

Appareil de mesure des vibrations
et appareil de tir séquentiel
mis au point par l'INIEX
pour les carrières

Apparaten voor het meten van trillingen
en voor het schieten in sequentie,
die door het NIEB werden ontwikkeld
voor de groeven

J. BOXHO et A. GIUST *

RESUME

Le rapport décrit deux appareils mis au point par l'INIEX pour les carrières : un vibromètre (le VM 100) et un appareil de tir en séquence (DR 49).

Le VM 100 a été conçu pour répondre au mieux aux besoins de l'exploitant :

— *Il permet de lire directement le maximum de la composante verticale de la vitesse de vibration, qui est le meilleur critère de dégâts aux constructions et d'inconfort chez les habitants et ce, entre 8 et 150 Hz (couvrant la gamme des fréquences de tirs) et entre 0 et 99 mm / s.*

Dans le cas le plus fréquent du fonctionnement sur batterie (incorporée, rechargeable), la lecture peut rester affichée durant 5 heures.

— *L'appareil est simple d'utilisation et bon marché (de l'ordre de 50.000 FB).*

Le DR 49 permet de miner chaque fourneau ou volée avec un retard très précis par rapport au fourneau précédent, le même pour chaque fourneau,

SAMENVATTING

In dit verslag worden twee apparaten beschreven die door het NIEB ontwikkeld werden : een trillingsmeter (de VM 100) en een apparaat voor het schieten in sequentie (DR 49).

De VM 100 werd ontworpen om zo goed mogelijk te voldoen aan de behoeften van de uitbater :

— *Dit apparaat biedt de mogelijkheid om onmiddellijk het maximum van de verticale component af te lezen van de trillingssnelheid die het beste criterium is voor schade aan gebouwen en hinder voor de bewoners wanneer de snelheid overeenkomt met een frequentie tussen 8 en 150 Hz (die het schietfrequentiegebied omvat) en tussen 0 en 99 mm / s.*

Bij de werking op batterijen (ingebouwd, herlaadbaar), die het meest voorkomt, kan de aflezing gedurende 5 uur aangeduid blijven.

— *Het apparaat is gemakkelijk te hanteren en goedkoop (ongeveer 50.000 BF).*

De DR 49 maakt het mogelijk elk schietgat of salvo met een zeer nauwkeurige vertraging in verhouding tot het vorige schietgat af te vuren ; de vertraging

* Respectivement Ingénieur Civil des Mines et Ingénieur Technicien principal à l'Iniex, rue du Chéra 200, B-4000 Liège.

* Respectievelijk Burgerlijk Mijningenieur en Eerstaanwendend technisch ingenieur bij het NIEB, rue du Chéra 200, B-4000 Luik.

et qui peut être choisi entre 1 et 49 ms. *Le but cherché est d'améliorer les vibrations et la fragmentation des produits, le retard optimum étant à définir in situ par des essais.*

L'appareil fonctionne sur batterie.

Chaque fourneau doit être équipé d'un détonateur instantané à relier à un boîtier. Ceux-ci sont raccordés en série au poste de tir par un câble à 2 conducteurs seulement. Chaque boîtier contient : une capacité stockant la charge nécessaire au détonateur, un décompteur d'impulsions programmé qui au passage à zéro déclenche un thyristor libérant la charge vers le détonateur.

On a prévu divers contrôles : de la ligne (isolement, continuité), de la batterie, du retard. Les boîtiers sont testés 1.000 fois avant la mise en service.

Le prototype construit pour essais a donné pleine satisfaction au cours des premières utilisations en carrière.

moet voor elk schietgat gelijk zijn en kan tussen 1 en 49 ms gekozen worden. Het nagestreefde doel bestaat erin de trillingen en de verbrokkeling van de produkten te verbeteren ; de optimale vertraging moet door proefnemingen in situ bepaald worden.

Het toestel werkt op een batterij.

Elk schietgat dient met een momentontsteker uitgerust te worden, die met een kast moet verbonden worden. Deze kasten worden in serie door een kabel met slechts 2 geleiders op de schietpost aangesloten. Elke kast bevat : een capaciteit, die de lading die nodig is voor de ontsteker opslaat, een geprogrammeerde impulsafsteller die, wanneer hij op nul komt, een thyristor inschakelt die dan de lading naar de ontsteker vrijmaakt.

Er worden verscheidene controles voorzien : van de lijn (isolatie, continuïteit), van de batterij, van de vertraging. De kasten worden 1.000 keer getest vooraleer ze in gebruik genomen worden.

Het prototype, dat voor de proefnemingen vervaardigd werd, heeft bij de eerste toepassingen in groeven volledige voldoening geschonken.

ZUSAMMENFASSUNG

In dem Bericht werden zwei Apparate beschrieben, die von dem INIEX für die Steinbrüche entwickelt wurden : ein Vibrometer (das VM 100) und ein Apparat zum sequentiellen Schießen (DR 49).

Bei dem VM 100 wurden die Anforderungen des Anwenders optimal erfüllt :

— *Das VM 100 gestattet die direkte Ablesung des Maximums der vertikalen Komponente der Schwinggeschwindigkeit, das das beste Kriterium für Schäden an Gebäuden und Unbehaglichkeit bei den Bewohnern ist, und zwar zwischen 8 und 150 Hz (wobei der Schießfrequenzbereich überdeckt wird), und zwischen 0 und 99 mm/sec.*

In dem häufigeren Falle des Batteriebetriebs (Batterie eingebaut, wiederaufladbar) kann der Wert während 5 Stunden angezeigt werden.

— *Der Apparat ist leicht zu bedienen und preiswert (ungefähr 50.000 BF).*

Das DR 49 gestattet, jeden Sprengbohrloch oder Salve mit einer sehr genauen Verzögerung bezüglich des vorhergehenden Sprengbohrlochs (Salve) zu verminen, die für jeden Sprengbohrloch gleich ist und zwischen 1 und 49 msec gewählt werden kann. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Erschütterungen und die Fragmentation der Produkte zu verbessern, wobei die optimale Verzögerung in situ durch Versuche ermittelt werden muß.

