

## Het meten van vermogens aan assen

**Citation for published version (APA):**

Verduin, M. (1974). Het meten van vermogens aan assen. *Polytechnisch tijdschrift : elektrotechniek, elektronica*, 29(16), 525-527.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1974

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# het meten van vermogens aan assen

In het onderstaande artikel wordt ingegaan op een meetprobleem dat ontstaat bij het meten van vermogens aan assen. Theoretisch wordt afgeleid welke fouten, bij een vaak gevolgde meetmethode, op kunnen treden.

ING. M. VERDUIN

## inleiding

In de praktijk wordt het door een roterende machine geleverde vermogen vaak bepaald aan de hand van onderstaande methode.

Tussen de uitgaande as van de roterende machine en de as van het als belasting optredende werktuig, wordt een koppelmeter aangebracht. Tevens wordt de hoeksnelheid van de as gemeten. Het geleverde vermogen wordt bepaald door de gemiddelde hoeksnelheid te vermenigvuldigen met het gemiddeld moment.

Wanneer zowel het moment als de hoeksnelheid fluctuaties vertonen, kan de beschreven methode in bepaalde gevallen vrij ernstige afwijkingen opleveren, zoals hieronder zal worden afgeleid.

## berekening vermogen

Bij een wisselende belasting van een roterende machine zal in het algemeen ook de hoeksnelheid in hetzelfde ritme veranderen. De grootte van deze veranderingen is uiteraard afhankelijk van de praktische uitvoering van de machine (grootte traagheidsmoment).

Op grond van dit uitgangspunt kunnen we moment en hoeksnelheid respectievelijk voorstellen door de volgende vergelijkingen:

$$M(t) = M_0 + M_1 \cos(pt + \theta_1) + M_2 \cos(2pt + \theta_2) + \dots + M_n \cos(npt + \theta_n) =$$

$$= M_0 + \sum_{k=1}^n M_k \cos(kpt + \theta_k). \tag{1}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_1 \cos(pt + \varphi_1) + \omega_2 \cos(2pt + \varphi_2) + \dots + \omega_n \cos(npt + \varphi_n) =$$

$$= \omega_0 + \sum_{k=1}^n \omega_k \cos(kpt + \varphi_k). \tag{2}$$

Het gemiddelde vermogen kan dan als volgt worden bepaald:

$$P_{\text{gem}} = \frac{1}{T} \int_0^T \omega(t) M(t) dt =$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \omega_0 + \sum_{k=1}^n \omega_k \cos(kpt + \varphi_k) \right\} \left\{ M_0 + \sum_{k=1}^n M_k \cos(kpt + \theta_k) \right\} dt$$

Deze integraal kan worden omgewerkt tot de som van de volgende vier integralen:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \omega_0 M_0 dt = \omega_0 M_0 \tag{3}$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \omega_0 \sum_{k=1}^n M_k \cos(kpt + \theta_k) \right\} dt \tag{4}$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ M_0 \sum_{k=1}^n \omega_k \cos(kpt + \varphi_k) \right\} dt \tag{5}$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \sum_{k=1}^n \omega_k \cos(kpt + \varphi_k) \right\} \left\{ \sum_{k=1}^n M_k \cos(kpt + \theta_k) \right\} dt \tag{6}$$

Achtereenvolgens onderwerpen we deze integralen aan een nader onderzoek.

De integraal volgens formule 3 levert als resultaat het produkt van de gemiddelde hoeksnelheid en het gemiddeld moment.

