

LA FAMILLE DU SA828

Un générateur de signaux MLI triphasé

Caractéristiques :

- **Commande entièrement numérique**
- **S'interface avec la plupart des microprocesseurs**
- **Grande gamme de fréquence du fondamental**
- **Commande de la vitesse sur 12 bits**
- **Fréquence de la porteuse sélectionnable jusqu'à 24kHz**
- **Forme d'onde stockée en ROM**
- **Echantillonnage régulier à double front**
- **Possibilité de définir une largeur minimum d'impulsion**
- **Temps mort**
- **Freinage par injection de courant continu**

Le générateur de signaux MLI triphasé SA828 a été conçu pour fournir les signaux nécessaires à la commande des machines électriques à courant alternatif, des alimentations sans interruption et tout dispositif d'électronique de puissance nécessitant la MLI en tant que méthode efficace de contrôle de la puissance.

Les six sorties MLI à niveau TTL (figure 2) commandent les six interrupteurs d'un onduleur triphasé. Ceci se fait habituellement à travers une interface qui assure l'isolement galvanique et l'amplification des signaux.

Le SA828 est fabriqué en technologie CMOS afin de réduire la consommation.

Les informations véhiculées par la forme des signaux MLI commandent la forme, la fréquence du fondamental, l'amplitude, le sens (défini par l'ordre de la séquence Rouge Jaune Bleu) de la tension de sortie. Des paramètres tels que la fréquence de la porteuse, la largeur minimale d'une impulsion, et la durée du temps mort peuvent être définis pendant l'initialisation du circuit. La durée du temps mort commande le temps qui s'écoule entre la fermeture d'un interrupteur et l'ouverture de celui qui est placé en série avec lui dans un bras de façon à tenir compte de la variabilité des temps d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de puissance.

Le SA828 est commandé très simplement par un microcontrôleur. La génération entièrement numérique des signaux MLI leur confère une précision et une stabilité en température exceptionnelles. La possibilité de définir très précisément la forme des impulsions permet une efficacité maximum avec n'importe quel circuit de puissance. Le circuit se comporte comme un périphérique autonome du microcontrôleur, il lit la forme d'onde du fondamental dans une ROM interne et ne nécessite d'intervention du microcontrôleur que lorsqu'un paramètre doit être modifié.

Un bus de données multiplexé est utilisé pour recevoir les adresses et les données depuis le microcontrôleur. C'est un bus normalisé MOTEL™, compatible avec la plupart des microcontrôleurs.

Pour une meilleure précision, la vitesse est définie par un mot de douze bits et il est possible de d'imposer une fréquence nulle afin d'obtenir un freinage par injection de courant continu sans ajouter du logiciel.

Cette famille est compatible broche à broche avec le générateur de signaux MLI MA828. Deux formes d'onde classiques sont disponibles, ce qui couvre la majorité des applications. De plus n'importe quelle forme d'onde symétrique peut être intégrée à la puce sur demande.

DESCRIPTION FONCTIONNELLE

Comme il est montré à la figure 3, une méthode de génération asynchrone des impulsions de MLI avec échantillonnage à double front de la référence stockée en ROM est utilisée.

La fréquence du signal triangulaire de la porteuse peut être réglée jusqu'à 24kHz (en supposant l'utilisation d'un quartz de 12,5MHz) ce qui autorise un fonctionnement ultrasonique pour des applications où le bruit est critique. Avec une horloge de 12,5MHz, la fréquence de la référence peut aller jusqu'à 4kHz avec une résolution de 12 bits de façon à assurer une commande précise de la vitesse et un changement sans à-coups de la fréquence.

L'ordre des phases peut également être changé de façon à autoriser le fonctionnement en marche avant et arrière du moteur.

Les sorties MLI peuvent être adaptées aux caractéristiques des interrupteurs en définissant la durée minimum des impulsions (le SA828 supprimera toute impulsion de durée inférieure) et celle du temps mort sans qu'il soit besoin de composant extérieur. Cela permet d'économiser sur le nombre de composants et permet d'utiliser le même circuit pour diverses applications simplement en changeant le logiciel du microcontrôleur.

La commande de l'amplitude de la référence possède également une option de surmodulation pour aider à l'obtention d'un freinage rapide. Par ailleurs, le freinage peut être réalisé en fixant la vitesse de rotation à 0Hz. Ceci est appelé freinage par injection de courant continu et consiste à freiner le moteur en faisant circuler un courant continu dans le stator.

