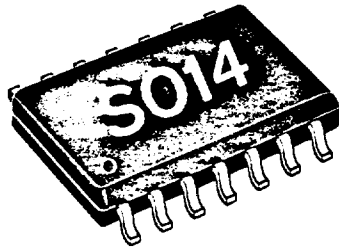


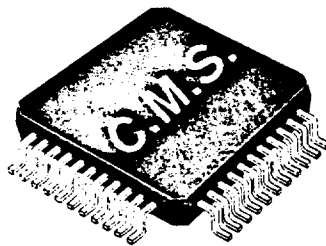
Nom :

Session 1999

Prénom :



CHAINE DE MONTAGE DE C.M.S.



SOMMAIRE

Technologie des CMS:	pages 1 à 20
Analyse fonctionnelle du système:	pages 21 à 24
Diagramme sagittal:	page 22
Analyse fonctionnelle de l'objet technique:	page 24 à 26
Schéma fonctionnel de degré 1:	page 27
Etude de FP7:	pages 28 à 38
Schéma fonctionnel de degré 2:	page 39
Schémas structurels:	pages 40 à 42

TECHNOLOGIE DES CMS

1. Qu'est-ce que le montage en surface ?

On connaît depuis plusieurs décennies la technique des cartes imprimées consistant à insérer sur une face les composants à fils dans les trous de la carte imprimée et à réaliser la liaison avec les pistes conductrices par soudage à la vague sur l'autre face. Nous avons aussi la technique classique des circuits hybrides (circuits en couche épaisse et en couche mince) dans laquelle, en plus des composants intégrés sur le substrat, on applique par soudage par refusion des chips sur un substrat céramique ou verre. La combinaison de ces différentes techniques a conduit au montage en surface (figure 1).

Alors que dans la technique conventionnelle des cartes imprimées on fait une distinction entre le côté composant et le côté soudure (figure 1, en haut), le montage en surface permet de connecter des composants des deux côtés de la carte (figure 1, en bas). Le montage en surface est donc une technique de montage dans laquelle les composants peuvent être fixés indifféremment d'un côté ou de l'autre de la carte, ceux-ci trouvant en général leur place entre les pistes conductrices. Le placement s'effectue automatiquement. Les CMS sont fixés à plat sur la carte imprimée avec une pâte à souder, une colle ou un flux puis sont soudés à celle-ci. Tous les composants n'étant pas encore disponibles pour le montage CMS ou seulement à un prix trop élevé, le montage mixte, avec composants classiques et composants pour montage en surface, continuera de prédominer pour le moment.

Dans la production, le placement des CMS n'est assuré correctement qu'avec des machines automatiques, un montage simultané ou séquentiel (automate pick-and-place) pouvant être utilisé dans les cas extrêmes (voir chapitre 12).

Il nous faut ici préciser quelques points pour comprendre en quoi réside en fait la nouveauté du montage en surface :

- Il était jusqu'à présent inconcevable de souder de manière rigide entre eux des corps présentant des coefficients de dilatation différents, par exemple une carte imprimée en résine époxyde et un chip en céramique. La pratique a montré que, du fait de l'élasticité de la soudure, cela était possible, bien entendu avec des restrictions quant à la taille des composants et à la sollicitation thermique (voir chapitre 4).
- Lors du soudage, les composants sont très fortement sollicités (jusqu'à 260 °C pendant 10 s dans la vague de soudure). Une partie des composants satisfait à ces exigences de par leur conception, l'autre partie doit par contre être soumise à un traitement particulier pour y satisfaire.
- Certains composants doivent être fixés par un collage non conducteur avant le soudage.
- Toutes les opérations de conception et de fabrication d'une carte imprimée pour CMS sont davantage imbriquées que dans le cas d'une carte avec des composants classiques.
- L'implantation automatique prend nettement plus d'importance.

