

Datum: 80.03.02

## STYRNING AV MOTORPROVBADD

KAJ ULLEN

### Sammanfattning:

Detta examensarbete beskriver konstruktion av ett styrsystem för automatisk provning av dieselmotorer. Styrsystemet har byggts och varit i drift på Volvos fabriker i Skövde och Göteborg i tre respektive ett års tid.

### Abstract:

Design of a system for automatic performance testing of diesel engines is described. The system has been in continuous operation at Volvo Skövde factory since 1977 and at Volvo Göteborg factory since 1979.

Handledare: Karl Johan Aström



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

TITEL: STYRNING AV MOTORPROVBÄDD

## 1 INLEDNING

- 1.1 Användning av motorprovbäddar
- 1.2 Krav på bromsar

## 2 PROCESSBESKRIVNING

- 2.1 Dieselmotorer
- 2.2 Schenkbromsen
- 2.3 Den amerikanska normen
- 2.4 Instrumentering

## 3 REALISERING AV STYRUTRUSTNING

- 3.1 Förutsättningar
- 3.2 Krav på styrutrustning
- 3.3 Förberedande prov
- 3.4 Reslersystemets uppbyggnad
- 3.5 Strömloop
- 3.6 Varvtals- och moment-loop

## 4 DRIFTSPROV

- 4.1 Testmateriel
- 4.2 Provförande
- 4.3 Varvtalsresleringen
- 4.4 Momentresleringen
- 4.5 Speciella problem

## 5 SLUTSATSER

- 5.1 Kravuppfyllelse
- 5.2 Förbättringar
- 5.3 Framtidsutsikter

## 6 REFERENSER

### APPENDIX

- A Bilder på utrustningen
- B Datablad

# STYRNING AV MOTORPROVBÄDD

## 1 INLEDNING

### 1.1 Användning av motorensprovbäddar

Vid konstruktion av en förbränningsmotor önskar man på ett objektivet sätt undersöka motorns olika driftsparametrar. Intressanta parametrar kan vara motorns "prestanda" varmed avses motorns vridmoment vid varierande varvtal inom ett bestämt varvtalsområde, då olika gaspådrag påföres.

Man är även intresserad av driftsekonomiska parametrar. Motorns bränsleförbrukning och förslitningsgrad är exempel på sådana. Man vill veta hur dessa parametrar påverkas av olika belastningar och dessas storlek i förhållande till motorns maximala prestationsförmåga. Sedan slutet av 60-talet har det genom nationella och internationella normer framlagts krav på att begränsa motorernas förorenande förbränningsrester. Av praktiska skäl måste föroreningsparametrarna undersökas då motorerna utsätts för en väldefinierad och repeterbar belastningscykel.

Motorns prestanda kan mätas i ett välinstrumenterat testfordon. Ett sådant prov blir mycket realistiskt då fordonet kan utföra typiska uppsifter. Prov av detta slag är mycket dyra och dessutom är mätproblemen mycket besvärliga. Lika förhållanden vid upprepade mätningar är omöjliga att åstadkomma. På grund av dessa anledningar vill man mäta motorns prestanda på ett något enklare och mer reproducerbart sätt. Därför placeras motorn i en provrigg, "motorprovbädd", som innehåller mätapparat för önskade mätbara storheter samt någon styrbar anordning för att belasta motorns drivaxel.

Belastningsanordningen, "bromsen", ger ett bromsande moment på motoraxeln samt en ökning av tröghetsmomentet. Detta kan ske på

mekanisk, hydraulisk eller elektromagnetisk väs. Den av motorn utvecklade energin måste bortföras genom kylning. Om motorn bromsas av en elektrisk generator, så effekten återvinnas genom att man för ut den till elnätet.

Genom att programmera bromsens moment som funktion av tiden och därigenom efterlikna ett förlopp som svarar mot en typisk tillämpning, så kan motorn belastas på ett mycket realistiskt sätt.

## 1.2 Krav på bromsar

Tillverkarna av motorer avgör själva hur noga motorns prestanda och driftsekonomiska parametrar skall provas. Man har därför av kostnadssjäl valt att utföra statiska prov (t.ex. mätning av vridmoment vid konstant varvtal) eller anpassat sina dynamiska prov till bromsens prestationsförmåga. När sedan normerna för belastningscykler vid mätningar av föroreningar i avgaserna kom, visade det sig att bromsarnas dynamiska egenskaper i många fall var otillräckliga. Motortillverkarna blev då tvungna att anskaffa nya bromsar eller att modifiera sina gamla så att de motsvarade de nya kraven.

Det här examensarbetet behandlar konstruktionen av en reglerutrustning avsedd att förbättra en virvelströmsbroms av fabrikket Schenk så att denna kan möta den amerikanska normen för uttestning av dieselmotor.

Den konstruerade utrustningen kan enkelt anpassas till andra typer av bromsar.

## 2 PROCESSBESKRIVNING

### 2.1 Dieselmotorer

De i den aktuella applikationen testade dieslarna var alla avsedda att användas i lastbilar. De största utvecklade en effekt av c:a 350 hk och hade ett maximalt vridmoment på c:a 120 kpm.

Samtliga motorer hade mekanisk varvtalsregulator mellan gaspådrag och insprutningssystem. De flesta hade turbo-överladdning.

Turbon påverkade motorns vridmoment-varvtals-karakteristika på ett mycket speciellt sätt. På grund av de stränga avgaskraven kunde inte turbon ligga med konstant överladdningstryck över hela motorns arbetsområde. Därför ändrades detta vid ett visst undertryck i insugningsröret med den följden att vridmomentet kunde öka närmare 30% i ett varvtalsområde på 50-100 r/min. Detta fenomen uppträdde i varvtalsområdet 1100-1400 r/min. Se figur 1.

Man önskade även kunna använda bromsen för närmast kommande generationer av motorer, med de ökade prestanda, som detta kunde innebära. Med tanke på bromsens kapacitet verkade detta vara en realistisk önskan.

Överföringsfunktionen för dieseln från gaspådrag till motoraxel är mycket komplicerad eftersom motor, turbo och gaspådrag med regulator, utgör ett återkopplat system. Dessutom måste hänsyn tas till motorns tändning om modellen skall bli bra för höga frekvenser. Dieseln representeras därför bäst som ett naturligt samplat system.

Se referens 1 och 2.

MOTORS VRIOMMENT SOM FUNKTION FIGUR I  
 AV VÄRTALET VID FULLT GASFÖRÅR, O  
 ÖVERLADDNINGSTRYCKET ÄNDRAS I  
 OMRÅDET 1100-1300 VARV/MIN

Observera att detta ej gäller  
 någon vanlig motor, utan endast  
 avser att visa kurvans typiska  
 utseende för en större turbo-  
 diesel.

VRIOMMENT  
 [KPM]

HÖGT ÖVERLADDNINGSTRYCK

LÅGT ÖVERLADDNINGSTRYCK

Circa 350 Nm

VÄRTALET  
 [varv/min]

3000  
 2500  
 2000  
 1500  
 1000  
 500

100

75

50

25



## 2.2 Schenkbromsen

Den använda bromsen som är av fabrikkatet Schenk typ W780 har ett arbetsområde som anges i figur2. Man kan utläsa att bromsen kan bromsa bort en maximal effekt av 900 hk och att den kan ge ett maximalt belastningsvridmoment av 600 kNm.

Bromsens uppbyggnad visas i figur3, figur4 och figur5.

Se figur5:

Då likström tillföres reglerspolen 77 och den tandade rotorn 61 sätts i rörelse, bildas virvelströmmar i kylkammaren 53. Dessa virvelströmmar ger upphov till ett magnetfält över rotorn som motverkar rörelsen. Värmen som bildas av virvelströmmarna kyls bort med vatten.

Ur reglerteknisk synpunkt är man emellertid mer intresserad av hur bromsen ser ut elektriskt och hur de elektriska parametrarna påverkar det bromsande momentet.

Bromsens elektriska egenskaper kan beskrivas som en 10 ohms resistans i serie med en 15 mH induktans. Maximal tillförbar ström av 10 A.

Bromsens ström-moment-varvtals-karakteristika har uppmätts. Denna visas i figur6 och figur7. Momentet är normerat.

Man kan utläsa att momentet är mycket nära linjärt mot strömmen medan det är olinjärt mot varvtalet.

Bromsens överföringsfunktion kan då betraktas som ett låspass-filter med variabel förstärkning:

$$G(s) = f(n) * \frac{1}{s + a}$$

där  $f(n)$  är en funktion av varvtalet  $n$  och  $a$  beror på bromsens resistans och induktans.

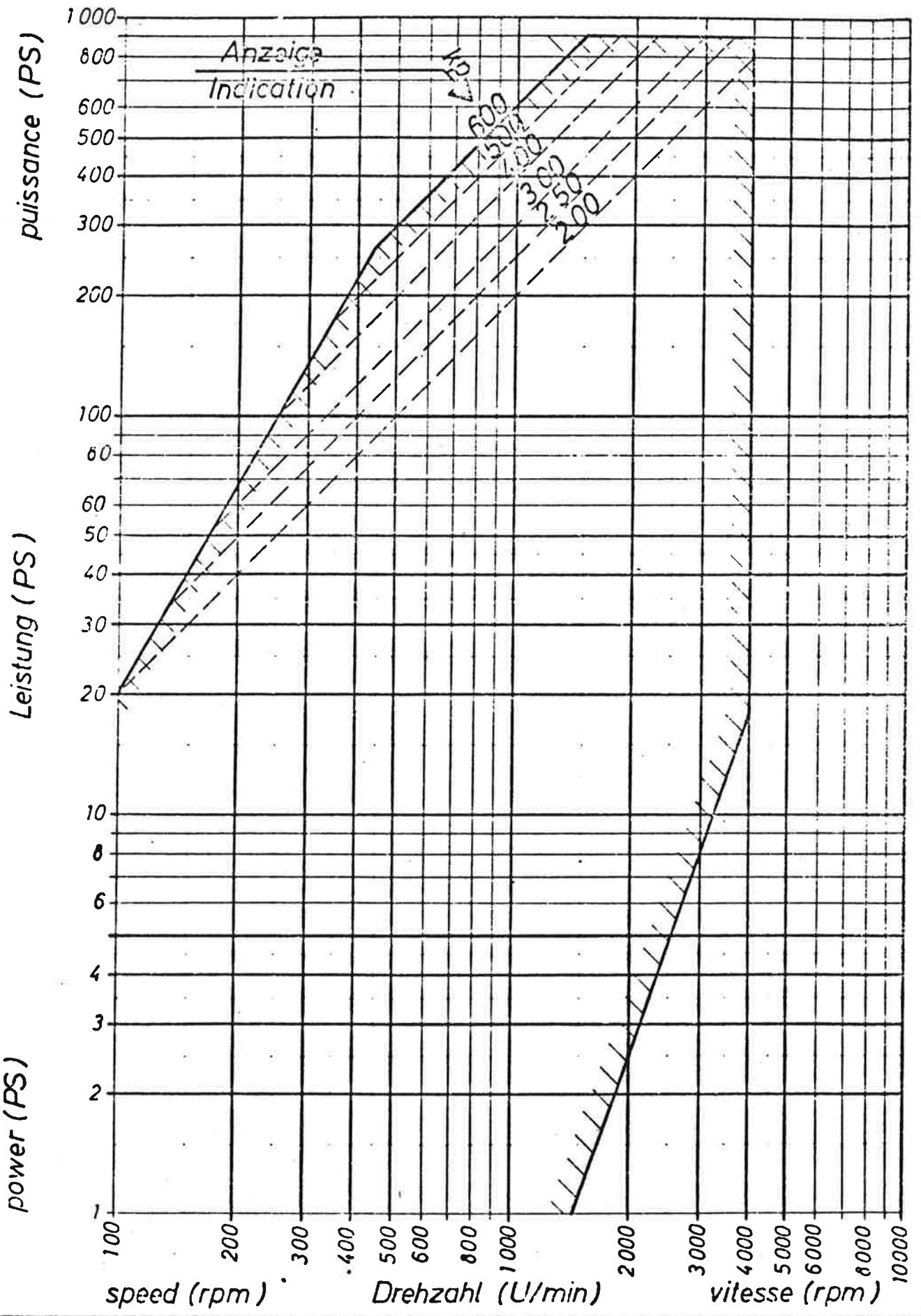
För närmare information om bromsen hänvisas till tillverkarens manual (Referens4).

