne posent généralement pas problème dans le cadre d'une onde sinusoïdale CA typique et des caractéristiques de commutation du SSR. Néanmoins, un MOV peut être utilisé efficacement à travers des charges telles que des transformateurs ou des alimentations à découpage, où les pointes de tension sont trop rapides pour être absorbées par le transformateur. Cependant, lorsqu'il est monté à travers la charge, le MOV ne protégera pas le SSR contre les transitoires venant de la ligne ; au contraire, il pourrait les amplifier en court-circuitant l'effet de filtrage d'une charge inductive.

Bien qu'une situation donnée puisse dicter où le MOV doit être utilisé, le choix prioritaire reste souvent les bornes de sortie du SSR. Les caractéristiques électriques du MOV en font essentiellement une résistance non linéaire dépendant de la tension. Lorsqu'il est correctement sélectionné, son impédance à tension nominale reste très élevée, ne laissant passer qu'un courant de fuite de quelques microampères. Lorsque la tension

approche sa tension de clamping (écrêtage), le MOV devient rapidement une faible impédance, ce qui provoque une augmentation rapide du courant, bien plus rapide que l'augmentation de la tension. L'amplitude de la tension transitoire instantanée sur le SSR est alors le rapport des chutes de tension IR à travers le MOV et les impédances source-charge.

Pour choisir correctement un MOV dans une application donnée, il faut disposer de données sur l'impédance de la source et sur la puissance impulsionnelle du transitoire. Dans le cas de transitoires générés en interne par le système, des estimations peuvent être faites lorsque les paramètres du circuit sont connus et que des données statistiques et formes d'ondes sont disponibles. Pour les transitoires provenant de la ligne d'alimentation, le choix du MOV est beaucoup plus difficile, car la nature de ces transitoires et les caractéristiques de la source sont généralement inconnues. En l'absence de données précises, on utilise des hypothèses basées sur des relevés de tension effectués à différents endroits et sur de longues périodes. Ces hypothèses sur la forme d'onde s'appuient souvent sur des impulsions normalisées dans l'industrie, typiquement de 20 à 50 microsecondes, avec une impédance source suggérée de 50 à 150 ohms. On peut aussi estimer l'impédance à partir de la puissance apparente (KVA) de la source si elle est connue.

Quand le MOV est placé aux bornes de sortie du SSR, il bénéficie de la présence d'une impédance minimale connue (celle de la charge), en plus d'une éventuelle impédance source inconnue en série. Toute inductance présente dans la charge contribuera à augmenter l'impédance vis-à-vis des transitoires rapides, améliorant ainsi l'efficacité du MOV. Comme mentionné précédemment, un MOV de 20 à 30 joules placé aux bornes de sortie du SSR convient dans la plupart des cas, selon l'expérience combinée de plusieurs fabricants de SSR. Le choix du MOV selon la tension doit se baser sur la tension RMS maximale continue attendue : par exemple 130 V RMS pour une ligne nominale de 115 V et 250 V RMS pour une ligne de 220 V. Pour garantir une protection complète, la tension de claquage du SSR doit être supérieure à la tension de clamping du MOV. Le MOV doit entrer en conduction dans la région des ampères avant que la tension de claquage du SSR ne soit atteinte.

L'usage d'un MOV est impératif dans le cas d'un contacteur statique inverseur. Les relais avec TVS (suppresseur de tension transitoire) internes ne doivent pas être utilisés dans des applications d'inversion de moteur.

Lorsqu'un MOV est spécifié dans des conditions inconnues, il est recommandé de se référer à une norme de test des transitoires, dans laquelle la durée, la forme d'onde et l'impédance source sont clairement définies. Cela permet de s'assurer que les valeurs choisies offriront une performance fiable et reproductible. Un test couramment utilisé est le test IEEE C37.90.1 2012 Surge Withstand Capability (SWC). Le transitoire décrit dans ce test est une salve oscillatoire (avec résonance), atteignant un pic de 2,5 à 3 kV, et décroissant à 50 % en 6 microsecondes à une fréquence de 1,0 à 1,5 MHz. Ce transitoire est appliqué au SSR pendant au moins 100 salves sur 2 secondes, avec un générateur ayant une impédance source de 150 ohms. Lorsque l'impédance source est connue, le courant de crête minimal que le MOV doit conduire pour éviter la rupture du SSR pour un transitoire donné peut être calculé. Ainsi, pour un SSR avec une tension de claquage de 600 volts, et en utilisant les paramètres du test ci-dessus, le courant est déterminé par :

$$I_{MOV} = \frac{E_S - E_{SSR}}{Z_s}$$

$$I_{MOV} = (3000 - 600) / 150 = 16 \text{ Amp minimum}$$

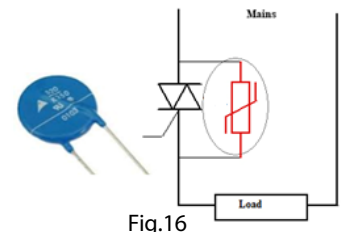


Fig.16

Ainsi, un MOV capable de conduire un courant minimum de 6 ampères à moins de 600 volts doit être utilisé.

Étant donné qu'un MOV n'est pas indestructible, les spécifications des fabricants doivent être consultées, en particulier lorsque des transitoires sont connus et prévisibles. En plus du nombre d'impulsions admissibles au cours de la durée de vie du MOV, la fréquence des transitoires peut également devenir un facteur critique si ceux-ci se produisent en succession rapide. Un train d'impulsions peut entraîner une augmentation radicale des exigences énergétiques du MOV, pouvant aller jusqu'au produit de l'énergie d'une seule impulsion (en watts-secondes) par le nombre d'impulsions par seconde.

Le MOV sélectionné doit donc avoir une capacité de dissipation de puissance moyenne (PAV) continue égale ou supérieure à celle générée par ce train d'impulsions. Il est indispensable de consulter les fiches techniques spécifiques des MOV pour obtenir des informations précises sur leur capacité d'absorption d'énergie, leurs caractéristiques de clamping (écrêtage) et leurs dimensions, car les relations entre ces paramètres varient d'un modèle à l'autre.

Lorsqu'un MOV est utilisé au-delà de ses limites spécifiées, il finit par tomber en panne — généralement en mode « court-circuité ».

G/ Fusibles

Lors d'un court-circuit, la ligne doit être protégée suivant les normes en vigueur (NFC15100 & CEI 364) et donc disposer d'un dispositif capable d'interrompre le courant dans un temps réduit en protégeant les

personnes et le matériel. Ce dispositif de coupure devra être d'autant plus rapide, s'il est associé avec un relais statique classique à thyristor ou à triac, car ces éléments ne supportent qu'un courant de pointe limité.

Lors d'un court-circuit sur la ligne, la forme d'onde obtenue (fig 17) dépendra du courant de court-circuit présumé de la ligne (courant appelé I_{cc} et atteint s'il n'y avait aucun dispositif de protection). La rapidité du dispositif de protection est caractérisée par la grandeur $i^2 dt$ qui est la somme de $I^2 t$ de préarc et de $I^2 t$ d'arc.

On utilise cette valeur $I^2 t$ appelée contrainte thermique pour vérifier que les composants du circuit sont bien protégés. Cette caractéristique $I^2 t$ est valable seulement si la durée du surcourant est de courte durée (<10ms). Au delà il faut prendre la valeur efficace du courant.

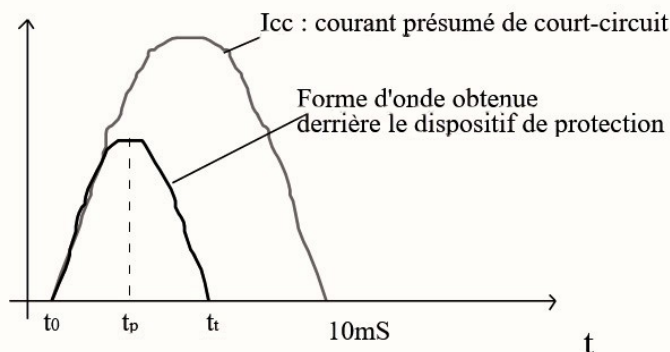


Fig.17

Dans la protection des relais statiques (SSR), il est essentiel que le courant de passage du fusible en cas de défaut reste inférieur à la capacité de tenue aux surtensions du semi-conducteur de sortie (généralement un thyristor pour les SSR en courant alternatif, voir Fig. 18). Afin de coordonner les caractéristiques des fusibles avec celles du SSR, les fiches techniques des SSR utilisent généralement des termes similaires pour la spécification du fusible, comme $I^2 t$ (A^2s), une expression couramment utilisée pour définir les performances d'un fusible. Pour les fusibles, $I^2 t$ représente l'énergie transmise (ou énergie de passage), mesurée en fonction du courant et du temps, et elle est directement basée sur le courant de surtension crête admissible par le thyristor de sortie lors d'un cycle unique.

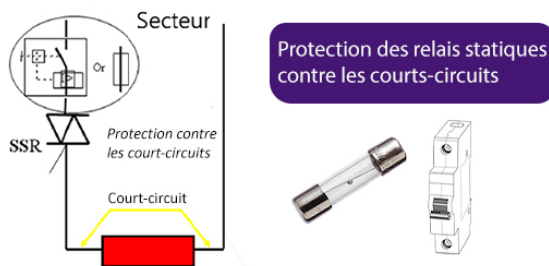


Fig.18

La procédure consiste à sélectionner un fusible dont le courant d'énergie de passage $I^2 t$ est inférieur à la capacité $I^2 t$ du SSR, pour une même durée. Un point intéressant à noter est que les caractéristiques de surtension des SSR sont généralement basées sur les spécifications des thyristors, qui exigent une capacité de blocage inverse après surtension – même si la plupart des fiches techniques de SSR ne le mentionnent pas explicitement. Lorsqu'un fusible en série s'ouvre, il n'y a plus de demande de conduction ni de blocage, et par conséquent, le thyristor peut supporter une surtension plus élevée que celle indiquée dans les spécifications publiées. Le courant de surtension maximal admissible par un thyristor est environ 20 % plus élevé s'il n'y a pas de tension appliquée immédiatement après une surtension d'une demi-période ou moins. Cela signifie que les SSR peuvent être considérés comme ayant une capacité de courant plus élevée – et donc une valeur $I^2 t$ plus grande – lorsqu'ils sont protégés par un fusible pour semi-conducteurs. Cette majoration de 20 % peut être considérée comme une marge de sécurité intégrée lors de la sélection du bon fusible.

Un autre facteur à considérer dans l'appariement fusible/SSR est que leurs spécifications sont basées sur des formes d'onde différentes : triangulaire pour les fusibles, et sinusoïdale pour les SSR. Toutefois, la différence est minime et, dans tous les cas, l'effet thermique du courant de passage $I^2 t$ du fusible sera inférieur à celui d'une valeur $I^2 t$ équivalente pour le SSR.

Voici les **principaux paramètres utilisés pour la sélection d'un fusible** :

1. Tension nominale du fusible
2. Courant nominal du fusible
3. Courant de défaut disponible dans le système
4. Courant de crête de passage du fusible
5. Énergie totale de coupure (ou énergie de passage) $I^2 t$ du fusible
6. Capacité de tenue aux surtensions ($I^2 t$) du SSR

La tension nominale du fusible doit évidemment être au moins égale à la tension du système, et son courant nominal doit être supérieur au courant de charge en régime permanent. Il faut également tenir compte des conditions de démarrage du système et des surtensions normales d'exploitation, comme le démarrage d'un moteur, afin d'éviter des déclenchements intempestifs du fusible dans les pires scénarios.

Les valeurs I^2t des relais **celduc® relais** sont parmi les plus performantes du marché.

Gamme celduc® relais :

Calibre relais	12Amp	25Amp	4a Amp	50Amp	75Amp	95Amp	125 Amp
I^2t (A ² s) (<10ms)	72	312	610	1500	5000	11000	20000

celduc® relais préconise pour chaque type de charges les fusibles adaptés aux relais statiques :

- sur charge résistive : utilisation de fusibles FERRAZ GRB ou GRC
- sur moteur : utilisation de fusibles «am» standards avec adaptation du calibre du relais.

En règle générale , pour une marge de sécurité correcte on prend comme valeur I^2t fusible <1/2 I^2t relais.

Un paramètre important doit être pris en compte : il s'agit de la fatigue thermique du fusible . C'est pourquoi, toutes les associations proposées par **celduc® relais** ont été testées dans le laboratoire de FERRAZ.

La publication IEC 60947-4-3 (2020) de la CEI fait une distinction entre deux types de protection (appelés «coordination»), désignés par les types «1» et «2».

Coordination Type 1 :Le type 1 exige que, en cas de court-circuit, l'appareil ne présente aucun danger pour les personnes ni pour l'installation, mais peut ne pas être réutilisable sans réparation ou remplacement de pièces.

En application : Pour des charges où le risque de court-circuit est faible, la coordination de type 1 peut être utilisée. Dans ce cas, le SSR est dimensionné selon la charge, et le dispositif de protection est choisi pour protéger l'installation. Mais en cas de court-circuit, le SSR peut être endommagé (en court-circuit) et devra être remplacé pour remettre l'installation en service.

Coordination Type 2 : Le type 2 exige que, en cas de court-circuit, l'appareil ne présente aucun danger pour les personnes ni pour l'installation, et soit réutilisable sans réparation.

En application : Pour des charges où le risque de court-circuit est plus élevé, la coordination de type 2 doit être utilisée. Dans ce cas, le SSR est choisi en fonction de la charge, et le dispositif de protection (fusible, disjoncteur) est spécifié pour protéger à la fois l'installation et le SSR.

Cela signifie que le dispositif de protection doit intervenir avant que le SSR ne soit endommagé. Ainsi, en cas de court-circuit, le SSR sera correctement protégé et pourra continuer à être utilisé sans remplacement.

H/ Disjoncteurs

Le portefeuille actuel de **celduc® relais** propose des relais statiques auto-protégés. Cependant, la technologie de protection intégrée influence la chute de tension à l'état passant (On-state). Cela peut nécessiter l'utilisation d'un dissipateur thermique plus grand, ce qui entraîne un surcoût. Ainsi, **une alternative efficace consiste à utiliser un relais statique associé à un disjoncteur ultra-rapide, correctement dimensionnés.** Cette solution peut offrir une protection adaptée, tout en limitant les pertes thermiques et les coûts globaux.

Les disjoncteurs mécaniques ont beaucoup évolués. Il existe des disjoncteurs de type modulaire très compacts qui possèdent un déclenchement en thermique et en magnétique, c'est à dire qu'ils sont capables de couper sur une surcharge, mais aussi sur un court-circuit . Leur pouvoir de coupure est de plus en plus performant et atteint 15 à 25 kA en courant I_{cu} (courant ultime pour lesquels il est préférable de les changer) et 10 à 20 kA en courant I_{cs} (Courant de coupure de Service) . Le déclenchement magnétique dépend du type de disjoncteur .

Les nouveaux disjoncteurs rapides de type «courbe Z», déclenchent pour un courant correspondant à 2 à 3 I_n . Ces disjoncteurs (ABB, MERLIN GERIN, EATON, ...) sont en fait des «limiteurs de courant de court-circuit» . Ils sont conçus pour limiter le temps de coupure et la valeur du courant de court-circuit, pour réduire simultanément les deux facteurs de la contrainte thermique passante (I^2t passant). La valeur de limitation du courant de court-circuit et le temps de coupure sont des facteurs déterminants pour la protection des circuits en aval contre les destructions occasionnées par les courts-circuits de la charge. Pour déterminer le disjoncteur, il y a lieu de connaître le courant de court-circuit présumé (appelé I_{cc} ou I_p), calculé au point où il est installé. La détermination de ce courant présumé de court-circuit en un point donné de l'installation est en général connue des installateurs, mais, vous pouvez demander à **celduc® relais** la note d'application spécifique. Le disjoncteur doit avoir un pouvoir de coupure au moins égal à I_{cc} au point où il est installé conformément à la norme NF C 15-100/434-2-1 (CEI364).

Les relais statiques sont généralement installés après une cascade de dispositifs de protection et de sectionnement et les sections de fils sont déjà relativement réduites, ce qui limite le courant de court-circuit à des valeurs inférieures à 5000 Ampères. Dans ces conditions, les valeurs d' I^2t obtenues à l'aide des disjoncteurs rapides «courbe Z» en cas de court-circuit de la charge sont acceptables par les relais statiques **celduc® relais** à fort I^2t .

Pour vérifier le niveau de protection, il suffit de se reporter aux courbes des constructeurs qui donnent :

- Les courbes de déclenchement permettent de vérifier la protection en surcharge (thermique)

Exemple : Disjoncteur 16A déclenchera avec une surcharge de 30A en 20 secondes maximum.

- La courbe de contrainte dynamique permet de voir l'effet limiteur de ces disjoncteurs.

Exemple : $I_{cc\text{ eff}} = 4000A \rightarrow I_d \text{ passant maxi} = 2400 \text{ Ampères}$ pour un disjoncteur calibre 16A .

- La courbe de contrainte thermique I^2t permet de déterminer l' I^2t maxi laissé passé par le disjoncteur et que verra le relais statique sur un court-circuit et ceci en fonction de I_{cc} de la ligne au point de l'installation.

Exemple : $I_{cc} = 2000A$ calibre disjoncteur = 16A $I^2t \text{ maxi} = 3200A^2s$ $I_{cc} = 4000A$ calibre disjoncteur = 25 A $I^2t \text{ maxi} = 10000A^2s$

Ces valeurs sont des maximums données par le constructeur . Il faut tout de même noter qu'en utilisant des relais statiques synchrones associés à des disjoncteurs , le fait de commander le relais au zéro de tension limite la contrainte thermique .

Pour l'emploi avec ces disjoncteurs, **celduc® relais** a développé dans les mêmes boîtiers standards des relais à fort I^2t :

- Relais 45/50Amp: $I^2t > 1500A^2s$ (typ $> 2000A^2s$)
- Relais 75Amp: $I^2t > 5000A^2s$ (typ $> 7000A^2s$)
- Relais 95Amp: $I^2t > 11000A^2s$ (typ $> 12500A^2s$)
- Relais 125Amp: $I^2t > 20000A^2s$ (typ $> 21000A^2s$)

Une attestation du laboratoire ABB certifié a été faite en association avec les relais statiques **celduc® relais** Elle donne les valeurs limites de courant présumé de court-circuit pour les calibres de relais correspondants associés à des disjoncteurs rapides de la marque.

CALIBRE DU RELAIS	Limites de courant présumé de court-circuit (I_{cc}) ou "Prospective current" (I_p)	
	Disjoncteur Z16	Disjoncteur Z50
50A - 5000A ² s	3000 Amp	2000 Amp
95A - 11000A ² s	5000 Amp	3000 Amp
125A -20000A ² s	7000 Amp	4000 Amp

A noter : D'autres associations sont possibles car, en général, les courants présumés de court-circuits sont plus faibles. **celduc® relais** a de nombreuses applications où l'association de relais 50A avec 5000A²s avec un disjoncteur Z16 fonctionne parfaitement.

IV/ Gestion thermique

A/ Principes de transfert de chaleur

Il n'est pas rare que la durée de vie des équipements électroniques soit d'au moins 10 ans, certaines applications visant même 25 ans ou plus. Ainsi, **les considérations thermiques doivent être pleinement prises en compte dès la phase de conception des circuits électroniques.**

Le transfert de chaleur est une énergie en transit due à une différence de température. Les trois modes fondamentaux de transfert thermique sont la conduction, la convection et le rayonnement.

1. Effet de la température sur un semi-conducteur

Il est bien connu que **la durée de vie utile et la fiabilité des semi-conducteurs s'améliorent à mesure que la température de fonctionnement diminue.** La température de la jonction du semi-conducteur, notée T_j , est le principal critère de sa fiabilité et de ses performances. Sa valeur maximale admissible, $T_j(\max)$, est spécifiée par le fabricant du semi-conducteur.

2. Génération et évacuation de la chaleur dans un semi-conducteur

Lors de la conversion d'énergie dans un semi-conducteur, une partie de l'énergie électrique se transforme en chaleur. Cette génération de chaleur, également appelée pertes thermiques, est proportionnelle à $1 - e$, où e est le rendement du semi-conducteur, spécifié par le fabricant. **Si cette chaleur n'est pas évacuée, la température de jonction augmentera au-delà de la limite admissible, ce qui entraînera des dommages et la défaillance éventuelle du semi-conducteur.**

La chute de tension typique de 1,2 volt à l'état passant (à courant maximal) aux bornes de sortie est responsable de la majeure partie de la dissipation thermique aussi bien dans les SSR AC que DC, indépendamment de la tension de fonctionnement. À des courants plus faibles, la tension diminue légèrement, créant une non-linéarité dans les courbes de dissipation en fonction du courant, comme indiqué dans les fiches techniques.