Une entrée de défaut permet, en cas d'urgence, de bloquer les sortie MLI immédiatement sans passer par le microcontrôleur.

La sortie de synchronisation WSS peut être utilisée conjointement avec le signal ZPP pour fournir une image de

la vitesse réelle du rotor. Ceci est particulièrement utile dans les systèmes de compensation du glissement.

Une autre application possible du SA828 est la commande d'une alimentation à découpage ou d'une alimentation sans interruption triphasée. Dans ce genre d'application une fréquence de porteuse élevée permet d'utiliser un transformateur de petite taille.

INTERFACE A MICROPROCESSEUR

Le SA828 s'interface avec le microcontrôleur qui le commande par l'intermédiaire d'un bus multiplexé de format MOTEL. Ce bus d'interface a la capacité de s'adapter au format et au timing des bus d'interface Motorola et INTEL (d'où le nom MOTEL). En interne le circuit de détection met en mémoire l'état de DS / \overline{RD} sur le front montant de AS/ALE. Si la valeur est 1 le mode Intel est utilisé, si la valeur est 0 c'est le mode Motorola. Cette procédure est suivie à chaque front montant de AS/ALE. En pratique cette procédure est transparente pour l'utilisateur. Pour les problèmes relatifs au bus, se référer à la documentation du microcontrôleur considéré.

Les microprocesseurs classiques tels que les 8085, 8088, etc. et les microcontrôleurs tels que les 8051, 8052 et 6805 sont tous compatibles avec l'interface du SA828. Cette interface consiste en 8 lignes AD0-AD7 (en écriture seulement dans ce cas), qui sont multiplexées pour transmettre à la fois des données et des adresses, un bus de commande de trois lignes appelées \overline{WR} , \overline{RD} et ALE dans le mode Intel et R/\overline{W} , DS et AS dans le mode Motorola, et une entrée de *chip select* \overline{CS} , qui permet au SA828 de partager le bus avec d'autres périphériques. Il est à noter que toutes les durées sur le bus sont dérivées du microcontrôleur et sont indépendantes de l'horloge du SA828.

FONCTIONNEMENT DU BUS D'INTERFACE

Dans le mode Intel (figure 4 et Table 1)

L'adresse est mise en mémoire sur le front descendant de ALE. Les données sont écrites depuis le bus vers le SA828 sur le front montant de \overline{WR} . \overline{RD} n'est pas utilisé dans ce mode parce que les registres du SA828 sont en écriture seulement. Cependant cette broche doit être reliée à \overline{RD} (ou mise au niveau haut) pour que le bon format de bus soit sélectionné.

Dans le mode Motorola (figure 5 et Table 2)

L'adresse est mise en mémoire sur le front descendant de AS. Les données sont écrites depuis le bus vers le SA828 (à condition que R/\overline{W} soit au niveau bas) sur le front montant de DS (à condition que \overline{CS} soit au niveau bas).

LA COMMANDE DU SA828

Le SA828 est commandé en chargeant des données dans deux registres 24 bits via l'interface du microcontrôleur. Ces registres sont le registre d'initialisation et le registre de commande.

Le registre d'initialisation est normalement chargé avant la mise en route du moteur (c'est à dire avant que les sorties MLI soient validées) et définit les paramètres de base associés aux interrupteurs et au moteur. Ces données ne sont normalement pas modifiées en cours de fonctionnement.

Le registre de commande est utilisé pour commander les sorties MLI en fonctionnement par exemple : marche/arrêt, vitesse, avant/arrière etc. et sont normalement chargées et modifiées uniquement après que le registre d'initialisation a été chargé.

Le bus MOTEL étant limité à un format de 8 bits, les données devant être chargées dans un des registres 24 bits sont d'abord écrites dans trois registres temporaires 8 bits R0, R1 et R2 avant d'être transférées dans le registre 24 bits choisi. Les données sont acceptées (et actives) uniquement au moment du transfert dans un des registres 24 bits.