Wirbelstrombremse

W 780

FIGUR 2

LP3 175



Jan 67  
Datum  
Name

Die hier angedeutete Leistung ist die Leistung, die an der Maschine ankommt und nicht die Leistung, die an der Maschine abgeht. Die hier angedeutete Leistung ist die Leistung, die an der Maschine ankommt und nicht die Leistung, die an der Maschine abgeht.



Carl Schenck  
Maschinenfabrik GmbH Darmstadt

D<sub>2</sub> 6.1

**Aufbau der Wirbelstrombremse**

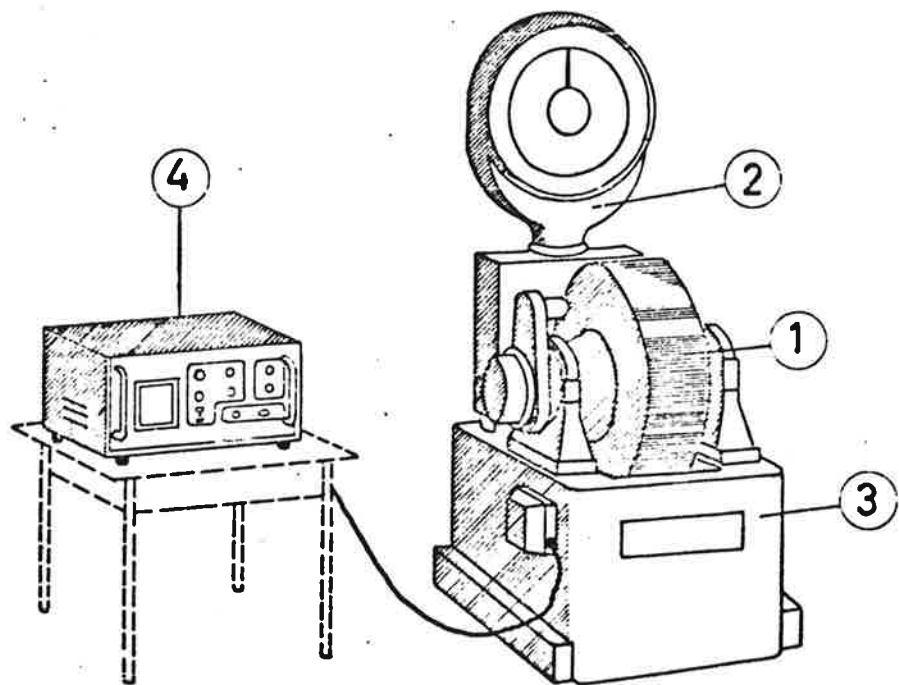
Die Wirbelstrombremse Bauart Schenck ist eine Leistungsbremse, die mechanische Energie des Prüflings über elektrische Energie in Wärme umwandelt.

Die Wärme muß durch Kühlwasser abgeführt werden.

Die Wirbelstrombremse besteht in der Hauptsache aus vier Teilen: aus dem pendelnd gelagerten Bremsengehäuse (1), der Kraftmeßeinrichtung (2), dem Maschinenrahmen (3) und dem Steuergerät (4)

Das Bremsengehäuse und die Kraftmeßeinrichtung sind auf dem Maschinenrahmen befestigt. Im Innern des Maschinenrahmens sind die Rohrleitungen der Kühlwasserversorgung untergebracht.

Das Steuergerät enthält die zur Erregung der Bremse erforderliche elektrische Einrichtung.



	25.10.66	Datum
Königke		Name

rolle

geschr.: Hke

Datum: 25.10.55

FIGUR 3





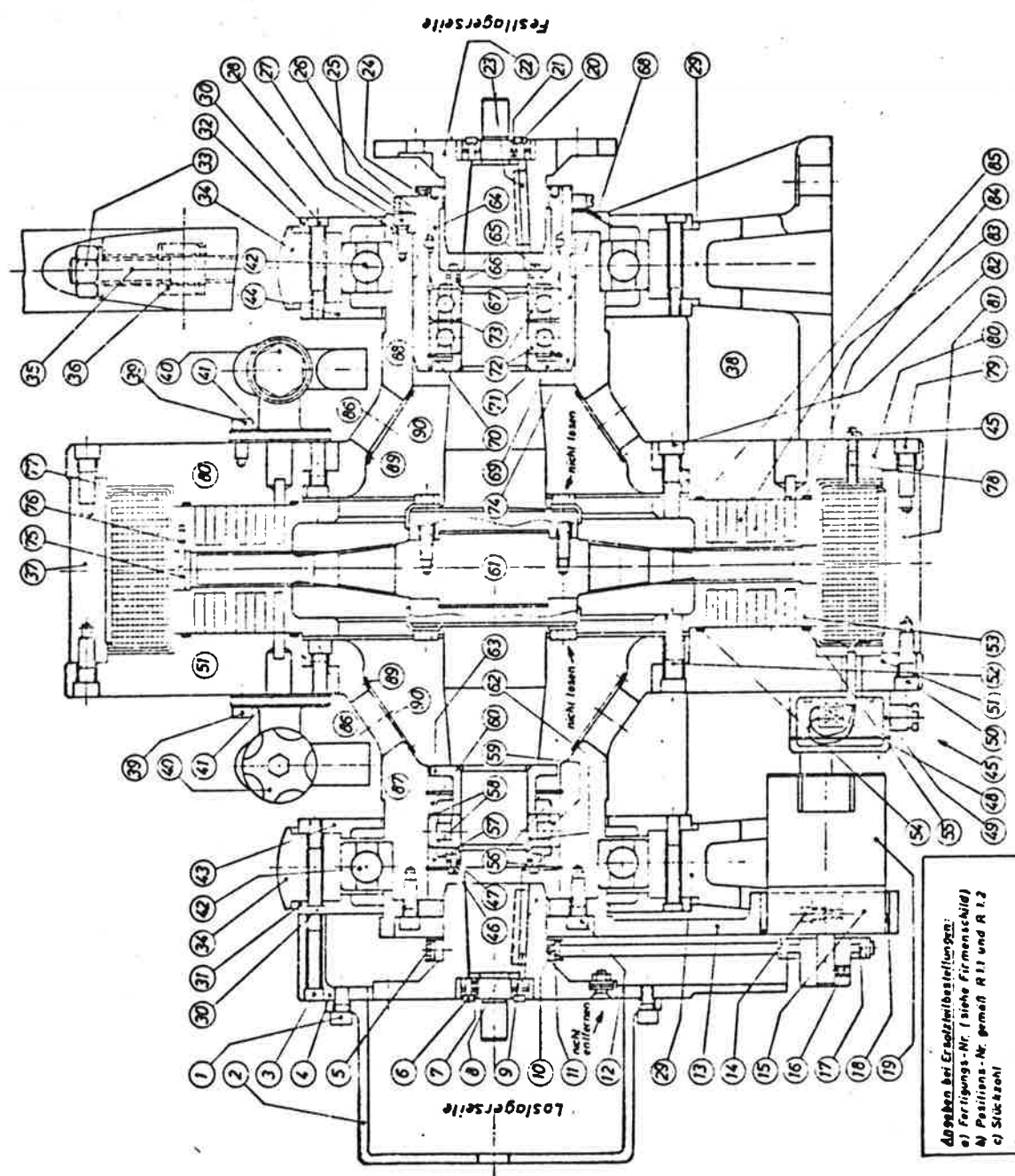
- 1 Schrauben
- 2 Abdeckhaube
- 3 Schrauben
- 4 Riemenschutz
- 5 Zahnriemen
- 6 Schrauben
- 7 Nutmutter ↔
- 8 Kupplungsflansch ↔
- 9 Paßfeder
- 10 Gewindestift
- 11 Zahnrad
- 12 Schrauben
- 13 Geberheller
- 14 Schrauben
- 15 Klemmbügel
- 16 Gewindestift
- 17 Zahnrad
- 18 Exzenterring
- 19 Drehzahlgäber
- 20 Schrauben
- 21 Nutmutter ↔
- 22 Kupplungsflansch ↔
- 23 Paßfeder
- 24 Gewindestift
- 25 Sicherungsblech
- 26 Nutmutter ↔
- 27 Schrauben
- 28 Einstellmutter
- 29 Stützager komplett ↔
- 30 Schrauben
- 31 Lagerdeckel
- 32 Lagerdeckel
- 33 Muffen
- 34 Stützager-Oberteil
- 35 Stiftschrauben
- 36 Paßhülsen
- 37 Pendelkörper komplett
- 38 Stützager-Unterteil
- 39 Schrauben
- 40 Thermostate komplett
- 41 Dichtungen
- 42 Pendellager ↔
- 43 Lagerdeckel
- 44 Lagerdeckel
- 45 Muffen
- 46 Schrauben
- 47 Nutmutter ↔

Kontrolle  
 Name : Müller  
 Datum : 12.12.1967

FIGUR 5

R 12

- 48 Stromanschluß
- 49 Klemmenkasten
- 50 Schrauben
- 51 Kühlkammerträger
- 52 Schrauben
- 53 Kühlkammer
- 54 Dichtung
- 55 Dichtung
- 56 Sicherungsringe
- 57 Distanzring
- 58 Stauscheiben
- 59 Zylinderrollenlager AR
- 60 Distanzring
- 61 Rotor komplett
- 62 Zylinderrollenlager IR
- 63 Distanzring
- 64 Verspannhülse
- 65 Schrauben
- 66 Nutmutter ↔
- 67 Stauscheibe
- 68 Lauflager kompl. ↔
- 69 Distanzring
- 70 Sicherungsring
- 71 Stauscheibe
- 72 Ringrollenlager
- 73 Distanzblech
- 74 Lagerbuchse
- 75 Zwischerring
- 76 Zylinderstift
- 77 Erregerspule
- 78 Sicherungsbleche
- 79 Schrauben
- 80 Kühlkammerträger
- 81 Gehäusemantel
- 82 Schrauben
- 83 Kühlkammer
- 84 Dichtung
- 85 Dichtung
- 86 Schrauben
- 87 Halslagerflansch
- 88 Halslagerflansch
- 89 Kerbstifte
- 90 Siebe



