

# Turbocompresseur sur paliers magnétiques



## TURBO COMPRESSEUR 110KW

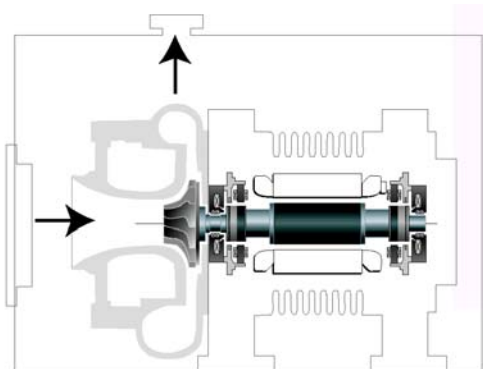


Fig. 1 Le compresseur centrifuge



Fig. 2 La roue

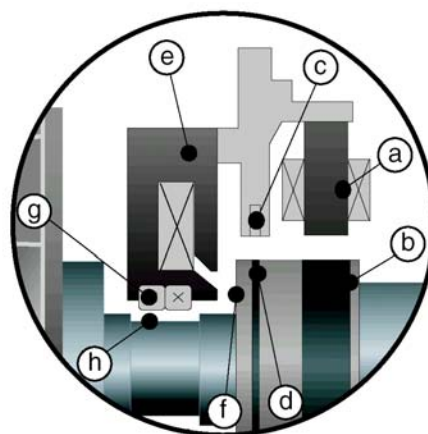


Fig. 3 Détail des paliers

### Fig. 3 LEGENDES

- a) Palier radial : électro-aimant (stator)
- b) Palier radial : tôles freinées sur le rotor
- c) Détecteur combiné radial/axial (stator)
- d) Zone du rotor vue par le détecteur
- e) Palier axial : électro-aimant (stator)
- f) Zone du rotor soumise à l'action du palier axial
- g) Roulements auxiliaires
- h) Zone d'appui des roulements aux. en cas de besoin

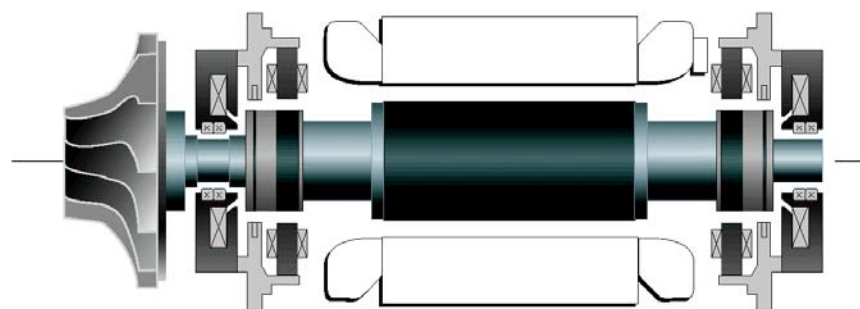


Fig. 3 Rotor + stator (paliers & moteur)

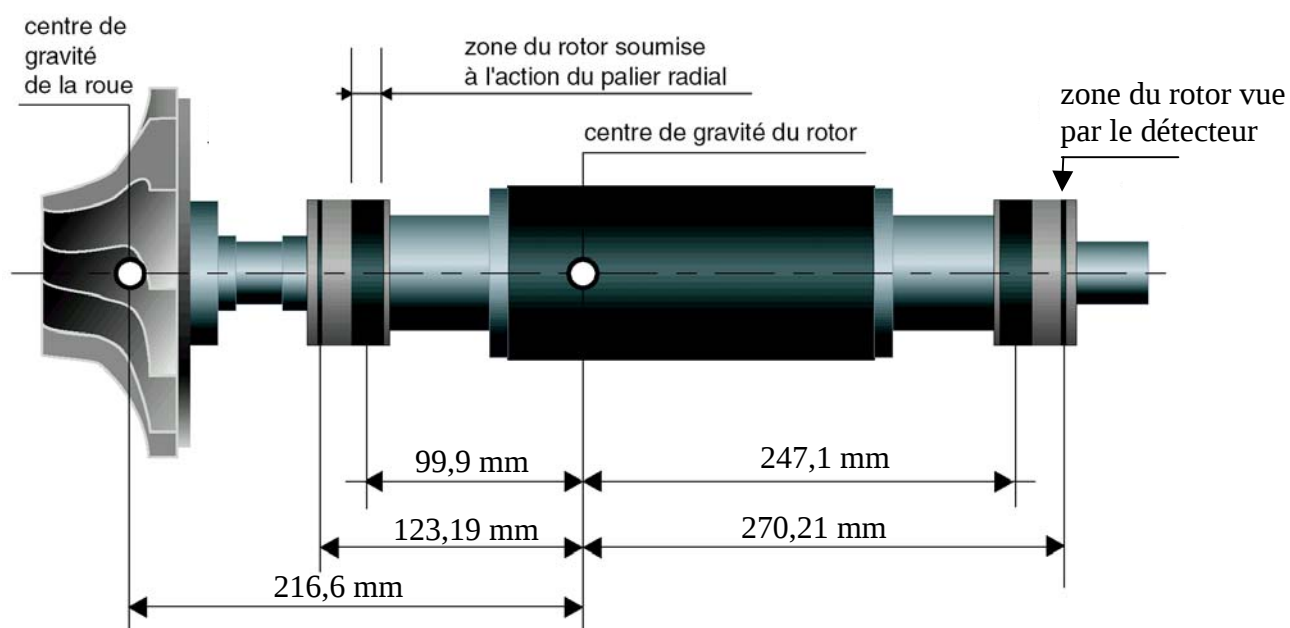


Fig. 4 Cotation du rotor

# Caractéristiques Mécaniques de la suspension



## TURBO COMPRESSEUR 110KW

| Mass & Inertia                                                         | Units            |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|
| Total mass of the shaft <sup>(1)</sup> and the impeller <sup>(1)</sup> | Kg               | 24,64      |
| Transverse inertia                                                     | Kgm <sup>2</sup> | 7,3550E-01 |
| Stiffness <sup>(1)</sup> & acceptance criteria                         |                  |            |
| Stiffness <sup>(1)</sup> (S2M criteria)                                | N/μm             | 1,31       |
| Measured stiffness <sup>(1)</sup> frequencies (Force response @ 90°)   |                  |            |
| Translation                                                            | Hz               | 83         |
| Tilting <sup>(1)</sup>                                                 | Hz               | 83         |
| Axial                                                                  | Hz               | 65         |
| Geometry                                                               |                  |            |
| CdG <sup>(3)</sup> --> Bearing <sup>(1)</sup> VW13                     | mm               | 9,99E+01   |
| 1st Bearing FEM node <sup>(2)</sup>                                    |                  | 22         |
| CdG --> Bearing VW24                                                   | mm               | 2,471E+02  |
| 2nd bearing FEM node <sup>(2)</sup>                                    |                  | 36         |
| CdG Impeller <sup>(1)</sup> --> CdG shaft <sup>(1)</sup>               | mm               | 2,1660E+02 |
| Impeller <sup>(1)</sup> node number <sup>(2)</sup>                     |                  | 5          |
| CdG --> Position sensor VW13                                           | mm               | 1,2319E+02 |
| 1st sensor FEM node <sup>(2)</sup>                                     |                  | 18         |
| CdG --> Position sensor VW24                                           | mm               | 2,7021E+02 |
| 2nd sensor FEM node <sup>(2)</sup>                                     |                  | 40         |
| Radial bearing                                                         |                  |            |
| Bearing stator diameter                                                | mm               | 80,00      |
| Stator lamination length                                               | mm               | 18,00      |
| Airgap                                                                 | mm               | 0,45       |
| static load capacity                                                   | N                | 515,00     |
| Thrust <sup>(1)</sup> bearing                                          |                  |            |
| Thrust <sup>(1)</sup> disk outer diameter                              | mm               | 80,00      |
| Thrust <sup>(1)</sup> stator inner diameter                            | mm               | 56,00      |
| Thrust <sup>(1)</sup> stator outer diameter                            | mm               | 176,00     |
| Airgap                                                                 | mm               | 0,50       |
| static load capacity                                                   | N                | 925,00     |
| Rotor dynamic characteristics                                          |                  |            |
| Maximum rotational speed                                               | rpm              | 28500      |
| First forward mode @Vn                                                 | Hz               | 835        |
| First bending <sup>(1)</sup> mode @0rpm                                | Hz               | 683        |
| First backward bending mode @Vn                                        | Hz               | 580        |