Le transfert de données des registres temporaires vers le registre d'initialisation ou de commande est effectué par une instruction d'écriture dans un registre fantôme. Ecrire dans le registre fantôme R3 revient à transférer les données depuis R0, R1 et R2 vers le registre de commande, tandis qu'écrire dans le registre fantôme R4 revient à transférer les données depuis R0, R1 et R2 vers le registre d'initialisation. Les données que l'on écrit dans les registres R3 et R4 importent peu puisque ce ne sont pas de vrais registres. C'est seulement l'action d'écrire dans un de ces registres qui sert à charger le registre de commande ou d'initialisation.

AD2	AD1	AD0	Registre	Commentaire
0	0	0	R0	Registre temporaire R0
0	0	1	R1	Registre temporaire R1
0	1	0	R2	Registre temporaire R2
0	1	1	R3	Transfert des données de commande
1	0	0	R4	Transfert des données d'initialisation

Tableau n°3 : Adressage des registres du SA828

La fonction du registre d'initialisation

Le registre d'initialisation 24 bits contient les paramètres qui, en fonctionnement normal, sont définis dans la phase de mise en route du système. Ces paramètres étant particuliers au circuit de commande utilisé il n'est pas recommandé de les modifier pendant un cycle de MLI. Les informations contenues dans ce registre ne devraient être modifiées que lorsque \overline{RST} est actif (c'est à dire au niveau bas) afin que les sorties MLI soient bloquées pendant la procédure de mise à jour.

Les paramètres définis par le registre d'initialisation sont :

Fréquence de la porteuse

Une fréquence de porteuse basse diminue les pertes en commutation tandis qu'une fréquence élevée augmente la résolution de la forme d'onde et permet un fonctionnement ultrasonique.

Fréquence maximum du fondamental

Ce paramètre fixe le maximum de la fréquence du fondamental de la tension de sortie. Il doit être normalement réglé de façon à éviter que le moteur ne soit entraîné à une vitesse supérieure à sa vitesse maximum.

Temps mort

Pour chaque phase de l'onduleur il y a deux signaux de commande, un pour l'interrupteur du haut (relié

à la borne positive de l'alimentation continue) et un pour l'interrupteur du bas (relié à la borne négative de l'alimentation continue). L'état de ces deux interrupteurs est toujours complémentaire. Cependant, du fait de la durée non nulle et non symétrique des commutations des interrupteurs de puissance, il est souhaitable, lors du changement d'état de la paire d'interrupteurs de prévoir un bref instant pendant lequel les deux interrupteurs sont bloqués de façon à éviter un court-circuit de l'alimentation continue.

Durée minimum d'une impulsion

Une séquence MLI pure produit des impulsions dont le rapport cyclique varie de 0% à 100%. Ainsi, en théorie, la largeur d'une impulsion peut devenir infiniment petite. En pratique cela pose des problèmes aux interrupteurs du fait des effets de stockage. Ainsi une largeur minimum des impulsions est nécessaire. Toute impulsion plus courte que cette valeur minimum est supprimée.

Mise à zéro du compteur

Ce dispositif permet de remettre à zéro le compteur interne de fréquence de la référence, ce qui inhibe la commande normale de la fréquence et impose un rapport cyclique de 50% en sortie.

La programmation du registre d'initialisation

Les données du registre d'initialisation sont chargées en trois octets dans les registres temporaires R0-R2. Quand toutes les données d'initialisation ont été chargées dans ces registres, elles sont chargées dans le registre d'initialisation en écrivant dans le registre fantôme R4.

Choix de la fréquence de la porteuse

La fréquence de la porteuse est une fonction de la fréquence de l'horloge externe et du rapport de division n déterminé par le mot de 3 bits CFS écrit lors de l'initialisation. La valeur de n est donnée par le tableau n°4.

Mot CFS	101	100	011	010	001	000
Valeur de n	32	16	8	4	2	1

Tableau n°4 : Valeur du rapport de division n

La valeur de la fréquence de la porteuse est alors :

$$f_{CARR} = \frac{k}{512 \times n} \quad \text{où } k = \text{fréquence de l'horloge et } n = 1,2,4,8,16 \text{ ou } 32 \text{ (selon CFS).}$$

Choix de la fréquence maximum du fondamental

La fréquence maximum du fondamental choisie ici détermine la valeur maximum de la fréquence du fondamental de la tension de sortie. La fréquence courante est déterminée par le mot de 12 bits PFS (Power Frequency Select) du registre de commande et ne peut dépasser la valeur définie ici.