SUMMARY

This article describes two devices developed by INIEX for use in quarries : a vibrometer (the VM 100) and a sequential blasting machine (DR 49).

The VM 100 was designed to meet the following operational requirements :

— *It enables the operator to read off directly the maximum value of the vertical component of the velocity of vibration; this value is the best index of the damage to buildings and the discomfort to persons caused by vibrations with a frequency between 8 and 150 cycles/sec (this covers the range of shotfiring operations) and velocities ranging from 0 to 99 mm/sec. Usually the apparatus is battery-powered and in this case the reading can be « locked » for as long as five hours.*

— *The apparatus is easy to use and inexpensive (about 50 000 BF).*

The DR 49 makes it possible to fire each blast hole or round at a very precise delay interval from the previous one; a delay value between 1 and 49 ms can be selected. The aim is to improve the vibration and product-fragmentation conditions; the optimum delay is selected on site by trials. The device is battery-powered.

Der Apparat is batteriegespeist.

Jeden Sprengbohrloch muß mit einem Momentzündler ausgerüstet werden, der mit einem Gehäuse zu verbinden ist. Diese Gehäuse werden mit einem nur 2-adrigen Kabel in Serie an den Schießstand angeschlossen. Jedes Gehäuse enthält: einen Kondensator, der die für den Zünder erforderliche Energie speichert, einen programmierten Countdown-Zähler, der beim Nullübergang einen Thyristor sehaltet, welcher wiederum die Ladung für den Zünder freigibt.

Es wurden verschiedene Kontrollen vorgesehen: der Leitung (Isolierung, Durchgang), der Batterie, der Verzögerung. Die Gehäuse wurden vor der Inbetriebnahme geprüft (1000-mal).

Der zu Versuchszwecken gebaute Prototyp hat während der ersten Einsätze im Steinbruch die Erwartungen voll erfüllt.

Each blast-hole requires an instantaneous detonator connected to a control box. Each box contains: a capacitor which stores the current required for the detonator; a programmed pulse-counter which, on reaching zero, trips a thyristor which releases the current to the detonator. All the boxes are connected to the shotfirer's position by a single two-core cable.

Various checks are possible: line checks (insulation, circuit integrity); battery checks; delay checks. The boxes are tested 1000 times before going into service.

The prototype has operated completely satisfactorily in its first quarry trials.

1. VIBROMETRE INIEX VM 100

On connaît sur le marché de nombreux appareils capables de mesurer l'amplitude, la vitesse ou l'accélération d'une vibration, dans la gamme des fréquences rencontrées en carrière. Il n'est nullement question d'en faire ici une revue critique, mais bien d'exposer les raisons qui nous ont incités à construire un appareil:

1°) Nous voulions un appareil qui serait à la fois simple à utiliser et peu coûteux.

2°) L'appareil devrait renseigner directement, c'est-à-dire sans lecture ni calcul intermédiaire, la valeur du paramètre des vibrations au point de vue dégâts aux constructions, c'est-à-dire le maximum au cours du tir de la vitesse de vibration.

En effet, toutes les recherches et tous les projets de norme ont reconnu ce paramètre comme étant le plus caractéristique pour les fréquences supérieures à 10 Hz, ce qui est toujours le cas en carrière.

3°) Nous avons choisi de mesurer la composante verticale de cette vitesse, pour 3 raisons:

- elle est la plus élevée des 3 composantes aux distances usuelles des habitations par rapport aux tirs;
- cette composante a été retenue comme critère, notamment dans le projet de norme ISO;
- l'appareil serait moins coûteux à construire puisqu'il ne comporterait qu'un capteur et surtout parce que l'on pourrait se passer d'un calculateur (extracteur de racines carrées).

1. NIEB-TRILLINGSMETER VM 100

In de handel zijn er talrijke toestellen gekend die de amplitude, de snelheid of de versnelling van een trilling in het frequentiegebied dat in groeven voorkomt, kunnen meten. Het is hier helemaal niet de bedoeling, daarover een kritisch onderzoek uit te voeren, maar wel de redenen uiteen te zetten die ons tot het ontwerpen van een apparaat aangespoord hebben:

1) We wilden een toestel hebben dat tegelijkertijd eenvoudig te hanteren is en niet te duur zou zijn.

2) Het toestel zou onmiddellijk, dus zonder tussentijdse aflezing of berekening, de waarde van de parameter van de trillingen betreffende de beschadiging aan gebouwen moeten aanduiden, namelijk de maximale trillingsnelheid tijdens het schieten.

Alle onderzoeken en ontwerpen van normen hebben inderdaad deze parameter als de meest representatieve erkend voor de frequenties boven 10 Hz, die in groeven altijd gebruikt worden.

3) We hebben gekozen de verticale component van deze snelheid te meten, om de 3 volgende redenen:

- hij is de grootste van de 3 componenten voor de gewoonlijke afstanden tussen de woningen en het schietfront;
- deze component werd als criterium gekozen, onder meer in het normontwerp ISO;
- het apparaat zou minder kosten aangezien het slechts één opvanger zou bevatten en vooral omdat een rekenmachine (voor het berekenen van vierkantswortels) kan gemist worden.

4°) L'appareil devrait capter les fréquences des vibrations de tir, soit entre 20 et 80 à 120 Hz.

1.1. Principe de mesure

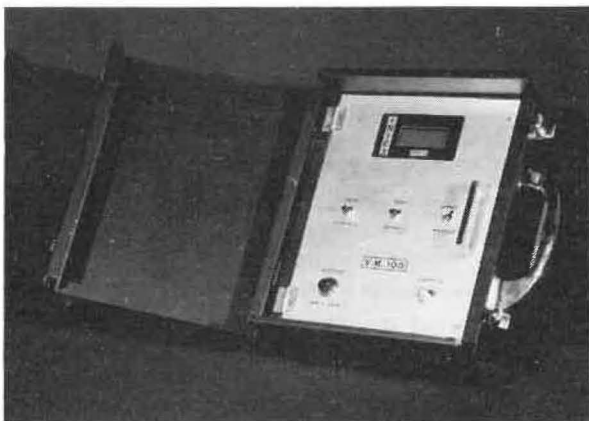
Le capteur est un géophone électrodynamique : il comporte donc une masse, qui est en fait une bobine inductive, libre de vibrer suivant la verticale sous l'effet du tir. Le signal électrique, qui traduit la variation du flux d'induction, est amplifié, redressé, puis sa valeur maximum convertie en valeur digitale est décodée et affichée directement en unités de vitesse de vibration (mm/s).