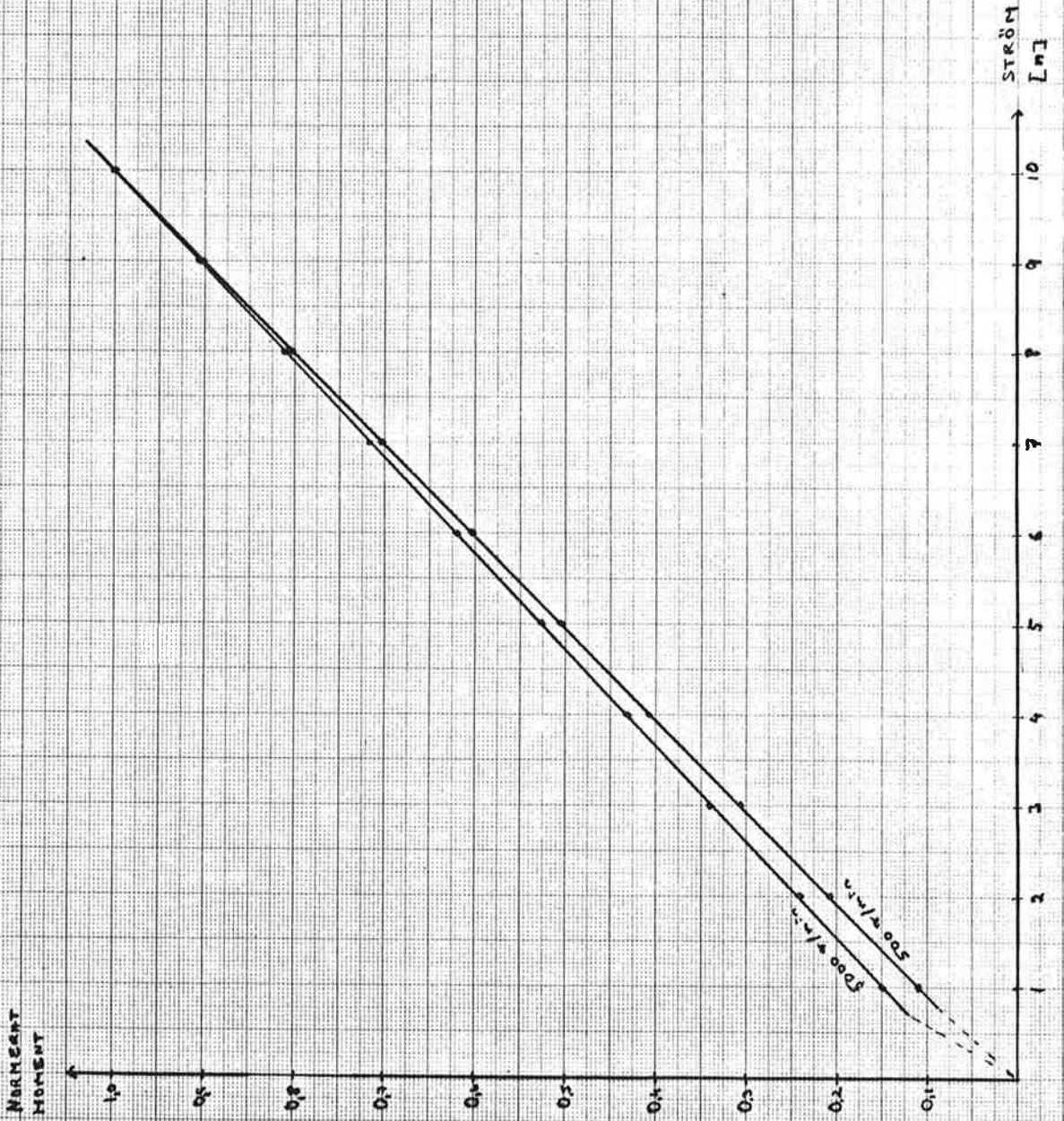
**Ausgaben bei Ersatzteilbestellungen:**  
 a) Fertigungs-Nr. (siehe Firmenschild)  
 b) Positionen-Nr. gemäß R 11 und R 12  
 c) Stückzahl

**Demontage-Hinweise:**  
 nach Pos 47 Pendelkörper um 90° gedreht,  
 Loslagerseite nach oben  
 nach Pos 76 Pendelkörper um 90° gedreht,  
 Festlagerseite nach rechts  
 nach Pos 78 Pendelkörper um 90° gedreht,  
 Festlagerseite nach oben

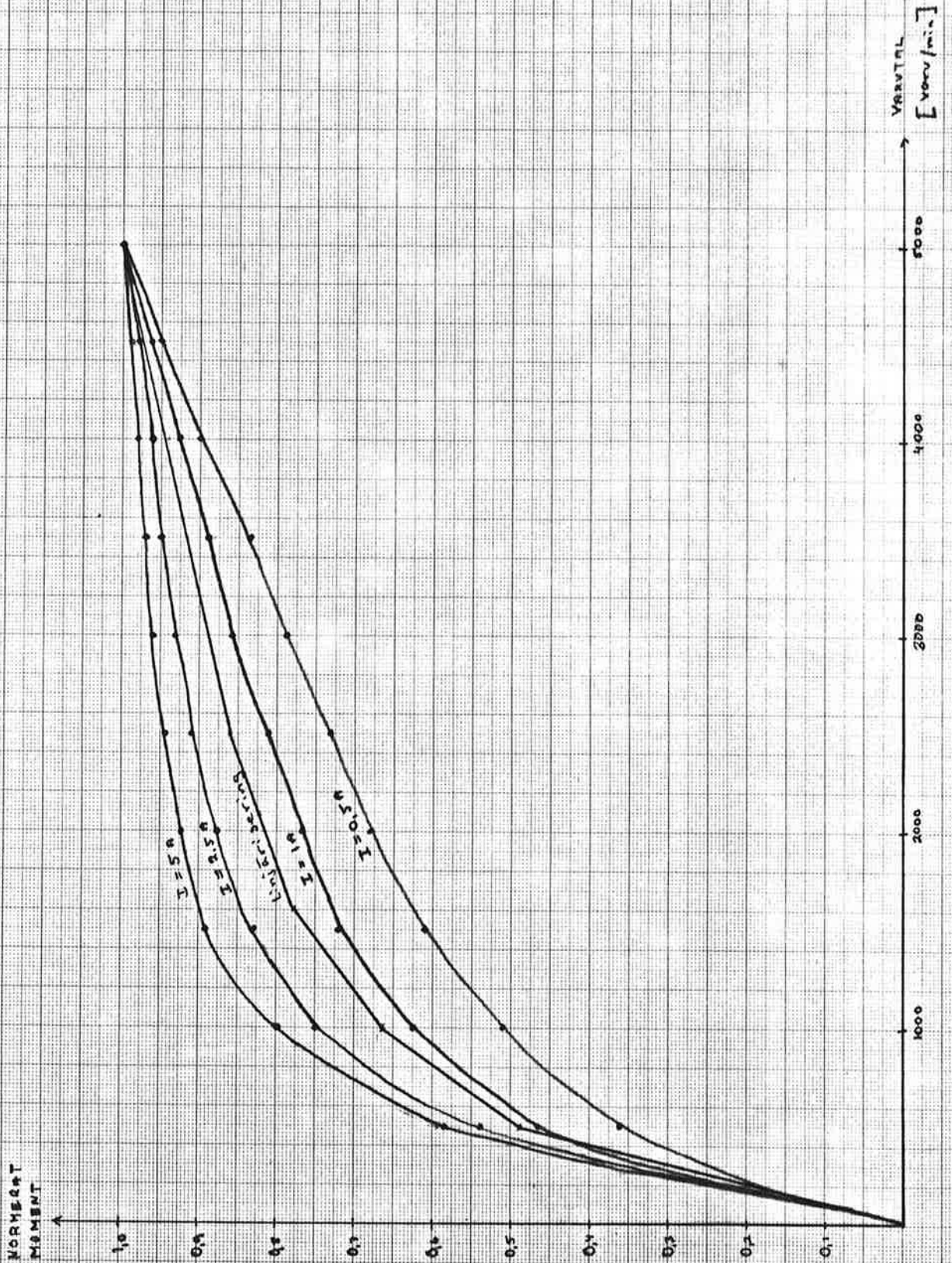
• Pos 28 gilt nur bei Wulfbremse  
 mit getrennten Stützager-Unterteilen  
 •• Bei Demontage der Positionen 7, 9, 21, 22,  
 26, 42, 47, 68 und 88 sind Senker wie Kräfte  
 erforderlich

Zeichnung Nr. <b>LP3 045</b>
Demontage - Übersicht der Wulfbremse
Schenck
8.2.67
Müller
Müller

SCHENKBRÖMISENS MOMENT SOM FUNKTION FIGUR 6  
AV STRÖMMEN VID KONSTANT VÄRVTAL.  
MOMENTET ÄR NOGGRANT



SCHEMORÖRSENS MOMENT SOM FUNKTION FÖR  
 AV VÄRTALET VID KONSTANT STRÖM.  
 MOMENT ÄR NÖRBERAT.  
 LINJÄRISERINGSKURVA FÖR STRÖMREGULATOR.



## 2.3 Den amerikanska normen

Den amerikanska normen avser enligt hörsägen att på ett mycket förenklat sätt simulera en lastbils gång i stad och på landsväg. Normens original återfinns i referens3.

En tolkning av normen återges nedan:

Se figur8:

### CYKEL1

Bilen står framför ett stoppljus med motorn på tomsåns. Gaspedralet står avdraet. Inget moment belastar drivaxeln. Cykeln varar 5-5.5 minuter.

### CYKEL2

Grönt ljus. Föraren varvar sakta upp motorn innan han släpper upp kopplingen. Gaspedralet rampas till större pådrag varvid motorvarvtalet också rampas upp. Cykeln avbryts då motorvarvtalet ökat 200 r/min. Cykeln får ej vara längre än 3 sekunder. Ingen belastning påföres.

### CYKEL3

Bilen accelereras på ettans växel. Bilen utsör då huvudsakligen ett tröghetsmoment på motoraxeln. Gaspedralet trycks hastigt till läget för fullt pådrag. Motorns varvtal skall öka linjärt inom  $\pm 100$  r/min till 85% av maxvarv men får ej överstiga 90%. Detta låter sig ej sjöras med hjälp av en konstant tröghetsmomentbelastning om inte motorns vridmoment är mycket nära konstant över hela varvtalsområdet. Man blir därför tvungen att varvtalsreglera motorn under denna cykel. Bromsens moment kommer då att variera på så sätt att varvtalet ökar linjärt. Cykelns längd är bestämd till 3.5-6.5 sekunder.



#### CYKEL4

Bilen skall motorbromsas. Föraren släpper upp gaspedalen och bilen fart minskar. Bilen utgör ett tröghetsmoment och ett bromsmoment på drivaxeln. Gaspedalet dras till fullt avdragsläge. Motoraxeln påförs ett konstant bromsande moment som är så stort att cykel5 genomförs på 8-12 sekunder. Varvtalet kommer att minska och cykeln avbryts då max momentpunkt är uppnådd eller varvtalet kommit ned till 60% av fullvarv, beroende på vilket fall som inträffar först. Man inser att tiden som denna cykel varar beror i hög grad på det på drivaxeln pålastade tröghetsmomentet.

#### CYKEL5

Bilen accelereras med oförändrad last. Gaspedalet dras till fullt pådragsläge. Bromsens belastningsvridmoment hålls konstant på samma värde som vid cykel4. Cykeln avbryts då varvtalet uppnått 95% av fullvarv. Detta skall ske inom 8-12 sekunder.

#### CYKEL6

Bilen körs med full belastning. Fullt gaspådrag. Varvtalet hålls konstant vid 95% av fullvarv. Cykeln skall vara 50-60 sekunder.

#### CYKEL7

Bilen arbetar sig uppför ett motlut. Fullt gaspådrag behålls hela cykeln. Motorvarvtalet sjunker långsamt vilket simuleras med att varvtalet rampas ned linjärt tills det varvtal då motorn utvecklar maximalt vridmoment är uppnått. Cykeln skall pågå i 30-40 sekunder.