3. Conduction

Le transfert de chaleur qui se produit à travers un milieu immobile est appelé conduction. On la considère généralement comme le transfert thermique à travers des matériaux solides, bien qu'elle puisse également avoir lieu dans les fluides. La loi de Fourier décrit le flux de chaleur, Q (énergie thermique transférée par seconde – en watts), à travers une couche solide de la manière suivante :

$$Q = \frac{k - A_c}{l} (T_1 - T_2)$$

Où :

k – conductivité thermique du solide, $[W/m \cdot K]$ ou $[W/m \cdot ^\circ C]$

A_c – section transversale à travers laquelle la chaleur circule, $[m^2]$

l – longueur à travers laquelle la chaleur circule, $[m]$

T_1, T_2 – températures sur les limites 1 et 2 respectivement, $[^\circ C]$

Dans ce cas, $T_1 > T_2$ puisque la chaleur ne peut être transférée que d'un objet chaud à un objet plus froid.

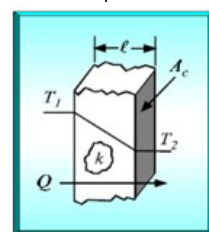


Fig 19.

Conduction à travers un solide de longueur l et d'aire A_c

4. Convection

La convection est un mode de transfert de chaleur qui se produit à l'interface entre une surface solide et le fluide environnant. Les couches de fluide adjacentes à la surface solide se réchauffent, puis s'éloignent vers des parties plus fraîches du fluide. Il existe deux types distincts de convection, classés selon le mécanisme d'écoulement du fluide : la convection naturelle et la convection forcée.

La convection naturelle se produit lorsque l'écoulement du fluide est dû aux forces de flottabilité naturelles à l'intérieur du fluide.

La convection forcée survient lorsque l'écoulement du fluide est provoqué par des moyens externes, tels qu'un ventilateur, une pompe ou le vent atmosphérique.

Le transfert de chaleur par convection est décrit par la loi du refroidissement de Newton comme suit :

$$Q = hA_s (T_s - T_a)$$

où:

h - coefficient de transfert de chaleur par convection, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$

A_s - superficie, $[m^2]$

T_s - température de surface, $[^\circ C]$

T_a - température ambiante du fluide, $[^\circ C]$

Le coefficient de convection, noté h , dépend de la géométrie physique (c'est-à-dire la forme et la longueur de la surface solide dans la direction de l'écoulement) ainsi que des propriétés thermo-physiques du fluide (type de fluide et température de fonctionnement). Dans le cas des dissipateurs thermiques, il dépend également de l'espacement entre les ailettes, car cet espacement détermine le champ d'écoulement du refroidissement.

5. Radiation

Le transfert de chaleur par rayonnement est une énergie émise par une matière à température finie, transportée sous forme d'ondes électromagnétiques. Alors que le transfert d'énergie par conduction ou convection nécessite la présence d'un milieu matériel, le rayonnement ne le requiert pas. Puisque tout objet ou corps à température finie émet un rayonnement, cela implique que chaque objet est également récepteur du rayonnement émis par les corps qui l'entourent. Il en résulte un échange net de chaleur par rayonnement entre une surface et son environnement, relation qui peut s'exprimer par la formule suivante :

$$Q = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4)$$

où:

ε - émissivité, une propriété radiative de la surface, $[-]$

A_s - surface émettrice, $[m^2]$

σ - constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8} [W/m^2 \cdot K^4]$

T_s - température de surface émettrice en Kelvins, $[K]$

T_{sur} - température ambiante en Kelvins, $[K]$

L'émissivité de la surface d'un objet se situe dans la plage $0 < \varepsilon < 1$, indiquant à quel point la surface émet efficacement comparée à un radiateur idéal.

L'un des aspects les plus importants à considérer dans l'utilisation des relais statiques est la conception thermique. Il est essentiel que l'utilisateur fournisse un moyen efficace d'évacuer la chaleur du boîtier du relais statique (SSR). Cela est dû à la dissipation relativement élevée, supérieure à 1 watt par ampère, contre des milliwatts pour les relais électromécaniques (EMR).

L'importance de l'utilisation d'un dissipateur thermique adéquat ne peut être omise, car elle affecte directement le courant de charge maximum utilisable et/ou la température ambiante maximale admissible. Le manque d'attention à ce détail peut entraîner un fonctionnement incorrect ou même la destruction totale du relais statique. Pour des charges SSR inférieures à 5 ampères, un refroidissement par convection naturelle ou par courants d'air forcés autour du boîtier est généralement suffisant. À des courants plus élevés, il devient nécessaire d'augmenter efficacement la surface de rayonnement exposée à l'aide d'un dissipateur thermique approprié. Cela exige que le relais statique soit fermement monté sur une surface lisse et plane en bon conducteur thermique, tel que le cuivre ou l'aluminium, et qu'une pâte thermoconductrice soit utilisée pour améliorer l'interface. En utilisant cette technique, la résistance thermique entre la base du relais statique et le dissipateur (R_{OBS}) est réduite à une valeur d'environ $0,1 \text{ } ^\circ K/W$ (Kelvin par watt). Cette valeur est généralement présumée et incluse dans toute donnée thermique fournie. Les valeurs déterminables par l'utilisateur sont l'interface base-dissipateur (R_{OBS}), comme mentionné précédemment, et l'interface dissipateur-air ambiant (R_{OHA}).

B/ Chute directe à l'état passant

A l'état passant, les relais statiques présentent une tension résiduelle. Cette chute directe à l'état passant est en phase avec le courant et présente la forme de la figure 20 :

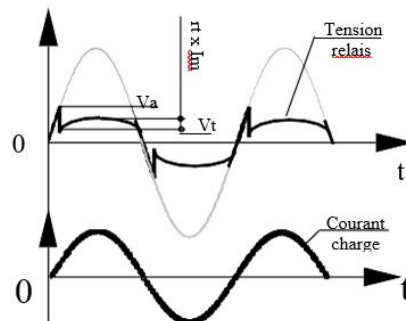


Fig. 20

V_a : Tension d'amorçage ou tension minimale nécessaire pour envoyer une commande correcte à l'élément de puissance. Celle-ci apparaît à chaque passage à zéro du courant. Cette tension a été réduite au maximum sur les relais statiques **celduc® relais** : typiquement 7 à 8V au lieu de 20V, ce qui réduit les déformations de la sinusoïde secteur et le niveau d'émission conduite (CEM). Cette tension impose une tension minimale d'utilisation des relais statiques : typiquement 12 VAC .

V_t : Tension de seuil due à la jonction du semiconducteur : typiquement 0,8 à 1 V. Cette tension diminue avec la température: environ 2mV/°C.

R_t : résistance à l'état passant du semiconducteur et des connexions : typiquement 5 à 30μΩ suivant le calibre du relais.

C/ Calcul thermique

1. Rappels de la loi de Ohm

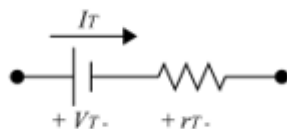
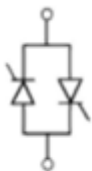
$$\Delta T = R_{th} \times P_D \text{ où :}$$

ΔT = Différence de température entre la jonction et l'air ambiant

R_{th} = Résistance thermique jonction/ air ambiant . Elle peut se composer de plusieurs résistances thermiques en série.

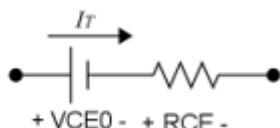
P_D = Puissance dissipée par le relais . Exprimé en Watts (joules par seconde), correspond au courant thermique ou aux calories à évacuer du relais, dépend essentiellement du courant traversant le relais.

• THYRISTOR :



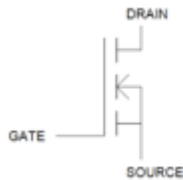
$$P_D \text{ (Watts)} = 0.9 \times V_t \times I + r_t \times I^2$$

• IGBT :



$$P_D \text{ (Watts)} = V_{CE0} \times I + R_{CE} \times I^2$$

- MOSFET:



$$P_D \text{ (Watts)} = R_{dson} \times I^2$$

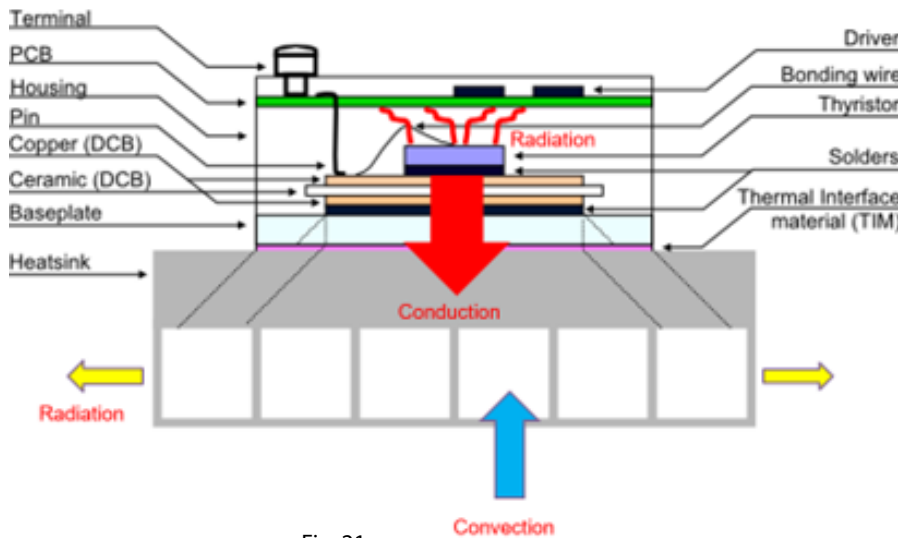


Fig. 21

Comme les composants de puissance sont à l'intérieur d'un boîtier (Fig. 21), ils ne peuvent pas rayonner, et donc la majeure partie de l'énergie thermique est évacuée par conduction.

Néanmoins, l'environnement à l'intérieur du boîtier du relais statique (SSR) est chauffé par l'élément de puissance, et un faible rayonnement peut exister si de l'air est présent.

Les résistances correspondent à la résistance au transfert de chaleur (Fig. 22). Les condensateurs, combinés aux résistances, représentent l'inertie thermique (temps de réaction).

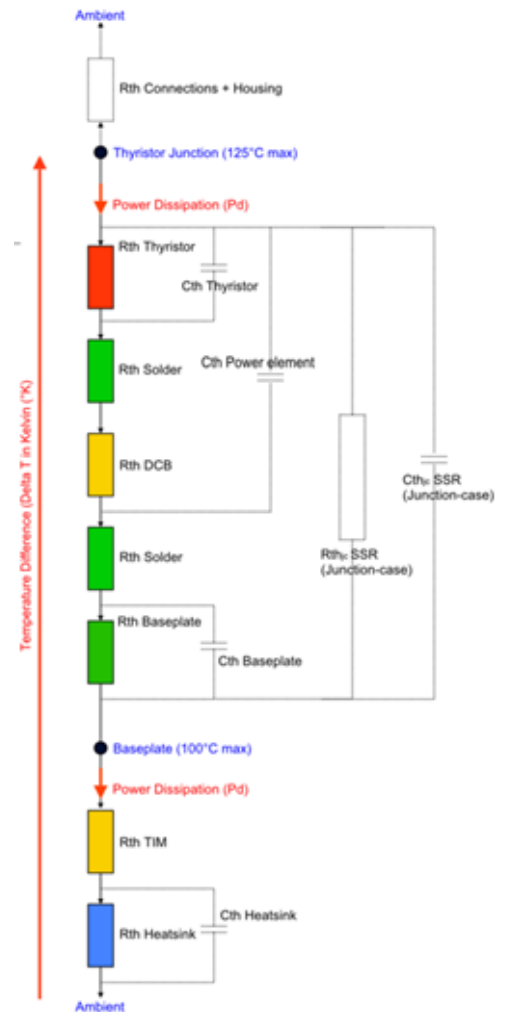


Fig. 22

2. Relais statiques sans dissipateur thermique externe

Pour ces produits, la résine, l'élément de dissipation thermique intégré (plaque de base ou dissipateur intégré) et le boîtier agissent comme un dissipateur pour transférer la chaleur vers l'environnement ambiant. Par exemple, dans un boîtier SK, la résistance thermique entre la jonction et l'air ambiant se situe dans la plage de 20 à 25 °C/W.

$\text{Max } P_D = (\text{Température de jonction max.} - \text{Température ambiante}) / 20 \text{ max}$

$P_D = (110 - 30) / 20 = 4 \text{ Watts}$, donc le courant efficace maximal à une température ambiante de 30 °C est de 4 ampères. Pour chaque relais statique (SSR), une courbe spécifie le courant maximal en fonction de la température ambiante et du dissipateur thermique intégré ou externe.

3. Relais statiques avec semelle, à monter sur dissipateur

La détermination du radiateur peut se faire soit par calcul, soit directement à partir des courbes données par celduc® relais. Pour simplifier les calculs, et en considérant que le relais statique (SSR) est correctement monté sur un dissipateur thermique (c'est-à-dire monté avec une graisse thermique ou une interface thermique recommandée par **celduc® relais**, et en appliquant le couple de serrage requis afin d'assurer une pression adéquate entre la plaque de base du SSR et la surface de montage du dissipateur), la résistance thermique de montage peut généralement être considérée comme étant de 0.1 – 0.2 °C / W.

En général les éléments connus sont la puissance à dissiper (P_D):

$P_D = 0.9 \times V_t \times I + r_t \times I \times I$ (déterminée en fonction du courant efficace traversant le relais) et la température ambiante (T_{amb}).

Les valeurs Température de jonction maxi (T_{jmax}) et de résistance thermique jonction/boîtier (ou «case») ($R_{thj/bo}$ ou $R_{thj/c}$) sont données dans les spécifications **celduc® relais**.

$$R_{th} < T / P_D$$

D'autre part la température du relais, donc du radiateur, doit être limitée à $T_{case\ max}$ (90 ou 100°C), comme indiqué dans les spécifications.

$$R_{th\ heatsink} < (\max T_{case} - T_{Ambient}) / P_D$$

Exemple :

Avec un relais statique calibré comme suit :

RMS I = 20A -> $P_D = 24\ W$ (pour un relais avec $V_t = 1V$ et $r_t = 15\ \mu\Omega$) @ Température ambiante max.

$T = 30^\circ C$

If $R_{thj/c} = 1.1^\circ C/W$; $T_{j\ max} = 125^\circ C$; $T_{case\ max} = 90^\circ C$; $R_{Thermal\ Interface} = 0.1\ ^\circ C/W$

$$\sum R_{th} < \frac{125 - 30}{24} = 3.9^\circ C/W \rightarrow R_{th(heatsink)} < 3.9 - 1.1 - 0.1 = 2.7^\circ /W$$

Considérant la température maximale du boîtier :

$$R_{th(heatsink)} < \frac{90 - 30}{24} = 2.5^\circ /W$$

Le dissipateur adéquat est donc un dissipateur avec une valeur $R_{th} < 2.5^\circ /W$ (c'est à dire un dissipateur **celduc® relais** standard de 2 °C/W)

4. Montage en fond d'armoire

Une courbe thermique sans dissipateur est donnée pour les relais statiques. En montage direct sur plaque en fond d'armoire, le contact relais /plaque doit être correct.

Une plaque en aluminium de fond d'épaisseur correcte (3-5 mm) de dimension 150mm x 150mm correspond à environ 4°/W, s'il est en contact avec l'air ambiant.

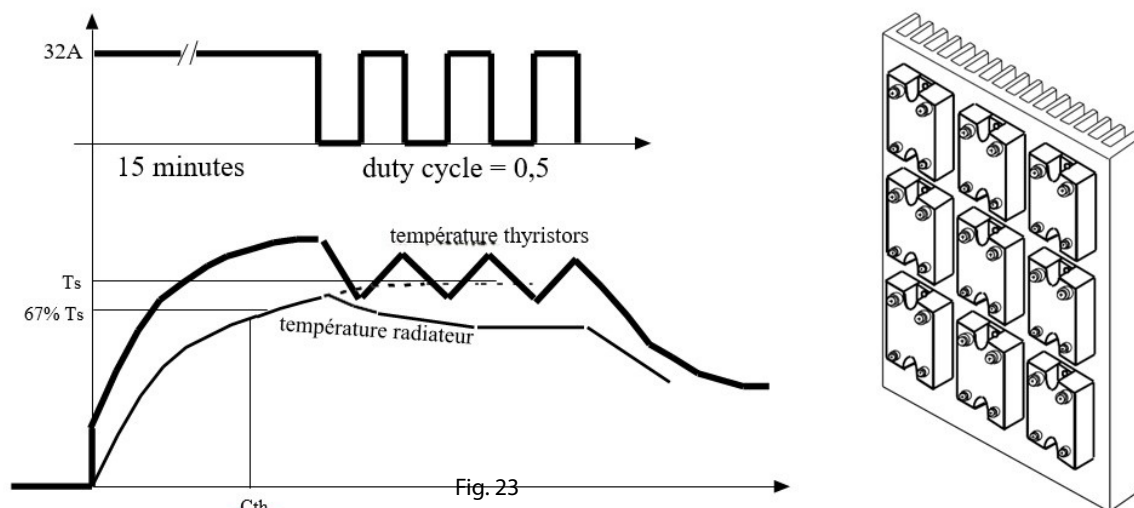
Une plaque de fond en aluminium d'épaisseur correcte (3-5 mm) de dimension 300mm x 300mm correspond à environ 2°/W, s'il est en contact avec l'air ambiant.

Dans tous les cas il est préférable de faire un essai et de mesurer l'échauffement. Une tôle en acier aura une résistance thermique supérieure.

5. Montage de plusieurs relais sur un seul dissipateur

Dans de nombreuses applications, les relais statiques sont montés en fond d'armoire sur un radiateur unique. L'avantage de cette solution est l'optimisation du dissipateur thermique, qui présente une bonne capacité thermique au moment de la mise en chauffe de la machine (préchauffe), lorsque tous les relais statiques sont sollicités en permanence. La valeur de la constante thermique des radiateurs **celduc® relais** est spécifiée. Cette valeur C_{th} (figure 23) correspond au temps de montée en température du radiateur : $C_{th} = 67\%$ temps que met le dissipateur à se stabiliser (valeur T_s donnée en air calme). En mode régulation ce montage permet une bonne répartition des calories sur tout le dissipateur.

Pour la détermination du dissipateur thermique, il faut ajouter toutes les puissances dissipées pour chacun des relais et appliquer le calcul de la résistance thermique nécessaire : $R_{th} = T / P_d$. La meilleure des solutions est de faire un essai thermique dans la pire des conditions d'utilisation et de vérifier que la température du radiateur n'excède pas le maximum spécifié.



6. Relais statiques “prêts à l’emploi”, montés sur dissipateur

celduc® relais propose une large gamme de relais statiques prêts à l’emploi qui sont montables directement sur Rail DIN ou fixables par vis en fond d’armoire. Les valeurs de courant commutables sont directement données dans les fiches techniques, en conformité avec les normes européennes, c’est à dire correspondant à des élévations de température limitées de max 50°C pour le dissipateur et 50°C pour le boîtier. Les courbes thermiques intégrées sur les fiches techniques de chaque relais statique prêt à l’emploi **celduc® relais** indiquent les valeurs nominales pour lesquelles un tel modèle peut fonctionner en fonction de la température ambiante.

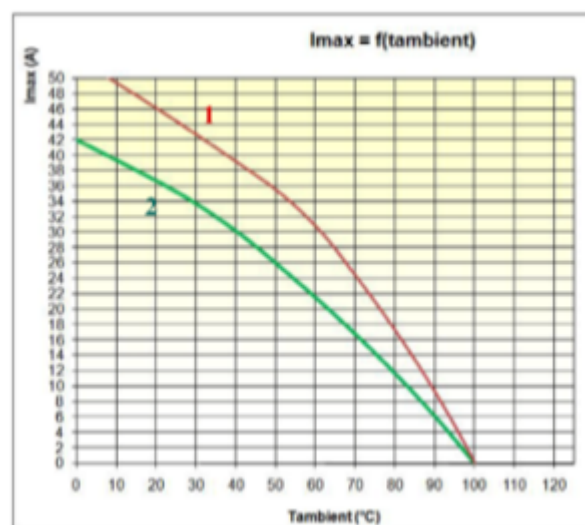
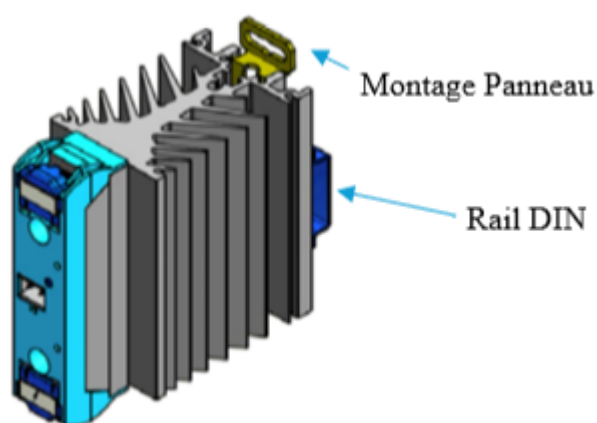


Fig. 24

7. Précautions et conseils de montage/installation

L’interface thermique (TIM) améliore le transfert de chaleur entre le relais statique (SSR) et le dissipateur thermique. Étant donné qu’il existe des cavités entre les deux surfaces, et que l’air est un mauvais conducteur thermique, l’interface est utilisée pour combler les vides et maximiser le transfert de chaleur. La figure 25 illustre l’action de la graisse thermique (en orange), mais elle montre également que le transfert thermique est meilleur lorsque la surface métallique est en contact direct avec une autre surface métallique. Il existe différents types d’interfaces thermiques (TIM), comme la graisse thermique et les joints thermiques.