1.2. Description

L'appareil de mesure (fig. 1) est fixé dans une petite valise de $24 \times 18 \times 13$ cm, qui sert aussi à transporter le capteur, son support et un câble de raccordement au secteur (fig. 2). L'ensemble pèse environ 5 kg.

La face avant de l'appareil, c'est-à-dire celle qu'on découvre en soulevant le couvercle de la valise, comporte tous les éléments nécessaires au contrôle de l'électronique et à la mesure ; citons les à partir du haut de la figure 1 et de gauche à droite :

- le cadran de lecture,
- le bouton-poussoir du test électronique à 2 mm/s et celui à 20 mm/s,
- l'interrupteur marche-arrêt,
- le raccord au réseau électrique,
- le raccord du capteur.



4) Het apparaat zou de frequenties van de schiettrillingen moeten opvangen, hetzij tussen 20 en 80 tot 120 Hz.

1.1. Meetprincipe

De opvanger is een elektrodynamische gefoon : hij bevat dus een massa, die in feite een inductiespoel is, die onder invloed van het schieten vrij volgens de loodlijn kan trillen. Het elektrisch signaal, dat de schommeling van de inductieflux omzet, wordt versterkt, gelijkgericht en daarna wordt zijn maximale waarde, die in digitale waarde wordt omgezet, gedecodeerd en rechtstreeks in trillingssnelheidseenheden (mm/s) aangeduid.

1.2. Beschrijving

Het meetapparaat (fig. 1) is in een koffertje van $24 \times 18 \times 13$ cm vastgehecht dat ook voor het vervoer van de opvanger, van zijn drager en van een kabel voor netaansluiting dient (fig. 2). Het geheel weegt ongeveer 5 kg.

De voorzijde van het toestel, die zichtbaar wordt wanneer men het deksel van de koffer opheft, bevat alle elementen die noodzakelijk zijn voor de elektronicacontrole en voor de meting. We noemen ze op vanaf de bovenkant van figuur 1 en van links naar rechts :

- het leesscherf,
- de drukknop van de elektronische test op 2 mm/s en die op 20 mm/s,
- de aan/uit-schakelaar,
- de aansluiting op het elektriciteitsnet,
- de aansluiting van de opvanger.

Fig. 1 — Vue du panneau de lecture et de contrôle du vibromètre VM 100 (couvercle de la valise ouvert)

Zicht op het afleziings- en controlebord van de trillingsmeter VM 100 (kofferdeksel open)

1.3. Utilisation

1°) Préalablement le capteur doit être fixé au sol ou à la paroi verticale du bâtiment. En effet, il doit rester en contact intime pour mesurer correctement la vibration du sol ou du bâtiment. S'il n'était pas fixé, il s'en séparerait lorsque l'accélération de vibration (vers le haut) dépasserait l'accélération g de la pesanteur. Or ce dépassement est non seulement imprévisible, mais aussi plus fréquent qu'on le pense : à 120 Hz par exemple, il suffit que la vitesse de vibration dépasse 13 mm/s et, à 150 Hz, 10,4 mm/s.

Le support permet de visser le capteur tant au sol qu'à un mur de bâtiment. Il suffit de forer 2 petits trous et d'y insérer des broches.

2°) On bascule l'interrupteur sur la position « marche ».

3°) On pousse successivement sur les 2 boutons « test ». Si l'appareil renseigne environ 2 mm/s puis environ 20 mm/s, c'est que toute l'électronique du système fonctionne bien. Ces tests doivent se faire avant de relier le capteur.

4°) On relie le capteur à l'appareil par un câble blindé, de 3 m de longueur et solidaire du capteur.

On aura au préalable dévissé le bouchon de court-circuit à l'extrémité libre du câble, dont le rôle était de freiner lors du transport les mouvements de la masse vibrante du capteur.

5°) Lors du tir, le cadran de l'appareil indiquera directement en mm/s le maximum atteint par la composante verticale de la vitesse de vibration.

Le mesure comporte 2 chiffres et sa sensibilité est auto-sélective : la virgule de la décimale s'efface automatiquement dès que la vitesse à mesurer atteint 10 mm/s.

L'appareil permet de lire jusqu'à 99 mm/s ; le dépassement est signalé par le clignotement du nombre 99.

6°) La remise à zéro s'effectue en basculant l'interrupteur sur « arrêt ». L'appareil est prêt pour une nouvelle mesure.

Résumons les opérations, finalement très simples :

- 1°) fixer le capteur ;
- 2°) basculer l'interrupteur sur « marche » ;
- 3°) tester l'électronique ;
- 4°) raccorder le capteur ;
- 5°) lecture ;
- 6°) remise à zéro par l'interrupteur.

1.3. Gebruik

1°) De opvanger moet vooraf op de grond of aan de vertikale wand van het gebouw bevestigd worden. Om de trilling van de grond of van het gebouw nauwkeurig te meten, moet hij inderdaad in nauw contact ermee blijven. Indien hij niet erop vastgemaakt was, dan zou hij er zich van scheiden, wanneer de trillingsversnelling (naar boven) de g -versnelling van de zwaartekracht overschrijden zou. Nu is deze overschrijding niet enkel onvoorspelbaar, maar zij gebeurt vaker dan men denkt : op 120 Hz bijvoorbeeld is het voldoende dat de trillingssnelheid 13 mm/s, en op 150 Hz 10,4 mm/s overschrijdt.