<sup>(1)</sup> Bearing : palier  
 Bending : flexion  
 Impeller : roue, turbine  
 Shaft : arbre  
 Stiffness : raideur  
 Tilting : basculement  
 Thrust : axial

<sup>(3)</sup> CdG : Centre de Gravité

<sup>(2)</sup> numéros du nœud  
 (le modèle nodal étant  
 obtenu à partir du  
 logiciel par éléments  
 finis FEM MADYN)

# Caractéristiques électriques de la suspension



## TURBO COMPRESSEUR 110KW

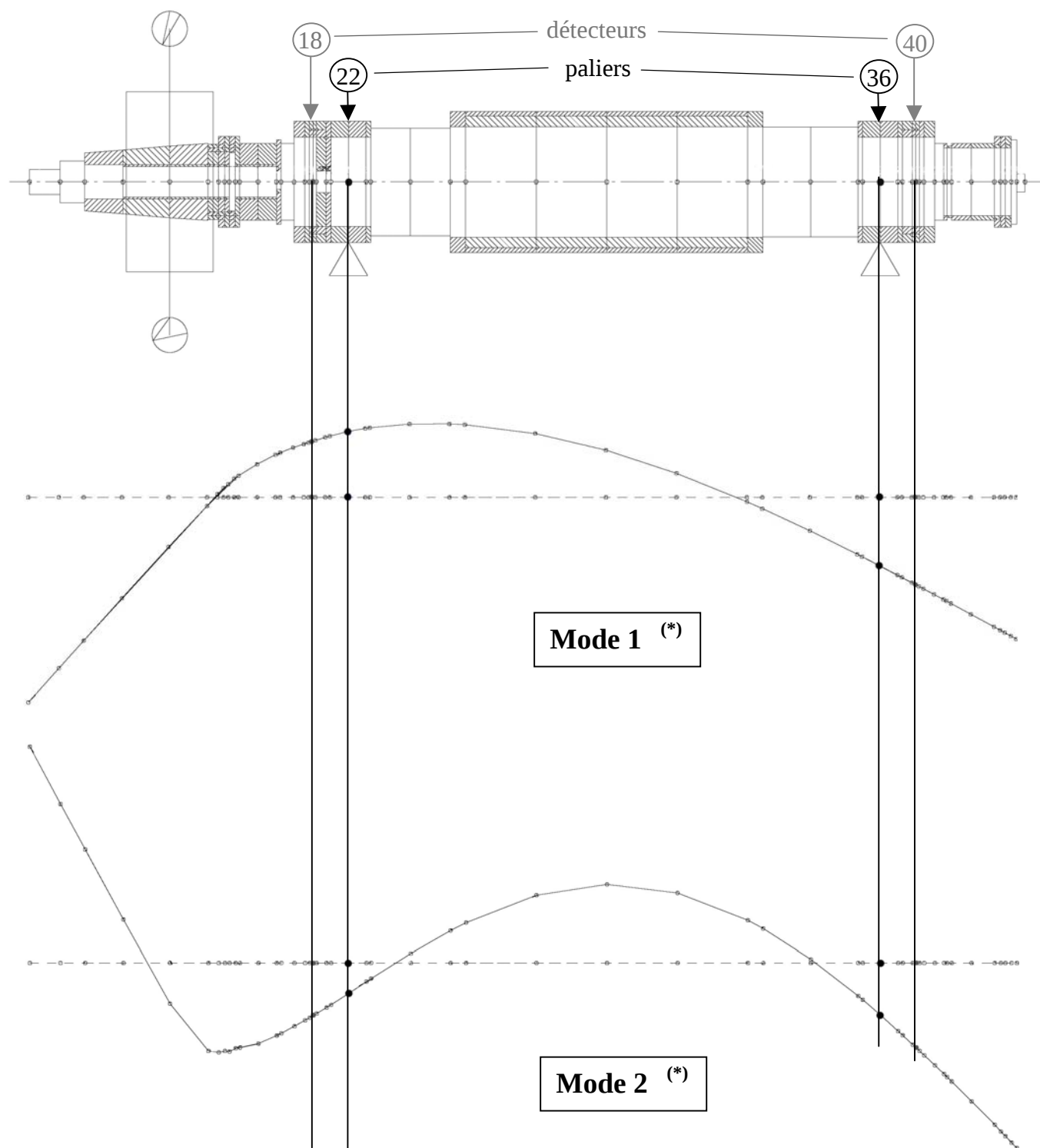
| Radial bearing <sup>(1)</sup>            | Units |        |
|------------------------------------------|-------|--------|
| Bearing inductance at I <sub>max</sub>   | mH    | 43,00  |
| Bearing current rating                   | Amp   | 4,00   |
| Power coil resistance                    | Ohm   | 1,50   |
| Thrust <sup>(1)</sup> bearing            |       |        |
| Bearing inductance at I <sub>max</sub>   | mH    | 347,00 |
| Bearing current rating                   | Amp   | 4,00   |
| Power coil resistance                    | Ohm   | 3,90   |
| Radial Bearing sensor                    |       |        |
| Sensor coil resistance between E+ and E- | Ohm   | 1,30   |
| Sensor coil resistance between E+ and 0  | Ohm   | 0,65   |
| Sensitivity                              | mV/μm | 45,00  |
| Axial Bearing sensor                     |       |        |
| Sensor coil resistance between E+ and E- | Ohm   | 34,00  |
| Sensor coil resistance between E+ and L  | Ohm   | 17,00  |
| Sensitivity                              | mV/μm | 30,00  |
| Amplifiers                               | Units |        |
| Class                                    |       | A      |
| Bandwidth <sup>(1)</sup>                 | Hz    | 1500   |
| K                                        | V/A   | 2,50   |