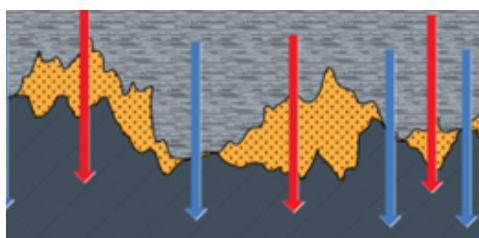


Fig. 25

Les puissances dissipées en fonction du courant traversant le relais sont indiquées pour un fonctionnement permanent dans les courbes thermiques fournies par **celduc® relais**. Pour des applications en fonctionnement intermittent, certaines fiches techniques proposent des courbes de puissance admissible avec un cycle de service (duty cycle) défini par $t_{on} / t_{off} < 1$. Toutefois, ces valeurs ne sont valables que pour des périodes courtes, inférieures aux constantes de temps thermiques des dissipateurs.

La résistance thermique d'un dissipateur est définie dans des conditions de montage déterminées afin d'optimiser son efficacité, telles qu'un montage vertical (figure 24). Dans le cas d'applications en atmosphère sévère (armoire sans circulation d'air), un facteur de sécurité de 20 à 30 % doit être appliqué lors du dimensionnement du dissipateur.

Les valeurs de résistance thermique des dissipateurs **celduc® relais** sont données en convection naturelle, en position verticale (ailettes alignées avec le flux d'air) et à l'intérieur d'une armoire.

Une ventilation forcée (ventilateur, etc.) dirigée vers le SSR et le dissipateur permet de réduire de manière significative la taille/volume du dissipateur : par exemple, la résistance thermique d'un dissipateur est divisée par 2 si une vitesse d'air de 1,5 m/s est appliquée, et par 4 avec une vitesse d'air de 5 m/s. Cependant, ces estimations approximatives ne servent que de guide pour intégrer la convection forcée, et un test de montée en température doit être effectué pour confirmer la performance optimale du système de dissipation thermique.

Enfin, **l'utilisation d'un dissipateur surdimensionné améliore la fiabilité et la durée de vie des relais statiques**, en réduisant le ΔT par rapport à l'ambiance, et par conséquent, le stress thermique sur les composants du SSR.

D/ Courbes thermiques

La performance en air libre des relais statiques (SSR) de faible puissance est généralement définie dans la fiche technique au moyen d'une seule courbe, représentant le courant en fonction de la température ambiante. Cette approche est suffisante pour la majorité des situations. Cependant, une seule courbe définissant la performance d'un modèle de puissance sur un dissipateur thermique typique (par exemple 2 °C/W) constitue parfois la seule information thermique fournie. Cela peut permettre une comparaison avec un composant similaire défini de la même manière par un autre fabricant, mais apporte peu d'utilité pour évaluer les performances réelles dans une grande variété d'applications concrètes.

Un ensemble de courbes, comme celles présentées en figure 26, bien qu'elles soient parfois moins précises, offre des informations comparables à celles obtenues par le calcul. Cette représentation est particulièrement utile car elle illustre graphiquement les relations entre tous les paramètres précédemment abordés, dans un diagramme clair et facile à lire.

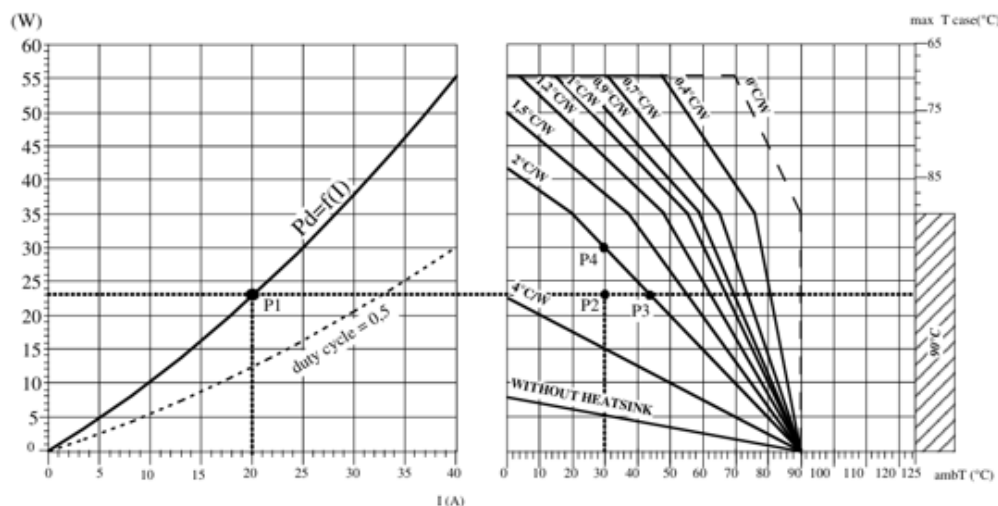


Fig. 26

On peut directement déterminer le type de dissipateur à utiliser en fonction du courant commuté et de la température ambiante. Exemple précédent avec RMS $I = 20$ A et température ambiante max. = 30 °C.

Comment lire/utiliser la courbe thermique en figure 26 :

1. Repérer en abscisse de la courbe de gauche l'intensité à commuter.
2. Tracer une verticale à partir de ce point jusqu'à la courbe $P_d = f(I)$. (On peut lire la puissance à dissiper sur l'ordonnée).
3. Du point obtenu (P_1) on trace une horizontale jusqu'à la courbe de droite.
4. Repérer en abscisse de la courbe de droite la température ambiante.
5. Tracer une verticale à partir de ce point jusqu'à rencontrer la droite horizontale tracée précédemment. Ce point (P_2) détermine le type de dissipateur à utiliser.
6. Choisir le dissipateur correspondant à la courbe située au dessus de ce point. Dans l'exemple 2 °C/W

Nous pouvons noter qu'avec un radiateur de $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ à 20Ampères, la température ambiante ne devra pas excéder 43°C (P3). Avec un radiateur de $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ et une température ambiante de 30°C le courant maximum pourra atteindre 25 Ampères (P4).

Il faut préciser que cette détermination est faite pour un fonctionnement permanent. Pour des utilisations en intermittent : cycle de marche ou «duty cycle» < 1 , nous pouvons prendre la puissance moyenne dissipée ou utiliser la courbe «Puissance dissipée» avec le niveau de «duty cycle» adapté (dans l'exemple ci-dessus : duty cycle = 0,5). Ceci n'est vrai que si la période de marche reste très inférieure à la constante thermique du radiateur. Il faut prendre garde en particulier au temps de préchauffe des machines, qui peut correspondre à un fonctionnement permanent. L'ordonnée de la courbe de droite donne la température maximum de semelle du relais (max T_{case}) en fonction de la puissance dissipée.

Exemple : pour $P_D = 40\text{W} \Rightarrow T_{\text{case}}$ ne doit pas dépasser 85°C .

Il est très important de comprendre que les valeurs spécifiées dans les courbes thermiques proviennent de dissipateurs thermiques qualifiés par **celduc® relais**, dans des conditions d'utilisation avec nos relais statiques (SSR). La résistance thermique indiquée est donc une valeur réelle, garantissant une dissipation thermique adéquate du dispositif.

Les caractéristiques des dissipateurs thermiques ayant un rôle significatif sur la résistance thermique, telles qu'indiquées dans la fiche technique correspondante, sont présentées ci-dessous.

Par exemple, dans les simulations thermiques ci-dessous (figure 27), deux relais statiques gérant chacun une charge de 37 ampères (44 watts), montés sur un même dissipateur thermique, peuvent présenter un comportement très différent en termes d'efficacité thermique selon qu'ils fonctionnent en convection naturelle (sans flux d'air forcé) ou en convection forcée (flux d'air de 53 CFM généré par un ventilateur de 90 mm). En conséquence, une grande différence de la valeur $R_{\theta\text{CS}}$ (résistance thermique entre le boîtier et le dissipateur) est observée pour un même dissipateur, car la vitesse de l'air est beaucoup plus élevée dans le scénario de convection forcée, ce qui améliore considérablement le taux d'évacuation de la chaleur.

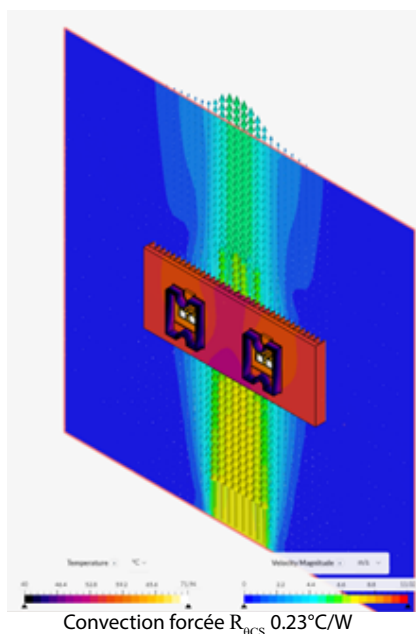
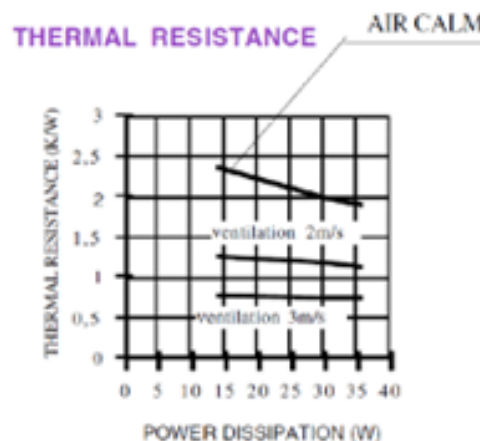
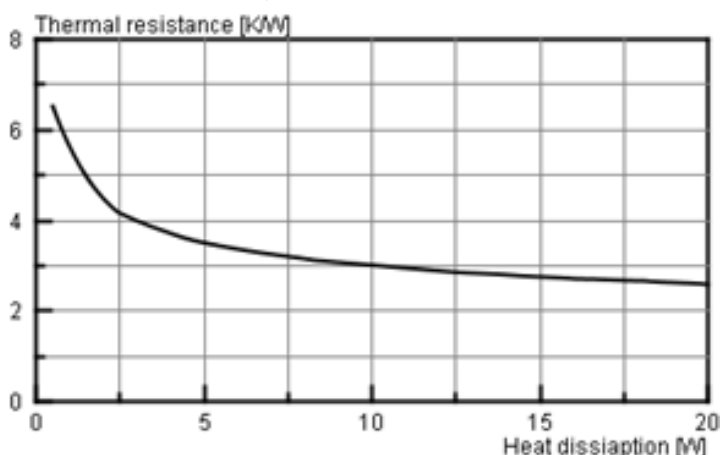
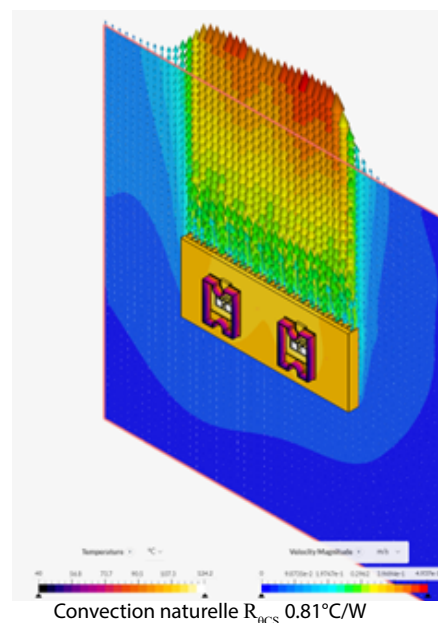


Fig. 27



Le paramètre de résistance thermique entre le boîtier et le dissipateur ($R_{\theta\text{CS}}$) doit impérativement être pris en compte dans le dimensionnement du dissipateur thermique, car il dépend de l'utilisateur et peut fortement limiter l'efficacité du dissipateur. En suivant la méthode de montage recommandée – c'est-à-dire en fixant le

SSR sur une surface de dissipateur lisse, avec une pâte ou un film thermique —, la valeur de $R_{\theta_{CS}}$ restera faible (environ 0,1 °C/W ou moins), ce qui permet l'utilisation d'un dissipateur minimal.

Une valeur de $R_{\theta_{CS}}$ peut être déterminée en mesurant la différence de température entre le boîtier et le dissipateur ($T_c - T_s$), puis en la divisant par la puissance dissipée par la jonction (P en watts):

$$R_{\theta_{CS}} = \frac{T_c - T_s}{P}$$

La validation du bon choix de dissipateur thermique peut être réalisée par une mesure de température directe sur le boîtier (plaque de base métallique) du relais statique (SSR). Dans les conditions les plus défavorables, la température ne doit pas dépasser la température maximale admissible du boîtier, indiquée sur la figure 27.

En règle générale, un dissipateur d'une longueur d'extrusion de 50 mm (courbe (a)) convient pour des SSR ayant un courant nominal allant jusqu'à 10 ampères, tandis qu'un dissipateur de 100 mm de long est adapté pour des SSR jusqu'à 20 ampères. Pour des relais statiques de puissance avec un courant nominal supérieur à 20 ampères, un dissipateur de type « heavy duty » devient nécessaire.

Tous les fabricants de dissipateurs thermiques ne présentent pas leurs caractéristiques en degrés °C/W ; certains indiquent uniquement une élévation de température au-dessus de l'ambiante. Dans ce cas, la valeur $R_{\theta_{CS}}$ peut être obtenue en divisant la puissance dissipée (en watts) par l'élévation de température (en °C).

Si l'installation d'un SSR ne permet pas une dissipation thermique suffisante, il convient de sélectionner un dissipateur parmi la large gamme de modèles commerciaux disponibles. Chaque configuration a ses propres caractéristiques thermiques, généralement bien documentées dans les courbes de performance et données d'application fournies par les fabricants. Ces sources contiennent de nombreuses informations utiles, notamment sur le montage de plusieurs unités sur un même dissipateur. La plupart des modèles sont en aluminium extrudé. Une recherche sur Internet permet d'identifier facilement de nombreux fabricants.

Il est très important de comprendre que si l'utilisateur final choisit un dissipateur uniquement sur la base de sa résistance thermique, cela peut être trompeur. Une telle sélection n'est pas aussi simple qu'elle en a l'air, et peut conduire à des erreurs. Pour un choix plus fiable, il est préférable de demander au fabricant de réaliser des simulations de base, ou si possible, de faire des essais en conditions réelles directement sur l'application.

V/ Relais particuliers

A/ Relais statiques modules d'interface

Il s'agit de modules d'entrée et de sortie destinés aux interfaces d'automatismes. Les modules I/O sont une catégorie de relais statiques spécifiquement conçus pour répondre aux exigences du marché du contrôle industriel. La technologie des relais statiques constitue un outil prêt à l'emploi pour interfacer les automates modernes de commande de machines et de procédés avec leurs charges et capteurs associés.

Les modules I/O à semi-conducteurs tirent parti des avancées réalisées dans la technologie des SSR, notamment en matière d'intégration des circuits et d'assemblage automatisé. Alors qu'une variété de configurations de boîtiers I/O ont émergé à l'origine, elles se sont aujourd'hui réduites à quelques types de base, permettant une standardisation progressive tant sur le plan physique qu'électrique entre les différents fabricants.

La plupart des modules I/O sont autonomes, certains intégrant des bornes d'alimentation. Ils peuvent être montés individuellement ou insérés dans une base de montage (jusqu'à 24 modules, par exemple). Cette base de montage, qui peut également accueillir les bornes d'alimentation et des composants périphériques, assure le câblage vers ces éléments, avec des pistes de données individuelles et un bus commun vers le contrôleur via un connecteur et un câble unique. Le brochage est généralement compatible avec plusieurs fabricants. Certains proposent des câbles adaptateurs pour élargir les possibilités d'utilisation, tandis que d'autres offrent des systèmes de contrôle à distance pour des communications sur de longues distances.

Chaque module contient l'ensemble des circuits nécessaires pour fournir une interface complète entre le contrôleur et la charge, sans qu'un design ou des circuits supplémentaires soient requis.

Pour simplifier l'assemblage et la maintenance sur site, les modules sont codés par couleur et marqués selon leur fonction. Tous les modules sont photo-isolés pour assurer une isolation électrique (généralement entre 1500 et 4000 volts RMS) entre les circuits logiques sensibles et les lignes de puissance, et sont dotés de sorties unipolaires (SPST). Les sorties multipolaires et fonctions spéciales ne sont pas incluses, car elles sont plus facilement gérées par la logique du processeur, ce qui permet de standardiser et d'optimiser les coûts du système d'interface.

Il existe essentiellement 4 types de modules Tout ou Rien :

- Modules de sortie alternative
- Modules de sortie continue
- Modules d'entrée alternative
- Modules d'entrée continue

1. Modules de sortie

Les modules de sortie ont une fonction similaire aux relais statiques conventionnels en courant alternatif (AC) et continu (DC). Les modèles généralement disponibles peuvent gérer la plupart des applications de commutation de puissance rencontrées dans le contrôle des machines et des procédés, jusqu'à 3 ampères à 40°C, en AC ou DC. Contrairement aux modules d'entrée, les modules de sortie standards possèdent quatre bornes (aucune alimentation logique n'est requise), avec un témoin d'état interne ou externe piloté directement par le signal de commande, généralement en série avec la borne positive.

Commandés par des signaux logiques de faible niveau, les modules de sortie sont conçus pour contrôler la puissance destinée à des charges telles que moteurs, vannes et résistances chauffantes. Ils intègrent en général un haut niveau de rejet des interférences et une suppression des surtensions transitoires.

Les versions AC comprennent également une commutation à passage par zéro (zero voltage turn-on) afin de réduire les surtensions et la génération de perturbations électromagnétiques, ainsi qu'une coupure à zéro courant (zero current turn-off), avantageuse lors de la commutation de charges inductives. Les circuits de snubbers et les composants filtrants améliorent la commutation, les performances dv/dt , ainsi que l'immunité aux transitoires et aux bruits.

Les sorties DC intègrent généralement une diode Zener pour la protection contre les surtensions transitoires.

2. Modules d'entrée

Les modules d'entrée sont des dispositifs spécifiques qui remplissent une fonction inverse à celle des relais, en transmettant les informations des contacts de terrain et des charges vers la source de commande. Grâce à des circuits anti-rebond et de suppression des parasites, ces modules convertissent les signaux de commande de puissance du terrain en signaux logiques propres, adaptés aux entrées des microprocesseurs et automates.

Les circuits d'entrée intègrent la rectification et le filtrage des signaux AC, ainsi que la limitation de courant pour les signaux DC, permettant une large plage de tensions de commande et une meilleure durée de vie du couplage optique. Une fois conditionnés, les signaux sont photocouplés via des étages de commande vers une sortie logique à collecteur ouvert.

Cette sortie à collecteur ouvert peut généralement absorber suffisamment de courant pour permettre une interface directe avec n'importe quelle famille logique fonctionnant dans la plage de tension du transistor de sortie. Une troisième borne sur la sortie donne accès à l'alimentation logique pour le polariser et pour la fonction collecteur ouvert. L'indicateur d'état LED, également en série avec l'alimentation logique, peut être intégré au module ou monté sur la carte de support.

Les signaux d'entrée, issus de contacts de fin de course, charges, thermostats ou transducteurs de pression, sont utilisés par la logique de calcul dans son processus de prise de décision. Dans un automate programmable, ce processus peut déterminer la séquence, le chronométrage ou les décisions d'acceptation / rejet, à partir desquelles des commandes prédéterminées, pilotant en dernier lieu les modules de sortie, sont générées.»