De integraal volgens formule 4 kan als volgt worden uitgewerkt:

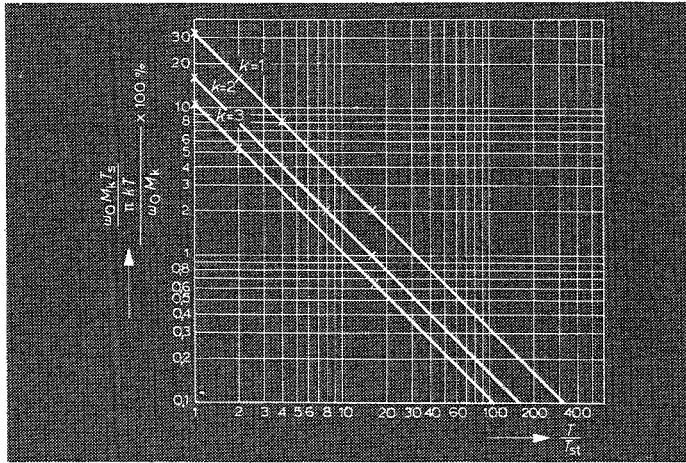
$$\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \omega_0 \sum_{k=1}^n M_k \cos(kpt + \theta_k) \right\} dt =$$

$$= \sum_{k=1}^n \frac{\omega_0 M_k}{kpT} \sin(kpt + \theta_k) \Big|_0^T =$$

$$= \sum_{k=1}^n \frac{2\omega_0 M_k}{kpT} \cos\left(\frac{1}{2}kpT + \theta_k\right) \sin\frac{1}{2}kpT.$$

De factor  $\cos\left(\frac{1}{2}kpT + \theta_k\right) \sin\frac{1}{2}kpT$  is, in absolute waarde, altijd  $\leq 1$ .

Afhankelijk van de fasehoek  $\theta_k$  kan de maximale waarde van de factor variëren tussen  $-1$  en  $+1$ , terwijl voor het geval



1. Verloop van de factor  $\left(\frac{\omega_0 M_k T_s}{\pi k T} / \omega_0 M_k\right) \times 100\%$  als functie van  $T/T_s$ , voor  $k = 1, 2, 3$

de meettijd een veelvoud is van  $\frac{2\pi}{\rho}$ , de factor in elk geval gelijk wordt aan nul.

Uit het voorgaande blijkt dat bovengenoemde factor een bijdrage levert die sterk afhankelijk is van de meettijd. Alleen meten over een geheel aantal perioden zou de termen van de som gelijk maken aan nul. Deze manier van meten is in de praktijk nauwelijks uitvoerbaar.

Het uiteindelijk gedrag van de termen wordt echter ook bepaald door de factor

$$\frac{2\omega_0 M_k}{kpT}$$

Als we de periodetijd van de eerste harmonische  $T_s$  noemen, dan geldt  $\rho = \frac{2\pi}{T_s}$ , hetgeen, ingevuld in bovenstaande uitdrukking oplevert

$$\frac{\omega_0 M_k}{\pi k} \cdot \frac{T_s}{T} = \frac{0,3185 \omega_0 M_k}{k} \cdot \frac{T_s}{T}$$

In figuur 1 is het verband tussen  $\frac{T}{T_s}$  en het percentage van  $\omega_0 M_k$ , dat maximaal overblijft, voor enkele waarden van  $k$ , weergegeven.

Uit figuur 1 kunnen we afleiden dat, om een redelijk van de meettijd onafhankelijk resultaat te verkrijgen, de meettijd  $T$  zeker enkele tientallen malen groter moet worden genomen dan de periodetijd van de eerste harmonische.

De integraal volgens formule 5 kan op volledig analoge manier worden uitgewerkt. Uiteraard gelden hier dan ook dezelfde conclusies als bij de vorige integraal.

De integrand van de integraal volgens formule 6 bevat termen van twee verschillende gedaanten:

$$\omega_i \cos(ipT + \varphi_i) \cdot M_j \cos(jpT + \theta_j) \quad (6a)$$

met  $i \neq j$

$$\omega_k \cos(kpT + \varphi_k) \cdot M_k \cos(kpT + \theta_k) \quad (6b)$$

Voor een willekeurige term volgens formule 6a geldt

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_0^T \omega_i M_j \cos(ipT + \varphi_i) \cos(jpT + \theta_j) dt = \\ & = \frac{\omega_i M_j}{2T} \int_0^T [\cos\{(i+j)pT + \varphi_i + \theta_j\} + \cos\{(i-j)pT + \varphi_i - \theta_j\}] dt = \\ & = \frac{\omega_i M_j}{2(i+j)pT} [\sin\{(i+j)pT + \varphi_i + \theta_j\} - \sin(\varphi_i + \theta_j)] + \\ & + \frac{\omega_i M_j}{2(i-j)pT} [\sin\{(i-j)pT + \varphi_i - \theta_j\} - \sin(\varphi_i - \theta_j)] = \\ & = \frac{\omega_i M_j}{(i+j)pT} \cos\left\{\frac{(i+j)}{2}pT + \varphi_i + \theta_j\right\} \sin\left\{\frac{(i+j)}{2}pT\right\} + \\ & + \frac{\omega_i M_j}{(i-j)pT} \cos\left\{\frac{(i-j)}{2}pT + \varphi_i - \theta_j\right\} \sin\left\{\frac{(i-j)}{2}pT\right\}. \end{aligned}$$

Voor de twee termen van bovenstaande vorm geldt weer dezelfde beschouwing als voor het resultaat van de integraal volgens formule 4. Onder dezelfde voorwaarde kan ook dit deel worden verwaarloosd.

Rest ons nog het onderzoek van een willekeurige term volgens 6b.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_0^T \omega_k M_k \cos(kpT + \varphi_k) \cos(kpT + \theta_k) dt = \\ & = \frac{\omega_k M_k}{2T} \int_0^T \{\cos(2kpT + \varphi_k + \theta_k) + \cos(\varphi_k + \theta_k)\} dt = \\ & = \frac{\omega_k M_k}{2kpT} \cos(kpT + \varphi_k + \theta_k) \sin kpT + \\ & + \frac{\omega_k M_k}{2} \cos(\varphi_k - \theta_k). \end{aligned}$$

Op deze eerste term is weer de beschouwing, zoals gegeven bij de integraal volgens formule 4 van toepassing. Van de termen onder b blijft dan over

$$\sum_{k=1}^n \frac{\omega_k M_k}{2} \cos(\varphi_k - \theta_k).$$

Het totale gemiddelde vermogen, over een voldoende lange meettijd, bedraagt:

$$P_{gem} = \omega_0 M_0 + \sum_{k=1}^n \frac{\omega_k M_k}{2} \cos(\varphi_k - \theta_k) \quad (7)$$

Uit formule 7 blijkt dat het grootste verschil, tussen het werkelijk gemiddelde vermogen en het product  $\omega_0 M_0$ , ontstaat indien  $\cos(\varphi_k - \theta_k) = \pm 1$ , dat wil zeggen  $\varphi_k - \theta_k = k\pi$ , met  $k = 0, 1, 2, \dots, m$ .

Als bijvoorbeeld hoeksnelheid en moment een eerste harmonische bevatten, met amplitudes van respectievelijk 20% van  $\omega_0$  en 50% van  $M_0$ , terwijl de signalen 180° in fase verschoven zijn, vinden we:

$$P_{\text{gem}} = \omega_0 M_0 + \frac{0,2 \omega_0 0,5 M_0}{2} \cdot (-1) = 0,95 \omega_0 M_0.$$

### conclusie

Uit het bovenstaande blijkt duidelijk dat het bepalen van het gemiddelde vermogen uit het produkt van gemiddelde hoeksnelheid en gemiddeld moment tot vrij aanzienlijke fouten

kan leiden.

Vooral bij grotere variaties in hoeksnelheid en moment kunnen zich, zoals reeds in de inleiding werd vermeld, vrij ernstige afwijkingen voordoen.

Op grond van bovenstaande berekeningen hebben wij enkele meetmethoden ontwikkeld, die tot aanzienlijk betere resultaten leiden. In een volgend artikel zullen deze methoden worden beschreven.