De drager maakt het mogelijk de opvanger zowel aan de grond als aan een wand van het gebouw te schroeven. Men moet slechts 2 kleine gaten boren en de pennen erin vasthechten.

2°) De schakelaar wordt op positie « aan » gezet.

3°) Men drukt achtereenvolgens op de 2 « test »-knoppen. Als het apparaat ongeveer 2 mm/s aanduidt, en daarna ongeveer 20 mm/s, betekent dat dat de gehele elektronika van het stelsel goed werkt. Deze proeven moeten uitgevoerd worden alvorens de opvanger aan te sluiten.

4°) Men sluit de opvanger op het apparaat aan door middel van een afgeschermd kabel, die 3 m lang is en deel uitmaakt van de opvanger.

De kortsluitingsstop aan het vrije uiteinde van de kabel zal vooraf losgeschroefd worden ; deze heeft als doel de bewegingen van de trillende massa van de opvanger tijdens het vervoer te remmen.

5°) Tijdens het schieten zal het maximum dat bereikt wordt door de vertikale component van de trillingssnelheid rechtstreeks in mm/s worden aangegeven op het scherm van het apparaat.

De meting bevat 2 cijfers en haar gevoeligheid is auto-selectief : de komma van de decimaal verdwijnt automatisch zodra de snelheid die gemeten moet worden, 10 mm/s bereikt.

Het toestel biedt de mogelijkheid om tot 99 mm/s af te lezen ; de overschrijding wordt door het knipperen van het aantal 99 aangewezen.

6°) Om het apparaat terug op nul te zetten dient de schakelaar op « uit » te worden gezet. Het apparaat kan opnieuw een meting uitvoeren.

Laat ons de handelingen, die tenslotte zeer eenvoudig zijn, samenvatten :

- 1°) de opvanger vasthechten ;
- 2°) de schakelaar op « aan » zetten ;
- 3°) de elektronika testen ;
- 4°) de opvanger aansluiten ;
- 5°) aflezing ;
- 6°) door middel van de schakelaar weer op nul zetten.

1.4. Alimentation de l'appareil

L'appareil peut fonctionner sur batterie incorporée rechargeable (fig. 2) ou sur le secteur.

Fonctionnement sur batterie

1°) Si la batterie est bien chargée, la mesure peut rester affichée durant 5 h. On dispose donc de tout le temps nécessaire pour aller placer et relever une série d'appareils même éloignés.

Cet état de pleine charge de la batterie est renseigné sur le cadran par la lettre C permanente.

2°) Lorsque la tension de la batterie tombe à 18 V, la lettre C clignote ; il reste à ce moment 1 h d'autonomie.

3°) Si la tension descend à 16 V, l'appareil ne renseigne plus, toute lecture erronée est donc impossible ; la lettre C continue à clignoter, signalant que le défaut provient de la batterie à recharger.

Recharge de la batterie

(interrupteur en position quelconque)

Une lettre « S » apparaît sur le cadran, indiquant que l'appareil est réellement sous tension ; cette lettre est également présente lors du fonctionnement sur secteur.

La recharge complète se fait en 14 h.



1.4. Voeding van het toestel

Het toestel kan op een ingebouwde herlaadbare batterij (fig. 2) of op een net werken.

Werking op batterij

1°) Als de batterij goed geladen is, kan de meting gedurende 5 uur aangeduid blijven. Zo beschikt men dus over de noodzakelijke tijd om een reeks toestellen te gaan plaatsen en op te nemen, zelfs als die tamelijk ver van elkaar geplaatst zijn.

De permanente letter C duidt op het scherm aan dat de batterij goed geladen is.

2°) Wanneer de spanning van de batterij tot 18 V daalt, gaat de letter C knipperen ; de batterij zal dan nog 1 uur werken.

3°) Wanneer de spanning tot 16 V daalt, duidt het apparaat niets meer aan ; zo wordt een verkeerde aflezing onmogelijk gemaakt ; de letter C blijft knipperen, wat betekent dat het gebrek te wijten is aan de batterij en dat die herladen moet worden.

Herladen van de batterij

(ongeacht de positie van de schakelaar)

Een letter « S » verschijnt op het scherm, wanneer het toestel op het net werkt.

Er zijn 14 uur nodig om de batterij volledig te herladen.

Fig. 2 — Vue de l'intérieur de la valise du vibromètre, après pivotement du panneau de lecture. On découvre l'électronique de l'appareil, le capteur, son câble raccord et son support

Zicht op de binnenzijde van de koffer van de trillingsmeter, na kanteling van het aflezingsbord. Daar ontdekt men de elektronika van het apparaat, de opvanger, zijn verbindingkabel en zijn drager

1.5. Caractéristiques du VM 100

Le tableau I rassemble celles-ci. Notons que la plage de fréquences captées (8 à 150 Hz) couvre largement la gamme de fréquences rencontrée dans les carrières.

1.5. Kenmerken van de VM 100

Ze worden in tabel 1 samengevat. Er dient opgemerkt te worden dat het gebied van de opgevangen frequenties (8 tot 150 Hz) het gebied van de frequenties dat men in de groeven tegenkomt ruim bestrijkt.

Le système fonctionne sur batterie rechargeable.

1°) Le système envoie d'abord une impulsion électrique sous 30 V et durant 5 s vers les capacités des boîtiers. La capacité a pour rôle de stocker la charge dont on aura besoin pour attaquer le décompteur d'impulsions, puis pour initier le détonateur.

2°) Ensuite par envoi dans la ligne d'un train d'impulsions, les compteurs des boîtiers reviennent à zéro l'un après l'autre, ce qui leur permet de commander la gâchette d'un thyristor (fig. 4) qui laisse alors se décharger la capacité vers le détonateur pour l'amorcer.

Le compteur du boîtier numéro n reviendra à zéro \times ms après celui du boîtier $(n - 1)$; \times ms représente donc le retard entre volées successives, que l'on peut choisir entre 1 et 49 ms.