Les nouvelles générations sont pleinement compatibles avec les relais électromécaniques commerciaux. Leur packaging compact et l'empilement sur carte de montage permettent l'utilisation de boîtiers plus petits. Elles présentent l'avantage de pouvoir les remplacer tout en conservant tous les atouts des relais statiques. Par exemple, la gamme **celduc® relais** SLA/SLD est compatible avec les relais Siemens / Schrack / Finder de type RP/RT.

B/ Relais statiques avec fonctions avancées

celduc® relais propose des relais statiques plus sophistiqués en tant que modèles standards tels que le contrôle analogique :

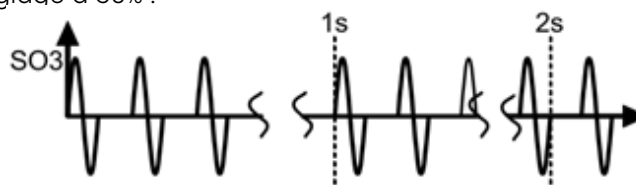
- 0-10 VDC
- 0-5 VDC
- 4-20 mA
- Potentiometer
- PWM



a) Gradateur train d'ondes syncope

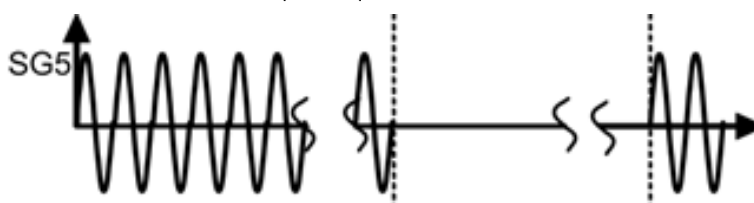
Pour les charges à constante de temps moyenne (lampes IR). Le temps de cycle dépend de calculs mathématiques pour éviter les problèmes de scintillement.

Comparaison avec un réglage à 50% :



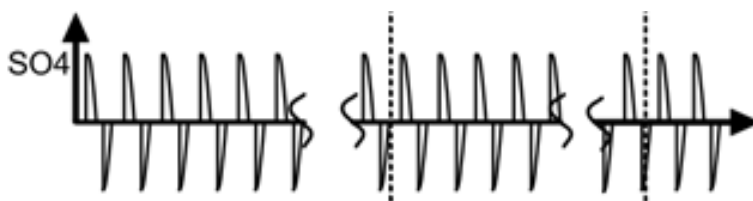
b) Gradateur train d'ondes

Principalement pour les charges qui réagissent lentement aux variations de tension (fours, éléments chauffants pour machines de traitement du plastique).



c) Gradateur angle de phase

Principalement pour les charges qui réagissent rapidement en fonction de la variation de tension (lampes, moteurs pour convoyeurs, actionneurs, compresseurs).



C/ Modules spéciaux de diagnostic et de contrôle

De par sa structure et sa longue expérience dans le domaine, **celduc® relais** a la particularité de s'adapter rapidement aux besoins de ses clients d'où le développement de relais spécifiques. Citons ici quelques exemples :

- **Relais à commande d'intensité** : la commande du relais se fait en courant (ex 6Aeff) au lieu d'une commande en tension.
- **Relais AC/DC autoprotégés** (court-circuit , température et diagnostic)
- **Hacheurs chargeurs de batteries, hacheurs de puissance jusqu'à 600kW**
- **Module ECOM :**
 - Communication via MODBUS RTU
 - Utilisable comme contrôleur proportionnel (cycle de service à temps variable)
 - Fournit un diagnostic complet (charge, relais statique, fusible, température)
 - Utilisable sur relais statique standard de la gamme SU



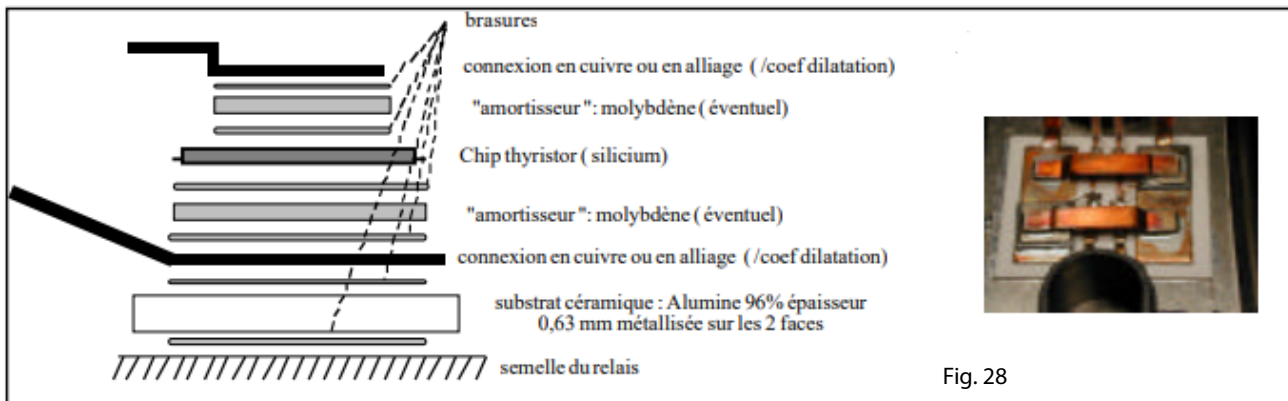
- **Module EIRC :**
 - Détection de défauts externes dans le circuit de charge : < 250 ms ou de surtension/sous-tension/fréquence hors plage ...
 - Système de contrôle de chauffage modulaire dans un boîtier compact
 - Coffret de chauffe pour maximum 12 voies IR (4kW max par voie)
 - Contrôle des charges en mode syncope avancé (rapide) avec compensation variations secteur type U²
 - Protection intégrée par fusibles
 - Commandes et Diagnostic par Profibus DP
 - Empêche les courants d'appel lorsque les éléments chauffants sont commutés



VI/ Fiabilité et conformités

A/ Influence de la conception du produit sur la fiabilité

Technologie de montage (Concurrents) => La technologie «Standard» utilisée par la majorité des fabricants de relais statiques, consiste en des connexions conventionnelles de substrat en céramique et de cathode appelées « Technologie "à pontet" » : voir technologie de montage ci-dessous (Fig. 28).



Cette technologie présente l'inconvénient de cumuler le nombre de couches avec l'augmentation de la résistance thermique jonction/boîtier ($R_{thj/c}$), d'être limitée en contrainte thermique (nombre de cycles en fonction de la variation de température) et d'être difficilement automatisable (fiabilité du procédé)

celduc® relais utilise la technologie la plus moderne pour ces relais statiques, **DBC + WB (Direct Bond Copper + Wire-Bonding)**. CMS, POWER HYBRIDS avec technologie DBC, qui consiste en une épaisse couche de cuivre (généralement 0,4 mm) directement incorporée sur un substrat en alumine par un procédé de diffusion à haute température (environ 1100°C) (Fig. 29). Cela réduit les impédances thermiques ainsi que les contraintes mécaniques grâce à une différence de température plus faible entre la jonction et le dissipateur thermique, ce qui augmente la durée de vie. L'optimisation de la plateforme des éléments de puissance, la technologie la plus récente et la dissipation thermique améliorée permettent d'atteindre un rapport Puissance / Dimensions maximal (densité de puissance). L'avenir des boîtiers de puissance (MACROMODULES) est prometteur, grâce à la capacité d'intégrer la FONCTION ÉLECTRONIQUE À LA DEMANDE, avec l'avantage d'un boîtier moulé robuste. L'utilisation de cette technologie, associée aux ASIC ou microcontrôleurs, permet l'évolution des dispositifs sélecteurs électroniques intelligents avec des fonctions supplémentaires telles que l'auto-protection via des capacités de diagnostic et la communication avec les équipements périphériques.

1. Matériau isolant et une couche de cuivre de chaque côté.
2. La couche de cuivre est appliquée par un processus de diffusion pénétrant la céramique donnant naissance à un matériau très homogène thermiquement.

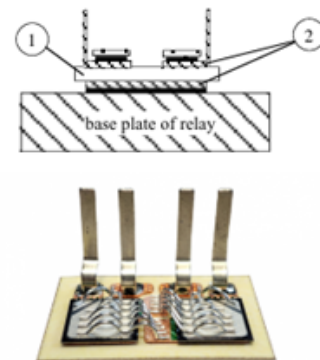
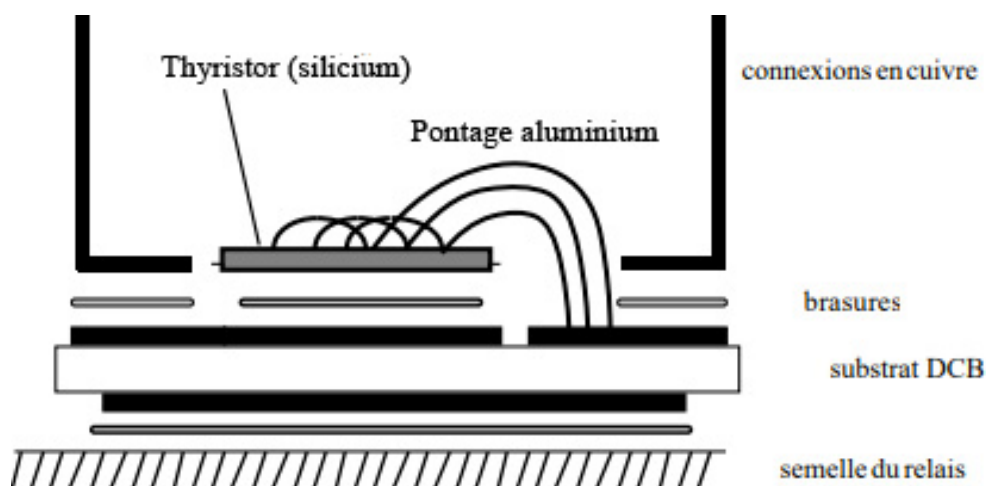


Fig.29 : DBC + WB (Direct Bond Copper + Wire-Bonding)

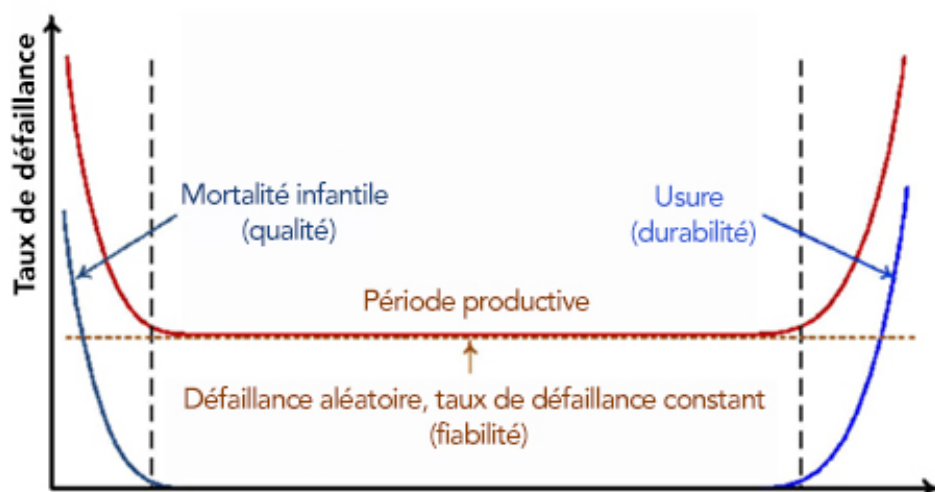
Grâce à la technologie Thermo-Mechanical Stress Solution (TMS²), les ponts de cuivre sont remplacés par une multitude de fils de liaison avec plusieurs points d'ancrage pour résister à des courants de surcharge importants, ce qui apporte les avantages suivants :

- Résistance thermique nettement améliorée.
- Contrainte thermique divisée par 2 ou 3.
- Montage simplifié, l'automatisation permettant une maîtrise totale du processus de production.



B/ Tests de fiabilité, MTTF et durée de vie prévue

La durée de vie d'un relais statique est très élevée si l'appareil est utilisé dans des conditions de fonctionnement correctes, telles que la plage de tension, le courant et les conditions environnementales spécifiées. L'espérance de vie est alors nettement supérieure à celle d'un relais électromécanique (l'absence d'usure des contacts rend la durée de vie «virtuellement illimitée»). La «courbe en baignoire» (Bathtub Curve), une représentation graphique simplifiée de l'évolution du taux de défaillance dans le temps, est illustrée ci-dessous.



Sur la base de ce modèle, **celduc® relais** a pris en compte au fil des années les aspects suivants pour identifier les composants critiques et les blocs fonctionnels :

- Utiliser les données disponibles des conceptions et analyses précédentes
- Établir les conditions de base pour les composants
- Définir les modes de performance en fonction des niveaux passés de performance insatisfaisante
- Calibrer les modèles à partir de l'expérience
- Modéliser des scénarios de conception raisonnables et des alternatives

La fiabilité des relais statiques est principalement liée à la fatigue thermique (liée à une adéquation correcte entre le relais et le dissipateur thermique ou la plateforme d'évacuation de chaleur, courbe bleu foncé ci-dessus) et au vieillissement de l'optocoupleur. Au cours des dernières décennies, l'électronique a fait des progrès considérables en matière de fiabilité, et des composants tels que les optocoupleurs disposent désormais d'une très longue durée de vie. (**celduc® relais** utilise exclusivement des optocoupleurs de qualité avec un MTTF > 2 x 10⁶ heures, soit environ 228 ans).

Concernant la fatigue thermique, **celduc® relais** possède une vaste expérience dans le domaine de la puissance et fournit une courbe de fiabilité du nombre d'opérations de commutation en fonction de la variation

de température basée sur les facteurs les plus pertinents :

1. Augmenter la résistance moyenne : Cette approche est acceptable si une augmentation de taille, poids et coût est tolérable, ou si un matériau plus résistant est disponible.
2. Diminuer la contrainte moyenne : Parfois, la contrainte moyenne admissible sur un composant peut être réduite sans affecter fortement ses performances.
3. Diminuer la variation des contraintes : La variation des contraintes est généralement difficile à contrôler. Toutefois, la distribution des contraintes peut être efficacement limitée en imposant des conditions d'utilisation.
4. Diminuer la variation de résistance : La variation inhérente entre pièces peut être réduite en améliorant le procédé de fabrication, en exerçant un contrôle plus strict sur celui-ci, ou en éliminant par tests les pièces moins performantes.

La technologie utilisée est donc très importante, car plus la température de jonction est proche de celle du dissipateur et de l'environnement, mieux c'est. En effet, chaque commutation soumet la puce thyristor à une variation de température due à un échauffement local lié à différents facteurs, selon le type de charge, différents scénarios peuvent être observés :

- Cette variation de température résulte du courant commuté lié à la charge.

Exemples ci-dessous :

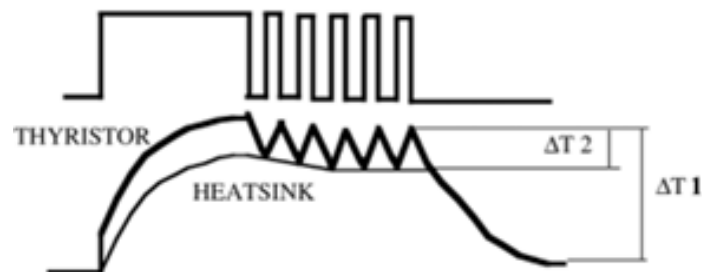


Fig. 30. Variation de température sur une charge résistive avec des amplitudes importantes en phase de préchauffage ($\Delta T1$), puis moindres en phase de régulation ($\Delta T2$).

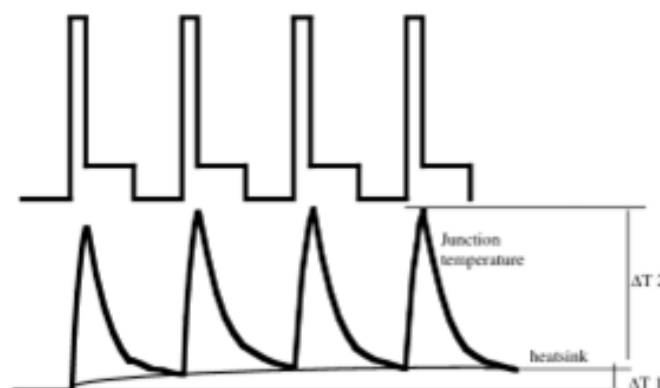


Fig. 31. Variation de température sur un moteur avec des variations importantes ($\Delta T2$) à chaque démarrage dues à des courants de démarrage pouvant atteindre $8 \times I_n$ pendant 1,6s.

- L'amplitude de cette variation dépend également de la qualité de la résistance thermique $R_{thj/c}$ entre la jonction et le dissipateur thermique (ou boîtier). La technologie DCB (Direct Copper Bonding) permet une réduction très significative de cette $R_{thj/c}$ qui correspond à l'impédance thermique / aux températures non stabilisées. La différence de température entre la jonction et le dissipateur (boîtier) est directement liée à l'impédance thermique et à la puissance dissipée : $\Delta T_{j/c} = R_{thj/c} \times P_D$ (Le dissipateur reste à une température relativement constante durant le fonctionnement normal).

- La taille de la puce de silicium utilisée détermine la surface de silicium, ce qui est un facteur déterminant. Plus la puce est grande, plus la puissance dissipée est faible, ce qui est déterminé par :

$$P_D = 0.9V_t \times I + r_t \times I^2$$

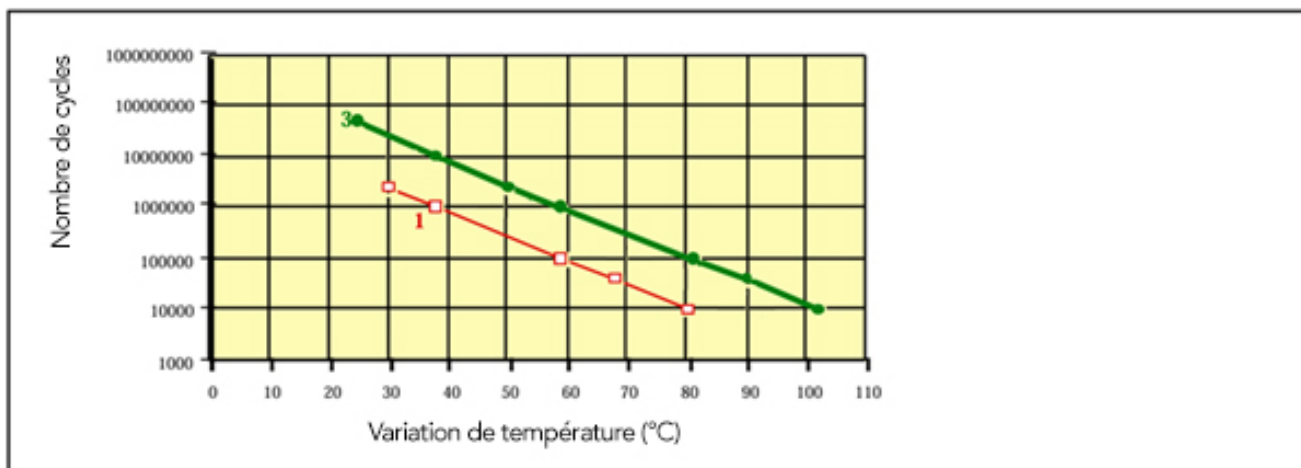
où la résistance dynamique « r_t » diminue sur une puce plus grande ;

la résistance thermique jonction/boîtier ($R_{thj/c}$) est également inversement proportionnelle à la surface de la puce de silicium en contact avec le DBC ($\Delta T_{j/c} = R_{thj/c} \times P_D$).

C'est pourquoi **celduc® relais** utilise des puces suffisamment dimensionnées, par exemple pour un relais de 50A : taille de puce d'un thyristor : 7,2 x 7,2 mm à comparer aux puces concurrentes de 6,3 x 6,3 ou 5,8 x 5,8 mm, moins chères mais pas aussi performantes non plus.

- La taille du dissipateur thermique est également importante. **celduc® relais** respecte les normes européennes relatives à une variation maximale de température (ΔT) du dissipateur de 50 °C pour une température ambiante de 40 °C. Ces variations de température entraînent des contraintes d'expansion thermique d'autant plus sévères que les matériaux utilisés sont très différents. La technologie employée dans les relais **celduc® relais** utilise les meilleurs matériaux de connexion avec des caractéristiques d'expansion harmonisées.