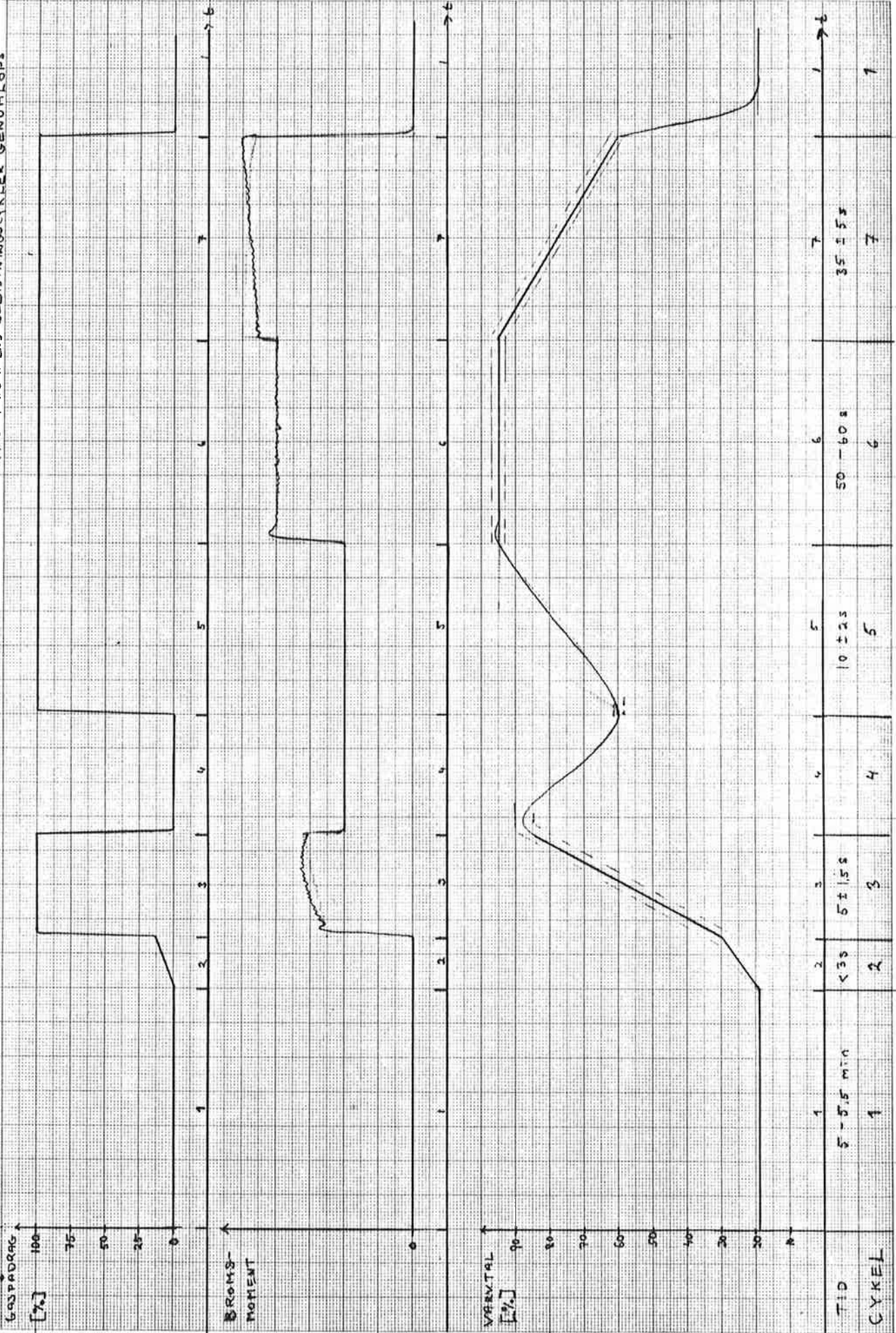
Cykell till cykel7 repeteras två gånger.

Man kan se att normens belastningscykel är möjlig att genomföra om bromsens vridmoment är reglerbart, med styrparametrarna varvtal och belastningsvridmoment. Simulering av trösketsmoment skulle kunna vara ett intressant men ej nödvändigt tillägg.

MOTORNIS GASPÅDRAG OCH VÄRYTÅL FIGUR 8

SAMT DET UTBRMSADE MOMENTET VISAS  
SOM FUNKTION AV TIDEN, DÅ DEN AMER-

IKANSKA NORMENS BELASTNINGSCYKLER GENOMLÖPS



## 2.4 Instrumentering

Provrummet hade redan tidigare använts till att undersöka motorernas avgasmänsder. Av denna anledning var det utrustat med en anläggning för analys av gaser. Givarna till gasanalysatorerna var placerade strax efter utloppet på motorns avgasrör. Signalerna från givarna omvandlades till användbara elektriska signaler i analysatorerna, som satt rackmonterade utanför provrummet. Avgaserna registrerades sedan på en flerkanals x-t-skrivare. Bearbetning av det registrerade materialet skedde med hjälp av en terminal, som var förbunden med en för alla provrum gemensam dator.

I racken fanns också den ursprungliga styrutrustningen för bromsen. Med hjälp av denna styrutrustning kunde man reglera varvtalet på bromsen. Detta mättes med en växelspanningstachometer med ganska låg frekvens och därför var också regleringen mycket långsam. Insvämningstiden vid stegsvar var av storleksordningen 10 sekunder. Varvtalet uppmättes också noggrant med hjälp av en frekvensräknare, som räknade pulser från en induktiv givare, vilka inducerades av en kuggkrans. Någon momentreglering fanns inte. Istället styrdes bromsens ström och bromsmomentet avlästes på bromsens vägutrustning.

För att kunna möta de nya kraven, försågs bromsen med en kraftgivare. Denna monterades in i vägutrustningen och så att den mätte samma kraft som vägen. Växelspanningstachometern ersattes med en likspänningstacho, för att få upp snabbheten i varvtalsmätningen. Varvtals- och moment-signalerna drogs sedan fram, för att kunna registreras på skrivaren. Momentet visades dessutom på en DVM.

I samband med installationen av det nya styrsystemet försågs också provrummet med ett gaspådragservo. Ett sekvensstyrsystem placerades tillsammans med det nya bromsstyrsystemet i racken vid operatörsplatsen.

### 3 REALISERING AV STYRUTRUSTNING

#### 3.1 Förutsättningar

Styrutrustningen skulle ersätta den befintliga styrutrustningen, som bromstillverkaren Schenk levererar tillsammans med bromsen. Denna var placerad i en 19" rack i ett stativ strax utanför provrummet, där bromsen med tillhörande givare stod. Motorns gaspådrag styrdes av ett servo, som satt ovanför bromsen och var förbunden med gaspådraget via en stång. Styrsystemet och gaspådrags-servot skulle erhålla sina börvarden från ett överordnat system, som skulle utföra en styrsekvens som följde den amerikanska normen.

### 3.2 Krav på styrutrustning

Styrsystemet skulle kunna förses med analoga börvärden och lo-  
-siska styrsignaler från ett överordnat system. Då det överordnade  
systemet avgav dessa börvärden och styrsignaler som en funktion  
av tiden, på sådant sätt att den Amerikanska normen följdes, skulle  
styrsystemet reglera bromsens moment och varvtal. Under hela prov-  
-cykeln skulle normens toleranser för moment och varvtal vara  
uppfyllda, utan att några finjusteringar i den överordnade styr-  
-sekvensen skulle behöva vidtasas.

Vid byte av testobjekt skulle parameterförändringar i styrsys-  
-temet, om detta var nödvändigt, kunna ske enkelt och helst utan  
tillsågs till speciella mätinstrument.

Det skulle vara möjligt att begränsa bromsmomentet för att  
skydda kopplingen mellan motor och broms.

Mekaniskt skulle det nya styrsystemet kunna monteras på samma  
plats som det gamla.

### 3.3 Förberedande prov

För att få en uppfattning om hur bromsens egenskaper utfördes ett förberedande prov. Detta gick till så att bromsen varvtalsreglerades med en modifierad motorregulator. Dels kördes bromsen i statisk reglering vid olika varvtal och sedan utfördes stegsvar. Till sist gjordes också försök med att låta varvtalsbörvärdet följa en ramp. Under alla försöken registrerades varvtalsärvärdet, som mättes med pulstacho och frekvens till spänningsomvandlare, på en skrivare. Reglerparametrarna ändrades åtskilliga gånger. Detta utfördes genom, att med hjälp av lödkolv, byta ut olika motstånd och kondensatorer på regulatorkretskortet. Motorns gaspådrag manövrerades för hand.

Försöken visade att det var besvärligt, att med samma parametrar, uppnå god stabilitet vid både höga och låga varvtal. Anledningen till detta antogs vara att bromsens förstärkning varierade med varvtalet. Se figur 7.

Provresultatet visade, att det var önskvärt att eliminera förstärkningsvariationerna. Även om man lyckades få bra stabilitet på regleringen utan linjärisering, så kunde man i alla förvänta sig bättre dynamiska egenskaper med sådan. Dessutom torde man på detta sätt undvika problemen med omställning av regulatorparametrarna i "strömloopen", då man testade motorer av olika storlekar.

Inga prov för att styra belastningsvridmomentet utfördes.

### 3.4 Reglersystemets uppbyggnad

Blockschema för reglersystemet visas i figur 9.

Hela reglersystemet byggdes upp på fyra elektronikkort avsedda för rackmontage samt med en separat thyristorfullbrygga för enfasdrift.

För att erhålla nödvändiga reglerparametrar mättes ström, varvtal och utbromsat moment.

Strömmen mättes med strömtransformator i thyristorenheten. Varvtalet mättes med likströmstachometer, som var placerad på bromsens, på baksidan, utgående axel.

Momentet mättes genom att en lastcell, som innehåller töjningsgivare i bryggekoppling, monterades i bromsens väsutrustning.

Reglersystemet byggdes upp som en kaskadreglering, som bestod av två reglerloopar.

Den innersta loopen, "strömloopen", reglerade simulerat moment med hjälp av ström och varvtal. Denna bestod förutom "thyristorstacken", av två kretskort. Det ena innehöll styrlogik för thyristorerna, "styrpulsdonet", och det andra en regulator för simulerat moment, "strömregulatorn".

Den yttre loopen "varvtals-moment-loopen" reglerade varvtal eller moment med hjälp av signalerna från tachometern eller lastcellen. Dessa reglerfunktioner utfördes av två kretskort, nämligen "PID-regulatorn" och "anpassningsenheten". "Anpassningsenheten" utgör dessutom interface mot överordnat programstyrsystem.

Ritning över racken med kretskorten visas i figur 10.



Denne printing forbliver vær ejendommen og forbeholdt for den udførende. Vær modvillende kopieret eller brugt til andre formål. Det er strengt forbudt at reproducere eller udføre uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

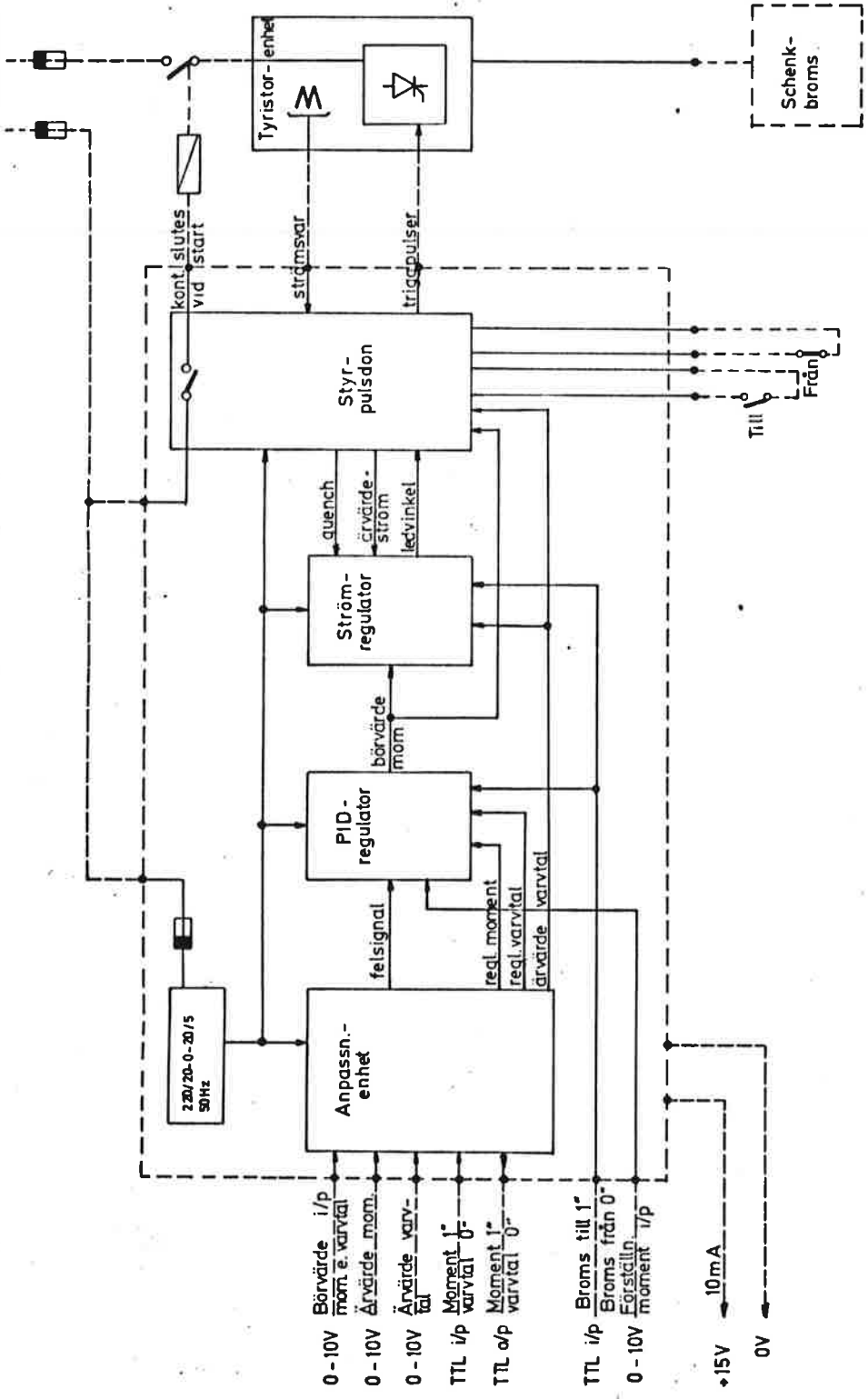
Denne tegning er forbeholdt den udførende. Den må ikke kopieres eller udføres uden tilladelse. Et eller flere af den udførende eller dets medarbejdere har forbeholdt sig alle rettigheder. Dimensioner og tolerancer er angivet i mm, medmindre andet er angivet.