<sup>(1)</sup> Bearing : palier  
 Bandwidth : Bande passante  
 Thrust : axial

## Modes flexibles



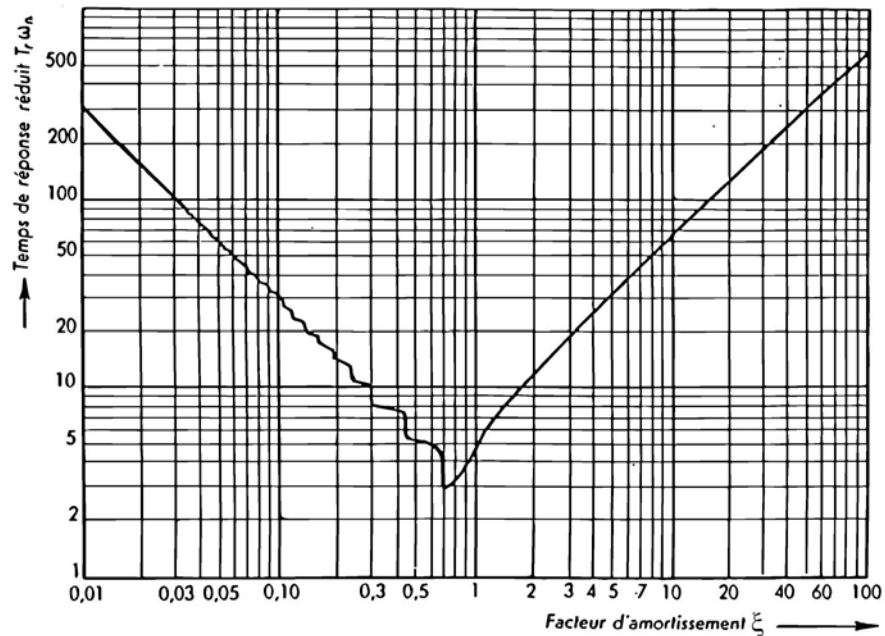
TURBO COMPRESSEUR 110KW



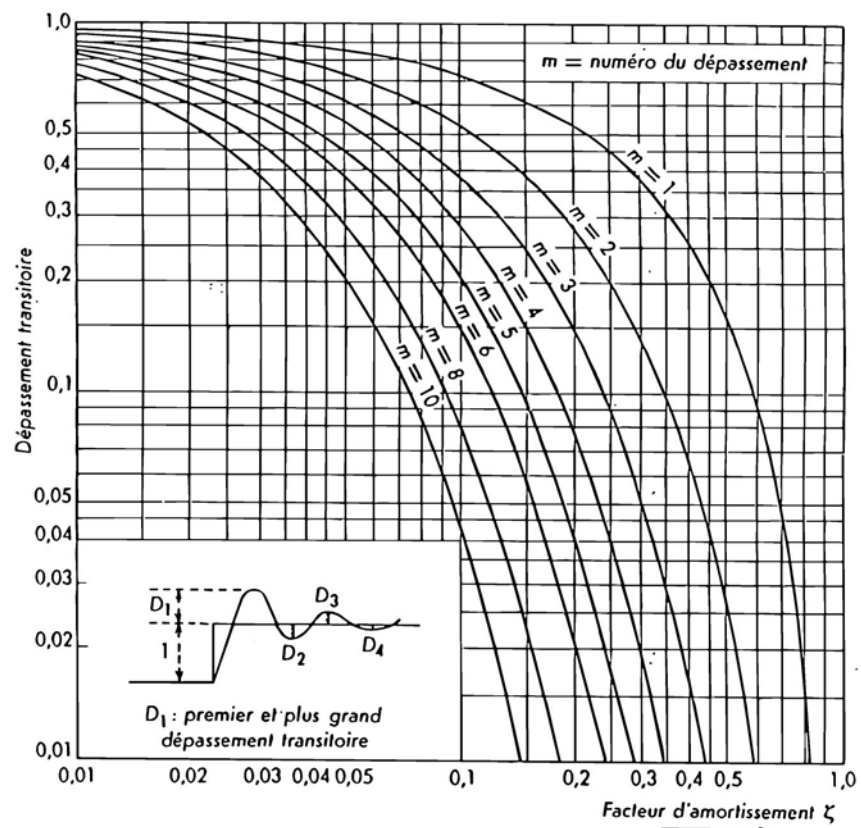
(\*) seule l'échelle des abscisses est conservée.

# Caractéristiques d'un système du second ordre

- Abaque des temps de réponse réduits



- Abaque des dépassements transitoires



# Table des transformées en z

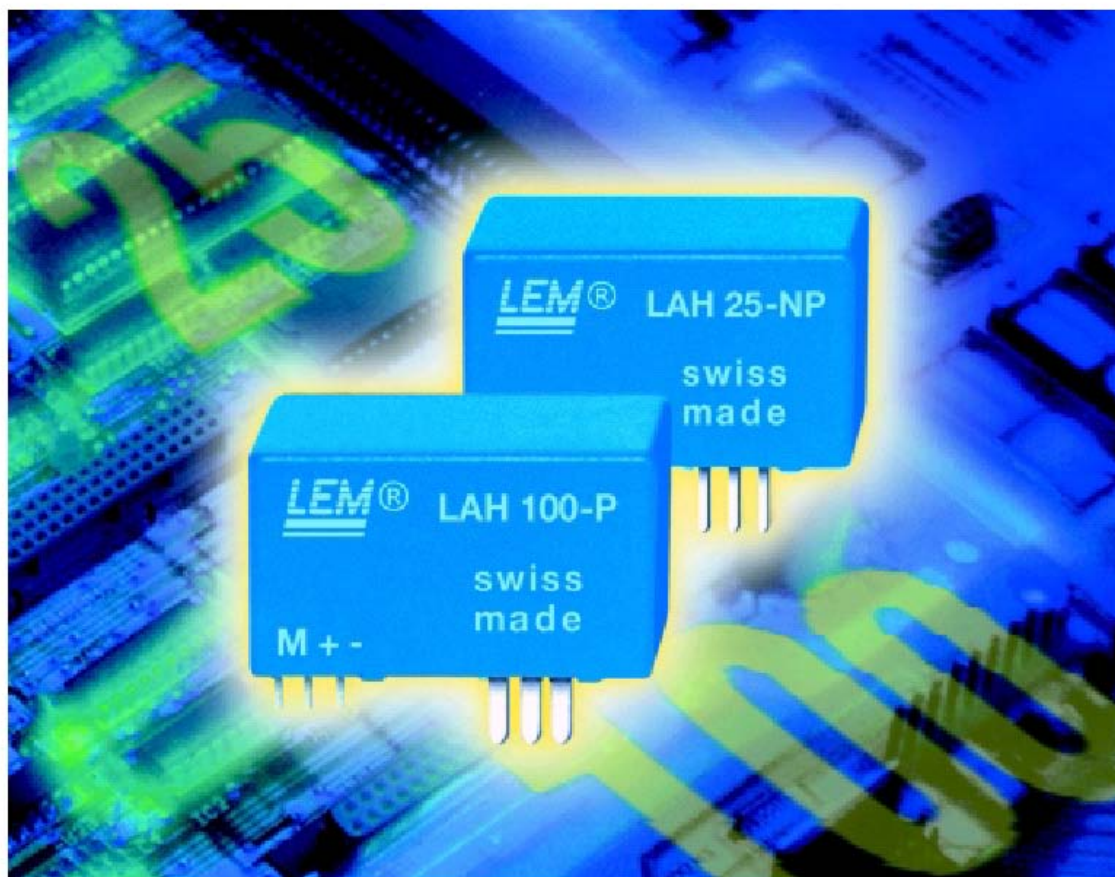
**T** : période d'échantillonnage

| $G(p)$                            | $g(t)$                                                                                    | $G(z)$                                                                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e^{-kTp}$                        | $\delta(t - kT)$                                                                          | $z^{-k}$                                                                                                     |
| $1$                               | $\delta(t)$                                                                               | $1$ ou $z^{-0}$                                                                                              |
| $\frac{1}{p}$                     | $u(t)$                                                                                    | $\frac{z}{z-1}$                                                                                              |
| $\frac{1}{p^2}$                   | $t$                                                                                       | $\frac{Tz}{(z-1)^2}$                                                                                         |
| $\frac{1}{p^3}$                   | $\frac{1}{2!} t^2$                                                                        | $\frac{T^2 z(z+1)}{2(z-1)^3}$                                                                                |
| $\frac{1}{p - \frac{1}{T} \ln a}$ | $a e^{-t/T}$                                                                              | $z/(z-a)$                                                                                                    |
| $\frac{1}{p+a}$                   | $e^{-at}$                                                                                 | $\frac{z}{z-e^{-aT}}$                                                                                        |
| $\frac{1}{(p+a)^2}$               | $t e^{-at}$                                                                               | $\frac{Tz e^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$                                                                           |
| $\frac{1}{(p+a)^3}$               | $\frac{t^2}{2} e^{-at}$                                                                   | $\frac{T^2 e^{-aT} z}{2(z-e^{-aT})^2} + \frac{T^2 e^{-2aT} z}{(z-e^{-aT})^3}$                                |
| $\frac{a}{p(p+a)}$                | $1 - e^{-at}$                                                                             | $\frac{(1-e^{-aT}) z}{(z-1)(z-e^{-aT})}$                                                                     |
| $\frac{a}{p^2(p+a)}$              | $t - \frac{1-e^{-at}}{a}$                                                                 | $\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{(1-e^{-aT}) z}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$                                               |
| $\frac{a}{p^3(p+a)}$              | $\frac{1}{2!} \left( t^2 - \frac{2}{a} t + \frac{2}{a^2} - \frac{2}{a^2} e^{-at} \right)$ | $\frac{T^2 z}{(z-1)^3} + \frac{(aT-2) Tz}{2a(z-1)^2} +$<br>$+ \frac{z}{a^2(z-1)} - \frac{z}{a^2(z-e^{-aT})}$ |

Information  
technique

Capteur de courant à boucle fermée  
à surface de montage réduite  
jusqu'à 100 A nominal

## Composants électroniques



## Capteur de courant à boucle fermée à surface de montage réduite jusqu'à 100 A nominal

Les capteurs de courant LEM sont considérés comme un élément essentiel de liaison entre les parties puissance et commande dans les applications les plus diverses de l'électronique de puissance: variateurs de vitesse, éléments de servo-commande, alimentations sans interruption et alimentations à découpage. Fournissant une mesure précise et isolée du courant, les capteurs contribuent à l'amélioration

du rendement, de la fiabilité et de la sécurité des équipements, mais très souvent, on leur reproche un coût de fonction élevé et leur volume occupé dans des systèmes continuellement soumis à des contraintes de limitation de taille, de poids et de réduction des prix sur le marché. Avec les LAH, LEM répond à ces demandes et propose une série de capteurs se caractérisant par six atouts.