Il n'est pas facile de vérifier la durée de vie des composants de puissance (principalement en raison des faibles variations de température) car cela nécessite des tests très longs. La majorité de nos tests sont réalisés pour un $\Delta T = 80$ °C avec une surveillance permanente. Le SSR est monté sur un dissipateur thermique avec une résistance thermique très faible $R_{th} < 0,2$ K/W, ce qui signifie que la température du dissipateur est pratiquement constante. Des impulsions de courant sont envoyées au SSR pour atteindre : $R_{thj/c} \times P_D = \Delta T_{j/c}$ souhaitée. Exemple pour un relais de 50 A : le test a été effectué avec 100 A pendant 1 seconde «ON», puis 7 secondes «OFF». Les résultats sont donnés dans la courbe ci-dessous.



curve N°1 : technologie présente dans la majorité des relais statiques du marché

curve N°3 : **celduc®** technologie « à fil de bonding »

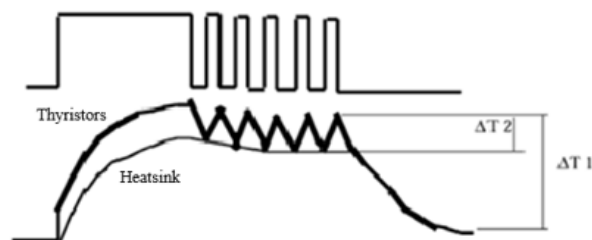
Fig. 32 : Nombre de cycles en fonction de ΔT

celduc® relais spécifie la courbe du nombre de commutations en fonction de la variation de température (Fig. 32). Pour la majorité des applications, les variations de température (notamment en mode contrôle) sont faibles : $\Delta T < 15$ °C avec un nombre élevé de commutations. Sur les charges soumises à des surtensions répétées, un relais surdimensionné est préférable pour augmenter sa durée de vie.

Exemples d'application

- Exemple 1** – Application chauffage four de cuisson professionnel : I AC-51 = 32A sous 400 VAC => **celduc® relais** propose un relais 50A monté sur dissipateur de 1,5 K/W afin de respecter les normes IEC947-4-3 qui donnent une élévation de température des composants pouvant atteindre un maximum de 50°C à une température ambiante de 40°C. ==> La concurrence propose un relais 50A monté sur dissipateur de 1,9 K/W (poids et volume plus importants) afin de limiter la température de jonction à la limite maximale de 125°C.

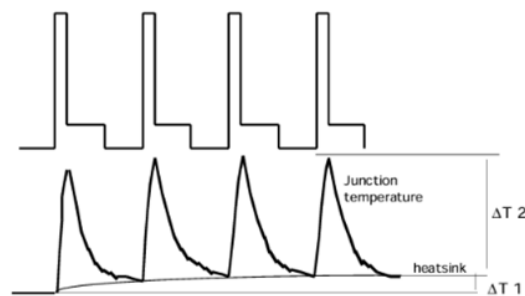
Caractéristiques	relais celduc® 50A	relais 50 A concurrence
Taille de la puce	7,2x7,2mm	6,3x6,3mm
Technologie	«DCB+Bonding»	«standard»
V_{to} (typ. mesuré)	0,9V	0,9V
r_t (typ. mesuré)	7m Ω	8m Ω
$P_d@32A=0.9V_{txI}+r_t+I_2$	33W	34W
$R_{thj/c}$ (typ)	0,3	0,4
R_{thd} (R_{th} dissipateur)	1,5	1,9
$\Delta T1(*)=R_{thj/c}+R_{thd})\times P_d+2$	80°C	98°C
$\Delta T2=R_{thj/c}\times P_d$	10°C	13,5°C
* calcul effectué à la température initiale de la pièce $T=20^\circ C$, puis augmentation de la température de la pièce jusqu'à $40^\circ C$		



En se référant aux courbes de contrainte thermique, le relais statique **celduc® relais** de dernière génération pouvait supporter un nombre très élevé de cycles thermiques en mode régulation ($\Delta T2 = 10^\circ C$) et plus de 100 000 cycles de préchauffage avec $\Delta T1 = 80^\circ C$. Pour les produits concurrents avec $\Delta T2 = 13,5^\circ C$ et surtout $\Delta T1 = 98^\circ C$, le nombre de cycles est beaucoup plus limité : moins de 2 000 cycles de préchauffage.

- **Exemple 2** - Application moteur I AC-53 = 8,5A sous 400 VAC triphasé ==> Conforme aux normes IEC947-4-2 qui donnent un courant de démarrage de $8 \times I_n$ pendant 1,6 seconde ==> Pour un courant I AC-53 de 8,5A, **celduc® relais** propose un relais 50A.

Caractéristiques	relais celduc® 50A	relais 50 A concurrence
Taille de la puce	7,2x7,2mm	6,3x6,3mm
Technologie	«DCB+Bonding»	«standard»
V_{to} (typ. mesuré)	0,9V	0,9V
r_t (typ. mesuré)	7m Ω	8m Ω
$P_d@8x8,5A=0.9V_{txI}+r_t+I_2$ au démarrage par canal	87W	92W
$P_d@8,5A=0.9V_{txI}+r_t+I_2$ en fonctionnement par canal	7W	7,5W
$R_{thj/c}$ (typ) (=Zthj/c pour t=1,6s)	0,3	0,4
$\Delta T1(*)=P_d@8Ax(R_{thd}+R_{thj/c})$	faible	faible
$\Delta T2=R_{thj/c}\times P_d@8x8,5A$	26°C	37°C



D'après les courbes de contrainte thermique, le relais statique **celduc® relais** de dernière génération peut supporter un nombre très élevé de démarrages : $\Delta T2 = 26^\circ C$, soit plus de 40×10^6 commutations. Pour les produits concurrents avec $\Delta T2 = 37^\circ C$, le nombre de démarrages serait bien plus limité, inférieur à 1×10^6 commutations, et donc inadapté aux applications de moteurs à haut rendement. D'où l'intérêt d'utiliser un relais statique bien dimensionné et la technologie DBC + Wire-Bonding.

- **Exemple 3** – Application de chauffage CVC I AC-51 = 37A sous 480 VAC triphasé ; Température ambiante : $40^\circ C$ ==> Les SSR sont montés sur une plaque d'aluminium et le dissipateur thermique est monté sur la même plaque d'aluminium du côté opposé, de la pâte thermique est appliquée sur les deux ==> Source de convection forcée 500 mm sous le SSR via un arbre de 27 x 222 mm pour diriger tout le flux d'air (environ 52 CFM ou 88 m3/h) sur toute la largeur et la hauteur des ailettes du dissipateur thermique.

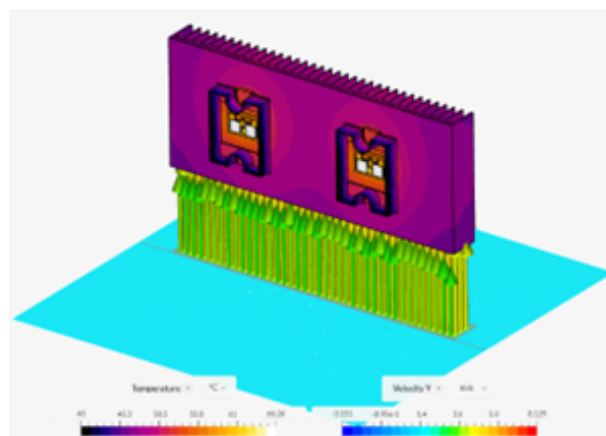
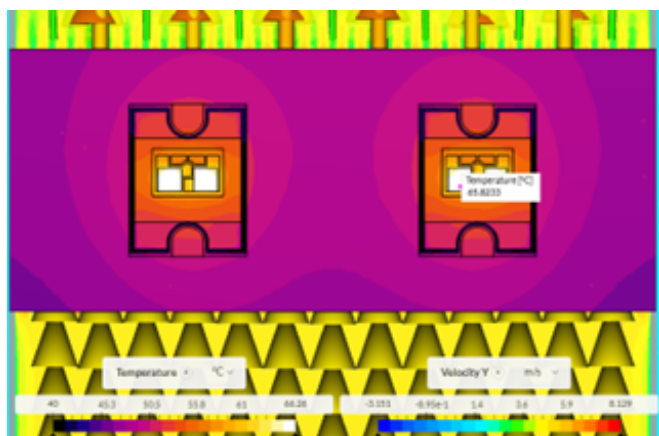
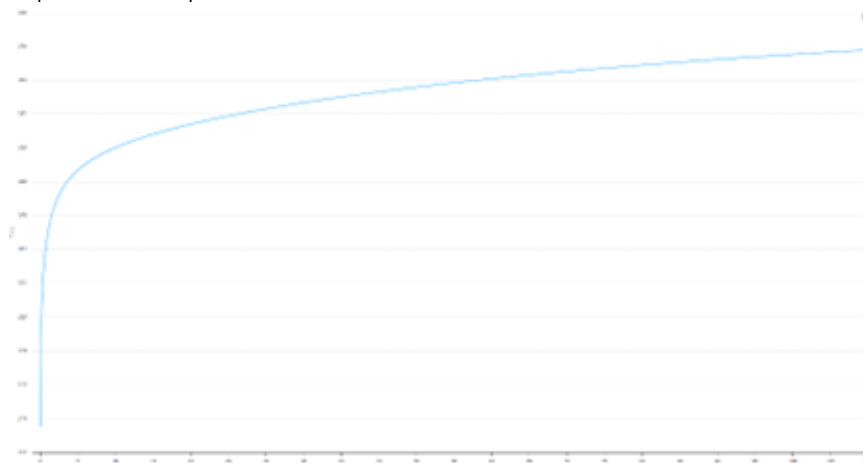


Fig. 33

Les données existantes sur la durée de vie indiquent que le nombre de cycles opérationnels d'un SSR est directement lié à la température maximale atteinte par l'élément de puissance (Fig. 33). Ainsi, plus la différence de température (ΔT) entre les thyristors et la température ambiante est grande, plus la dégradation du dispositif est importante.



Sous conditions de convection forcée, avec un flux d'air puissant induit par une source de ventilation (52 CFM), une ΔT de 26 °C est observée, on s'attend à ce que le nombre de cycles du SSR soit de l'ordre de 65 millions. Cependant, en considérant que l'augmentation maximale de température se produit sur une période de 10 secondes (graphique ci-dessus), cela signifie que le nombre maximum de cycles de 10 secondes par jour est de 8 640 si le système fonctionne 24h/24 et 7j/7. Par conséquent, la durée de vie attendue est d'environ 20,6 ans, à condition qu'aucun facteur externe ne vienne affecter le SSR, comme des événements récurrents de surintensité ou surtension, des périodes d'appel de courant excessif, ou une surchauffe induite par des sources externes, qui auront un effet négatif sur la durée de vie du SSR.

C/ Normes de sécurité

Tous les appareils industriels doivent respecter certaines règles et réglementations, et les relais statiques ne font pas exception. **Des normes et réglementations sont nécessaires pour garantir la sécurité d'utilisation et de fonctionnement de ces appareils lorsque les procédures d'installation et d'exploitation appropriées sont respectées.** Voici un aperçu des normes et réglementations internationales à appliquer lors de la conception et de l'assemblage des relais statiques et des produits associés, afin qu'ils puissent être utilisés dans le monde entier :

- Underwriter Laboratories (UL) -USA-
- Canadian Standards Association (CSA) -Canada-
- TÜV -Germany-
- VDE -Germany-
- CCC -China-
- UKCA -UK-
- International Electrotechnical Commission (IEC)

Ces organismes élaborent des ensembles de règles et de normes visant à :

- Garantir que les dispositifs conçus et fabriqués selon ces réglementations fonctionnent de manière fiable et sûre
- Assurer, dans des systèmes complexes, l'interopérabilité des dispositifs entre eux
- Limiter ou annuler les conséquences en cas de défaillance d'un dispositif sur d'autres systèmes et/ou les utilisateurs
- Standardiser la qualité des produits et systèmes
- Permettre la commercialisation et l'utilisation des dispositifs fabriqués dans n'importe quelle région ou pays

Tous les produits **celduc® relais** sont conçus et fabriqués en conformité avec les exigences du processus ISO 9001, garantissant ainsi une qualité optimale. Le marquage « CE » est une procédure interne visant à permettre la libre circulation des produits au sein de la Communauté européenne. Ce marquage doit apparaître sur le produit, son emballage et/ou la documentation fournie. Pour porter le marquage « CE », le produit doit être couvert par une ou plusieurs directives. Les directives suivantes peuvent s'appliquer :

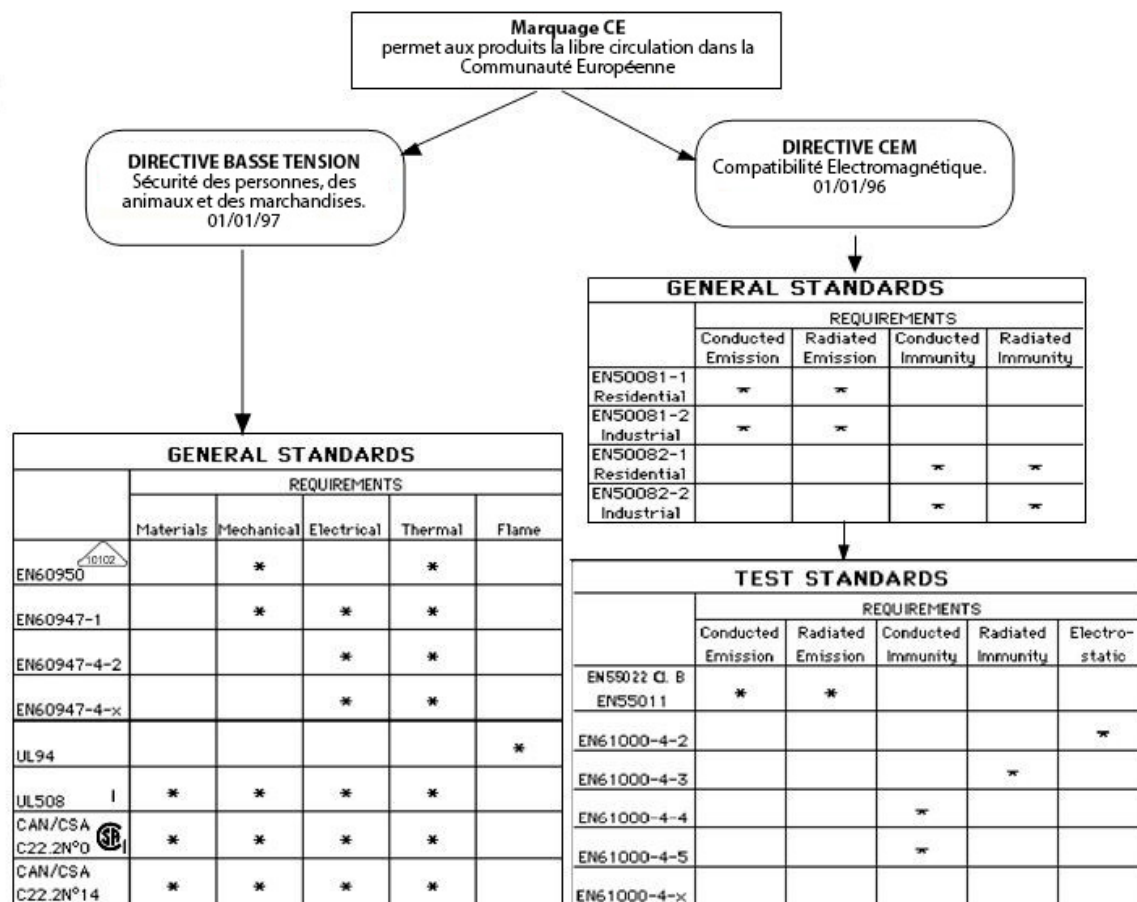
- Directive CEM
- Directive Basse Tension

Les règles de compatibilité électromagnétique (CEM) en vigueur au sein de la Communauté européenne

imposent que les dispositifs électriques/électroniques doivent pouvoir résister à un certain niveau d'émissions électromagnétiques provenant de l'environnement, tout en ne générant pas eux-mêmes des émissions au-delà de seuils qui pourraient perturber les appareils voisins.

Le marquage CE repose sur une procédure d'« auto-certification », c'est-à-dire que le fabricant établit une déclaration de conformité (« Déclaration de conformité du fabricant ») qui doit être mise à disposition des autorités européennes en cas de demande. Cela diffère des anciennes certifications par organismes tiers, où le fabricant devait soumettre des documents et des échantillons pour tests afin de garantir la conformité.

La directive définit les exigences majeures en se référant à des normes harmonisées. Le certificat de conformité s'appuie donc sur un système de références normatives. Le système de référence normatif applicable aux produits **celduc® relais** est structuré comme suit :



Le système de conformité **celduc® relais** ne se limite pas aux normes européennes, mais s'applique également à toutes les normes internationales, notamment UL et CSA. Concernant la manipulation sécurisée des produits en milieu industriel, les produits et spécifications **celduc® relais** respectent les exigences des différentes normes, notamment en ce qui concerne l'élévation maximale de température des pièces susceptibles d'être touchées (50 °C) pour un fonctionnement continu de 8 heures. Ces données sont importantes lorsqu'on les compare aux caractéristiques fournies par les différents fabricants.

Certaines des normes UL utilisées dans nos conceptions sont :

- UL 94 => Flammability of Plastic Materials
- UL 746A => Short term properties of Polymeric Materials
- UL 746B => Long term properties of Polymeric Materials
- UL 746D => Fabricated parts Polymeric Materials
- UL 746E => Laminates and Polymeric Materials used in Printed Circuit Boards
- UL 508 => Industrial Control Equipment
- UL 486E => Equipment Wiring Terminals for use with Aluminum and/or Copper Conductors
- UL 1581 => Reference standard for Electrical Wires, Cables and Flexible cords
- UL 60947-1 => Low-Voltage Switchgear and Control gear - Part 1: General Rules
- UL 60950-1 => Information Technology equipment- Safety - Part 1: General Requirements
- UL 840 => Insulation Coordination Including Clearances and Creepage Distances for Electrical Equipment
- UL 969 => Marking and labeling Systems

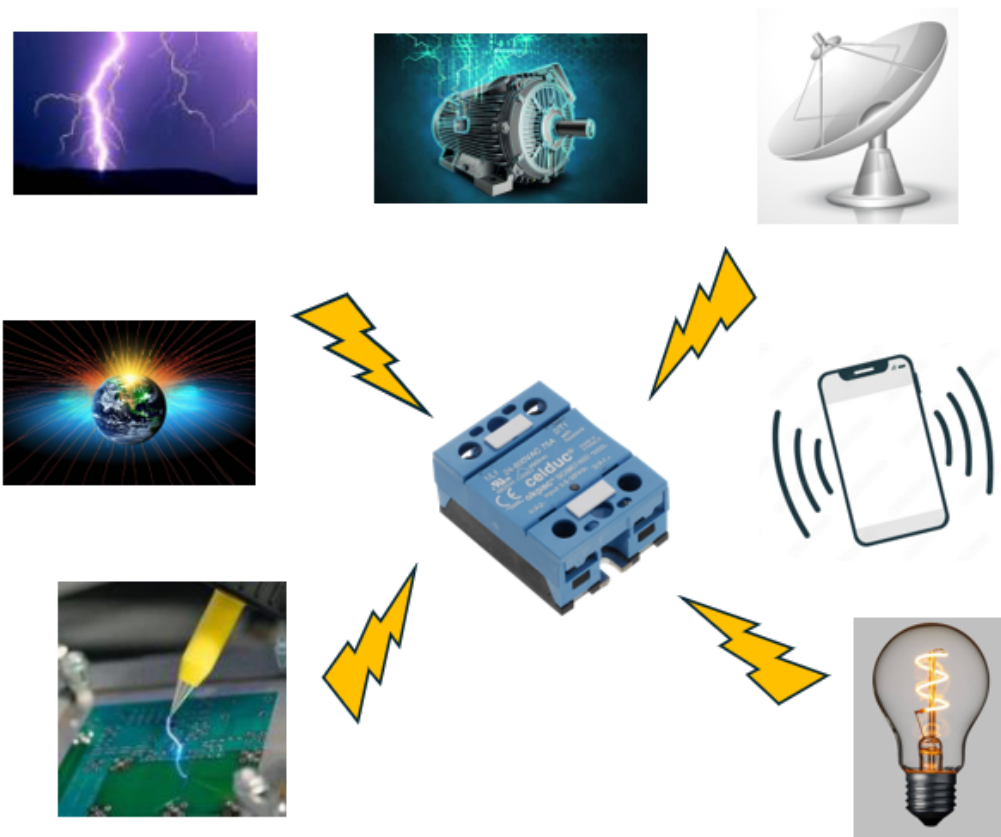
Certaines des normes IEC que nous utilisons et/ou testons (liées au marquage CE et à la certification VDE/TUV) :

- IEC 60335-1 Household and similar electrical appliances - Safety - Part 1: General requirements
- IEC 60664-1 => Insulation Coordination for Equipment within Low Voltage Systems

- IEC 60664-3 => Insulation Coordination for Equipment within Low Voltage Systems
- IEC 60529 => Degrees of protection provided by Enclosures (IP Code)
- IEC 60204-1 => Safety of Machinery - Electrical Equipment of machines
- IEC 60947-4-2 => Low-voltage switchgear and control gear - Part 4-2: Contactors and motor-starters - Semiconductor motor controllers, starters and soft-starters
- IEC 60947-4-3 => Low-voltage switchgear and control gear - Part 4-3: Contactors and motor-starters - AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads
- IEC 61210 => Safety standard for Quick Connect Terminals
- IEC 62314 => Solid-state relays intended for performing electrical operations by single step function changes to the state of electric circuits between the OFF-state and the ON-state and vice versa.
- IEC 61373 => Railway applications - Rolling stock equipment - Shock and vibration tests

D/ Conformité CEM

La compatibilité électromagnétique (CEM) exige que les systèmes/équipements soient capables de tolérer un degré d'interférence spécifié et de ne pas générer plus d'une quantité spécifiée d'interférences envers d'autres appareils (l'origine peut être naturelle ou induite par l'activité humaine, comme indiqué ci-dessous) :



1. Termes et définition

- **CEM** – Compatibilité électromagnétique : Fonctionnement correct des équipements électroniques dans leur environnement électromagnétique prévu. Cela englobe l'énergie générée à l'intérieur ou à l'extérieur du système.
- **EMI** – Interférences électromagnétiques : Perturbation du fonctionnement des équipements électroniques causée par toute source électrique, naturelle ou artificielle.
- **Émissions** – Énergie émise par l'équipement concerné et susceptible de perturber d'autres équipements. Ces émissions peuvent être conduites (par câble) ou rayonnées (dans l'air).
- **Sensibilité / Immunité** – Énergie provenant de sources externes qui interfère avec l'équipement concerné. Ces perturbations peuvent également être conduites ou rayonnées.