## dunne laagpatronen met afgeschuinde kanten

Bij de fabricage van dunne-laagdevices en andere geïntegreerde schakelingen is het meestal nodig om patronen van kuiltes en sleuven door etsen aan te brengen. Wanneer men hierbij de gangbare technieken gebruikt, ontstaan patronen met zulke scherpe kanten dat een later eroverheen aangebracht geleiderspatroon vaak onderbrekingen vertoont. Dergelijke onderbrekingen maken het device onbruikbaar.

In het Philips Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven is nu een methode uitgevonden waarmee etspatronen kunnen worden aangebracht die glooiende zij-kanten hebben. De hellingshoek kan daarbij binnen wijde grenzen op reproduceerbare wijze naar wens worden ingesteld. Door toepassing van de nieuwe werkwijze kan bij de productie van bepaalde devices de opbrengst sterk worden vergroot.

Bij gangbare methoden om etspatronen in dunne lagen aan te brengen is het onvermijdelijk dat er een zekere mate van onderetsing optreedt (zie figuur 1a). De daarbij ontstane zijwanden vormen een nagenoeg rechte hoek met het oppervlak. Volgens de nieuwe methode van Th. C. J. M. Bertens en G. J. Koel, medewerkers van het genoemde laboratorium, wordt eerst een hulplaaag op het te bewerken oppervlak aangebracht. Deze hulplaaag heeft de eigenschap dat het in de te gebruiken etsvloei-stof sneller wegetst dan

het te bewerken materiaal zelf. Hierdoor ontstaat er bij het etsen een gelijkmatig glooiende helling (zie figuur 1b).

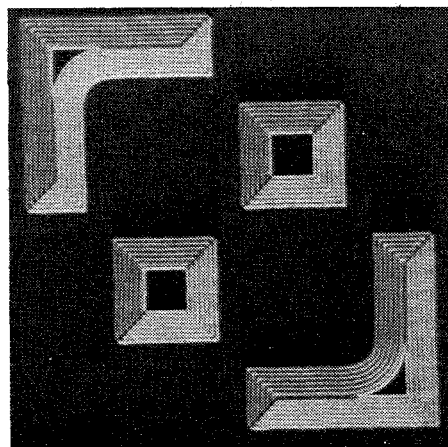
De methode is nader uitgewerkt voor dunne lagen van goud (tot circa  $5 \mu\text{m}$  dikte) van Permalloy (tot circa  $3 \mu\text{m}$  dikte) en van siliciumoxyde (tot circa  $10 \mu\text{m}$ ).

De hellingshoek  $\alpha$  kon daarbij tussen circa  $1^\circ$  en circa  $60^\circ$  naar believen worden ingesteld door de samenstelling van de etsvloei-stof of van de hulplaaag te variëren.

Figuur 2 toont een microfoto van een aldus behandelde siliciumoxydelaaag op silicium ( $\alpha = 10^\circ$ ).

De nieuwe techniek is tot nu toe met succes toegepast voor het vervaardigen van dunne-laagmagneetkoppen. De methode is voorts van belang bij het maken van geïntegreerde circuits.

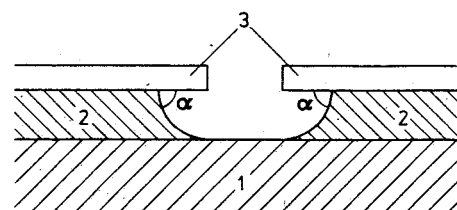
2. Microscopisch beeld van een siliciumoxydelaaag op silicium (hellingshoek  $10^\circ$ ). De zwarte interferentielijnen ontstaan door interne reflectie van licht met een golflengte van  $0,4 \mu\text{m}$  in het glooiende deel van de siliciumoxydelaaag



### 1a. Conventionele etsmethode

1. substraat
2. te etsen laag
3. fotolaklaag met opening
4. snel etsbare tussenlaag

$\alpha$  = hellingshoek aan de bovenrand van het gat



### b. nieuwe etsmethode