- Grâce à la conception pour montage vertical, il a été possible de réduire le volume et surtout la surface occupée sur le circuit imprimé qui passe désormais bien en-dessous de 5 cm<sup>2</sup>. Afin de faciliter le développement d'une gamme de produits chez le client, tous les LAH utilisent un même boîtier, occupant une surface identique.
- Une gamme de courant complète: le circuit primaire multi-calibre du LAH 25-NP permet à lui seul d'obtenir les trois rapports suivants par simple liaison sur le circuit imprimé:  $I_{PN} = 8\text{ A}$ , 12 A et 25 A. Ceci permet de bénéficier pour chacun des calibres de la précision maximum qui est toujours exprimée en fonction de  $I_{PN}$ . Comme pour le LAH 25-NP, les LAH 50-P et LAH 100-P sont équipés de triple picots au primaire. A la différence des LAH 25-NP, ces derniers sont renforcés en section et interconnectés en interne afin de faciliter le raccordement et d'assurer une liaison électrique optimale entre le circuit primaire et le circuit imprimé.
- Sur la base du principe de fonctionnement en boucle fermée les capteurs LAH offrent des caractéristiques électriques exceptionnelles; bande passante de 0 à 200 kHz, temps de réponse à 90 % inférieur à 500 ns et précision meilleure que 0.25 % <sup>1)</sup> pour les LAH 50/100-P et 0.3 % <sup>1)</sup> pour le LAH 25-NP.
- Malgré des dimensions extrêmement réduites, les capteurs LAH respectent les espaces imposés entre les circuits primaires et secondaires et sont ainsi conforme à la norme EN 50178.

- En raison de la grande uniformité des différentes versions, de leur polyvalence et d'une production en grande série LEM est en mesure d'offrir le LAH à un rapport prix/performance très avantageux.
- La mesure de courant différentiel ainsi que la mesure de 3 phases avec 2 capteurs sont possible grâce à une version spéciale du capteur LAH 25-NP et LAH 50-P avec trou de passage servant à la mise en place du second circuit primaire.

### Evolution des conditions pour la mesure de courant

Ces dernières années, l'évolution des exigences sur la mesure de courant montre des tendances fortement marquées par les normes, l'évolution des composants d'électronique de puissance, le souci permanent d'améliorer la rentabilité économique des équipements proposés et la compacité de la mesure. Ainsi, l'isolement galvanique n'est plus seulement vu comme une réponse à une contrainte technologique, mais aussi comme élément de sécurité.

Dans les composants, les nouveaux interrupteurs de puissance utilisés dans la variation électronique de vitesse (V.E.V.) offrent une réduction des temps de commutation et une augmentation des tensions et courants de fonctionnement. Concernant la rentabilité économique, le coût d'exploitation dépend fortement de la courbe de rendement des équipements. Lorsque ces derniers utilisent la mesure de courant dans leurs asservissements, l'amélioration passe aussi par les capteurs.

Ces dernières innovations et celles à venir imposent et imposeront à la mesure de courant; le respect des aspects normatifs, des caractéristiques dynamiques élevées (réponses et tenues en saut de courant ( $di/dt$ ) et tension ( $dv/dt$ ) de grande amplitude), un progrès constant de la précision et des réductions de tailles.

### Préférence pour un système de mesure

Ces conditions et tendances donnent des orientations sur les méthodes de mesure à employer. L'idéal est de cumuler à la fois expérience et innovation. L'expérience doit englober aussi bien l'aspect théorique que technologique. L'innovation devant être comprise sous les deux axes de l'amélioration permanente et de l'avancée technologique. Cette approche permet de répondre aux exigences du moment, mais aussi de s'assurer du niveau d'évolution nécessaire pour répondre aux défis de demain. Le capteur à effet Hall présente une réponse extrêmement équilibrée à ces besoins. Le principe est éprouvé et les innovations technologiques accompagnées du savoir-faire des ingénieurs permettent d'offrir des capteurs aux performances régulièrement améliorées à un rapport performance/prix toujours plus avantageux. Grâce au système de mesure qu'offre le capteur, les performances en régime dynamique sont optimisées une fois pour toute. Comparé à une mesure de courant effectué par éléments discrets, ceci décharge l'ingénieur de développement des lourdes tâches de compatibilité EMC et de l'étude du schéma d'implémentation lui garantissant les performances dynamiques souhaitées. Comme le capteur est un élément précis ne générant pas ou peu de perte par insertion, il participe activement à l'amélioration des rendements des équipements.

<sup>1)</sup> sans offset électrique ni magnétique

## Principe de fonctionnement en boucle fermée

Le principe éprouvé de fonctionnement en boucle fermée, selon lequel LEM a construit le premier capteur de courant il y a plus de 25 ans, a servi de base pour la conception de la série LAH. Dès lors, ce principe a été utilisé avec succès pour la mesure isolée de courants et de tensions.

Tout conducteur traversé par un courant  $I_p$  (fig. 1) provoque un champ magnétique qui est amplifié dans un circuit magnétique. Ce champ peut être mesuré dans l'entrefer en utilisant un élément de Hall. Ce dernier a la propriété de convertir le flux magnétique en une tension, lorsqu'il est alimenté par un courant constant  $I_c$ . Quand on applique le principe de compensation, la tension de Hall est uniquement utilisée pour équilibrer les flux primaire et secondaire. L'enroulement secondaire supplémentaire, ayant par exemple 2000 spires, est parcouru par un courant  $I_s$  correspondant à  $1/2000$  du courant primaire, afin de compenser, avec précision, le champ du conducteur primaire. Le flux total sera donc nul.

L'asservissement fonctionne en courant continu et en courant alternatif, jusqu'à la fréquence limite de l'électronique. Au-delà, le capteur de courant fonctionne comme un transformateur normal avec des enroulements primaire et secondaire. Ceci permet de mesurer des courants jusqu'à plusieurs centaines de kHz, avec une isolation galvanique.

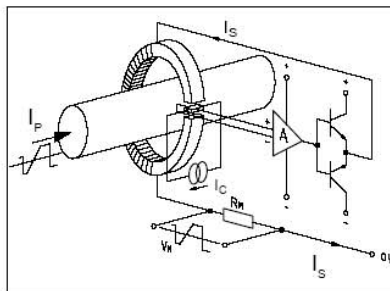


Figure 1. Principe de fonctionnement d'un capteur en boucle fermée.

## La série LAH

Les capteurs de courant de la série LAH de LEM ont été développés avec le souci d'offrir une solution aux contraintes d'encombrement, de prix, de performance et de poids. Leur domaine d'application est extrêmement varié; variateurs de vitesse, éléments de servocommande, alimentation sans interruption et alimentation à découpage.

Le tableau 1 donne un aperçu des caractéristiques principales des capteurs de la série LAH.

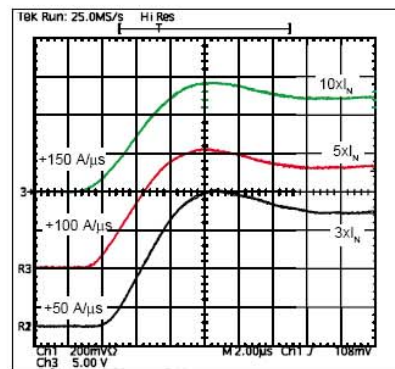


Figure 2. LAH 50-P:  $di/dt$  en cas de surcharge

Tableau 1: Les caractéristiques techniques sont données pour une tension d'alimentation de  $\pm 15$  V à ( $\pm 5$  %)

| Caractéristiques techniques              | LAH 25-NP                 | LAH 50-P     | LAH 100-P      |
|------------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------|
| Courant primaire nom. efficace $I_{PN}$  | 8/12/25 A                 | 50 A         | 100 A          |
| Plage de mesure à 85 °C<br>à 70 °C       | 18/27/55 A<br>-           | 110 A<br>-   | 140 A<br>160 A |
| Précision                                | 0,3 %                     | 0,25 %       | 0,25 %         |
| Tension d'alimentation ( $\pm 5$ %)      | $\pm 12$ V ... $\pm 15$ V |              |                |
| Dérive en tempér. -25 °C...+85 °C (typ.) | $\pm 0,1$ mA              | $\pm 0,1$ mA | $\pm 0,1$ mA   |
| Temps de réponse                         | < 500 ns                  |              |                |
| Bande passante (-1dB)                    | 0...200 kHz               |              |                |
| Tension d'essai, 50/60 Hz, 1 min         | 5 kV                      |              |                |
| Norme                                    | EN50178                   |              |                |
| Surface sur le circuit imprimé           | 460 mm <sup>2</sup>       |              |                |

## Reproduction fidèle de la forme d'onde à la sortie du capteur

La protection des commutateurs de puissance rapides, tels que les IGBTs, nécessite une détection très rapide des surintensités. Pour une pente de courant de 100 A/ $\mu$ s on ne peut pratiquement (Fig. 2) constater aucun décalage par rapport au courant primaire.