- **RFI** – Interférences radiofréquences : Terme ancien désignant les EMI. Actuellement, ce terme est utilisé spécifiquement pour les interférences radio uniquement.
- **Interférences rayonnées** : Interférences qui se propagent dans l'espace (par ondes électromagnétiques).
- **Interférences conduites** – Interférences qui se propagent via un conducteur (câble, fil).
- **Intégrité du signal (SI – Signal Integrity)** – Maintien de la qualité des signaux électriques en contrôlant les phénomènes de réflexion, diaphonie, oscillations de masse et alimentation. L'intégrité du signal concerne des niveaux en millivolts et milliampères, tandis que les EMI concernent souvent des niveaux en microvolts et microampères.

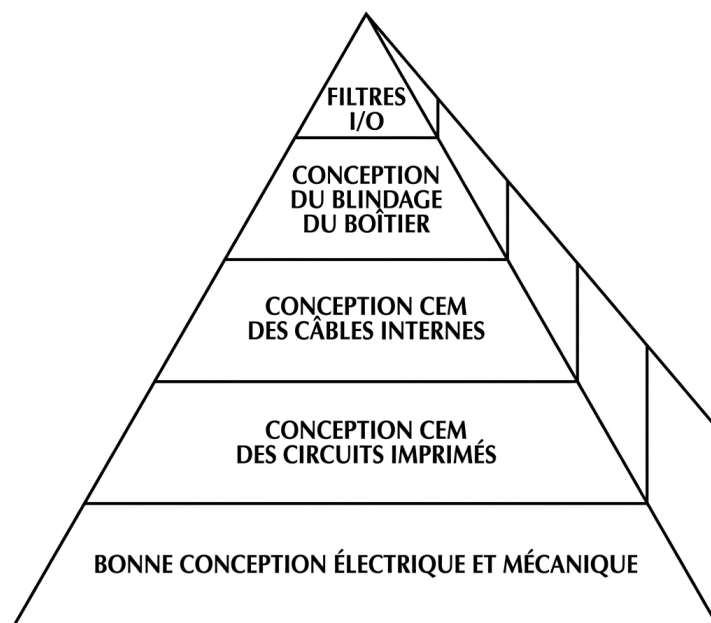
Pour atténuer les effets des perturbations électromagnétiques, il est nécessaire de :

- Réduire les émissions électromagnétiques
- Augmenter l'immunité aux perturbations
- Atténuer les chemins de couplage avec les sources de CEM

Pour cela, certaines améliorations doivent être mises en œuvre sur les produits électroniques :

- Anticiper et respecter les règles de conception lors du design des circuits
- Ajouter des composants de filtrage, découplage et blindage
- Valider la conformité par des mesures et simulations
- Solliciter les conseils d'experts en CEM (chercheurs, laboratoires, organismes spécialisés)

Une bonne conception électrique et mécanique intègre des considérations de fiabilité telles que le respect des spécifications de conception dans des tolérances acceptables, un bon conditionnement et des tests de développement complets. Le moteur qui fait fonctionner les équipements électroniques actuels se trouve sur une carte de circuit imprimé. La conception EMC (compatibilité électromagnétique) de la carte PCB est la considération suivante la plus importante en matière de conception EMC. L'emplacement des composants actifs, le routage des pistes, l'adaptation d'impédance, la conception de la mise à la terre et le filtrage des circuits sont en partie dictés par les exigences EMC. Certains composants de la carte PCB peuvent également nécessiter un blindage.



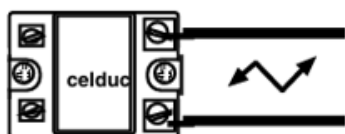
La directive européenne EMC stipule que les relais statiques (SSR) ne doivent pas perturber leur environnement (émissions) et ne doivent pas être affectés par l'environnement (immunité) dans lequel ils sont installés. Les normes de référence pour les SSR sont les EN60947-4-x, qui décrivent les tests EMC (immunité et émissions). En fonction des applications, des normes spécifiques doivent être appliquées (par exemple, la norme EN50121-3-2 pour les applications ferroviaires).

Les niveaux requis et les méthodes de test dépendent :

1. Du type de perturbations :

Perturbations conduites :

Les perturbations sont transmises par les fils.



Perturbations rayonnées :

Les perturbations sont transmises dans l'air.



2. De l'endroit où sera placé le produit :

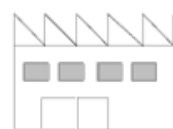
Domestique, commercial ou industrie légère :

Installation directement connectées au réseau public.



Installations industrielles Lourdes :

Installations connectées au réseau public à travers un transformateur.



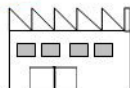
PRINCIPALES NORMES A RESPECTER

1- EMISSION :

Limites fixées par les normes **génériques**

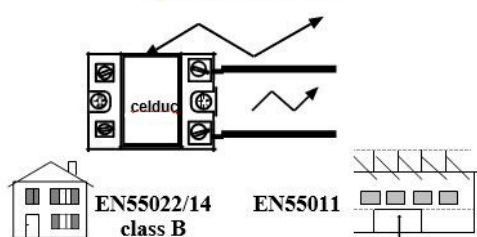


EN50081-1



EN50081-2

Principales normes

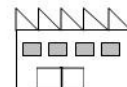


2- IMMUNITÉ

Limites fixées par les normes **génériques**

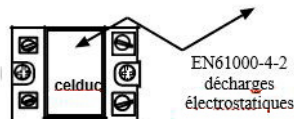


EN50082-1



EN50082-2

Principales normes

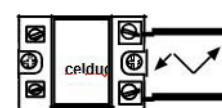


EN61000-4-2
décharges électrostatiques

EN61000-4-3
Tenue aux champs électromagnétiques

EN61000-4-4
Salves rapides avec dv/dt

EN61000-4-.....



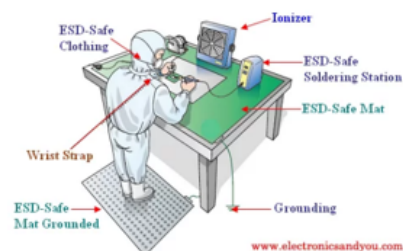
EN61000-4-5
Ondes de chocs forte énergie

Un relais statique standard peut présenter un niveau d'émission conduites supérieur aux niveaux acceptés par les normes. Ce niveau est lié au type de charge (principalement résistive) et au niveau de courant. **celduc® relais** a proposé des solutions de conformité et a développé des produits avec la technologie SOFTLIFE, permettant d'atteindre un niveau d'émission bien inférieur aux limites acceptées dans les environnements les plus sévères, tels que les applications domestiques et médicales. Il est cependant nécessaire de souligner un extrait de la norme IEC60947-4-3 / EN60947-4-3, qui précise qu'il incombe au fabricant du système ou de l'équipement de confirmer que les sous-systèmes intégrant des contrôleurs et des contacteurs respectent toutes les exigences des différents niveaux et réglementations applicables. Les relais statiques sont généralement conçus pour la classe de dispositif A (industrielle). L'utilisation de ces produits en environnement domestique peut provoquer des interférences radio. Dans ce cas, l'utilisateur peut être amené à recourir à des moyens supplémentaires de réduction, tels que des réseaux de filtrage externes.

2. Immunité

❶ Décharge électrostatique (ESD)

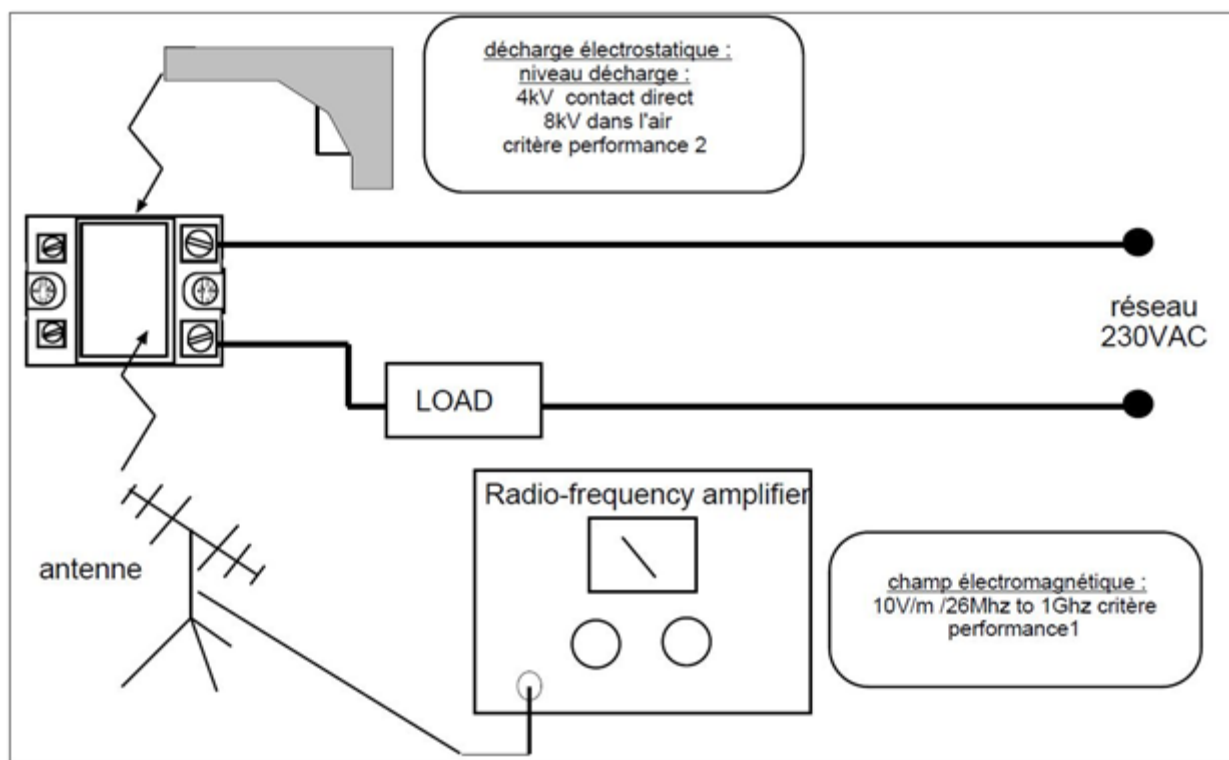
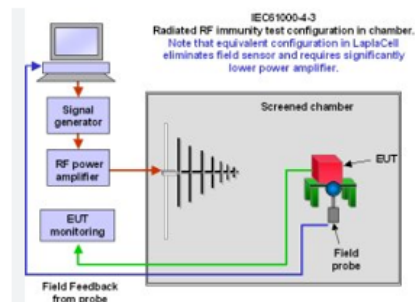
Norme EN/IEC 61000-4-2



❷ Radiofréquence rayonnée

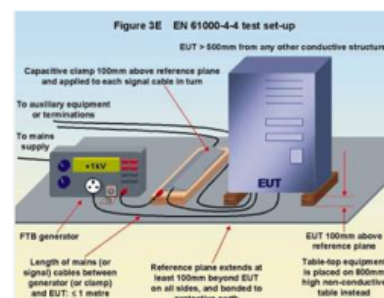
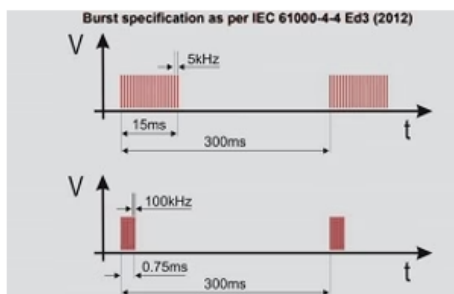
Sensibilité aux champs Électromagnétiques

Norme EN/IEC 61000-4-3



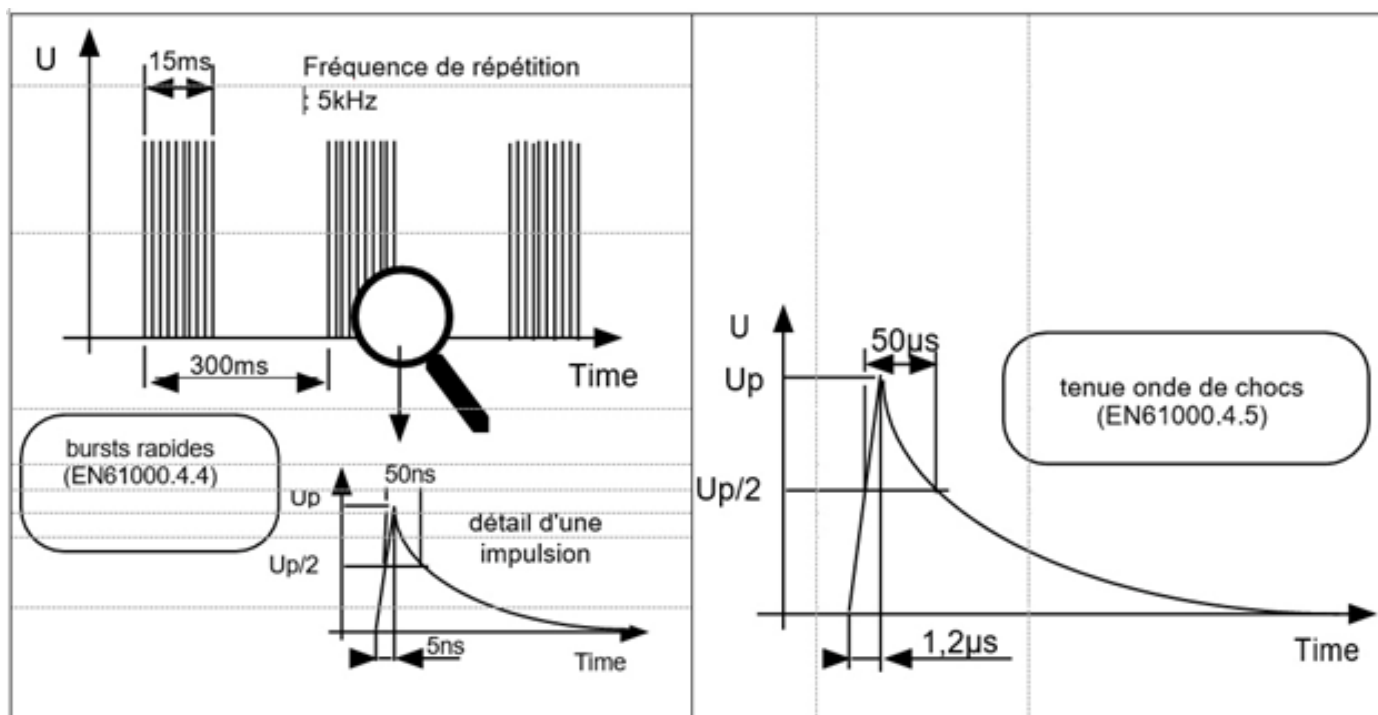
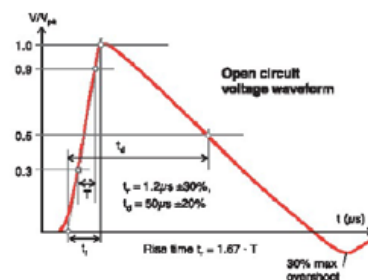
③ Transitoire électrique rapide (burst)

Norme EN/IEC 61000-4-4



④ Surtension électrique, ondes de choc

Norme EN/IEC 61000-4-5



Le test EN61000-4-4 correspond à un test de fort dv/dt . Les relais **celduc® relais** ont une très bonne immunité à ce test.

Le test EN61000-4-5 correspond à une surtension de forte énergie. Nous préconisons l'emploi de varistors.

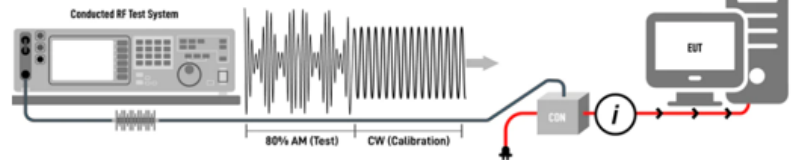
Les relais **celduc® relais** sont spécifiées au niveau de ces 2 tests.

5 Fréquence radio conduite

Norme EN/IEC 61000-4-6

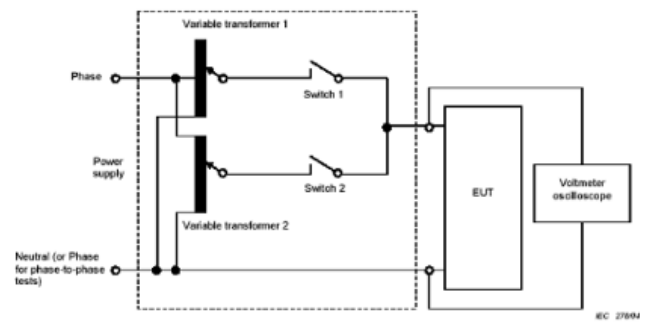
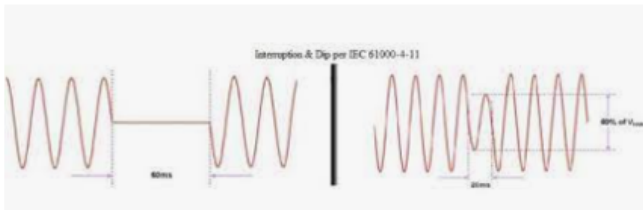


Conducted RF Immunity Test Concept using CDN



6 Interruption et chutes de tension

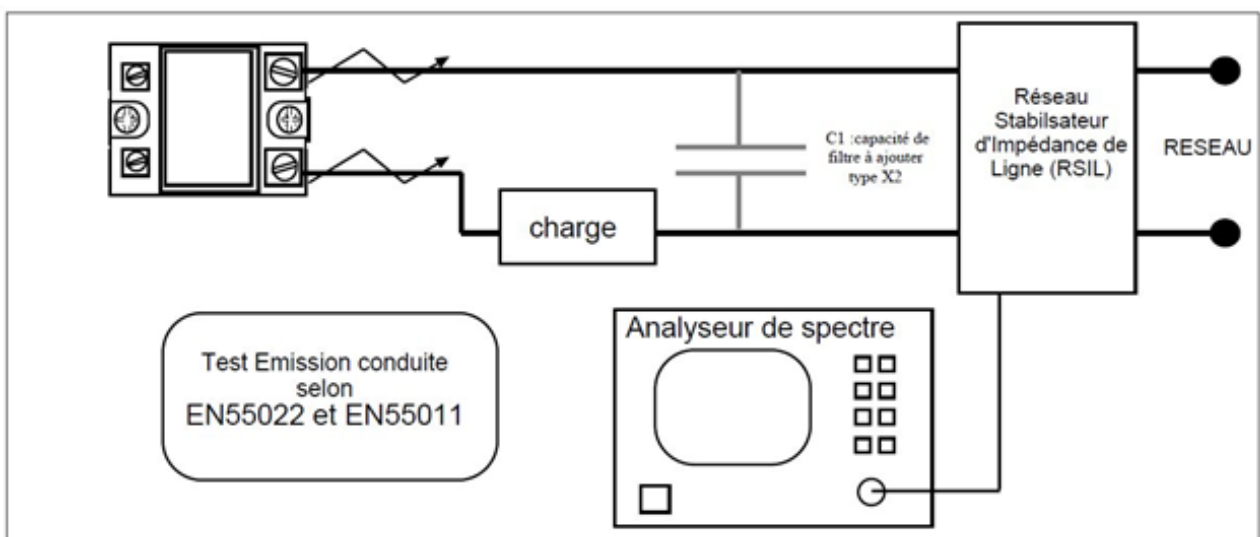
Norme EN/IEC 61000-4-11



3. Emissions

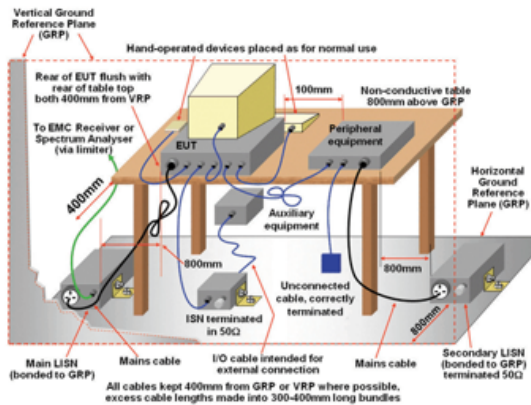
Tous les relais statiques **celduc® relais** ont été testés selon les principales normes : Bruit électromagnétique en conduit et en rayonné :

- * EN55022 pour les applications résidentiel : classe B
- * EN55011 pour les applications industrielles.