Dimension	Tolerance	Unit
0-50	±0.1	mm
50-100	±0.15	mm
100-200	±0.2	mm
200-500	±0.3	mm
500-1000	±0.5	mm

nr. A37-TA 78715  
no. A37-TA 78715  
Drawing

Reg. no	Aas. drwg. no	No	Modification no	Mod. specification	Date and sign	Tolerance	Deviation
		1					

220V 50 Hz



1975-04-30

FIGUR 9

Number	Det. no	Title	Dim. or designation	Material	Note
Drawn by		Checked by	Scale	Tol. syst. ISO	Replaces
Date	79 01 29	Approved	Skala		Replaced by

VOLVO GÖTEBORG  
 TELEMETRIC-REGLERUTR. FOR SCHENK-BROMS  
 Instrument AB  
 BLOCKSCHEMA  
 Drawing no. A37-TA 78715  
 Replaced by

This drawing and its contents remain the property of Telemetric Instrument AB. Reproduction or use of this drawing in any form without the written consent of Telemetric Instrument AB is prohibited. It shall be deemed to be a forgery if it is not made by the person named in the drawing. The content of this drawing may vary without notice. Drawing No. A31-A6907 Bl. 3

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm. Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

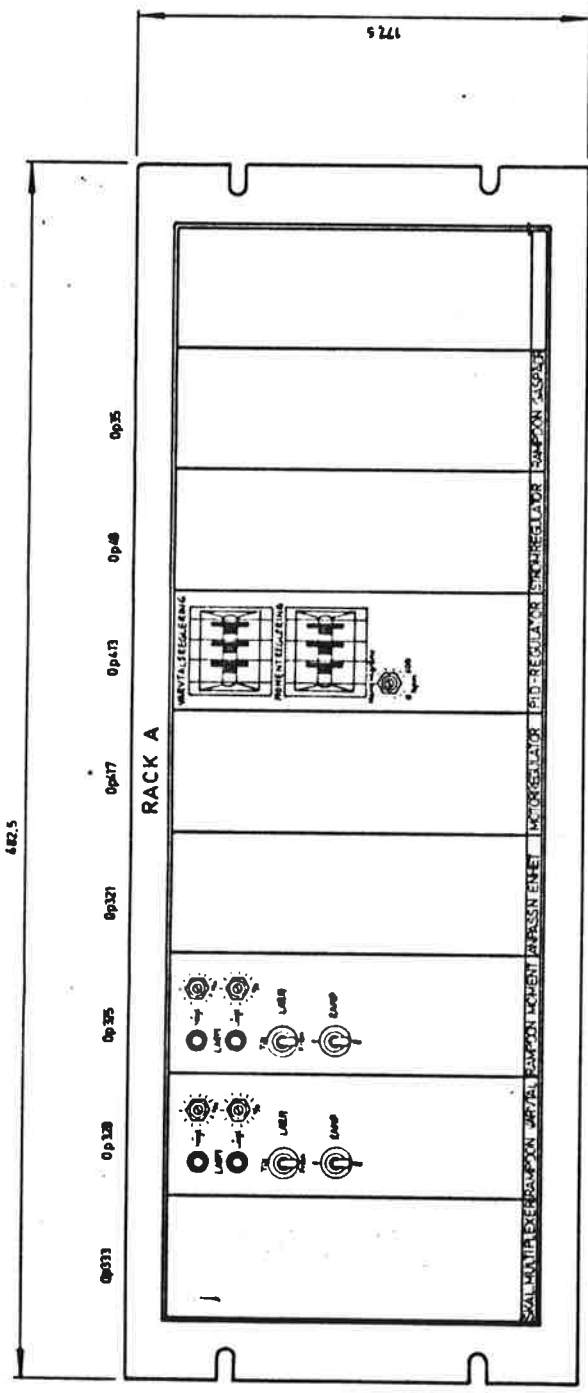
Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Dimensions are given in mm unless otherwise specified. Tolerances are given in mm.

Reg. no.	Aas. drwg. no.	No.	Modification no.	Mod. specification	Date and sign.	Tolerance	Dev.:
		1					



DUP:353

Number		Title		Dim. or designation		Material	
Drawn by		Checked by		Scale		Tot. syst. ISO	
Date		Approved		1:2		Replaces	
770207						Replaced by	
TELEMETRIC Instrument AB		VOLVO SKOVDEVERKEN		PROGRAMUTR. FOR MOTORPROVBÄDD		Drawing no.	
				DISPOSITION RACK A		Rlm. A 31-A6907 Bl. 3	

FIGUR 10

### 3.5 Strömloopen

Blockschema över strömloopen visas i figur 11.

Eftersom bromsens moment var linjärt mot strömmen, men kraftigt beroende av varvtalet, så infördes ett linjäriseringsnät i strömloopen. Detta gjorde momentet endast litet beroende av varvtalet. Ur moment-varvtals-karakteristikan i figur 5 valdes en linjärisering som antogs vara lämplig. Brytpunktsnätet, som realiserar linjäriseringen, syns som heldragna linjer bland kurvorna.

Ärvalet för varvtal (tachosignalen) omformades, så att det efterliknar bromsens moment-varvtals-karakteristik och denna signal multipliceras sedan med mätvärdet för ström. Se figur 9. Man erhåller på detta sätt ett simulerat moment, som är linjärt mot strömmen, men nästan oberoende av varvtalet. Detta moment jämförs med ett börvärde för simulerat moment i en felförstärkare. Detta börvärde är utsignal från den yttre reglerloopen. Felsignalen regleras till noll i en PID-regulator, som styr ut ett styrepulsdon för thyristorströmriktare.

För att inte överskrida bromsens märkdata för ström finns till den simulerade momentloopen en parallell strömbegränsningsloop. Denna består av en PI-regulator, som tar över kontrollen av styrepulsdonet när momentloopen begär för hög ström. Den största risken för att uppnå strömgränsen är vid låga varvtal, eftersom bromsen då ger dåligt moment. En gynnsam faktor är att även motorn ger lågt vridmoment vid låga varvtal.

Styrepulsdonet ledvinkelstyr thyristorerna, vilka ger "hackad" nätspänning till bromsens fältlindning.

Hela den återkopplade strömloopen kommer således från den yttre loopen att uppfattas som ett kompliserat lågpåssfilter för moment, som bara filtrerar ännu hårdare då strömmen begränsas.

Den återkopplade strömloopens överföringsfunktion antas se ut som:

$$G(s) = \frac{s+d}{s^3 + s^2 * c + s * b + a}$$

vid simulerad momentreglering

och:

$$G(s) = f(n) * \frac{1}{s^2 + s * a + b}$$

vid strömbegränsningsreglering.

$f(n)$  är en funktion av varvtalet  $n$  och  $a, b, c, d$  är konstanter, som beror av bromsen och strömregulatorn.



### 3.6 Varvtals- och moment-loopen

Det fanns nu redan en momentloop. Därför skulle varvtalsloopen troligen regleras sämre, om man la in den äkta momentloopen, som nu bara behövde vara finjusterande, mellan varvtalsloopen och strömloopen. Den sämre regleringen skulle då vara en följd av de extra tidsfördröjningar, som en inlagd momentloop skulle medföra.

Istället utarbetades en reglermetod där samma regulator reglerade både moment och varvtal. Se figur 11.

Eftersom både varvtal och moment skulle regleras i samma regulator, skildes dessa två reglermoder med en extern signal (V/M). Observera att varvtals- och moment-reglering helt utesluter varandra. (Vid ett utstyrt moment hamnar varvet på ett av motorns parametrar bestämt varvtal. Om varvtalet skall regleras måste motorn bromsas med ett för varje motor speciellt moment).

Börvärden och ärvärden för varvtal respektive moment förs in till felförstärkaren via omkopplare som styrs av V/M-signalen. Höst börvärde för varvtal betyder att bromsen skall minska momentet. Höst börvärde för moment medför att bromsen skall öka belastningen. Därför måste felet inverteras i den ena reglermoden. I figur 10 inverteras felet vid momentreglering och detta styrs av V/M-signalen. Felsignalen förs in till PID-regulatorn, som reglerar denna till noll.

Moment- och varvtals-reglering fordrar helt olika reglerparametrar. Momentregleringen är avsevärt snabbare. Därför växlar V/M-signalen mellan två uppsättningar av reglerparametrar. Parametrarna kan förinställas med två tumhjulsomkopplare, en för momentreglering och en för varvtalsreglering. Detta ger också möjlighet att finjustera reglerparametrarna för olika motortyper och detta kan för enkelhetens skull ske under pågående drift.

Eftersom samma PID-regulator används för moment- och varvtalsreglering får man stötfri överkoppling mellan dessa två regler-

-moder. Man inser detta om man tänker sig att man varvtalsreslerar motorn. Bromsen belastar då motoraxeln med ett av motorns parametrar bestämt moment. Om man nu kopplar över till momentreslering med det givna momentet, så kommer motorns varvtal att förbli detsamma. När modskifte sker, kommer regulatorns utsåns att ligga helt stilla och överkopplingen blir stötfri.

PID-regulatorn innehåller en begränsning av regulatorns utsåns. Denna begränsning kan ställas in med en potentiometer på frontlåten i den rackmodul där PID-regulatorn sitter. Eftersom utsången från PID-regulatorn är börvarde för simulerat moment, kommer potentiometerens funktion vara att begränsa det maximalt momentet. Potentiometern är därför avsedd, till att ställas in så att bromsmomentet hålles tillräckligt lågt, för att koppling eller växel mellan broms och motor skall bli skyddade.

Ytterligare två signaler går in i PID-regulatorn. De kallas "reslering från" och "förinställning PID". Med hjälp av dessa kan man förinställa PID-regulatorn. Detta är användbart t.ex då motorn roterar obelastad och man därefter skall varvtalsreslera denna. Då man vet vilket vridmoment motorn utvecklar vid det önskade varvtalet, kan man förinställa PID-regulatorn. Bromsens moment kommer då att snabbinställas när resleringen slås till. Med rätt förinställning kommer bromsmomentet att ställa in sig till ett värde, som motsvarar motorns vridmoment.