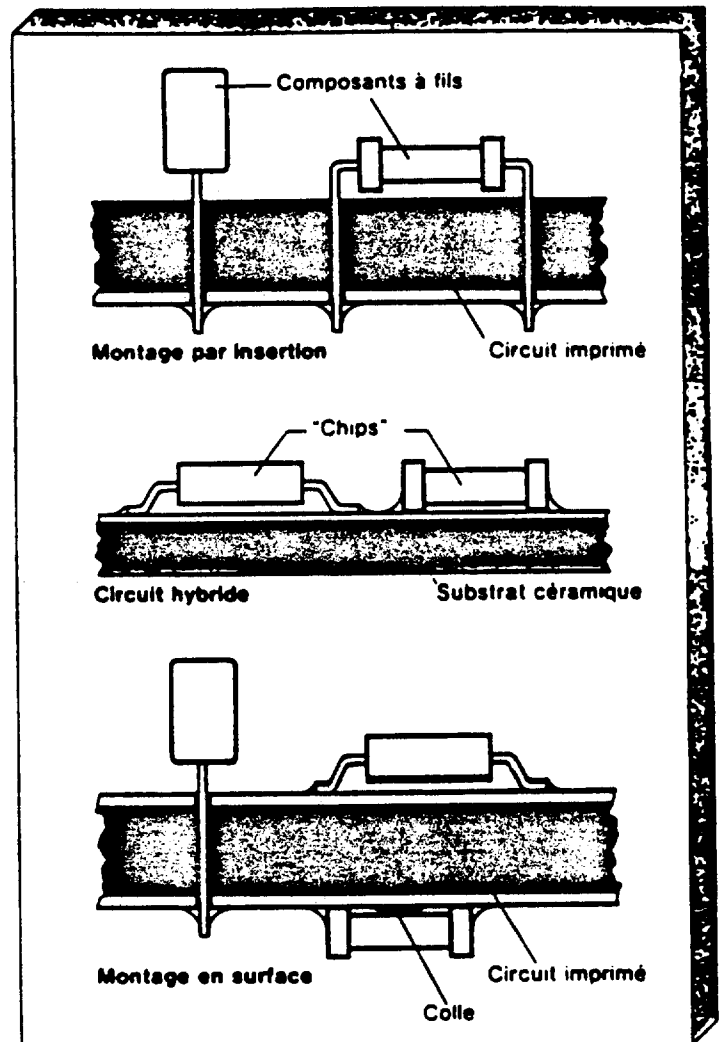


Figure 1. Implantation de composants à fils - Circuit hybride - Montage en surface

2. Qu'est-ce que les CMS ?

Chez Siemens et chez Philips, et donc en Europe dans une large mesure, l'accord semble s'être fait sur l'emploi de l'abréviation anglaise SMD* pour les composants pour montage en surface. Cette abréviation signifie Surface Mounted Device (Unité montée en surface) et semble s'être imposée pour les Composants pour Montage en Surface (CMS) en dépit de sa signification originelle. En français, nous utiliserons l'abréviation CMS. Contrairement aux composants classiques dont les fils sont insérés dans des trous, les CMS sont fixés à plat sur la carte imprimée (avec de la pâte à souder, une colle ou un flux) puis sont soudés à celle-ci par un procédé usuel. La figure 2 présente une liste des différents types de CMS. Pour l'essentiel, il existe deux sortes de CMS. Dans le type I, on distingue les "puces" de forme parallélépipédique, les CMS de forme cylindrique et les boîtiers en plastique avec embout de soudage. Ces trois sortes de CMS classiques peuvent en général être soudés au trempé. Le type II implique un traitement spécial pour ce qui est du placement et du soudage. Font partie de cette catégorie : les supports intermédiaires (Chip-Carrier), les composants TAB (Micropack)¹ ainsi que les boîtiers particuliers des inductances, des filtres à onde de surface, des trimmers, des oscillateurs à quartz, etc. En moyenne, 80 % des CMS actuels sont des résistances. Des condensateurs et des composants discrets viennent s'ajouter, ce qui fait que ce sont les composants de type I qui prédominent quantitativement dans les CMS.