Chaque boîtier a été « baptisé » lors de sa construction, c'est-à-dire que sa place dans la série des volées a été fixée au préalable et définitivement en réglant son compteur avant de couler le circuit dans la résine.

Les impulsions sont de forme rectangulaire et se succèdent évidemment toutes les \times ms. Le flanc positif de chaque impulsions (passage de 0 à 14 V) sert à décompter d'une unité à chaque boîtier. Donc à la n° impulsion, le détonateur numéro n sautera.

Certains choix expliquent évidemment certaines propriétés du système.

1° Charge des capacités

sous 30 V durant 5 s (fig. 5).

Les diodes Zener Z_1, Z_2, \dots ainsi placées pour certains contrôles exigent 15 V dans ce sens non passant pour commencer à laisser passer le courant de charge et la tension des capacités doit atteindre ≈ 14 V. Ceci explique les 30 V pour la charge.

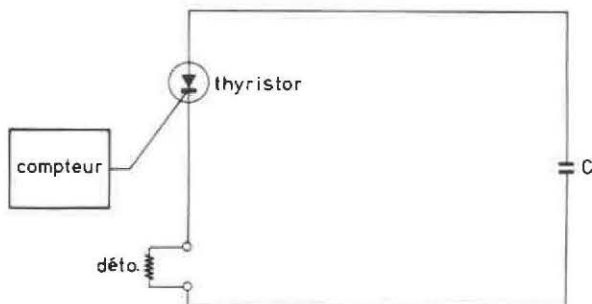


Fig. 4 — Circuit schématique d'amorçage du détonateur : la capacité se décharge lorsque le thyristor devient passant (gâchette attaquée par le décompteur passant par zéro)

Schematische voorstelling van de ontstekingschakeling : de capaciteit ontlaaft zich wanneer de thyristor doorlatend wordt (thyristorpoort aangezet door de afteller wanneer deze op nul komt)

Het stelsel werkt op een herlaadbare batterij.

1°) Het stelsel zendt eerst een elektrische impuls van 30 V gedurende 5 s naar de capaciteiten van de kasten. De capaciteit dient om de lading op te slaan, die nodig zal zijn om de impulsafsteller te voeden, en daarna om de ontsteker aan te zetten.

2°) Door vervolgens in de lijn een reeks impulsen te zenden komen de tellers van de kasten achtereenvolgens terug op nul ; zo kunnen ze de poort van een thyristor (fig. 4) bedienen die de capaciteit naar de ontsteker ontlaaft om hem te ontsteken.

De teller van de kast nummer n zal \times ms na die van de kast nummer $(n - 1)$ weer op nul komen ; \times ms stelt dus de vertraging voor tussen de opeenvolgende salvo's, die tussen 1 en 49 ms gekozen kon worden.

Elke kast werd tijdens haar bouw « geïdentificeerd », dat wil zeggen dat haar plaats in de serie van de salvo's vooraf en voorgoed vastgesteld werd, door haar teller te regelen alvorens de kringloop met hars te omgeven. De impulsen hebben een rechthoekige vorm en volgen elkaar natuurlijk alle \times ms op. De positieve zijde van elke impuls (overgang van 0 op 14 V) dient om van elke kast één eenheid af te tellen. Bij impuls n , zal dus ontsteker nummer n springen.

Sommige eigenschappen van het stelsel worden natuurlijk door bepaalde keuzen verklaard.

1°) Lading van de capaciteiten

onder 30 V en gedurende 5 s (fig. 5)

De Zenerdiodes Z_1, Z_2, \dots die op deze wijze voor bepaalde controles geplaatst werden, vereisen 15 V in de niet doorlatende richting om de ladingstroom door te laten en de spanning van de capaciteiten moet ≈ 14 V bereiken. Dit verklaart de 30 V voor de lading.

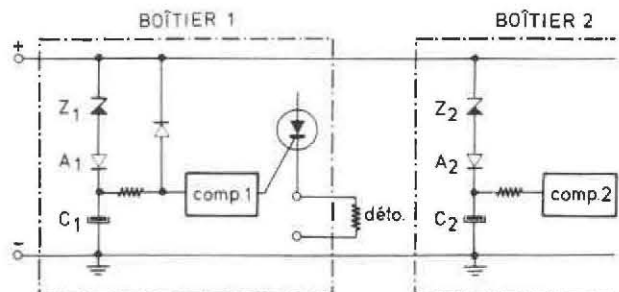


Fig. 5 — Circuit schématique de charge des capacités et de décomptage par impulsions

Schematische voorstelling van de belastingsketen van de capaciteiten en van de aftelling door impulsen

L'impulsion de charge est maintenue durant 5 s pour être certain que toutes les capacités seront chargées quel que soit le nombre de boîtiers et la résistance de la ligne. Voilà pourquoi le tir ne démarquera que 5 s après avoir pressé le bouton de mise à feu.

2°) Courant fourni au détonateur

Lors de l'ouverture du thyristor, la capacité sous 14 V délivre au détonateur de résistance inférieure à 3Ω (nominale 1,8 à $2,2 \Omega$) un courant d'au moins 5 A au départ, qui diminue jusqu'à 0 en 1 ms environ, délai largement suffisant pour un détonateur en ordre (capacité $C = 330 \mu\text{F}$; résistance R du détonateur = 3Ω ; $RC \cong 1 \text{ ms}$).

En fait, l'énergie fournie par une capacité est suffisante pour initier 3 détonateurs en parallèle.

2.2. Sécurité assurées

2.2.1. Contrôle des tronçons de ligne

La ligne, on l'a dit, se compose de tronçons de 4 m à 10 m (suivant les besoins) de câble coaxial reliant les boîtiers en série.

A mesure que l'on établit la ligne, on peut en tester chaque tronçon au poste de tir (fig. 3) et de manière précise. Pour cela on raccorde le tronçon aux 2 bornes du « test lignes » qui est en fait un ohmmètre. Si la résistance du tronçon et de ses raccords est correcte (entre 0,18 et $0,22 \Omega$), la lampe à droite s'allume.