## Comportement en dv/dt

Tout composant électrique offrant une isolation galvanique entre les circuits primaire et secondaire, manifeste un couplage capacitif entre les potentiels

isolés. A fréquence de commutation élevée, ces derniers provoquent des influences EMI (EMI = Electro Magnetic Interference) intempestives. Du côté secondaire, c'est-à-dire à la sortie du composant, apparaît un signal parasite. Les figures 3 et 4 illustrent le comportement lors d'un saut de tension de 1 et 6 kV/ $\mu$ s pour une tension appliquée de 1000 V. Notons la très courte durée, inférieure à 200 ns, de la perturbation qui peut être facilement filtrée. Ceci est très important pour une utilisation avec les régulateurs numériques à modulation de largeur d'impulsion (MLI). Dans ce cas, il convient d'utiliser un petit filtre, afin de ne pas limiter la dynamique.

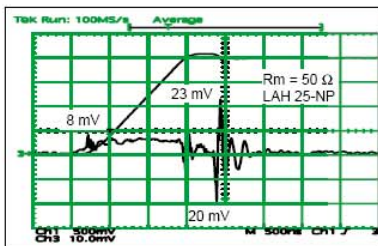


Figure 3. Comportement lors d'un saut de tension de 1 kV/μs, 1000 V

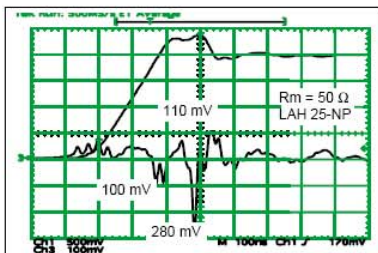


Figure 4. Comportement lors d'un saut de tension de 6 kV/μs, 1000 V

### Large bande passante

Les excellentes caractéristiques de couplage entre le primaire et l'enroulement de compensation se reflètent également dans la bande passante. Elle atteint ainsi un niveau rarement obtenu avec des capteurs à effet Hall traditionnels.

### Une surface de montage réduite

Avec la série LAH, que ce soit pour la mesure de courant de 8 A ou de 100 A,

le capteur n'utilise que 460 mm<sup>2</sup> sur le circuit imprimé et sa hauteur est limitée à 21 mm. Malgré sa compacité, le triple circuit primaire est complètement protégé et la distance atteinte entre les connexions primaires et secondaires est de 12 mm.

### Circuits primaires

L'originalité de conception d'un circuit primaire transversal en U scindé en trois parties offre des avantages techniques permettant de réduire les temps de développement et le nombre de capteurs en stock. Avec le LAH 25-NP, vous avez trois capteurs en un; un 8 A nominal, un 12 A nominal et un 25 A nominal. Il est important de noter que dans les trois variantes de connexions, le LAH 25-NP offre des performances de très haut niveau et totalement identiques. En raison de l'amplitude des courants mesurés et du montage sur circuit imprimé, les LAH 50-P et LAH 100-P sont équipés d'un triple circuit primaire renforcé en section et interconnectés électriquement.

### Variantes de connexions du LAH 25-NP

Dans la variante 1, les trois primaires connectés en parallèle forment une spire. Le rapport de transformation est donc de 1:1000. Ceci permet de mesurer des courants jusqu'à 55 A crête avec un courant nominal de 25 A.

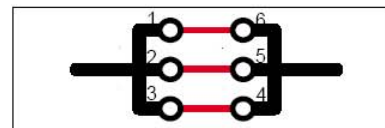


Figure 6. Rapport 1:1000

Dans la **variante 2**, deux primaires connectés en parallèle sont mis en série avec le dernier primaire formant ainsi deux spires. Le rapport de transformation est donc de 2:1000. Ceci permet de mesurer des courants jusqu'à 27 A crête avec un courant nominal de 12 A.

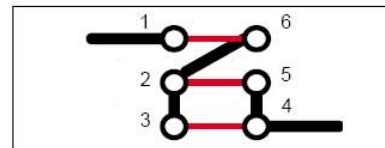


Figure 7. Rapport 2:1000

Dans la **variante 3**, les primaires mis en série forment trois spires. Le rapport de transformation est donc de 3:1000. Ceci permet de mesurer des courants jusqu'à 18 A crête avec un courant nominal de 8 A.

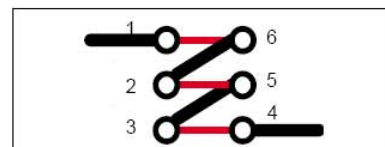


Figure 8. Rapport 3:1000

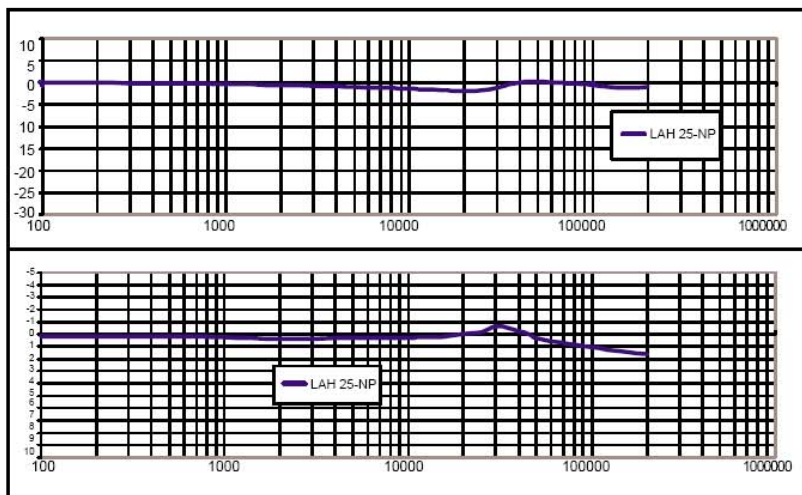


Figure 5. Réponse en fréquence

## Applications et mise en oeuvre

### Mesure différentielle

Les LAH 25-NP et LAH 50-P sont disponibles en exécution spéciale avec un trou de passage de 3,2 mm  $\varnothing$  permettant la mesure de courant différentielle. Dans cette configuration, les champs magnétiques induits par les courants traversant le circuit primaire et le trou de passage s'additionnent. Selon les besoins et en changeant le sens d'un des courants, on obtient soit la différence, soit la somme des courants.

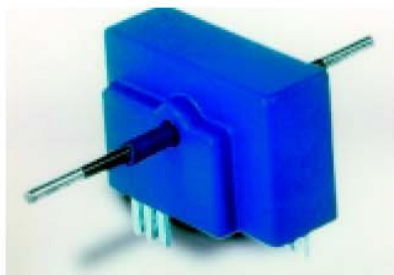


Figure 9. Mesure différentielle

### Mesure de trois phases avec deux capteurs

Une application particulièrement intéressante pour la sommation de courant est la mesure de deux phases par capteur comme dans la figure 10.

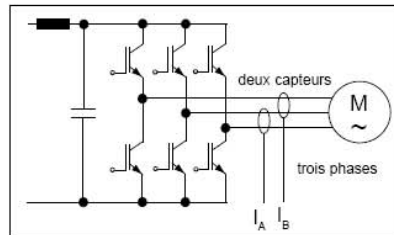


Figure 10. Deux capteurs, trois phases

Hormis le cas d'un défaut à la terre, la somme des courants dans les trois phases d'un moteur est toujours égale à zéro. Ainsi, il est possible de reconstituer facilement les trois courants de phase  $I_U$ ,  $I_V$ ,  $I_W$  à partir des mesures effectuées par les deux capteurs ( $I_A = I_U + I_V$  et  $I_B = I_V + I_W$ , figure 11).