* Pour être complet, il nous faut signaler qu'on emploie également les expressions suivantes : SMC (Surface Mounted Component), SMT (Surface Mounted Technology) et SMA (Surface Mounted Assembly).

** L'expression "puce" ("chip") ne peut être employée que lorsqu'elle ne peut pas prêter à confusion avec le terme "puce" couramment utilisé dans la technique des semi-conducteurs (cristal semi-conducteur) ; c'est pourquoi d'ailleurs l'expression CMS est meilleure.

Présentation des CMS :

(voir également chapitre 13 : CMS fabriqués par Siemens)

Rectangulaire (chips)

Formats préférentiels 0805, 1206, 1210, 1812, 2220,...

Cylindrique

MELF¹, MINIMELF, MICROMELF

TUBULAIRE (p. ex. condensateurs tubulaires)

SOD 80 (MELF - diodes similaires)

SOT 23, 143, 89, 192

SO² 4 ... 28 sorties (SOIC)

VSO³ 40 sorties

CHIP-CARRIER

Boîtier plastique (PLCC⁴)

Boîtier céramique (LCCC⁵)

Boîtier de circuit intégré avec broches recourbées vers l'extérieur

Flat Pack

Quad Flat Pack

Micropack TAB⁶

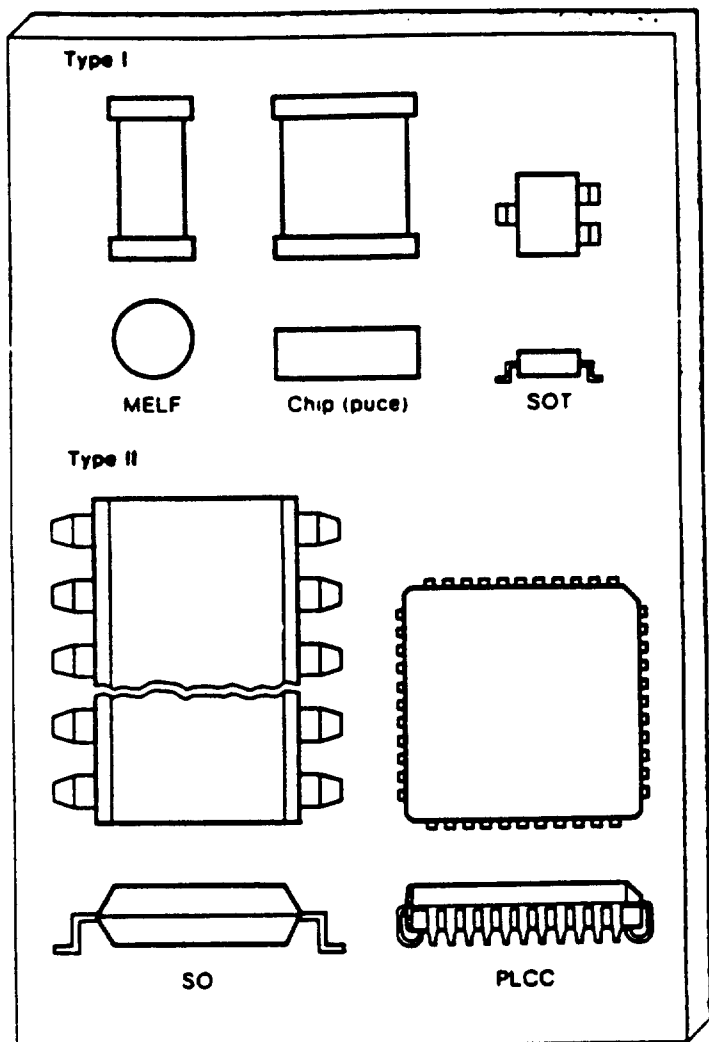


Figure 2. Boîtiers CMS.

Boîtiers spéciaux pour :

inductances, FOS⁷, trimmer, quartz, commutateurs, connecteurs, relais...