## 4 DRIFTSPROV

### 4.1 Testmateriel

Det första styrsystemet installerades i ett provrum på Volvos kvalitetsavdelning i Skövde. Volvo hade ställt sin senaste och kraftigaste lastbilsdiesel till förfogande. Denna var överladdad och laddningsstrycket var olika för höga och låga varvtal. Det var således ett testobjekt, som var avsett att ge styrsystemet så stora problem som möjligt.

Volvo ställde också upp med motorkunnig personal, så att bästa förutsättningar rådde vid driftsprovet.

För registreringsändamål fanns en flerkanal x-t-skrivare tillgänglig.



## 4.2 Provutförande

Driftsprovet uppdelades i tre delar.

I första skedet utfördes stessvars- och ramnings-prov då motorn varvtalsreslerades. Reslerloopen trimmades med tumhjulsomkopplarna på PID-regulatorn. Momentsränsens inverkan på resleringen kontrollerades.

När varvtalsresleringen funserade tillfredställande så provades momentresleringen. PID-regulatorn trimmades för att uppnå bästa reslering.

Slutligen utfördes driftsprov enligt den amerikanska normen.

### 4.3 Varvtalsregleringen

Det under reglering på x-t-skrivaren upptagna varvtalet visas i diagram 1-4.

#### Diagram1:

Sex uppåtsående och fem nedåtsående stegsvar visas. PID-regulatorns parametrar trimmades om mellan de olika svaren. Man ser att det gärna blir en översläng vid uppåtsående stegsvar. För nedåtsående steg fungerar det med parameteruppsättningar. Detta beror på att regulatorn drar av för att motorn skall kunna öka i varvtal. När regulatorn sedan skall fånga upp motorns acceleration, utvecklar denna sitt högsta vridmoment. Därför får regulatorn svårt att hinna med, eftersom den måste gå från fullt avdraset till fullt pådraset läge. Vid varvtalssänkninsen däremot, ligger regulatorn mer eller mindre pådrasen under hela nedbromsningen och har därigenom bättre kontroll över motorn.

#### Diagram2:

Detta visar en snabbt uppåtsående ramp, samt en period med konstant varvtalsreglering och en något långsammare nedåtsående ramp. Överslängen efter den uppåtsående rampen beror på att regulatorn inte vet om att börvärdet ändrat sig förrän det uppkommit en skillnad mellan ärvärde och börvärde.

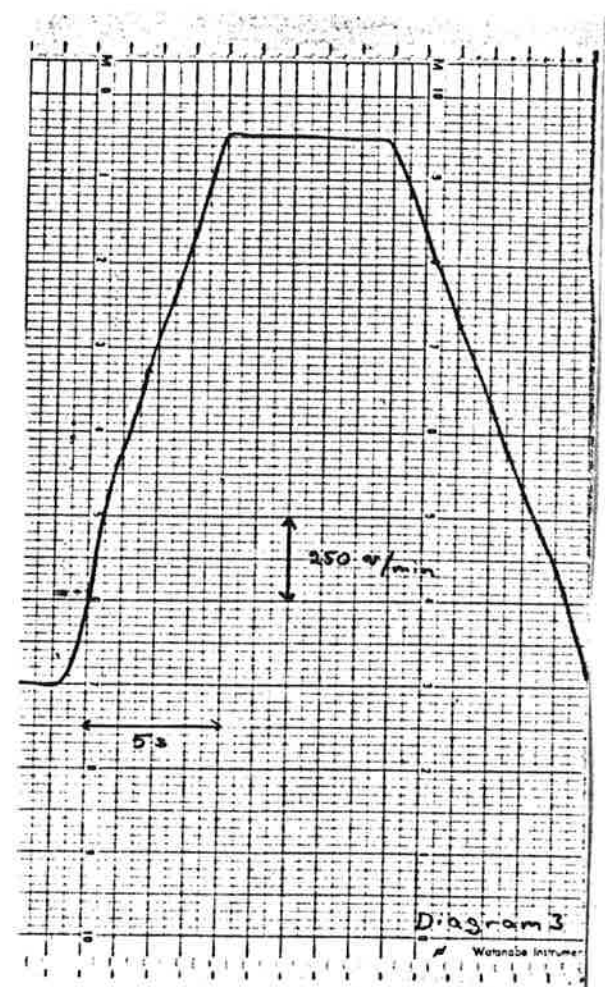
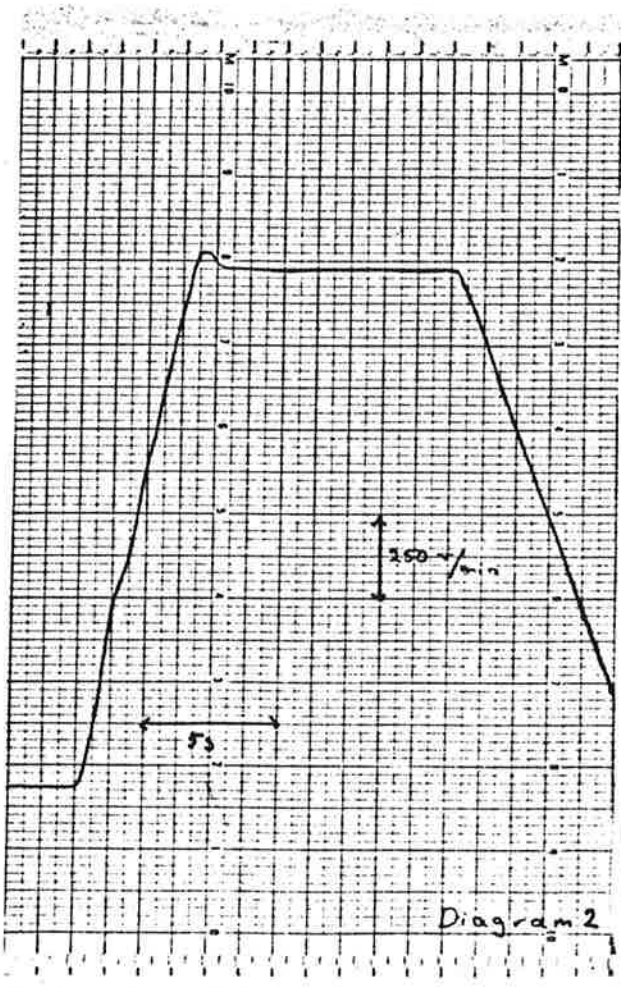
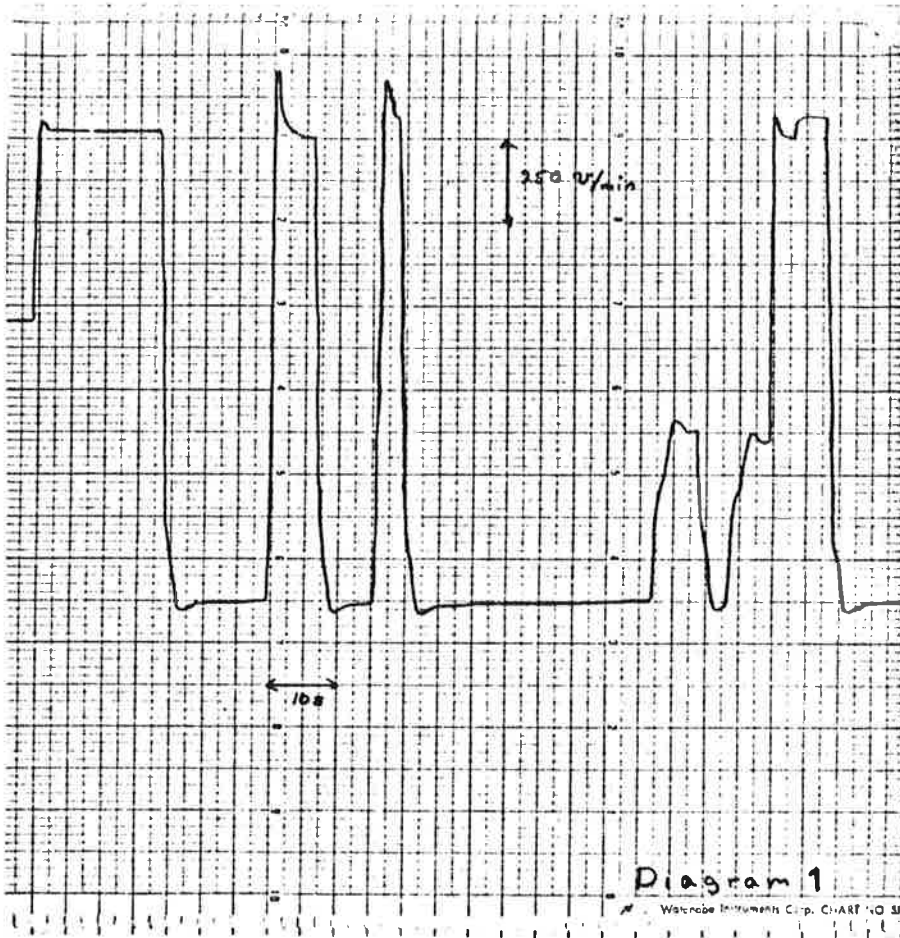
#### Diagram3:

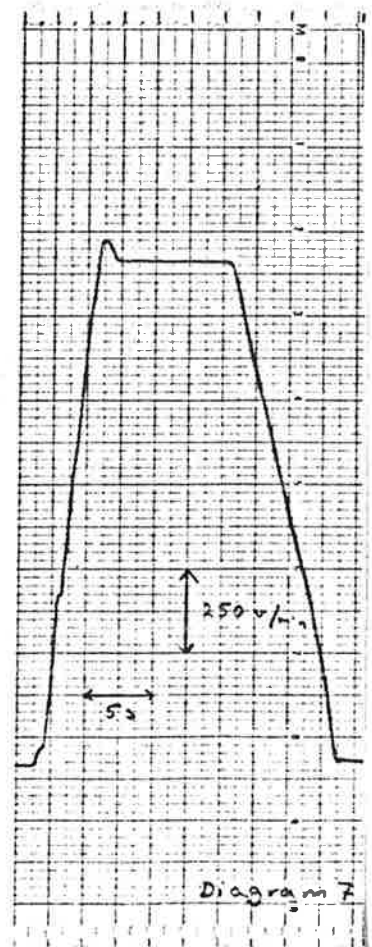
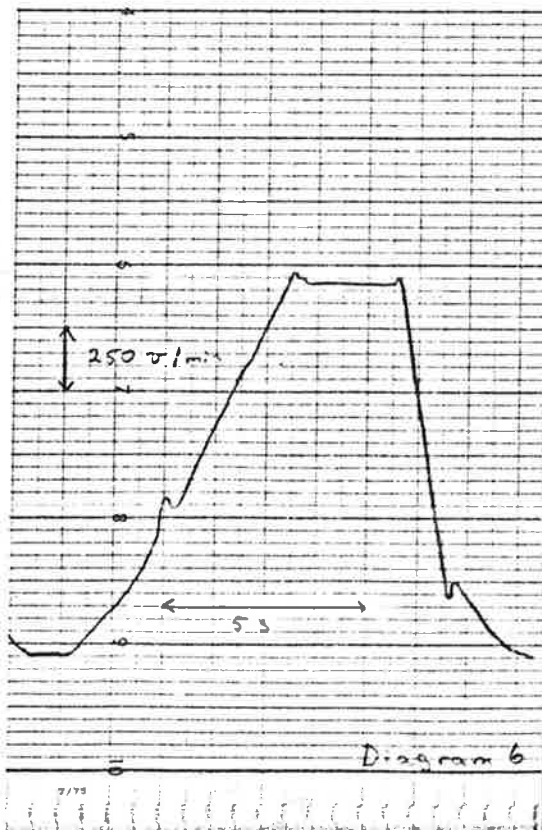
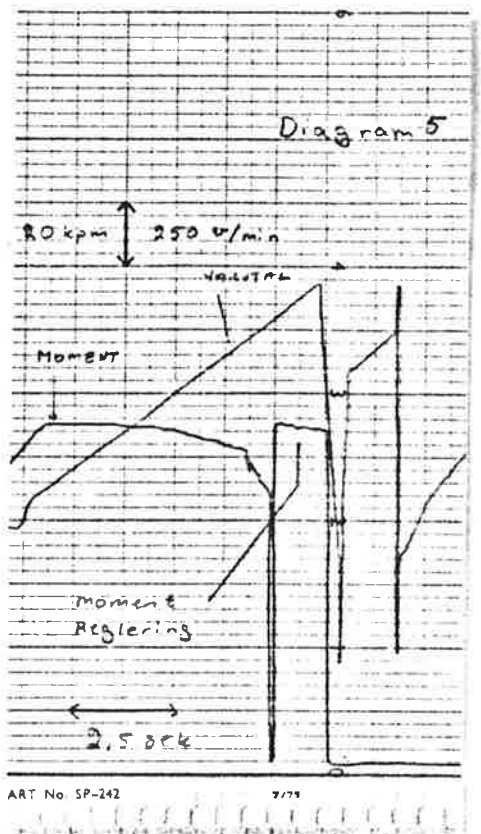
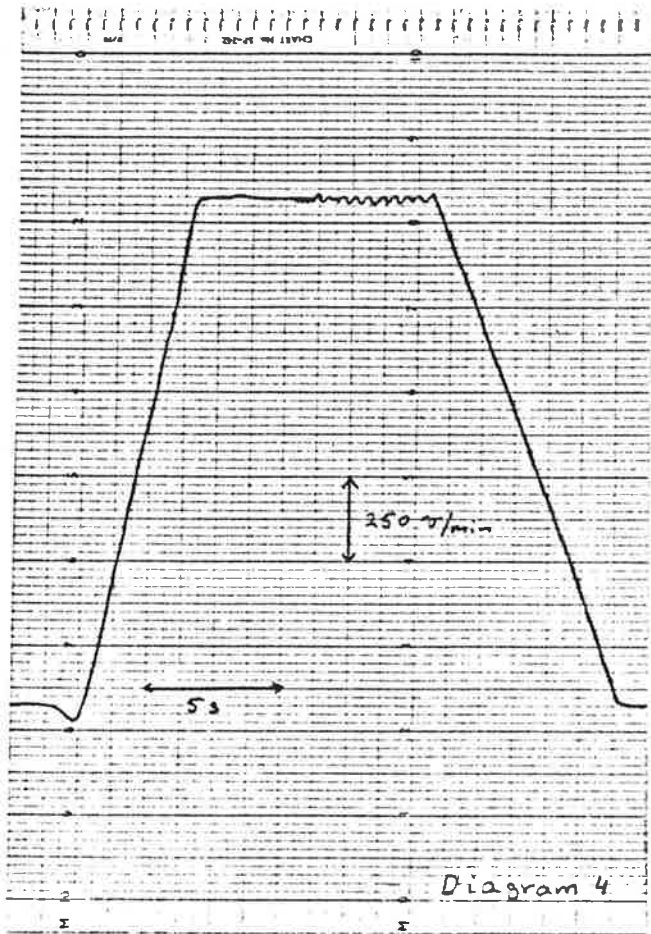
Diagrammet visar samma sak som diagram2 men med andra regulatorparametrar.

#### Diagram4:

Figuren visar tydligt hur nära stabilitetsgränsen PID-regulatorn kan trimmas. Detta kan ske under drift, genom att ändra koden på de tre tumhjulen på frontplåten, vilka bestämmer regulatorparametrarna.

När momentgränsen sänktes till alltför lågt värde blev regleringen långsammare. Därför ställdes momentgränsen in på ett så högt värde att dess inverkan på regleringen blev ringa. Vid körning av stegsvar behövdes tillsåms till mer bromsmoment än vid körning av långsammare varvtalsförändringar såsom ramper.





#### 4.4 Momentresleringen

Ett exempel på momentresleringens insvängning visas i diagram 5. Momentloopen kunde trimmas så att den svängde in utan märkbara överslängar. Insvängningen vid momentreslering var dessutom betydligt snabbare än insvängningen vid varvtalsreslering.

#### 4.5 Speciella Problem

Vid körning av den amerikanska normen uppstod ett par besvär-  
liga problem. Dessa illustreras i diagram 6 och 7.

Man ser en kraftig knyck i övergången mellan normens andra och  
tredje cykel, samt en kraftig översläng då tredje cykeln skiftar  
till den fjärde. Det sistnämnda fenomenet har redan förklarats i  
avsnitt 4.3 .

I normens andra cykel rampas gaspådraget upp, medan bromsen är  
momentlös. Då cykel tre börjar ses fullt gaspådrag och varvtals-  
regulatorn kopplas in, för att reglera varvtalet efter en uppåt-  
gående ramp. Motorn kommer då plötsligt att se ett höst vridmo-  
ment medan regulatorn är fullt avdragen. Denna hinner inte öka  
bromsmomentet tillräckligt snabbt, varför motorvarvet rusar upp  
innan regleringen börjar fungera. Vid kraftig kompensation mot  
överskjut blir regleringens stabilitet vid rampning dålig.  
Regulatorn var emellertid utrustad med en möjlighet till för-  
ställning av momentet då all reglering var bortkopplad. Denna  
ställdes in så att bromsmomentet skulle motsvara motorns vridmo-  
ment vid gaspådraget. Inverkan av denna kompensation minskades i  
viss utsträckning av, att motorn endast gav lågt vridmoment under  
en kort period efter det att gasen dragits på. Därefter ökade mo-  
tors vridmoment mycket snabbt. Regulatorns förinställning kommer  
på så sätt att bromsa ned motorvarvtalet innan motormomentet  
ökat. Följden blir att regulatorn hinner minska bromsmomentet in-  
nan motorn mycket distinkt ökar sitt vridmoment.

Detta var också det i särklass besvärligaste reglerproblemet  
när det gällde att uppfylla den amerikanska normen krav, men med  
rätt inställning klarades även detta problem med god marginal.  
Det har senare visat sig att problemet ej uppträder vid prov av  
mindre motorer.

## 5 SLUTSATSER

### 5.1 Kravuppfyllelse

Provdriften visade att styrsystemet kunde följa en överordnad styrsekvens, enligt den amerikanska normen för testning av dieselmotorer, med tillräckligt god marginal.

Inställningen av regulatorparametrarna var mycket okänslig för byte av motortyp. Samma inställning täckte nästan hela det aktuella motorsortimentet och en finjustering av parametrarna behövde bara vidtas för de allra största eller minsta motorerna.

Den inställbara momentgränsen hade avsedd verkan, men regleringen försämrades om gränsen ställdes alltför lågt.

Överkoppling mellan de olika reglermoderna sker som avsett, med endast obetydliga stötar.

Det förinställbara momentet hade mycket begränsad inverkan, men kom ändå till god hjälp där reglerproblemen var som störst.

Hela konstruktionen har visat att det är fullt möjligt att modifiera, en för denna typ av prov, helt oanvändbar broms. Den här använda Schenkbromsen har goda dynamiska egenskaper. Bromsen förordrar emellertid mer avancerad styrutrustning än den, som levereras av bromstillverkaren som standardtillbehör. Egenskaperna kan förbättras med hjälp av en snabbare och linjäriserad inre reglerloop. Det är denna, den så kallade ström-moment-loopen som gör det möjligt att förbättra regleringen i varvtalsloopen och att lägga till en finjusterande momentloop.



## 5.2 Förbättringar

Inset system är så komplett att det inte kan göras bättre. Detta gäller naturligtvis även det styrsystem, som behandlas i denna rapport.

I avsnitt 4.3 och 4.5 har några problem beskrivits. Nedan ges några ideer om hur dessa problem skall kunna undvikas:

I avsnitt 4.3 sköt varvtalet över då börvärdet ändrades från en ramp till ett stationärt värde. Överslänsen skulle kunna minskas genom att införa framkoppling av varvtalsbörvärdet. Således skulle börvärdesderivatan proportionellt kunna påverka strömregulatorn direkt. Varvtalregulatorn skulle då få en mer finjusterande karaktär eftersom börvärdet direkt påverkar bromsmomentet.

Lösningen av problemet i avsnitt 4.5 fordrar säkert en helt ny reglerparameter. Eftersom överslänsen här berodde på att motorns moment byggdes upp med tidsfördröjning, skulle man vilja finna en parameter, som förbättrade beskrivningen av momentet vid detta tillfälle. Trycket i insugningsröret skulle kunna vara en sådan parameter. Införande av en sådan parameter skulle medföra långtgående förändringar i styrsystemet.

Simulering av tröghetsmoment skulle kunna vara ett intressant tillägg. Detta skulle kunna ske genom att man reglerade varvtalet så att villkoret:

$$M=J*dn/dt$$

hela tiden blev uppfyllt. Här betyder M det uppmätta momentet, J det simulerade tröghetsmomentet och  $dn/dt$  vinkelfrekvensderivatan.

Detta skulle praktiskt kunna lösas med tillägg av en extra börvärdesmodul, som kalkylerar momentet enligt det givna villkoret.

### 5.3 Framtidsutsikter

I framtiden torde framförallt två olika faktorer komma att påverka motorprovbäddarnas utseende och dess styrsystem.

Den första och viktigaste faktorn är höjningen av energipriserna. Denna medför att användarna kommer att göra stora nyinvesteringar i bromsar som återvinner den utbromsade energin. Den elektriska generatoren är en bra sådan broms. Den utbromsade energin kan med hjälp av denna återföras till det elektriska nätet. Av den tillförda energin avgår en tredjedel med avgaserna, en tredjedel kyls bort och den sista tredjedelen bromsas bort och säljs till elverket.

Den andra faktorn, som kommer att påverka styrutrustningens utseende mycket, är tillgången på billiga datorer. Med hjälp av dessa kan man utföra reglering, som med tidigare teknik var helt omöjligt att åstadkomma. Det har exempelvis tidigare, av kostnadssjäl, varit helt omöjligt att reglera efter motorns samplade modell.

Av ovan nämnda skäl framsår det, att det i detta arbete konstruerade styrsystemet, tyvärr har en ganska kort framtid. Det kommer nästan uteslutande att användas till modifikation av äldre bromsar, trots att dess prestanda torde stå sig en bit längre.

6 REFERENSER

- 1 Governing of compression oil engines.

D.B.Welbourn

D.K.Roberts

R.A.Fuller

- 2 The dynamic transfer characteristics  
of reciprocating engines.

D.E.Bowns

- 3 Schenk

Bedienungsanweisung für Wirbelstrombremse

Grösse W 780

Fertigungs-Nr.LWK 0025

- 4 Code of federal regulations.

40

Protection of enviroment

Parts 70 to 99

July 1,1975

## APPENDIX

### A Bilder på utrustningen

#### Bild1:

Översta racken innehåller reglerystemet, samt vissa delar av det överordnade styrsystemet.

Andra och tredje racken innehåller programmoduler för styrsystemet.

Fjärde racken innehåller reglerutrustning för gaspådrags-servo

#### Bild2:

Programmoduler för det överordnade styrsystemet.