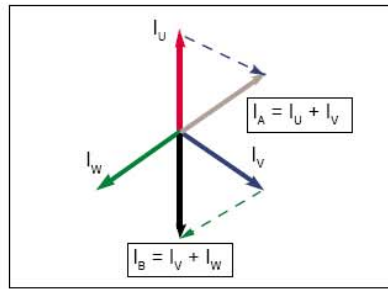


Figure 11. Mode symétrique

Il est important de noter que cette configuration permet la détection instantanée (par franchissement d'un seuil unique sur  $I_A$  et  $I_B$ ) de tous les types de court-circuit franc, même ceux à la terre et ceci, sans avoir besoin de reconstituer les trois phases.

Exemple pour un défaut biphasé V-W (Figure 12): Un seuil sur  $I_A$  détecte le court-circuit.

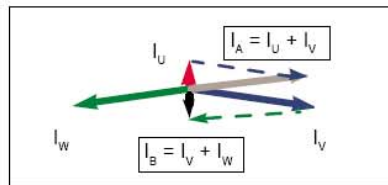


Figure 12. Court-circuit entre deux phases

Exemple pour un défaut monophasé V-N (Figure 13): Les deux seuils sur  $I_A$  et  $I_B$  détectent le court-circuit.

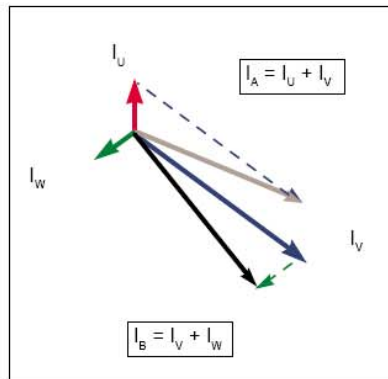


Figure 13. Perte à la terre dans la phase V

La détection des défauts à la terre de faible courant peut être effectuée soit avec un capteur sur la liaison continue du convertisseur, soit avec trois capteurs dans les phases.

### Détermination de la résistance de mesure

La tension de mesure développée aux bornes de la résistance de mesure dépend de l'amplitude du courant primaire  $I_P$ , du rapport de transformation du capteur  $K_N$  et de la résistance de mesure  $R_M$ . Le courant nominal  $I_{PN}$  détermine le type de capteur et son rapport de transformation  $K_N$ . La tension de mesure à un courant crête primaire donné  $I_P$  sera donc réalisée par le choix de la résistance  $R_M$ .

$$R_M = \frac{V_M}{I_P \cdot K_N}$$

Avec:

$V_M$  = Tension de mesure

$K_N$  = en fonction du capteur et de sa connexion (voir tableau 2)

$I_P$  = courant crête primaire max. à mesurer

Les capteurs LAH ont été développés avec le souci d'apporter une grande flexibilité dans le choix de la résistance

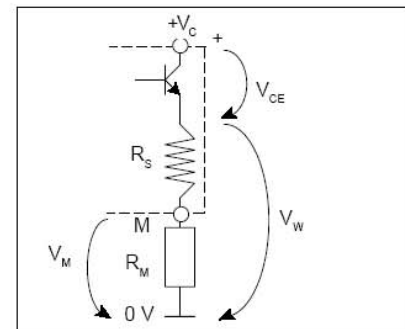


Figure 14. Tension  $V_{CE}$ ,  $V_W$ ,  $V_M$

de mesure afin de permettre à l'utilisateur de régler au mieux la tension de mesure. Bien sûr, il existe des limites inférieures et supérieures pour le choix des résistances. Ces limites se traduisent pour l'utilisateur par une plage de mesure en tension dans laquelle il pourra régler, à l'aide de la résistance, la tension désirée.

La limite supérieure dépend de la tension minimale d'alimentation du capteur (plus exactement de la tension minimale à disposition pour la bobine et la résistance  $V_W$ ), de la résistance du bobinage (et de sa température) et du courant crête que l'on souhaite mesurer.

$$R_{M(max)} = \frac{V_W}{I_P \cdot K_N} - R_S @ T_A$$

Avec:

$V_W = 11,75 \text{ V}$  ( $V_{C(min)} - 2,5 \text{ V} = 15 \cdot 0,95 - 2,5^*$ ) ou avec une alimentation en  $12 \text{ V} \pm 5 \%$ :  $V_W = 12 \cdot 0,95 - 2,5 = 8,9 \text{ V}$ .  
 $R_S @ T_A$  = résistance de la bobine à la température  $T_A$  (voir tableau 2)  
 $^*2,5 \text{ V}$  (tension  $V_{CE}$  minimum)

La limite inférieure dépend des paramètres dont certains sont intrinsèques au capteur et d'autres à l'application. Il est important de retenir que le courant nominal de l'application du client est le paramètre ayant le plus d'influence sur la valeur de  $R_{M(min)}$  et en conséquence sur la limite inférieure de la plage de tension de mesure.

$$R_{M(min)} = \frac{V_{C(max)}}{I_{PNA} \cdot K_N} - \frac{P_{tr(max)} @ T_A}{[I_{PNA} \cdot K_N]^2} - R_S @ T_A$$

Avec:

$V_{C(max)} = 15,75 \text{ V}$  à  $15 \text{ V} \pm 5 \%$  et  $12,6 \text{ V}$  à  $12 \text{ V} \pm 5 \%$   
 $I_{PNA}$  = courant nominal de l'application du client  
 $P_{tr(max)} @ T_A$  = puissance max. des transistors à la température  $T_A$  (voir tableau 2)

Tableau 2.  $R_S$ ,  $P_{tr(max)}$  et  $I_P$  en fonction de la température ambiante

|                 | $K_N$  | $R_S$<br>@70 °C<br>Ω | $R_S$<br>@85 °C<br>Ω | $P_{tr(max)}$<br>@70 °C<br>W | $P_{tr(max)}$<br>@85 °C<br>W | $I_P(max)$<br>10 s<br>A |
|-----------------|--------|----------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| LAH 25-NP (1Np) | 1:1000 | 99                   | 104                  | 0,29                         | 0,285                        | 55                      |
| LAH 25-NP (2Np) | 2:1000 | 99                   | 104                  | 0,29                         | 0,285                        | 28                      |
| LAH 25-NP (3Np) | 3:1000 | 99                   | 104                  | 0,29                         | 0,285                        | 18                      |
| LAH 50-P        | 1:2000 | 135                  | 142                  | 0,4                          | 0,305                        | 110                     |
| LAH 100-P       | 1:2000 | 115                  | 121                  | 0,45                         | 0,37                         | 140                     |
|                 |        |                      |                      |                              |                              | 160@70°C                |

Tabl. 3. Pour les diff. plages de mesure de courant, la  $R_M$  min nécessaire doit être indiquée p. une températ.ambiante de 70°C ou 85°C et une tension d'aliment.de 15V.

| Type      | $I_{PN}$<br>A | $R_{M(min)}$<br>$T_A=70^\circ\text{C}$<br>Ω | $R_{M(min)}$<br>$T_A=85^\circ\text{C}$<br>Ω |
|-----------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| LAH 25 NP | <21           | 0                                           | 0                                           |
|           | <22           | 18                                          | 23                                          |
|           | <23           | 38                                          | 42                                          |
|           | <24           | 54                                          | 57                                          |
|           | <25           | 67                                          | 70                                          |
| LAH 50 P  | <50           | 0                                           | 0                                           |
| LAH 100 P | <60           | 0                                           | 0                                           |
|           | <70           | 0                                           | 27                                          |
|           | <80           | 0                                           | 42                                          |
|           | <90           | 13                                          | 45                                          |
|           | <100          | 20                                          | 45                                          |

#### Evaluation rapide de $R_{M(min)}$

La résistance de mesure minimum,  $R_{M(min)}$  en fonction du courant nominal et de la température ambiante, peut aussi être évaluée rapidement à l'aide du tableau 3 (pour  $V_{CC} = \pm 15 \text{ V} \pm 5 \%$ ):

**Exemple de calcul de la résistance de mesure  $R_M$  d'un LAH 25-NP utilisé dans un variateur de vitesse.**

Données de l'application:

- Un variateur de vitesse de 11 kW a un courant nominal de  $22 \text{ A}_{RMS}$ .
- Il est demandé que le capteur soit capable de supporter 1,1 fois le courant nominal en permanence, soit  $24,2 \text{ A}_{RMS}$ .
- Les surcharges à 1,7 fois le courant nominal pendant 3 secondes doivent être mesurable. A la valeur crête de ce courant, la tension de mesure doit être de 4 V.
- La température ambiante peut atteindre 70 °C. Le capteur est alimenté en 15 V ( $\pm 5 \%$ ).