- 1) Metal Electrode Face Bonding
- 2) Small Outline
- 3) Very Small Outline
- 4) Plastic Leaded Chip Carrier
- 5) Leadless Ceramic Chip Carrier
- 6) Tape Automated Bonding
- 7) Filtre à Onde de Surface

D'une manière générale, l'offre est nettement plus importante pour les CMS parallélépipédiques que pour les CMS cylindriques, ces derniers ne pouvant avoir que deux connexions. C'est ce qui explique que jusqu'à présent les composants parallélépipédiques ont été aussi plus largement diffusés.

Dimensions des CMS :

Formats/boîtiers	Dimensions (mm)	Norme
0805	2,0 x 1,25	CEI
1206	3,2 x 1,6	CEI
1210	3,2 x 2,5	CEI
1812	4,5 x 3,2	CEI
2220	5,7 x 5,0	CEI
MELF	5,9 x 2,2 Ø	
MINIMELF	3,6 x 1,4 Ø	
MICROMELF	2,0 x 1,27 Ø	
SOD 80	3,8 x 1,6 Ø	
SOT 23	3,0 x 2,6 x ép. 1,1 (avec connexions)	DIN 23 A 3 JEDEC TO-236
SOT 143	3,0 x 2,6 x ép. 1,1 (avec connexions)	DIN 23 A 3
SOT 89	4,5 x 4,25 x ép. 1,5 (avec connexions)	JEDEC TO-243
SOT 192	4,5 x 4,0 x ép. 1,5 (avec connexions)	
SO 6 ... 28"	entr'axe 1,27	JEDEC MO-046 ...
PLCC	" 1,27	JEDEC MO-04 ...
LCCC	" 1,27	JEDEC MO-04 ...
MICROPACK T.A.B. film 8/16 mm (35 mm si justifié) 10 à 256 sorties		

Lorsque, pour des raisons électriques ou économiques, il n'est pas possible ou pertinent de mettre au point un boîtier CMS spécial, on peut recourir à un boîtier enfichable (DIL) normal en recourbant les pattes de montage de manière à permettre le montage en surface du composant (voir au chapitre 13.2 Composants, notre photocoupleur dans le boîtier CMS DIP-6), si celui-ci supporte les conditions de soudage.

1) SO 6	3,9 x 6,2 x ép. 2,0 (avec connexions)
SO 8	5,2 x 6,2 x ép. 2,0 (avec connexions)
SO 14	8,8 x 6,2 x ép. 1,75 (avec connexions)
SO 20 L	12,8 x 10,4 x ép. 2,65 (avec connexions)

Le montage en surface demande autant que possible une standardisation des dimensions des composants et une forme géométrique définitive. Un grand nombre de boîtiers a déjà été normalisé (norme CEI) ou a été proposé pour être normalisé (proposition JEDEC).

Depuis plus de dix ans, Siemens propose des composants pour le montage en surface et possède des expériences de fabrication importantes en la matière grâce à un développement et une modernisation continus de ces composants. Il existe désormais une vaste gamme de composants actifs et passifs qui va des circuits intégrés aux condensateurs céramique multicouche, aux thermistances CTN/CTP et aux composants miniatures SIFFERIT en passant par les transistors et les diodes. L'éventail des composants montables en surface ne cesse de s'élargir.

3. Les avantages du montage en surface

Les avantages essentiels du montage en surface se résument ainsi :

- Rationalisation,
- Miniaturisation,
- Fiabilité et universalité.

Ils résultent des différents aspects se rapportant aux composants eux-mêmes, à la carte imprimée, au traitement et au test. Lorsqu'on a recours à la technique CMS, les succès sont d'autant plus rapides et durables que l'approche des composants, des machines automatiques de placement et du procédé technique est unifiée. Il est en effet nécessaire d'optimiser la conception d'ensemble. Pour cela, il ne faut pas seulement considérer le coût des CMS seul, il faut aussi tenir compte des coûts globaux (placement, soudage et test compris) qui, dans l'état actuel du marché, peuvent déjà s'avérer très nettement inférieurs à ceux de la technique conventionnelle des circuits imprimés.