La fréquence maximum du fondamental est une fonction de la fréquence de la porteuse (f_{CARR}) et d'un facteur multiplicateur m qui dépend du mot de 3 bits FRS. La valeur de m est donnée par le tableau n°5 :

Mot FRS	110	101	100	011	010	001	000
Valeur de m	64	32	16	8	4	2	1

Tableau n°5 : Valeur du facteur de multiplication m

La valeur de la fréquence maximum de la référence est donnée par : $f_{RANGE} = \frac{f_{CARR}}{384} \times m$ où

f_{CARR} = fréquence de la porteuse et $m = 1,2,4,8,16,32$ ou 64 (selon FRS).

Durée du temps mort

La durée du temps mort affecte les six sorties MLI en retardant de la valeur choisie le front montant de chaque signal.

La durée du temps mort t_{pdy} est une fonction de la fréquence de la porteuse et de pdy qui dépend du mot de 6 bits PDY. La valeur de pdy est donnée par le tableau n°6 :

Mot PDY	111111	111110	...etc...	000000
Valeur de pdy	1	2	...etc...	64

Tableau n°6 : Valeurs de pdy

La durée du temps mort t_{pdy} est donnée par :

$$t_{pdy} = \frac{pdy}{f_{CARR} \times 512} \quad \text{où } pdy = 1 \text{ à } 64 \text{ (selon PDY) et}$$

f_{CARR} = fréquence de la porteuse.

La figure 8 montre l'effet du temps mort.

Il est à noter que le circuit de temps mort suit le circuit de suppression des impulsions brèves (voir figure 2). La largeur minimum de l'impulsion vue en sortie sera donc plus courte que la durée minimum d'une impulsion définie dans le registre d'initialisation. La largeur de l'impulsion la plus courte sera en fait de $t_{pd} - t_{pdy}$.

Durée minimum d'une impulsion

Pour éliminer les impulsions trop courtes, le train d'impulsion passe par un circuit de suppression des impulsions brèves. Le circuit compare la largeur des impulsions avec la durée minimum des impulsions définie dans le registre d'initialisation. Si une impulsion (positive ou négative) est plus grande ou égale en durée que la durée minimum d'une impulsion, elle passe à travers le circuit sans modification, sinon elle est supprimée.

La durée minimum des impulsions, t_{pd} , est une fonction de la fréquence de la porteuse et de pdt qui est déterminé par le mot de 7 bits PDT (*Pulse Deletion Time*). La valeur de pdt est donnée par le tableau n°7 :

Mot PDT	1111111	1111110	...etc...	0000000
Valeur de pdt	1	2	...etc...	128

Tableau n°7 : Valeurs de pdt

La durée minimum des impulsions, t_{pd} , est donnée par : $t_{pd} = \frac{pdt}{f_{CARR} \times 512}$ où $pdt = 1$ à 128 (selon PDT) et

f_{CARR} = fréquence de la porteuse.

La figure 10 montre l'effet de la suppression des impulsions brèves.

Remise à zéro du compteur

Quand le bit CR (*Counter Reset*) est actif (c'est à dire à 0) le compteur interne de référence est mis à 0° pour la phase rouge. Il reste dans cet état jusqu'à ce que le bit CR soit inactivé (c'est à dire à 1).

Les fonctions du registre de commande

Ce registre 24 bits contient les paramètres qui sont normalement modifiés en cours de fonctionnement de façon à commander le moteur.

Les paramètres du registres de commande sont les suivants :

Fréquence du fondamental (vitesse)

Permet de régler la fréquence du fondamental de la tension de sortie dans la limite fixée dans le registre d'initialisation.

Avant/Arrière

Permet de changer le sens de rotation du moteur en changeant l'ordre des phases.

Amplitude du fondamental

En modifiant la largeur des impulsions de sortie tout en maintenant constante leur largeur relative, l'amplitude du fondamental est modifiée alors que la fréquence reste constante.

Surmodulation

Permet de doubler l'amplitude du fondamental, ce qui produit une tension de sortie quasi rectangulaire. En associant surmodulation et fréquence du fondamental faible, on obtient un ralentissement rapide du moteur.

Blocage des sorties

Permet de mettre les sorties à zéro tandis que la génération des signaux MLI continue en interne. Ce dispositif est utile pour bloquer temporairement les sorties sans avoir à changer le reste des registres.