#### Calculs:

1) Pour un courant nominal de  $24,2 \text{ A}_{RMS}$ , on choisit un LAH 25-NP avec une spire au primaire. Ceci implique  $K_N = 1/1000$  (voir tableau 2).

2) Pour ce capteur, à 70 °C:  
 $R_S = 99 \text{ } \Omega$ , et  $P_{tr(max)} = 0,29 \text{ W}$  (voir tableau 2)

3) Courant crête à mesurer pendant 3 secondes  
 $22 \cdot 1,7 \cdot \sqrt{2} = 52,89 \text{ } \hat{A}$

L'amplitude et la durée sont bien inférieures aux données de la feuille technique (55 A pendant 10 s). Selon l'application, ces valeurs peuvent être dépassées (contacter LEM).

4) Calcul de  $R_{M(max)}$

$$R_{M(max)} = \frac{11,75}{52,89 \cdot \frac{1}{1000}} - 99 = 123,16 \text{ } \Omega$$

d'où

$$V_{M(max)} = 123,16 \cdot 52,89 \cdot \frac{1}{1000} = 6,51 \text{ V}$$

5) Calcul de  $R_{M(min)}$

$$R_{M(min)} = \frac{15,75}{\frac{24,2 \cdot 1}{1000}} - \frac{0,29}{\left[\frac{24,2 \cdot 1}{1000}\right]^2} - 99 = 56,6 \text{ } \Omega$$

d'où

$$V_{M(min)} = 56,6 \cdot 52,89 \cdot \frac{1}{1000} = 2,996 \text{ V}$$

6) Calcul de  $R_M$  pour 4 V ( $V_M$ ) de tension de mesure à 52,89  $\hat{A}$ .

$$R_M = \frac{4}{52,89 \cdot \frac{1}{1000}} = 75,6 \text{ } \Omega$$

7) Vérification de  $R_{M(min)} < R_M < R_{M(max)}$   
 $56,6 \text{ } \Omega < 75,6 \text{ } \Omega < 123,16 \text{ } \Omega$

8) Avec une résistance de 75  $\Omega$  de la série E24, on obtient une tension de sortie de 3,97 V à 52,89 A.

$$V_M = 75 \cdot 52,89 \cdot \frac{1}{1000} = 3,97 \text{ V}$$

### Rappels et conseils

Il est possible que la tension de mesure désirée soit en dehors de la plage de tension de mesure calculée (ceci aurait pu être le cas ci-dessus). Si la tension de mesure désirée est plus petite que la limite basse de la plage de tension calculée, on peut..

- soit réaliser  $R_M$  à l'aide de deux résistances formant un diviseur de tension,
- soit réduire légèrement la tension d'alimentation du capteur (diminution des pertes thermiques sur l'amplificateur) afin de pouvoir descendre la valeur de  $R_{M(\min)}$  et par conséquent la valeur de la tension de mesure minimale,
- soit essayer avec un autre calibre de la famille LAH. Dans l'exemple ci-dessus, avec un LAH 50-P à la place du LAH 25-NP, la limite basse de la plage de tension de mesure descend de 3,18 V à 0 V.

Si la tension de mesure désirée est plus grande que la limite haute de la plage de tension calculée, on doit:

- essayer avec un autre calibre de la famille LAH. Dans l'exemple ci-dessus, avec un LAH 50-P à la place du LAH 25-NP, la limite haute de la plage de tension de mesure monte de 6,25 V à 8 V.
- et bien sûr vérifier que l'on n'a ni sous estimé la valeur minimale de la tension d'alimentation du capteur pour le calcul de  $R_{M(\max)}$ , ni surestimé la température ambiante pour la valeur de  $R_S$  (résistance de la bobine)

### Normes

Lors du développement de la série LAH, les directives de la norme EN 50178 ont été suivies. Tous les capteurs offrent une isolation fiable jusqu'à une tension de dimensionnement de 600 V dans les réseaux symétriques. Cette valeur s'applique au matériel alimentés par le réseau, degré de pollution 2 et catégorie de surtension III.

Tous les matériaux sont listés UL (UL = Underwriter's Laboratories). Le marquage CE documente la conformité avec la Directive CEM européenne 89/336/CEE et la Directive Basse Tension 72/23/CEE.

Un outil - basé sur Java-Script - pour le calcul de  $R_M$  est disponible sur le site Internet <http://www.lem.com>. Comparer l'exemple précédent et la figure ci-dessous (Figure 15).

**Calculation Of The Measuring Resistor ( $R_M$ )**

At Permanent DC or RMS Primary Current And Peak Current Value (measuring range)

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Type: LAH 25-NP                                                                                                                                                                                                                                                              | Temp: 40 deg C                                                                      | Ver: 15V ±5% |
| Measuring Range (peak value) $I_{peak} = 52.89 \text{ A}$                                                                                                                                                                                                                    |  |              |
| Nominal current = 25 A (optional)                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                     |              |
| $R_M$ cal according $V_{out}$ @ $I_{peak} = 4 \text{ V}$ (optional)                                                                                                                                                                                                          |                                                                                     |              |
| $V_{out}$ @ $I_{peak}$ according to $R_M = 75 \Omega$ (optional)                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |              |
| Start/Calculate                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |              |
| $R_M$ cal = 75.63 Ohm with $V_{out}$ @ 52.89 A - 4V<br>$R_M$ min = 56.64 Ohm → $V_{out}$ @ 52.89 A - 2.996 V<br>$V_{out}$ @ $I_{peak} = 3.97 \text{ V}$ with $I_{peak} = 52.89 \text{ A}$ & $R_M = 75 \text{ Ohm}$<br>$R_M$ max = 123.13 Ohm → $V_{out}$ @ 52.89 A - 6.517 V |                                                                                     |              |

Figure 15. Calcul de  $R_M$  sur le site Internet

## CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | UNITES   | LAH 25-NP  |     | LAH 50-P                    |     | LAH 100-P |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|-----|-----------------------------|-----|-----------|-----|
| $I_{PN}$ : Courant primaire efficace nominal                                                                                                                                                                                                                                                      | At       | 25         |     | 50                          |     | 100       |     |
| $I_p$ : Courant primaire, plage de mesure (10s) max                                                                                                                                                                                                                                               | $\pm$ At | 0 à 55     |     | 0 à 110                     |     | 0 à 160   |     |
| $R_m$ : Résistance de mesure avec $\pm 15V$ ( $\pm 5\%$ )<br>1) $T_A = 70^\circ C$ à $I_{PN}$ [ $\pm At_{DC}$ ]<br>à $I_{PN}$ [ $At_{RMS}$ ] (Note 1)<br>2) $T_A = 85^\circ C$ à $I_{PN}$ [ $\pm At_{DC}$ ]<br>à $I_{PN}$ [ $At_{RMS}$ ] (Note 1)                                                 | $\Omega$ | Min        | Max | Min                         | Max | Min       | Max |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\Omega$ | 67         | 371 | 0                           | 335 | 20        | 120 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\Omega$ | 67         | 236 | 0                           | 195 | 20        | 51  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\Omega$ | 70         | 366 | 0                           | 327 | 45        | 114 |
| $I_{SN}$ : Courant secondaire efficace nominal<br>$K_N$ : Rapport de transformation<br>$V_C$ : Tension d'alimentation ( $\pm 5\%$ )<br>$I_C$ : Courant de consommation<br>$V_d$ : Tension efficace d'essai diélectrique<br>50/60 Hz 1 min<br>$V_b$ : Tension efficace de dimensionnement (Note 2) | mA       | 25         |     |                             |     | 50        |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          | 1-2-3/1000 |     | 1/2000                      |     |           |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | mA       |            |     | $\pm 12...15$<br>$10 + I_s$ |     |           |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | kV       |            |     | 5                           |     |           |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | V        |            |     | 600                         |     |           |     |