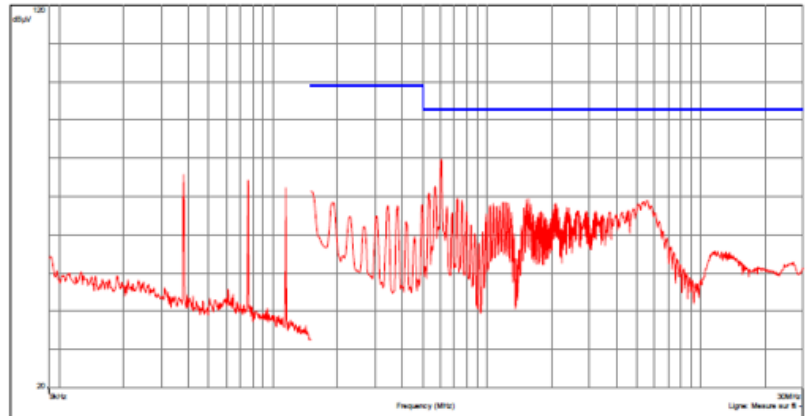


❶ Émission de champ d'interférence radio (conduite)

Classe A pour le secteur industriel

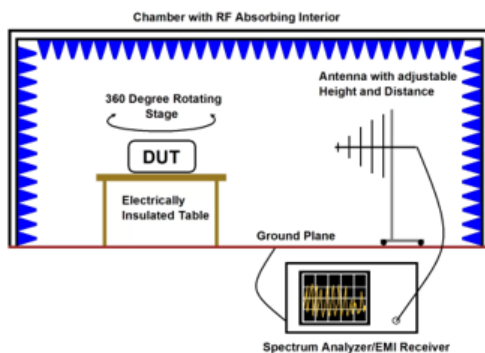


Classe B pour le secteur résidentiel

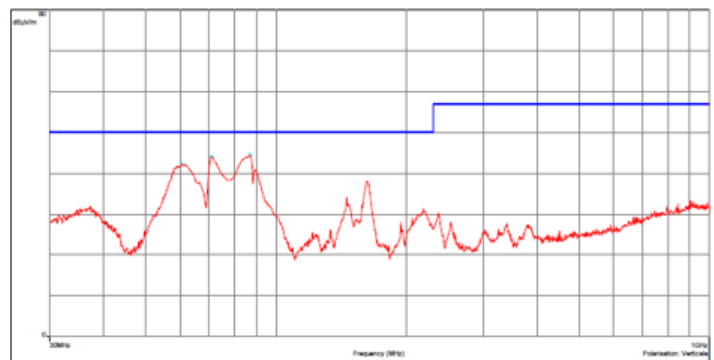


❷ Émission de champ d'interférence radio (rayonnée)

Classe A pour le secteur industriel



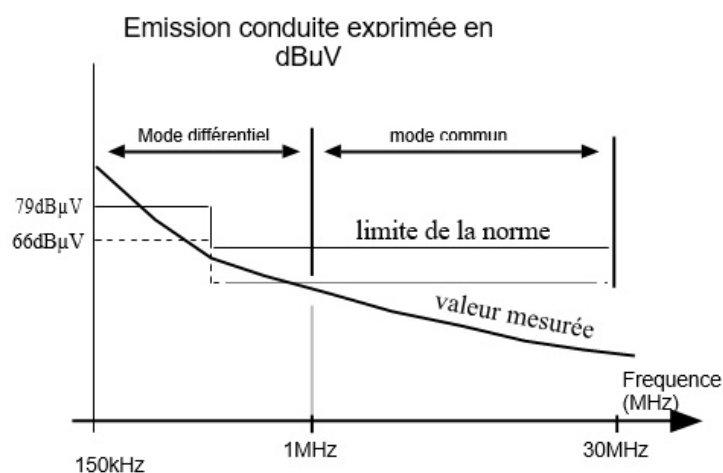
Classe B pour le secteur résidentiel



Pour un relais statique, le niveau de rayonnement doit être inférieur aux seuils définis par les normes.

Selon les limites fixées par la norme, le test doit être réalisé dans une plage de fréquence de 150 kHz à 30 MHz (la valeur mesurée est exprimée en dB V). La limite à 150 kHz pour les applications domestiques est de 66 dB V, tandis que la limite à 150 kHz pour les applications industrielles est de 100 dB V.

Les interférences conduites d'un relais statique sont évaluées à la tension minimale de fonctionnement. Ces tensions d'amorçage sont faibles dans les relais statiques de **celduc® relais**, toutefois les niveaux mesurés dépendent de la charge, et dans certains cas, ils peuvent dépasser les seuils autorisés par la norme.

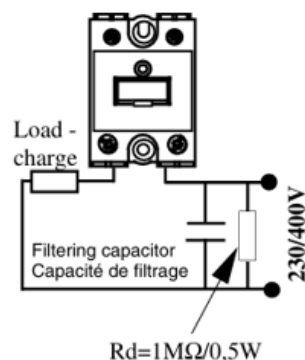


Dans ces cas-là, **celduc® relais** recommande, pour les applications domestiques :

- d'ajouter un filtre sur l'alimentation secteur pour les charges résistives. Un simple condensateur de type X2 (voir schéma) suffit pour résoudre le problème. Une résistance de décharge montée en parallèle (rd) est nécessaire sur ce condensateur.
- L'utilisation de relais «low noise »
- L'utilisation de relais technologie «SOFT-LIFE » particulièrement pour les applications «domestiques» où le niveau admis est plus bas, et où l'ajout d'un filtre pose problème.

Dans le cas d'utilisation d'un filtre : voici les valeurs conseillées par **celduc® relais** sur des résistances pures ($\cos \theta=1$) :

Caractéristiques du relais	Valeurs des capacités de filtrage Classe A Industrie: EN50081-2	Valeurs des capacités de filtrage Classe B Domestique: EN50081-1
12A/230V/Charge-load:12AAC1	None @ 100dBuV	1μF / 275V / X2
25A/230V/Charge-load:25AAC1	None @ 100dBuV	2,2μF / 275V / X2
40-50A/230V/Charge-load:40-50AAC1	None @ 100dBuV	3,3μF / 275V / X2
12A/400V/Charge-load:12AAC1	None @ 100dBuV	1,5μF / 440V / X2
25A/400V/Charge-load:25AAC1	None @ 100dBuV	2,2μF / 440V / X2
40-50A/400V/Charge-load:40-50AAC1	None @ 100dBuV	4,7μF / 440V / X2
75A/400V/Charge-load:75AAC1	None @ 100dBuV	Nous consulter
125A/400V/Charge-load:125AAC1	None @ 100dBuV	Nous consulter



La meilleure des solutions reste la vérification au niveau global de la machine. En général , les charges de type moteur restent à un niveau inférieur à la norme dans les applications industrielles. Nous consulter.

E/ Directive RoHS

Au cours des dernières décennies, une préoccupation croissante est apparue concernant les effets néfastes liés à l'accumulation de déchets de ressources naturelles et à l'utilisation de substances toxiques dans les équipements électroniques domestiques et industriels.

RoHS : La directive sur la Restriction de l'Utilisation de Substances Dangereuses, ou RoHS, a été publiée sous la directive 2002/95/CE. Cette directive vise à protéger la santé humaine et l'environnement en limitant l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les nouveaux équipements, en complément de la directive DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques).

Elle interdit, depuis juillet 2006, l'utilisation du plomb (Pb), mercure (Hg), chrome hexavalent (Cr6) ainsi que des retardateurs de flamme à base de polybromobiphényles (PBB) et polybromodiphényl'éthers (PBDE) dans les équipements électriques et électroniques neufs, sauf dans certains cas spécifiques où aucune solution de remplacement n'est encore disponible. Toutes les dérogations prévues par cette directive sont réévaluées tous les 4 ans.

Remarque : Le plomb est encore autorisé uniquement en très faibles quantités pour certaines exceptions spécifiques, mais son exposition doit être limitée ou restreinte. La concentration maximale autorisée de

plomb dans un matériau homogène est de 0,1 % (1000 ppm) en poids. Cependant, des dérogations existent, notamment pour certaines applications comme les soudures ou le plomb dans le verre et la céramique, où des concentrations plus élevées sont temporairement autorisées. Il est donc attendu que ces exemptions soient progressivement supprimées lors des prochaines révisions.

La directive RoHS a été mise à jour pour la dernière fois en 2011 et fait actuellement l'objet d'une évaluation afin d'en mesurer l'efficacité et d'identifier des pistes d'amélioration.

F/ Directives DEEE (WEEE en anglais)

La directive sur les Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE ou WEEE en anglais) a été publiée sous la directive 2002/96/CE. Cette directive vise à réduire les déchets issus des équipements électriques et électroniques et à améliorer les performances environnementales de tous les acteurs impliqués dans le cycle de vie de ces produits.

Les particuliers peuvent retourner leurs DEEE dans des points de collecte gratuitement.

Les producteurs (fabricants, vendeurs, distributeurs) sont responsables du financement de la collecte, du traitement, de la valorisation et de l'élimination des DEEE provenant des ménages déposés dans ces points de collecte.

Les producteurs sont également responsables du financement de la gestion des DEEE issus d'utilisateurs autres que des ménages pour les produits mis sur le marché après le 13 août 2005.

Ils sont en outre tenus de financer la gestion des DEEE provenant de produits mis sur le marché avant le 13 août 2005. Toutefois, il est possible que tout ou partie de ces coûts soient répercutés sur les utilisateurs professionnels, selon les modalités prévues.

La directive DEEE a été mise à jour pour la dernière fois en 2012 et fait actuellement l'objet d'un processus d'évaluation visant à en mesurer l'efficacité et à identifier d'éventuelles améliorations.

VII/ Comment tester un relais statique ?

Les tests nécessaires pour vérifier les performances d'un SSR sont dangereux et des mesures de précaution doivent être prises, en utilisant un équipement de sécurité adéquat pour le personnel réalisant ces tests. Lors des essais sur site, il convient de noter que les normes de sécurité régissant le câblage électrique, les conduits, etc., sont basées sur les codes locaux, qui peuvent varier d'un lieu à l'autre. Le test sur site le plus simple pour vérifier le bon fonctionnement d'un SSR AC consiste à utiliser une pile de 3 volts, une ampoule et un fil de phase. Pour des mesures précises de paramètres spécifiques, tels que ceux vérifiant les limites de la fiche technique, un appareillage plus sophistiqué est nécessaire ; cependant, le montage pile ampoule est utile pour une analyse rapide en cas de panne.

Une vérification de performance plus complète peut consister à faire fonctionner le SSR avec la charge prévue, tout en testant l'installation système sur l'ensemble des conditions environnementales et d'alimentation spécifiées. Lorsqu'il est impossible d'effectuer un test « sur site » et que les limites de spécification du SSR doivent être confirmées, un test de performance général doit être réalisé par un laboratoire qualifié. Lors de la connexion d'un équipement de test directement sur le circuit de puissance de la sortie d'un SSR, un fusible de protection est recommandé. De plus, avec certains appareils comme un oscilloscope, le boîtier doit être « flotté » (non mis à la terre) et peut se trouver sous tension secteur. Dans certains montages de test, une sonde de courant isolée ou un transformateur d'isolement peut être utilisé pour éviter ce danger.

Les méthodes de test décrites ci-dessous s'appliquent principalement à des SSR à sortie AC commandés par DC et utilisant des thyristors. Les SSR à sortie DC ou à entrée AC nécessitent un traitement légèrement différent, mais les mêmes étapes générales peuvent être suivies.

En utilisant un équipement de laboratoire standard, on évite le besoin de monter des circuits de test spéciaux. La précision de l'équipement courant est généralement suffisante pour la plupart des tests SSR. Un équipement de précision peut parfois être requis pour répondre à des spécifications particulières de l'utilisateur. Les conditions de test sont considérées comme étant en température ambiante normale (~25 °C), bien que certains tests doivent parfois être effectués à des températures plus basses ou plus élevées, nécessitant l'utilisation d'une enceinte climatique. Pour des tests d'investigation spécifiques portant sur des paramètres non définis dans les spécifications SSR ou utilisateur, tels que l'endurance, la durée de vie, la résistance à l'humidité, la sensibilité au bruit, la capacité transitoire, ou la CEM (émissions & susceptibilité), un équipement plus spécialisé et du personnel technique seront requis.

A/ Paramètres de déclenchement ("Turn On" / "Turn Off")

Ces paramètres définissent les exigences de la commande d'entrée du SSR en termes de seuils d'opération et de coupure, ainsi que de puissance d'entrée. La tension d'allumage (turn-on) est égale ou supérieure à 3 VDC, et la tension d'extinction (turn-off) est typiquement égale ou inférieure à 1 VDC, la plage entre ces deux valeurs représentant un état de seuil. Pour un SSR normalement fermé, les conditions d'activation et de désactivation sont inversées. Les fiches techniques spécifient la plage de tension de contrôle d'entrée, correspondant généralement à la tension d'allumage, la valeur maximale étant limitée par la dissipation de puissance dans le circuit de commande. Le courant maximum consommé par la source de commande est généralement précisé à deux points – un point bas et un point haut dans la plage de tension de contrôle – définissant les exigences en matière de puissance d'entrée ou d'impédance d'entrée.

Les temps de commutation "Turn-On" et "Turn-Off" sont définis comme le temps maximum entre l'application ou la suppression du signal de commande spécifié et la transition du dispositif de sortie vers son état pleinement conducteur (marche) ou bloquant (arrêt). Les temps de réponse incluent généralement à la fois la propagation et les transitions de montée ou descente, sauf indication contraire.

B/ Paramètres de sortie (charge)

- **Tension crête répétitive de mise sous tension et chute de tension en conduction :** Ces mesures peuvent être effectuées simultanément car elles sont de même ordre de grandeur. La tension crête répétitive de mise sous tension correspond à la tension maximale (crête) à l'état OFF présente à la sortie du SSR immédiatement avant la commutation au début de chaque demi-cycle, lorsque le SSR passe à l'état ON. La chute de tension en conduction est la tension maximale (crête répétitive) présente après la mise sous tension, pendant la durée du demi-cycle, à plein courant nominal. C'est durant cette période que l'essentiel de la dissipation de puissance par le SSR a lieu ; un dissipateur approprié doit donc être

utilisé. Ces deux paramètres s'appliquent aux SSR avec ou sans circuit de mise sous tension à passage par zéro.

- **Mise sous tension à passage par zéro (Zero voltage turn-on) :** Représente la tension crête maximale à l'état OFF juste avant la première mise sous tension dans le demi-cycle, définissant la fenêtre d'activation autorisée. La plupart des SSR disponibles incluent cette caractéristique, contrairement au modèle à déclenchement aléatoire, utilisé principalement pour la commande de phase.
- **Plage de tension de fonctionnement et courant de charge :** C'est le test de performance le plus complet, où le SSR est poussé aux extrêmes de ses capacités. La forme d'onde de sortie est observée sur la charge pour vérifier la tension du réseau sous courant de charge minimum et maximum, pour des charges résistives, capacitives ou inductives. Pour des charges nominales supérieures à 3 A, un dissipateur adapté doit être associé au SSR afin de permettre une opération continue à la température ambiante correspondante.

C/ Isolation (tenue diélectrique)

Un test de résistance diélectrique doit être effectué pour confirmer la capacité d'isolation. Une tension de test est appliquée entre l'entrée et la sortie, et entre l'entrée/sortie et le boîtier si ce dernier est conducteur (métallique). La durée du test est généralement d'une minute, avec un courant de fuite maximal admissible de 1 mA pendant toute la durée.

D/ Courant de surtension (Surge Current)

Ce paramètre correspond au courant de sortie transitoire maximal admissible, généralement spécifié en valeur crête. S'il n'est pas précisé comme paramètre séparé, il peut être déterminé via les courbes tension versus courant dans les fiches techniques correspondantes.

E/ Tension transitoire de blocage (Peak Transient Voltage)

La surtension transitoire, également appelée tension de blocage, est définie comme la tension crête maximale à l'état OFF qu'un SSR peut supporter sans se dégrader. Cette valeur dépend de la conception du SSR et pourrait provoquer des dommages si elle est maintenue, mais dans un contexte de test, elle peut être maintenue assez longtemps pour être mesurée en laboratoire.

F/ Modes de défaillance

Les études de fiabilité exigent de déterminer la probabilité de défaillance d'un SSR dans certaines conditions opérationnelles, afin de prévoir les effets et conséquences sur le système. Si le SSR est composé de circuits discrets classiques, une défaillance interne aléatoire d'un composant entraînera dans plus de 50 % des cas une défaillance du SSR à l'état ouvert. Une défaillance due à un défaut récurrent provoquera systématiquement le même mode de défaillance jusqu'à ce que le problème soit corrigé.

D'après les enregistrements des retours terrain, lorsque les SSR sont utilisés hors spécifications (sursignal, dépassement de courant ou de température), 90 % des défaillances se manifestent en état fermé. Le mode de défaillance à l'état ouvert (10 %) est généralement dû à un effet secondaire, comme une charge en court-circuit provoquant un court-circuit à la sortie du SSR, entraînant des brûlures internes dues à un fusible insuffisant, montrant des traces de surchauffe et de brûlure sur les composants du circuit ou les surfaces du circuit imprimé/plateforme d'alimentation.

Les prévisions de durée de vie des SSR ne sont pas couramment fournies dans les fiches techniques, mais lorsqu'elles le sont, elles reposent sur des méthodologies statistiques et des modèles. Ces estimations de MTTF (Mean Time To Failure) restent théoriques, sauf si le SSR est fabriqué avec des composants et des processus validés par des tests HALT (tests de fiabilité accélérée). Dans certains cas, les courbes indiquant la longévité/cycles par rapport aux surintensités ne reflètent pas toujours la durée de vie réelle en régime permanent.

Par exemple, **celduc® relais** fournit des données de durée de vie (cycles d'opération) basées sur des heures

de fonctionnement accumulées pour un nombre donné de SSR et sur des tests HALT menés sur différents modèles, ce qui rend ces données plus fiables pour un grand nombre d'applications ou spécifications utilisateur, et les plus précieuses. De plus, les lignes de production robotisées de **celduc® relais** améliorent considérablement la qualité et la fiabilité des SSR.

En l'absence de données de fiabilité appropriées, la détention de certifications VDE, TUV ou UL est un signe de confiance : ces familles de SSR ont été soumises avec succès à des tests de surcharge et d'endurance. Une performance instable d'un SSR peut provenir d'un composant interne défectueux, mais aussi de certaines caractéristiques propres à l'application. Pour identifier rapidement la défaillance, remplacez l'SSR intermittent par un neuf. Si le remplacement ne résout pas le problème, l'application doit être analysée. Les pannes non permanentes sont très probablement liées à l'application.