3.1. Les composants

Par rapport aux composants classiques, les CMS présentent les avantages suivants :

- Faibles dimensions conduisant à un encombrement moindre, à un degré d'intégration plus élevé et à un espace de stockage plus réduit.
- La réduction des dimensions des cartes entraîne une diminution des sous-ensembles et des appareils complets.
- Poids réduit conduisant à des conceptions d'appareils plus simples et à une plus grande fiabilité. Particulièrement important pour les matériels embarqués.
- Abandon des fils conduisant à une résistance mécanique supérieure (vibrations et chocs).
- Suppression avec les CMS des opérations de préparation des fils (plier, couper, etc.) nécessaires jusque-là pour le placement.
- Suppression des inductances et des capacités parasites dues aux fils de connexion. Avantage significatif pour les utilisations HF.
- Composants présentant une forme géométrique favorable pour les machines automatiques de placement (d'où une implantation pratiquement sans défaut).
- Boîtiers miniaturisés permettant une augmentation importante du nombre de connexions, en particulier pour les micropacks et les PLCC.
- Tolérances plus faibles, en particulier pour les valeurs minimales des capacités, par exemple :
capacité minimale de 0,5 pF, tolérance standard $\pm 0,25$ pF pour les CMS,
capacité minimale de 4,7 pF, tolérance standard $\pm 0,5$ pF pour les composants à fils.
- L'augmentation des quantités de CMS entraînera une réduction des coûts de fabrication.

3.2. La carte imprimée

- L'emploi de la technique CMS permet de réduire normalement la taille des cartes imprimées d'au moins 30 %. En exploitant systématiquement les possibilités de cette technique pendant la phase d'étude du circuit imprimé et la possibilité d'implantation biface des CMS, on peut même parvenir à une réduction supérieure à 50 %.
- En gardant la taille originelle de la carte imprimée, il est bien entendu également possible de desserrer les composants implantés et ainsi d'accroître la fiabilité.
- Du fait du plus faible encombrement des composants et de la disparition des fils, on n'enregistre pas seulement une réduction des capacités parasites et des inductances de ligne. Dans la majorité des cas, il est également possible de raccourcir la longueur des pistes conductrices et d'en réduire le nombre. Grâce aux dimensions plus faibles et plus étroitement tolérancées des composants mais aussi de leurs emplacements, on obtient une meilleure reproductibilité des caractéristiques électriques, ce qui se solde en particulier par des économies financières lors du réglage des circuits HF.
- La technique CMS n'implique pas l'utilisation d'un matériau spécial pour les circuits imprimés ni une précision des pistes conductrices supérieure à ce qui est actuellement exigé pour une même densité de composants. Elle peut être mise en œuvre sur des matériaux standard tels que le papier-phénoplaste ou les cartes en résine époxyde chargée simple face. Il est cependant possible d'utiliser aussi des matériaux spéciaux par exemple pour les cartes pour applications HF. Lorsqu'on utilise des CMS du type II, il est néanmoins nécessaire de recourir à des cartes imprimées spéciales (voir chapitre 10).
- L'abandon des trous conduit à des réductions de coûts substantielles. Il s'agit là d'une économie non négligeable car la réalisation des trous représente jusqu'à 10 % du coût des cartes imprimées.
- Le montage mixte avec des composants classiques est possible. Nous avons déjà expliqué au début de notre exposé la nécessité d'une telle variante.

3.3. Le placement

L'introduction de la technique CMS permet de réduire de plus de 50 % les coûts moyens par composant pour le placement à la machine. Il faut ici tenir compte du fait que l'adoption de ces nouveaux composants peut réduire le nombre et la diversité des machines automatiques nécessaires pour l'équipement des cartes imprimées⁽¹⁾, ce qui a une répercussion sur les frais financiers, l'entretien, l'utilisation, l'encombrement et l'énergie consommée.