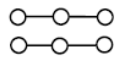
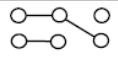
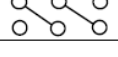
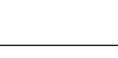
## PRECISION - PERFORMANCES DYNAMIQUES

|                                                                                                                                                                                                 |            |            |            |            |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| X: Précision à $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ C$ (voir note 3) max                                                                                                                                  | % $I_{PN}$ | 0,3        |            | 0,25       |            |
| $\epsilon_L$ : Linéarité                                                                                                                                                                        | % $I_{PN}$ | <0,2       |            | <0,15      |            |
| $I_O$ : Courant de décalage à $T_A = 25^\circ C$                                                                                                                                                | mA         | $\pm 0,15$ |            | $\pm 0,15$ |            |
| $I_{OM}$ : Courant résiduel à $I_p$ zéro, après une surcharge de $5xI_{PN}$<br>$I_{OT}$ : Dérive en température de $I_O$<br>0...+70°C<br>-25°C...+85°C                                          | mA         | Typ        | Max        | Typ        | Max        |
|                                                                                                                                                                                                 |            | $\pm 0,20$ | $\pm 0,25$ | $\pm 0,10$ | $\pm 0,15$ |
|                                                                                                                                                                                                 | mA         | $\pm 0,10$ | $\pm 0,60$ | $\pm 0,10$ | $\pm 0,30$ |
| $t_{ra}$ : Temps de réaction à 10% de $I_p$ max<br>$t_r$ : Temps de resp. à 90% de $I_p$ max (avec un di/dt de 100A/ $\mu s$ )<br>di/dt: di/dt suivi avec précision<br>f: Bande passante (-1dB) | mA         | $\pm 0,10$ | $\pm 0,70$ | $\pm 0,10$ | $\pm 0,40$ |
|                                                                                                                                                                                                 | ns         |            |            | <200       |            |
|                                                                                                                                                                                                 | ns         |            |            | <500       |            |
|                                                                                                                                                                                                 | A/ $\mu s$ |            |            | >200       |            |
|                                                                                                                                                                                                 | kHz        |            |            | DC-200     |            |

## CARACTERISTIQUES GENERALES

|                                                   |    | $T_A$<br>70°C | $T_A$<br>85°C | $T_A$<br>70°C | $T_A$<br>85°C | $T_A$<br>70°C | $T_A$<br>85°C |
|---------------------------------------------------|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| R <sub>S</sub> : Résistance bobine secondaire     | Ω  | 99            | 104           | 135           | 142           | 115           | 121           |
| m: Poids                                          | g  | 20            |               | 22            |               | 24            |               |
| T <sub>A</sub> : Température ambiante de service  | °C | -25...+85     |               |               |               |               |               |
| T <sub>S</sub> : Température ambiante de stockage | °C | -40...+90     |               |               |               |               |               |

## CARACTERISTIQUES DU CIRCUIT PRIMAIRE

|           | Nombre de<br>tours<br>primaires | Courant<br>primaire<br>efficace<br>nominal<br>$I_{PN}$ [A] | Rapport de<br>transformation<br><br>$K_N$ | Courant de<br>sortie à $I_{PN}$<br><br>$I_s$ [mA] | Résistance primaire<br>max à $I_{PN}$ et $T_A$ 85°C<br><br>$R_p$ [m $\Omega$ ] | Inductance<br>d'insertion<br>primaire<br><br>$L_p$ [ $\mu H$ ] | Connexion<br>recommandée                                                              |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| LAH 25-NP | 1                               | 25                                                         | 1/1000                                    | 25                                                | 0,18                                                                           | 0,012                                                          |  |
|           | 2                               | 12                                                         | 2/1000                                    | 24                                                | 0,81                                                                           | 0,054                                                          |  |
|           | 3                               | 8                                                          | 3/1000                                    | 24                                                | 1,62                                                                           | 0,11                                                           |  |
| LAH 50-P  | 1                               | 50                                                         | 1/2000                                    | 25                                                | 0,12                                                                           | 0,008                                                          |  |
| LAH 100-P | 1                               | 100                                                        | 1/2000                                    | 50                                                | 0,08                                                                           | 0,007                                                          |                                                                                       |

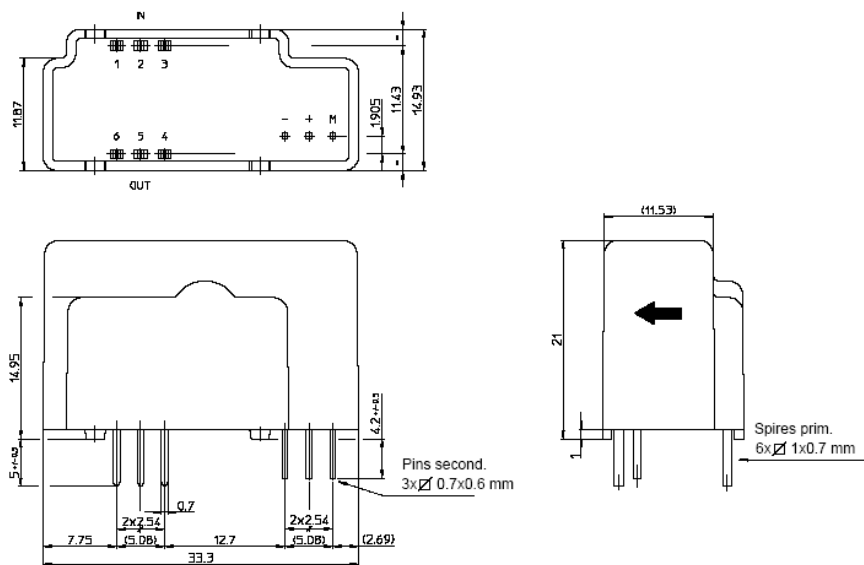
Note 1: Onde sinusoïdale

Note 2: Classe de pollution 2, cat. III

Note 3: Sans  $I_O$  et  $I_{HC}$

LEM se réserve le droit d'apporter certaines modifications sur ses capteurs, dans le sens d'une amélioration, ceci sans avis spécial.

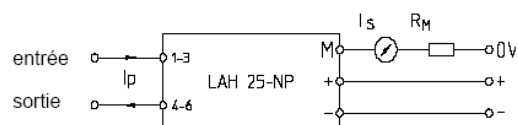
## Dimensions LAH 25-NP (en mm. 1 mm = 0.0394 inch)



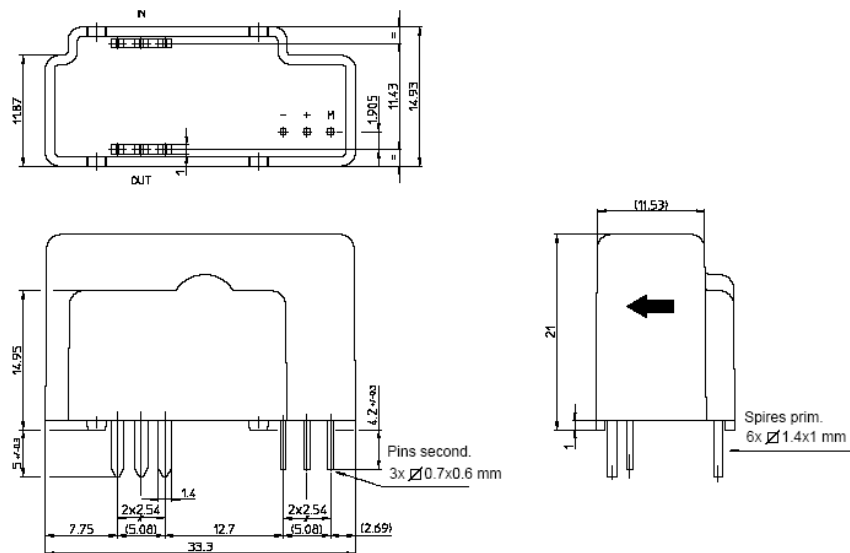
### Branchement

Borne M : mesure  
 Borne + : alimentation + 15 V  
 Borne - : alimentation - 15 V

### Raccordement



## Dimensions LAH 50-P, LAH 100-P (en mm. 1 mm = 0.0394 inch)



### Branchement

Borne M : mesure  
 Borne + : alimentation + 15 V  
 Borne - : alimentation - 15 V

### Raccordement