La programmation du registre de commande

Le registre de commande ne devrait être programmé que lorsque le registre d'initialisation contient les paramètres de base du SA828.

Comme pour le registre d'initialisation, les données du registre de commande sont chargées par mots de 8 bits dans les registres temporaires R0-R2. Quand toutes les données ont été chargées dans ces registres elles sont transférées dans le registre de commande 24 bits en écrivant dans le registre fantôme R3. Il est recommandé de mettre à jour les trois registres temporaires avant d'écrire dans R3, de façon à s'assurer que des données valides sont transférées pour exécution dans le registre de commande.

Choix de la fréquence du fondamental

La fréquence du fondamental est la fréquence maximum (définie dans le registre d'initialisation) divisée par un nombre de 12 bits : PFS (*Power Frequency Select*). Ceci donne une échelle de 4096 valeurs de fréquence. Le mot PFS s'étalant sur les deux registres temporaires R0 et R1, il est essentiel, lors du changement de la fréquence, que ces deux registres soient mis à jour avant d'écrire dans R3.

La fréquence du fondamental est donnée

$$\text{par : } f_{\text{POWER}} = \frac{f_{\text{RANGE}}}{4096} \times \text{pfs} \quad \text{où } \text{pfs} = \text{valeur décimale du mot}$$

de 12 bits PFS et f_{RANGE} = valeur maximum de la fréquence du fondamental définie dans le registre d'initialisation.

Blocage des sorties

Quand il est actif (c'est à dire à zéro) le bit de blocage des sorties INH met toutes les sorties MLI à l'état bloqué (c'est à dire à zéro). Le fonctionnement interne du circuit n'est pas modifié. Lorsque le blocage est levé les sorties MLI fonctionnent immédiatement. Il est à noter que le blocage intervient après les circuits de temps mort et de suppression des impulsions brèves. Des impulsions plus courtes que la largeur minimum normale peuvent être produites au redémarrage.

Surmodulation

Le bit de surmodulation OM (*Overmodulation*) est en fait le neuvième bit (MSB) du mot qui détermine l'amplitude. Quand il est actif, (c'est à dire à 1) la tension de sortie peut être commandée entre 100% et 200% par le mot de commande de l'amplitude.

Le pourcentage de la commande de l'amplitude est maintenant : Amplitude Surmodulée = $A_{\text{POWER}} + 100\%$ ou A_{POWER} = l'amplitude du fondamental.

Avant/Arrière

L'ordre des phases est contrôlé par le bit F/R (*Forward/Reverse*). L'effet réel du passage de 0 (Avant) à 1 (Arrière) de ce bit est que le compteur de phase de la référence passe du mode comptage au mode décomptage. Les forme d'ondes sont toutes continues pendant un changement de direction.

Dans le mode direct l'ordre des phases est rouge-jaune-bleu tandis que dans le mode inverse l'ordre des phases est bleu-jaune-rouge.

Amplitude du fondamental

L'amplitude du fondamental est obtenue par une multiplication de l'onde stockée en ROM et du mot de 8 bits AMP, suivie d'une mise à l'échelle.

La commande de l'amplitude en pourcentage est donnée par : $\text{PowerAmplitude}, A_{\text{POWER}} = \frac{A}{255} \times 100\%$ où

A = valeur décimale de AMP.

ETAT A LA MISE SOUS TENSION

Le contenu des registres d'initialisation et de commande est aléatoire. Il faut maintenir \overline{RST} à zéro ou utiliser l'entrée SET TRIP pour s'assurer que les sortie MLI restent bloquées (c'est à dire à zéro) jusqu'à ce que le circuit soit initialisé.

LES FONCTIONS DES ENTREES/SORTIES

Entrée SET TRIP

L'entrée SET TRIP est fournie en plus de l'interface à microcontrôleur pour permettre à un signal extérieur de supplanter le microcontrôleur et d'obtenir un blocage immédiat des sorties. Par exemple, un signal logique en provenance d'un circuit de surveillance du courant ou le chien de garde du microcontrôleur peuvent être utilisés pour activer cette entrée.

Quand l'entrée SET TRIP est mise à 1 la bascule de sortie TRIP est mise à 1. Il en résulte que la sortie $\overline{\text{TRIP}}$ et les six sorties MLI sont mises à 0 immédiatement. Cet état ne peut être quitté qu'en effectuant un cycle de remise à 0 sur l'entrée $\overline{\text{RST}}$.