Processus d'analyse de panne :

1. Inspection visuelle : vérifier la présence de traces de brûlure, de fissures ou composants fondus.
2. Vérification de l'entrée : contrôler la tension et le signal sur les bornes d'entrée. S'assurer du bon fonctionnement du voyant LED (si présent).
3. Vérification de la sortie : confirmer que le SSR commute correctement la charge ON/OFF lors de l'application du signal d'entrée.
4. Compatibilité de la charge : vérifier que le SSR est compatible avec le type de charge (résistive, inductive, capacitive) et que le courant de charge est bien dans ses limites.
5. Considérations environnementales : évaluer la température, l'humidité et les sources potentielles de bruit électrique dans l'environnement d'utilisation.
6. Analyse MTTF : si disponible, consulter les données de Mean Time Between Failures (MTBF) du modèle SSR pour évaluer sa fiabilité attendue.

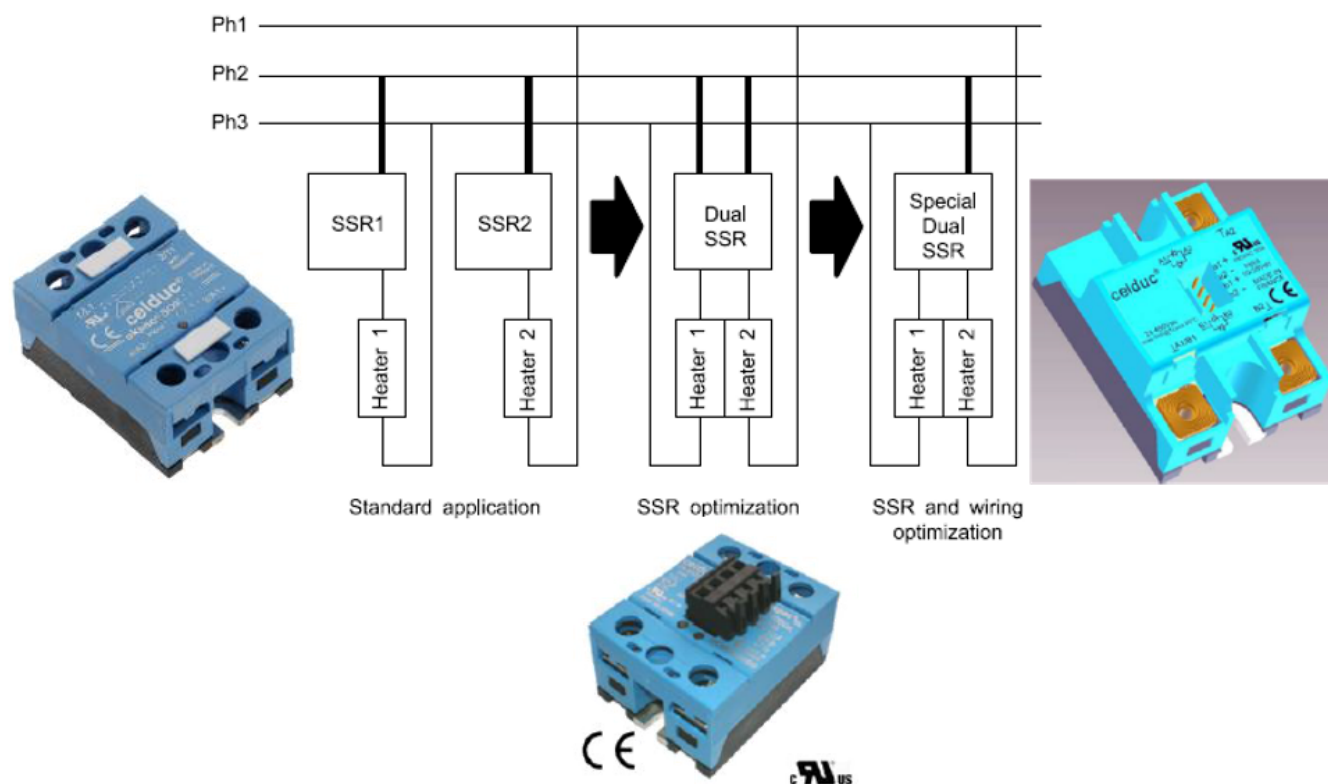
En analysant systématiquement le comportement du SSR, son environnement d'utilisation, et son interaction avec la charge et l'équipement où il est installé, on peut identifier plus facilement la cause de la panne et mettre en place des solutions appropriées. Pour plus d'informations, une vidéo de **celduc® relais** intitulée « [Comment effectuer un test opérationnel sur un relais statique ?](#) » est disponible sur sa [chaîne YouTube](#).

VIII/ Applications

Dans certains cas, les relais statiques (SSR) ne peuvent pas fonctionner exactement de la même manière que les relais électromécaniques (EMR). Il est supposé que l'utilisateur du SSR possède une connaissance suffisante de l'électronique et peut combler les lacunes, si nécessaire, en fonction des applications spécifiques. Lorsque l'utilisation de fusibles est suggérée comme protection préventive contre les courts-circuits ou pour protéger le câblage, d'autres circuits peuvent également bénéficier de l'utilisation de fusibles, même si leur utilisation peut sembler moins pertinente. Lorsque des fusibles à semi-conducteurs, plus rapides mais plus coûteux, sont recommandés pour préserver les SSR, d'autres circuits peuvent être protégés de manière similaire, chaque fois que le coût supplémentaire est justifié ou dans des applications où les SSR sont difficiles à remplacer.

A/ Contrôle de température

Les relais statiques (SSR) sont idéaux pour une utilisation dans des systèmes de contrôle de température ou pour remplacer des contacts électro-mécaniques dans des systèmes existants. Les caractéristiques de commutation au passage par zéro éliminent pratiquement le bruit de contact et l'usure, améliorant ainsi la fiabilité. Un contrôleur de température très simple peut être mis en œuvre avec un thermostat commandant un SSR, ou un pont de thermistances en entrée d'un SSR sensible, comme un module d'entrée/sortie (I/O) à sortie AC tamponnée. Cependant, une plus grande précision peut être obtenue avec un SSR standard commandé par un comparateur différentiel. Par exemple, certaines entreprises utilisent des relais statiques pour contrôler les éléments chauffants dans les cylindres de leurs machines de moulage par injection. Le courant de charge par relais varie de 5 ampères à 50 ampères, selon les exigences de la zone de chauffage. Les relais statiques sont privilégiés pour leur fonctionnement silencieux et leur durée de vie, mais certains défis liés au coût supplémentaire et aux problèmes thermiques peuvent apparaître. Pour cette raison, il est nécessaire d'évaluer précisément les exigences liées aux différentes charges de l'équipement et aux conditions ambiantes afin de déterminer les ensembles SSR / dissipateur thermique les plus optimaux.



B/ Variateur de lumière

Un relais statique (SSR) peut être utilisé avec une commutation non synchronisée au passage par zéro pour fournir une variation isolée de l'intensité lumineuse. Le système fonctionne comme une impulsion unique (one-shot), déclenchée par une impulsion négative provenant de la sortie du circuit détecteur de passage par zéro. Une fois déclenché, l'intervalle de temporisation commence et le SSR est éteint. À l'expiration du temps, en fonction de la constante de temps, le contrôleur du système active le SSR pour le reste de la demi-alternance. Le point d'amorçage de l'angle de phase est indépendant de la tension de commande en courant continu. Cependant, à des tensions continues plus élevées et des angles de phase plus courts (en conduction totale), la chaleur à dissiper peut augmenter, nécessitant une capacité de dissipation thermique supplémentaire.

D'autre part, les systèmes de contrôle d'éclairage scénique sont utilisés pour augmenter ou diminuer progressivement le niveau d'éclairage afin de créer un effet lumineux. Des relais statiques asynchrones (random) sont couramment utilisés et contrôlés en angle de phase par le système de commande pour fournir le niveau d'éclairage souhaité. Presque tous les gradateurs scéniques utilisent des relais statiques spécifiques pour répondre à leurs exigences électriques et mécaniques, avec des valeurs I²T compatibles avec les disjoncteurs.

Les modules SKL sont utilisés dans les applications de gradateurs pour les lampes de scène, avec des thyristors RANDOM 50A SKL pour le pilotage des lampes de forte puissance avec des courants d'appel importants (modules enfichables 3U x 19» pour 12 x 3 kW, 6 x 5 kW ou 3 x 12 kW).



C/ Applications en environnements dangereux

Lors de l'utilisation de relais statiques (SSRs) dans certaines applications de commutation de forte puissance, il est nécessaire de prendre en compte toutes les caractéristiques du SSR et du système qui, combinées, pourraient produire des conditions dangereuses pour la sécurité humaine ou pour l'équipement. Par exemple, la sensibilité naturelle des SSRs aux surtensions transitoires et aux hausses rapides de tension (dv/dt) peut entraîner un bref état de conduction qui, associé à une tendance à fermer avant d'ouvrir, peut être dangereux lors de la commutation entre lignes ou sources d'alimentation. Cependant, avec des circuits et des mesures de protection appropriés, une configuration acceptable peut généralement être obtenue, à condition que des SSRs correctement dimensionnés soient disponibles.

Parmi les applications à haut risque, l'inversion de moteurs sur des systèmes triphasés est probablement l'application la plus critique. La durée de vie limitée et le bruit électrique généré par les contacteurs électromécaniques ont toujours posé problème dans ce type d'application, ce qui rend les excellentes propriétés

de durée de vie des SSRs particulièrement avantageuses. Une configuration très efficace consiste à effectuer l'inversion de ligne par des relais électromécaniques (EMRs) lorsque l'alimentation est coupée et le moteur à l'arrêt, tandis que la commande de démarrage/arrêt est assurée par des SSRs. Dans une telle configuration, les SSRs offrent une commutation marche/arrêt sans arc électrique. Lorsque seuls des circuits à relais statiques sont utilisés, il existe un risque que deux relais s'enclenchent simultanément, provoquant un court-circuit entre phases ; dans ce cas, l'appareil doit être capable de supporter un tel événement sans défaillance. Des précautions sont obligatoires pour éviter des situations potentiellement dangereuses de court-circuit à haute énergie. L'efficacité du circuit dépendra de la disponibilité de SSRs ayant des caractéristiques nominales suffisamment élevées pour répondre aux critères suggérés, tout en permettant le fonctionnement normal du moteur.

Une difficulté majeure survient lors du fonctionnement en parallèle de thyristors, où des paramètres non maîtrisables par l'utilisateur peuvent empêcher l'activation d'un SSR, entraînant la destruction de l'autre. Sur le terrain, si une combinaison de deux SSRs ou plus fonctionne correctement sous toutes les combinaisons de tensions d'entrée, de sortie et de variations de température, il y a de bonnes chances d'obtenir une configuration adéquate. Cependant, en raison des conséquences graves qu'impliquerait une défaillance d'un SSR, un système d'arrêt thermique doit également être installé en tant que mesure redondante.

La commande de positionnement d'électrovannes dans une centrale nucléaire utilisant un SW961230 avec une nouvelle tension de commande de 48V est un bon exemple d'application dangereuse, en raison de la criticité du bon fonctionnement de tout le système électrique, y compris le SSR qui est préféré au relais électromécanique (EMR) en raison du temps de cycle plus rapide autorisé et des aspects de fiabilité (coûts de réparation et de remplacement).



D/ Applications dans les énergies renouvelables

La conversion de l'électricité en chaleur (power-to-heat) joue un rôle important dans la vie quotidienne. En plus d'alimenter divers équipements tels que les pompes à chaleur, les stations de recharge pour véhicules électriques, les chauffages infrarouges, les systèmes de stockage, le surplus photovoltaïque est idéalement adapté pour commander des éléments chauffants électriques destinés à la production d'eau chaude. En raison du rendement élevé, il n'y a pratiquement aucune perte d'énergie dans le ballon d'eau chaude (1 kWh d'énergie solaire dans la résistance chauffante = 1 kWh de chaleur (rendement 100 %)).

Les relais statiques triphasés SVTA4654 et monophasés SO445420 sont utilisés pour chauffer l'eau (chauffages de 6 kW pour le stockage d'énergie), température maximale de 60 °C. Un thermostat électronique commande la mise en marche/arrêt du relais à mesure que l'eau circule dans le système et que la température de l'eau varie par rapport à la valeur prédéfinie. En raison de leur taille et de leur facilité d'installation, les chauffe-eaux instantanés sont idéaux pour une utilisation en intérieur.

Ce type d'application utilisait à l'origine des relais électromécaniques (EMR), mais ceux-ci ont été remplacés par la technologie SSR ces dernières années. En intégrant les relais statiques **celduc® relais**, le bruit de « clic » associé aux EMRs a été éliminé et la durée de vie a été augmentée, évitant ainsi de devoir remplacer les EMRs. L'efficacité a également été améliorée, car l'élément chauffant est activé/désactivé plus rapidement qu'avec un EMR. Le relais SSR est monté au-dessus de la sortie d'eau. Cela augmente l'efficacité du dissipateur thermique et permet des intensités nominales plus élevées dans un encombrement plus réduit que celui d'un dissipateur thermique conventionnel à convection. La charge est plus résistive (élément chauffant) qu'inductive, et un contrôle proportionnel n'est pas nécessaire pour réguler avec précision la température dans cette application.



E/ Inverseur moteur

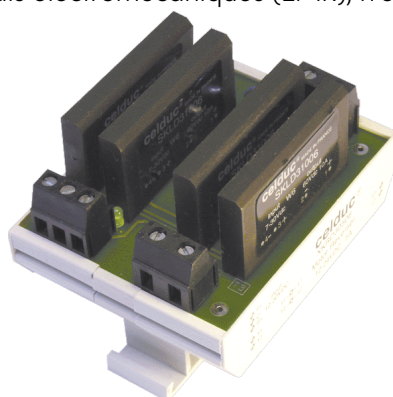
Les moteurs à courant continu (DC) sont souvent utilisés dans les systèmes de commande de portails et de portes, y compris les systèmes basse tension alimentés en 24 VDC. L'avantage d'utiliser du 24 VDC est que les systèmes de portes/portails peuvent être alimentés par des batteries, rechargées à partir de lignes AC classiques ou de panneaux solaires, ce qui permet leur fonctionnement même en cas de coupure de l'alimentation secteur.

L'inversion du sens de rotation des moteurs asynchrones triphasés est souvent utilisée pour changer le sens de rotation de la charge sur l'arbre ou parfois uniquement pour freiner le moteur. Pour gérer à la fois la partie mécanique et électrique, il est nécessaire d'ajouter un dispositif dans le circuit afin de limiter le couple transitoire et le courant d'appel.

Un relais statique DC réversible (XKRD30506) peut être utilisé pour l'inversion du moteur à partir d'une alimentation unique. Le délai avant d'activer la commande dans une direction ou une autre doit être supérieur au temps d'arrêt du SSR afin d'éviter un éventuel état dangereux de "make before break" (fermeture avant ouverture). Des diodes de roue libre internes ou des zeners installées dans les SSR suppriment les transitoires inductifs à travers la faible impédance de l'alimentation. Si aucun dispositif interne de suppression n'existe, une diode inverse doit être installée en parallèle sur chaque sortie SSR ou, en alternative, des SSR avec une tension de blocage au moins deux fois supérieure à la tension d'alimentation peuvent être utilisés. Le circuit doit être limité en courant ou protégé par fusible pour protéger le câblage en cas de court-circuit.

Le XKRD30506 utilise 4 relais statiques à MOSFET de puissance pour effectuer la commutation, mais inclut toutes les fonctionnalités associées telles que l'intégration des interconnexions, le contrôle logique pour l'interverrouillage, une tension de blocage intégrée, ainsi que la visualisation du contrôle par LED. La capacité de gestion de puissance du XKRD30506 atteint 5 ampères sous 60 VDC, ce qui permet de contrôler un inverseur pour moteurs de moins de 100 W sous 24 VDC sur un seul montage rail DIN sans besoin de dissipateur thermique supplémentaire.

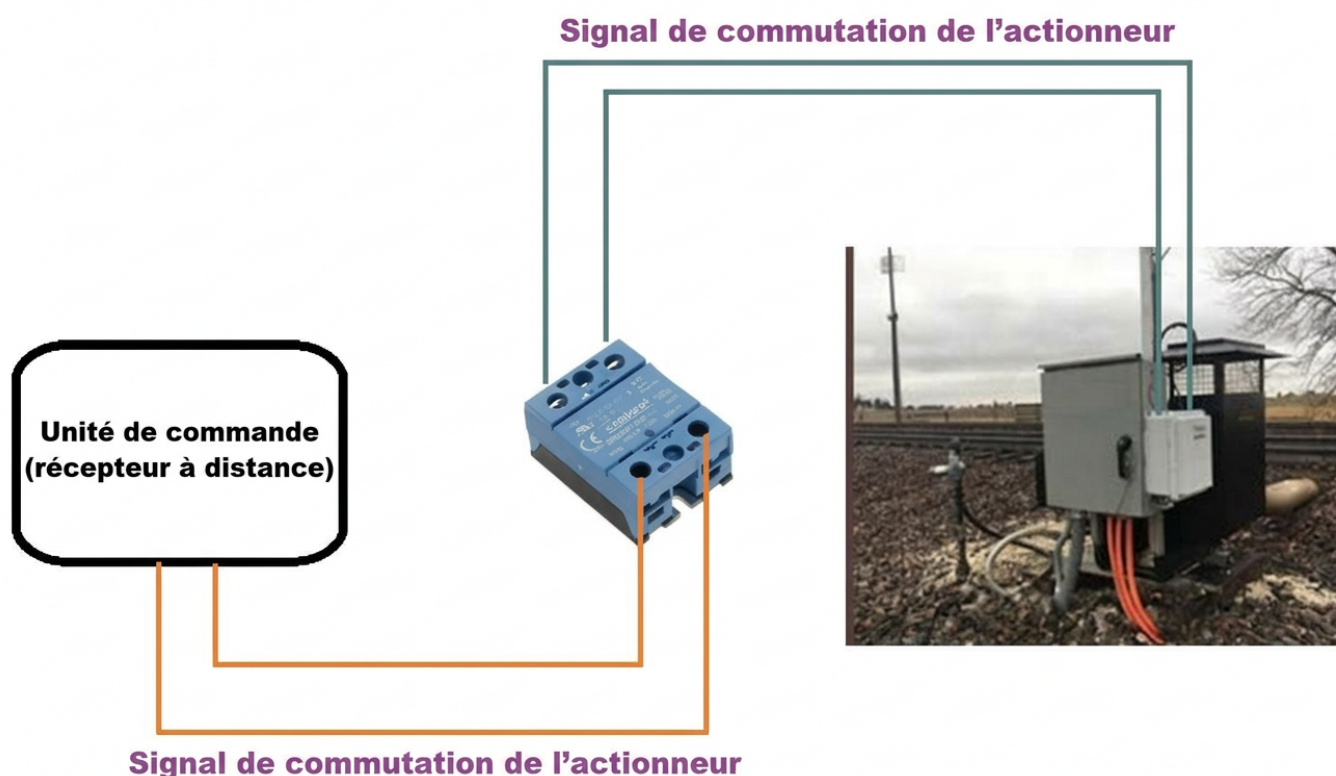
De plus, d'autres avantages à utiliser les relais statiques **celduc® relais** sont substantiels, notamment un niveau élevé d'immunité, une opération stable dans des environnements difficiles (forte humidité, poussière, saleté), car ces conditions n'affectent pas les performances du XKRD30506. Enfin, l'usure des contacts due aux arcs électriques, présente dans les relais électromécaniques (EMR), n'est plus un problème.



F/ Applications IoT

Les compagnies ferroviaires renouvellent souvent et automatisent les armoires électriques destinées à l'environnement ferroviaire, ce qui crée des besoins liés à des interrupteurs de puissance électriques sûrs à l'intérieur de ces armoires, avec une version à commande à distance, notamment pour les armoires situées dans des endroits isolés ou difficiles d'accès. En mettant en œuvre une solution de contrôle à distance (IoT), la charge peut être déconnectée en activant un petit moteur qui permet de commuter l'état de l'interrupteur de puissance actionné.

Ce type d'interrupteur actionné utilise des moteurs AC (par exemple 230 VAC, 75 W) qui sont activés pendant 1 seconde pour changer la position de l'interrupteur. À l'intérieur de l'armoire, une unité de contrôle est installée pour recevoir la commande à distance émise par la station centrale.



Pour les premières versions de ce système, une solution électromécanique a été mise en œuvre. Cependant, la plupart des systèmes récents utilisent des relais à semi-conducteurs en raison de leur fiabilité, ainsi que de leur excellente résistance aux conditions dangereuses telles que l'humidité élevée, les chocs et les vibrations. Pour cette application, le modèle SO745090 de **celduc® relais** est tout à fait capable de contrôler ce type de moteur, car il peut gérer des charges moteur AC-53 de 5 ampères (1 kW à 230 VAC).

Merci pour votre attention



www.celduc-relais.com