2.2.2. Contrôles de la ligne établie (automatiques)

Le tir ne pourra avoir lieu que si la ligne est fermée et, pour la fermer, il faut placer au dernier boîtier un bouchon qui comporte une diode, servant ainsi en même temps aux 2 contrôles de la ligne qui se font automatiquement dans l'ordre suivant :

1°) Contrôle d'isolement

En appliquant à la ligne la polarité i (fig. 6), la diode D_1 ne laissant passer aucun courant dans ce sens, on vérifie ainsi que la ligne est bien isolée (résistance supérieure à $10 \text{ k}\Omega$). Par contre, s'il existait un court-circuit dans le câble, un courant passerait. Par contre également, on ne peut pas par ce moyen détecter une rupture de câble.

Si le contrôle d'isolement est satisfaisant, le système passe automatiquement au :

2°) Contrôle de continuité de la ligne

en inversant la polarité (polarité c). Le courant cette fois traverse la diode D_1 . Si la résistance de la ligne est

De ladingsimpuls wordt gedurende 5 s gehandhaafd om er zeker van te zijn dat alle capaciteiten zullen geladen zijn, ongeacht het aantal kasten en de weerstand van de lijn. Daarom zal het schieten pas 5 s starten nadat de afvuringsknop werd ingedrukt.

2°) Stroom die aan de ontsteker geleverd wordt

Bij opening van de thyristor levert de capaciteit onder 14 V een stroom van minstens 5 A in het begin aan de ontsteker waarvan de weerstand lager is dan 3Ω (nominale 1,8 tot $2,2 \Omega$); die stroom daalt tot nul in ongeveer 1 ms, wat meer als genoeg is voor een ontsteker die in orde is (capaciteit $C = 330 \mu\text{F}$; weerstand R van de ontsteker = 3Ω ; tijdsconstante (RC) $\cong 1 \text{ ms}$).

In feite is de energie die door een capaciteit geleverd wordt voldoende om 3 ontstekers in parallel aan te zetten.

2.2. Verzekerde veiligheden

2.2.1. Controle van de lijnstompen

De lijn is uit coaxiale kabelstompen samengesteld, die 4 tot 10 m lang zijn (volgens de behoeften) en die de kasten in serie verbinden.

Naarmate de lijn aangelegd wordt, kan elke stomp ervan op de schietpost (fig. 3) zeer nauwkeurig getest worden. Daarvoor wordt de stomp vastgemaakt aan de 2 klemmen van de « lijnentest », die in feite een weerstandsmeter is. Als de weerstand van de stomp en van zijn verbindingen goed is (tussen 0,18 en $0,22 \Omega$) gaat de lamp aan de rechterzijde aan.

2.2.2. Controles van de aangelegde lijn (automatisch)

Het schieten kan enkel gebeuren wanneer de lijn gesloten is; om ze te sluiten moet aan de laatste kast een stop geplaatst worden, die een diode bevat en zo tegelijkertijd voor de 2 lijncontroles dient, die automatisch in de volgende orde gebeuren :

1°) Isolatiecontrole

Door op de lijn polariteit i toe te passen wanneer de diode D_1 in die richting geen stroom doorlaat, kan men controleren of de lijn goed geïsoleerd is (weerstand groter dan $10 \text{ k}\Omega$). Indien er daarentegen een kortsluiting in de kabel zou bestaan, dan zou er stroom doorgaan. Op die manier kan echter geen kabelbreuk ontdekt worden.

Als de isolatiecontrole voldoende schenkt, dan gaat het stelsel automatisch op de volgende controle over :

2°) Controle van de lijncontinuïteit

De polariteit wordt omgeschakeld (polariteit c). De stroom gaat nu door diode D_1 . Als de weerstand van

correcte (inférieure à 100Ω , valeur correspondant au nombre maximum de 50 pour les boîtiers), c'est-à-dire s'il n'y a pas de rupture du câble, la lampe « go » (fig. 3) s'allume au poste de tir.

Seulement alors la charge de la capacité pourra se transmettre au détonateur.

Remarque

Lors de ce second contrôle, la résistance des boîtiers n'entre pas en compte grâce aux diodes A (fig. 6).

2.2.3. *Blocage de la charge des batteries* (fig. 5)

Lors du tir, il ne faut pas qu'après le minage de la 1ère volée la 2ème capacité (C_2) puisse se décharger dans C_1 , et ainsi de suite, sinon le tir évidemment sera raté.

C'est le rôle des diodes A et des Zener Z : par exemple, la charge de la capacité C_2 (sous 14 V) ne peut se vider en C_1 , grâce à la diode A_2 et à la Zener Z_1 (sens non passant ; 15 V minimum).

de lijn goed is (lager dan 100Ω , waarde die overeenstemt met het maximale aantal van 50 van de kasten), dat wil zeggen als er geen kabelbreuk is, gaat de lamp « go » (fig. 3) op de schietpost aan.

Op dat ogenblik zal de lading van de capaciteit slechts naar de ontsteker kunnen overgaan.

Opmerking

Bij deze tweede controle komt de weerstand van de kasten, dank zij de A-diodes, niet in aanmerking (fig. 6).

2.2.3. *Blokkering van de batterijlading* (fig. 5)

Tijdens het schieten mag, na de ontploffing van het eerste salvo, de 2de capaciteit (C_2) zich niet in C_1 ontladen, en zo verder, anders zal het schieten natuurlijk mislukken.

Daarvoor dienen de A-diodes en de Z-Zeners : de lading van de capaciteit C_2 (onder 14 V) bijvoorbeeld, mag zich niet ontladen in C_1 , dank zij diode A_2 en Zener Z_1 (niet doorlatende richting ; 15 V minimum).