Il est essentiel que lorsque l'entrée SET TRIP n'est pas utilisée elle soit reliée au 0V et isolée de toute source potentielle de bruit. Elle ne doit en aucun cas rester « en l'air ».

SET TRIP est échantillonnée et mise en mémoire en interne à la fréquence de l'horloge pour diminuer la sensibilité au bruit.

Sortie $\overline{\text{TRIP}}$

La sortie $\overline{\text{TRIP}}$ indique l'état de la bascule TRIP et est active au niveau 0.

Entrée de reset $\overline{\text{RST}}$

La mise à 0 de l'entrée $\overline{\text{RST}}$ a les conséquences suivantes :

1. Toutes les sorties MLI sont forcées à 0 ce qui bloque les interrupteurs.
2. Tous les compteurs internes sont remis à 0 (ce qui correspond à 0° pour la phase rouge).
3. Le front montant de $\overline{\text{RST}}$ réactive les sorties MLI et met à 1 la sortie $\overline{\text{TRIP}}$ (à condition que l'entrée SET TRIP soit à 0).

Un sixième registre R5 à l'adresse A2:O=101 est utilisé pour placer le circuit dans le mode test usine. Ceci est obtenu en écrivant des données fantômes dans R5 juste après le front montant de $\overline{\text{RST}}$. Il faut s'assurer que le microcontrôleur ne peut écrire dans ce registre.

Impulsions de passage par zéro des phases (sorties ZPPR, ZPPY et ZPPB)

Les sorties de passage par zéro des phases (*Zero Phase Pulse*) fournissent des impulsions à la même fréquence que la référence avec un rapport cyclique de 0,5. Dans le mode direct le front descendant de ZPPR correspond à 0° pour la phase rouge, le front descendant de ZPPY correspond à 0° pour la phase jaune et le front descendant de ZPPB correspond à 0° pour la phase bleue. Dans le mode inverse, le front montant d'une sortie correspond au 0° de la phase correspondante.

Signal de synchronisation de la référence WSS

La sortie WSS (*Waveform Sampling Synchronisation*) fournit un signal carré de rapport cyclique égal à 0,5 à une fréquence 1536 fois plus élevée que celle de la référence. Chaque impulsion de WSS correspond à la lecture par le SA828 d'une nouvelle valeur dans la ROM qui contient la forme d'onde. Ce signal peut être utilisé conjointement avec ZPP pour surveiller la position du rotor de la machine et peut faire partie d'un système en boucle fermé de compensation du glissement.

Horloge (entrée CLK)

L'entrée CLK fournit la référence temporelle utilisée par le SA828 pour toutes les durées relatives aux sorties MLI. L'interface à microcontrôleur, toutefois, adapte ses durées à celles du microcontrôleur. Ainsi, le

microcontrôleur et le SA828 peuvent utiliser indifféremment le même signal d'horloge ou bien deux signaux d'horloges différents.

DEFINITION DE LA FORME D'ONDE

Les données relatives à l'amplitude de la référence utilisées pour construire les sorties MLI sont lues dans une mémoire ROM de 384 octets. Celle-ci, comme il est montré à la figure 8, contient 90° de l'onde. Chaque octet successif représente l'amplitude instantanée de la référence. On suppose que la forme d'onde est symétrique par rapport à 90,180 et 270°. Le SA828 reconstitue par symétrie l'onde complète sur 360° en lisant les premiers 90° dans la ROM.

Ces échantillons sont utilisés pour construire les valeurs instantanées des trois phases, qui sont décalées de 120°, dans l'ordre R-Y-B pour le sens direct et l'ordre B-Y-R dans le sens inverse. Les 384 octets pour 90° donnent une résolution angulaire d'environ 0,23°.

Désignation du produit

Il existe deux options de base en fonction de la forme de la référence. Celles-ci sont désignées comme suit :

SA828-1 :

Sinus + harmonique trois d'amplitude égale au sixième de celle du fondamental :

$$x(t) = A \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{6} \sin(3\omega t) \right]$$

SA828-2 :

Sinus pur : $x(t) = A \sin(\omega t)$

D'autres formes d'onde peuvent être réalisées sur demande à condition qu'elles soient symétriques autour de 90,180 et 270°. Contactez votre agent local MITEL pour plus de détails.