- (1) Pour les composants à fils, on a actuellement besoin d'au moins trois machines automatiques :
une machine pour les composants radiaux,
une machine pour les composants axiaux,
une machine pour les boîtiers DIL.

- Le haut rendement de placement des machines automatiques pour CMS est le critère déterminant pour l'adoption du montage en surface. Les machines de série peuvent placer quelques centaines de milliers de composants par heure.
- Les machines automatiques pour CMS ont une grande sécurité de placement. Les taux d'erreur pour un circuit fonctionnel peuvent être inférieurs ou égaux à 20 ppm. Cela signifie que pour un million de composants implantés et soudés, 20 composants seulement ne remplissent pas correctement leur fonction dans le circuit. Avec le placement conventionnel, on obtenait jusqu'à présent 250 à 400 ppm dans le meilleur des cas.
- Le montage mixte permet d'implanter sur la carte imprimée une proportion quelconque de CMS par rapport aux composants classiques. L'introduction de la technique CMS peut donc se faire avec un faible nombre de CMS, ce qui permet d'accumuler des expériences peu à peu.

Dans de nombreux cas, on commence par implanter dans une première phase les composants de type I sur la face de soudage de la carte imprimée. Au cours d'une deuxième phase on met au point une nouvelle carte imprimée qui est alors optimisée pour les CMS.
- L'universalité de certaines machines automatiques d'équipement qui peuvent implanter un large éventail de composants revêt une grande importance économique. Pour plus de détails se reporter au paragraphe 12.3.

3.4. La qualité et la fiabilité

Les cartes imprimées et les composants doivent satisfaire à des exigences de qualité et de fiabilité de plus en plus élevées, d'une part parce que leur diffusion ne cesse de croître, d'autre part parce que les frais consécutifs à leur défaillance sont largement supérieurs aux coûts de fabrication. De prime abord, on attend de la technique CMS qu'elle ne soit pas inférieure à l'ancienne technique des cartes imprimées pour ce qui est de la qualité et de la fiabilité.

Compte tenu du caractère relativement récent de la technique CMS, on ne dispose encore que de peu d'indications sur sa qualité et sa fiabilité. On peut cependant faire les remarques suivantes à ce propos :

- Pour ce qui est des composants, on peut considérer qu'ils ne présentent pas un taux de défaillance supérieur à celui des composants classiques. L'abandon ou le raccourcissement des fils de connexion, la réduction du poids et la miniaturisation du boîtier ont quant à eux un effet positif. Ces composants sont nettement moins sensibles aux vibrations et aux chocs que les composants à fils.

- Les CMS acceptés pour la technique hybride peuvent en général s'employer sans problème pour le montage en surface..
- Les CMS doivent satisfaire aux mêmes exigences de soudabilité que les composants classiques. Les normes correspondantes relatives au mouillage, à l'appauvrissement de l'alliage et au stockage doivent être respectées.
- Les procédés de soudage sont les mêmes que ceux employés pour les autres techniques de montage. Les différents avantages et inconvénients de chaque procédé s'appliquent par analogie à la technique CMS. Il y a lieu de noter ici que les critères d'appréciation des points de soudage pour le soudage à la vague et pour le soudage par refusion sont en partie très différents (exemple extrême : les métallisations des trous).
- Une relation étroite existe entre les taux d'erreur à la fabrication, la sécurité de placement et la fiabilité de placement. Si des composants mal implantés doivent être changés, la fiabilité de la carte réparée mais retouchée est réduite d'autant. La sécurité de placement extrêmement élevée des machines automatiques de placement Siemens Pick-and-Place, par exemple, contribue ainsi à accroître fortement la fiabilité du sous-ensemble.

3.5. Réparation des cartes équipées de CMS

La suppression des opérations de préparation des composants, la grande sécurité de placement des automates de report et la bonne coordination de toutes les étapes de développement et de fabrication réduisent fortement les interventions pour réparation.