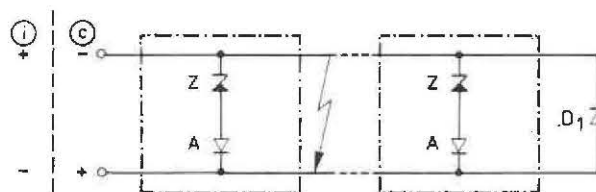


Fig. 6* — Schéma du contrôle automatique d'isolement et de continuité de la ligne

Schema van de automatische controle van isolatie en lijncontinuïteit

2.3. *Utilisation de l'appareil* (fig. 3)

1°) Au préalable on aura vérifié la charge de la batterie. Si celle-ci est correcte, la lampe « Batt » s'allume durant quelques secondes après avoir basculé l'interrupteur de droite de A vers M.

2°) Sur le lieu du tir, on affiche sur les molettes le retard choisi pour le tir, entre 1 et 49 ms.

3°) On peut alors contrôler chaque tronçon de ligne avant de le placer, en le raccordant aux bornes « Test lignes » (contrôle par allumage de la lampe de droite).

4°) On installe à mesure la ligne et les boîtiers (connecteurs simplement à enfoncer) ; enfin on place le bouchon de fermeture en bout de ligne.

2.3. *Gebruik van het apparaat* (fig. 3)

1°) De lading van de batterij moet vooraf gecontroleerd worden. Als deze goed is, dan gaat de lamp « Batt » gedurende enige seconden aan nadat de rechtse schakelaar van A op M geschakeld werd.

2°) Op de schietplaats geeft men manueel de vertraging aan op de schijf, die voor het schieten werd gekozen tussen 1 en 49 ms.

3°) Daarna kan men elke lijnstomp controleren alvorens de stomp te plaatsen door hem op de klemmen « Lijntest » aan te sluiten (controle door het aansteken van de rechtse lamp).

4°) De lijn en de kasten worden achtereenvolgens aangesloten (er moeten enkel schakelaars ingedrukt worden) ; de sluitingsstop wordt op de laatste kast geplaatst.

5°) En revenant vers le poste de tir, on raccorde les détonateurs aux boîtiers, par 2 simples cosses (fig. 7).

6°) On place l'interrupteur sur M. La lampe verte « go » s'allume indiquant que la ligne est correcte. On pousse alors sur le bouton « Déto » ; le tir part 5 s après.

Remarques importantes

1°) On a beau pousser sur le bouton « Déto », le tir ne partira pas si un seul des défauts suivants existe :

- batterie pas assez chargée,
- molette du retard affichant 0 ou plus de 49,
- ligne en court-circuit ou interrompue (par rupture ou un mauvais connecteur au boîtier).

2°) En cas de raté du tir, il faut attendre 10 min avant de réutiliser un boîtier, car sa capacité retient une charge résiduelle sous 2 à 4 V du fait qu'il existe une tension d'amorçage de 1,5 V au thyristor (fig. 4).

Cette charge résiduelle dépend de la résistance du déto. Elle sera résorbée par un circuit résistif en 5 min environ.

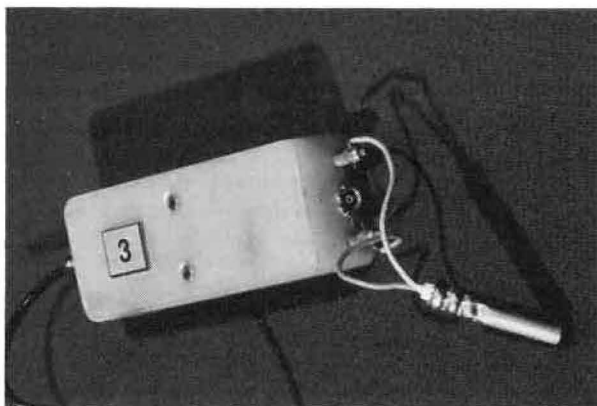
3°) *Limitation du nombre de boîtiers* (provisoirement)

Rappelons qu'il s'agit d'un appareil prototype.

Le nombre de boîtiers est actuellement limité à 50 ; au-delà, à cause de la résistance et de la capacité du câble (30 pF/m), le temps de montée des impulsions de décomptage, qui doit se limiter à 1 μ s, guère plus, serait trop long.

Evidemment la question peut aisément se résoudre en incorporant des triggers de Schmidt qui redresseraient le flanc montant de l'impulsion.

4°) En principe l'appareil est réservé aux tirs de mines verticales, puisque chaque boîtier est à quelque 5 m du fourneau correspondant. Pour les mines horizontales, il faudra faire des essais en combinaison avec un cordeau Nonel.



5°) Terwijl men naar de schietpost terugkomt sluit men de ontstekers met 2 eenvoudige aansluitlippen op de kasten aan (fig. 7).

6°) De schakelaar wordt op M gezet. De groene lamp « go » gaat aan, wat betekent dat de lijn goed is. Men drukt dan de knop « Déto » in. 5 s daarna gebeurt de ontploffing.

Belangrijke opmerkingen

1°) Bij het indrukken van knop « Déto » zal de ontploffing niet plaatsgrijpen als één enkele van de volgende afwijkingen bestaat :

- als de batterij niet genoeg geladen is,
- als de schijf van de vertraging 0 of meer dan 49 aanduidt,
- als de lijn een kortsluiting vertoont of onderbroken is (door breuk of door een slechte verbinding met de kast).

2°) Wanneer het schieten mislukt moet 10 min gewacht worden alvorens een kast opnieuw gebruikt kan worden, daar haar capaciteit een restlading onder 2 tot 4 V weerhoudt door het feit dat er aan de thyristor een ontstekingsspanning van 1,5 V bestaat (fig. 4). De restlading hangt af van de weerstand van de ontsteker. Ze zal op ongeveer 5 min door een weerstand geresorbeerd worden.

3°) *Beperking van het aantal kasten* (voorlopig)

We herinneren eraan dat het een prototype betreft.

Het aantal kasten is thans tot 50 beperkt ; bij meer dan 50 kasten zou, wegens de weerstand en de capaciteit van de kabel (30 pF/m), de stijgingstijd van de aftelimpulsen te lang worden ; die moet zich inderdaad op 1 μ beperken.

Dit probleem kan natuurlijk eenvoudig opgelost worden door Schmidt-triggers in te bouwen, die de stijgende zijde van de impuls zouden gelijkrichten.

4°) Het apparaat is in principe voor het schieten in verticale mijnen bestemd, aangezien elke kast zich op ongeveer 5 m afstand van het overeenkomend schietgat bevindt. Voor horizontale mijnen zullen proefnemingen met behulp van een Nonel-snoer uitgevoerd moeten worden.

Fig. 7 — Vue d'un boîtier et des cosses de raccordement pour les fils du détonateur

Zicht van een kast en van de verbindingskousen van de draden van de ontsteker

2.4. Fiabilité des éléments

2.4.1. Batterie

Elle est capable de plus de 200 tirs sans recharge.

A chaque tir cependant, on en contrôle la charge.

Pour la recharger, il suffit (fig. 3) de raccorder le poste de tir au secteur (prise « Secteur ») et de basculer l'interrupteur de droite sur « S » ; la lampe à droite de la prise « Secteur » renseigne que la recharge se fait.

2.4.2. Fiabilité des boîtiers

Chaque boîtier mis en service a été testé en laboratoire en le soumettant à 1.000 tirs simulés et très rapprochés, car ici on ne doit pas attendre que la capacité soit entièrement déchargée.

Il a fallu concevoir et réaliser l'appareil de testage automatique.

Pour être déclaré valable, un boîtier quelconque, n° n par exemple, doit voir sa capacité se décharger juste au moment du flanc montant de la n° impulsion. Sinon le test s'arrête automatiquement. L'appareil avertit que le boîtier a passé les 1.000 tirs avec succès ou non.

2.4.3. Fiabilité des connecteurs de câbles

Le type de connecteur choisi a conservé son isolement lors d'essais sous eau en laboratoire. Il s'agit d'un connecteur facilement raccordé par enfoncement ; il ne se libère que par pression des doigts.

2.4.4. Isolement entre raccords du détonateur

Sous eau, cet isolement reste > 2 kW.

2.5. Essais de l'appareil

L'appareil a déjà été éprouvé avec succès au cours de quelques tirs en carrière. Le front est apparu nettement découpé, et l'étalement des débris était convenable.

Au point de vue vibrations, on a pu observer, lors d'un essai, que le retard de 15 ms était plus favorable que celui de 10 ms.

Au point de vue fragmentation, il est évidemment trop tôt pour se prononcer mais les avantages pourraient être importants. Il faudra entreprendre une campagne de mesures sur une série de tirs au même endroit, en faisant varier un facteur à la fois.

2.4. Betrouwbaarheid van de elementen

2.4.1. Batterij

Ze kan zonder herhaling 200 ontstekingen uitvoeren. Bij elk schot moet de lading echter gecontroleerd worden. Om ze te herladen is het voldoende (fig. 3) de schietpost op het net (stopcontact « Sector ») aan te sluiten en de rechtse schakelaar op « S » te zetten ; de rechtse lamp van het stopcontact « Sector » duidt aan dat de herlading bezig is.

2.4.2. Betrouwbaarheid van de kasten

Elke kast die in gebruik genomen wordt, werd in het laboratorium getest, door haar 1.000 gesimuleerde afschietingen te doen doorstaan, die heel kort op elkaar volgen.

Hier moet inderdaad niet gewacht worden tot de capaciteit volledig ontladen is.

Het apparaat voor automatische controle moest worden ontworpen en uitgevoerd.

Een kast nummer n bijvoorbeeld, wordt geldig verklaard als haar capaciteit zich net op het ogenblik van de stijgende zijde van de n ste impuls afluist. Anders wordt de test automatisch onderbroken. Het apparaat duidt aan dat de kast al dan niet de 1.000 afschietingen met succes doorstaan heeft.

2.4.3. Betrouwbaarheid van de kabelaan sluitingen

Het aansluittype dat werd gekozen, heeft zijn isolatie behouden tijdens proefnemingen onder water, die in het laboratorium uitgevoerd werden. Het aansluitblokje wordt gemakkelijk door een druk aangesloten. Het kan enkel door een vingerdruk vrijgemaakt worden.

2.4.4. Isolatie tussen de verbindingen van de ontsteker

Onder water blijft deze isolatie > 2 kW.

2.5. Proefnemingen op het apparaat

Het apparaat werd reeds tijdens enkele afschietingen in groeven met succes beproefd. De versnijding van het front is zuiver gebleken en de spreiding van de brokken was goed.

Wat de trillingen betreft werd tijdens een proefneming opgemerkt dat de vertraging van 15 ms gunstiger was dan die van 10 ms.

Wat de verbrokkeling betreft is het natuurlijk nog te vroeg om zich uit te spreken, maar de voordelen zouden aanzienlijk kunnen zijn. Er zal een meetcampagne moeten ondernomen worden op een reeks afschietingen op dezelfde plaats, door telkens één factor te wijzigen.

2.6. Conclusion

L'appareillage mis au point est fiable, simple d'emploi, léger à manier et il répond au souhait de créer des retards non seulement précis mais réglables, qui ont certainement une influence bénéfique sur les vibrations du massif et sur la fragmentation des produits.

Les premiers essais de l'appareil sont des plus encourageants, on a pu constater que c'était la bonne voie en matière de vibrations. Mais seule une campagne importante de mesures permettra de chiffrer les gains éventuels dus à une fragmentation améliorée.

2.6. Besluit

Het apparaat dat ontwikkeld werd is betrouwbaar, licht en gemakkelijk te hanteren ; het voldoet aan de wens om vertragingen te scheppen, die niet enkel nauwkeurig maar ook regelbaar zouden zijn, en die zo ongetwijfeld een gunstige invloed zouden hebben op de trillingen van het massief en op de verbrokkeling van de produkten.

De eerste proefnemingen zijn zeer aanmoedigend ; men heeft kunnen vaststellen dat we de goede weg volgen op het gebied van trillingen. Maar enkel een omvangrijke meetcampagne zal het mogelijk maken de eventuele winsten te berekenen, die aan een verbeterde verbrokkeling te danken zouden zijn.