#### Bild3:

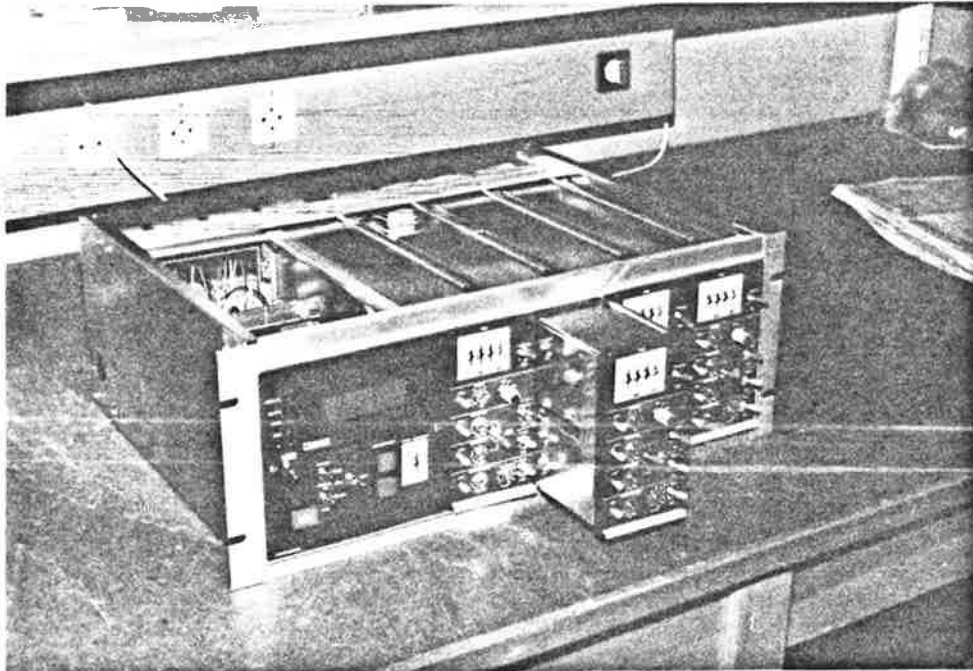
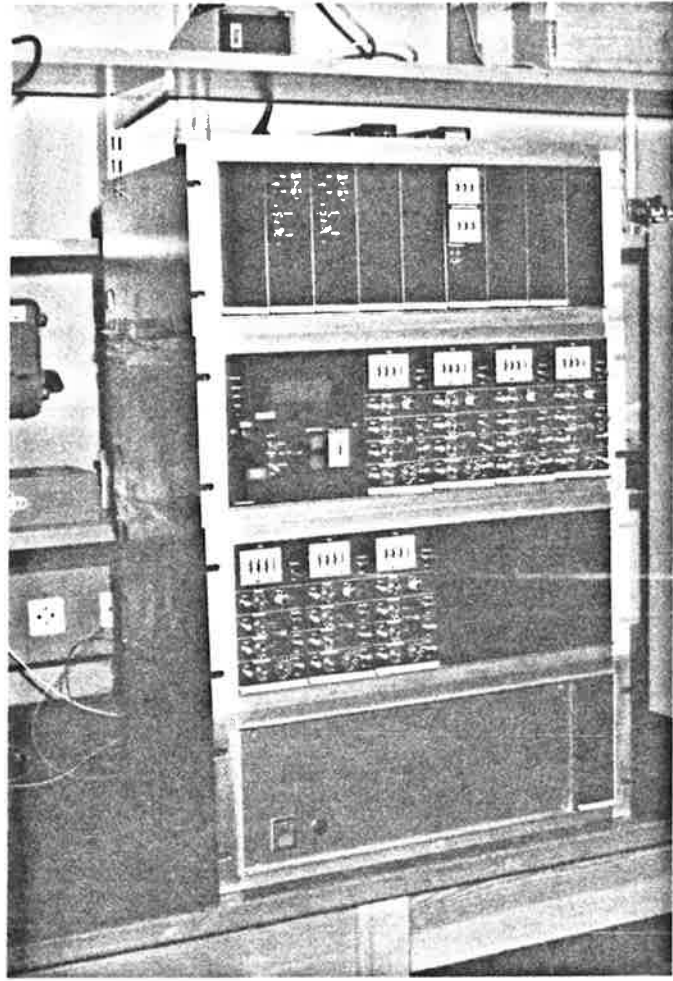
Reglersystemet för bromsen samt ramningsenheter för varvtal, moment och gaspådrag. Dessutom finns här en enhet som underlättar inställning av programmodulerna.

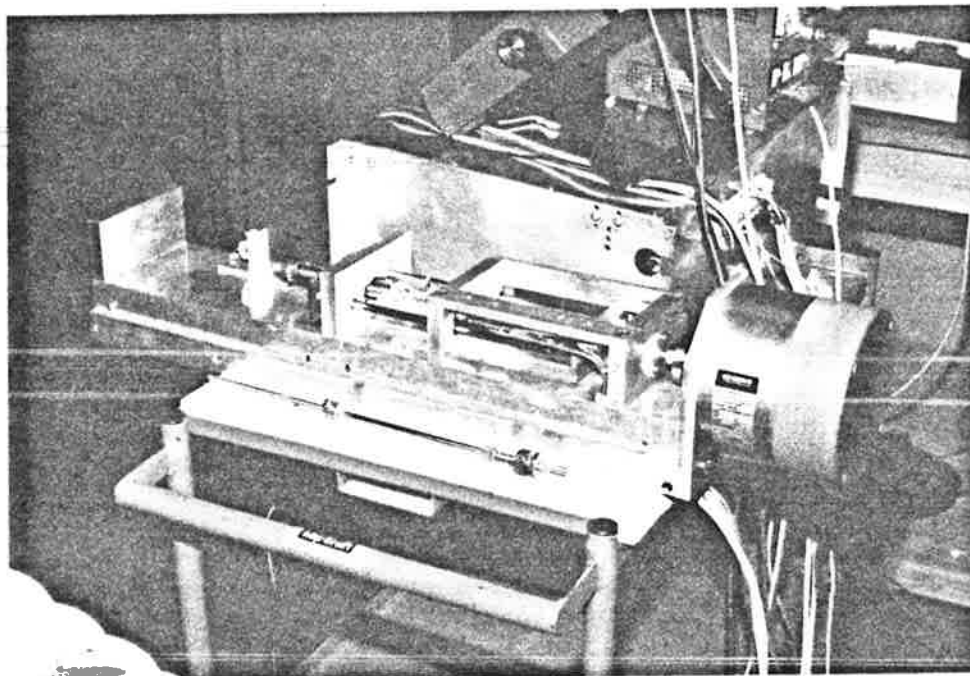
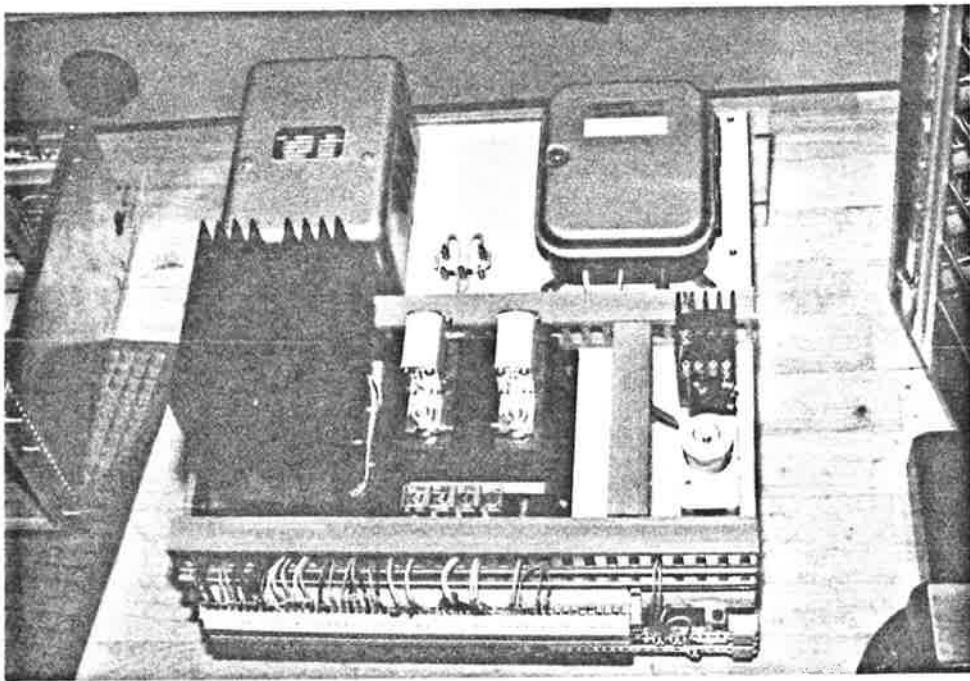
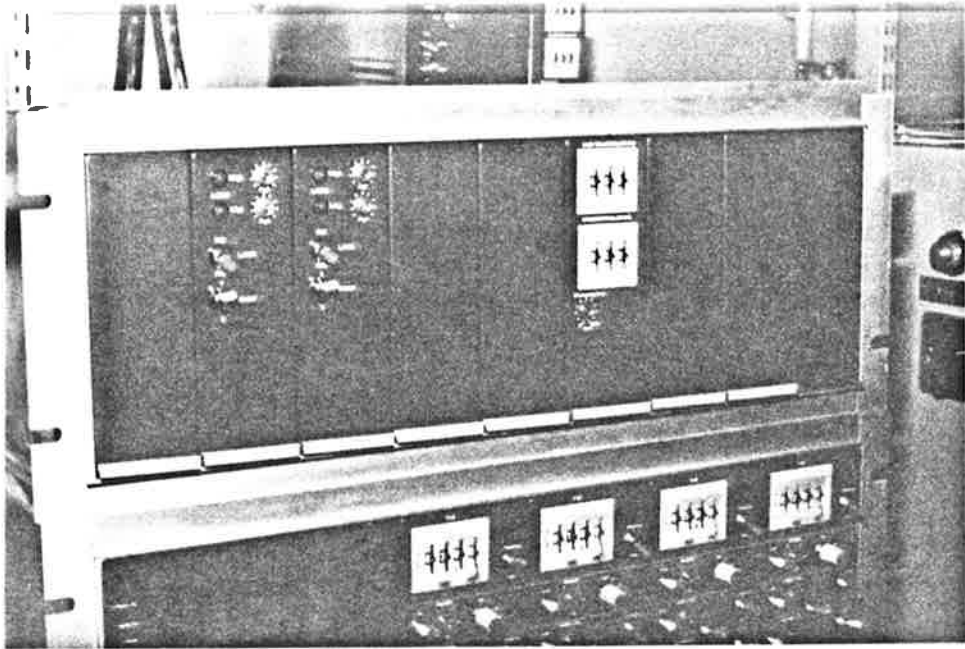
#### Bild4:

Tyristorstacken och transmittern för kraftsivaren.

#### Bild5:

Gaspådrags-servot.





B Datablad

Datablad1:

Likströmstakometer för varvtalsmätning.

Datablad2:

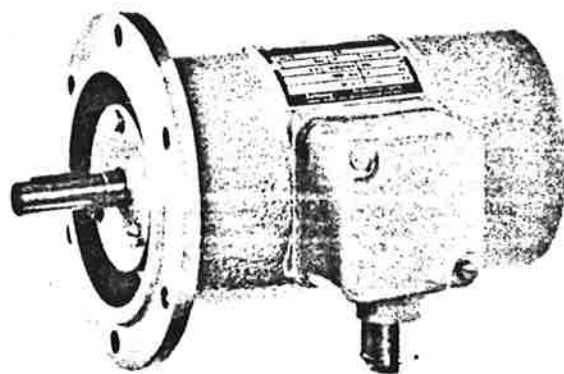
Kraftgivare för momentmätning.

# Gleichstrom- Tachogenerator Typ TG 74

Schutzart IP 44

Erregung: stabilisierte Permanenterrregung,  
temperaturkompensiert

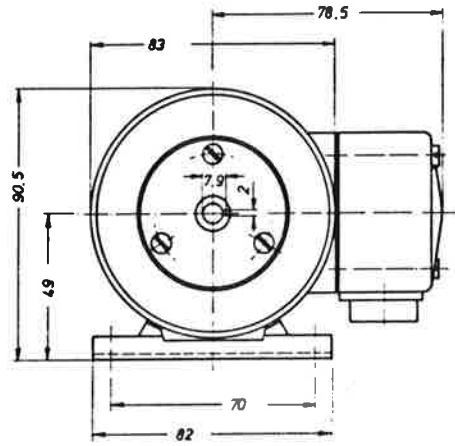
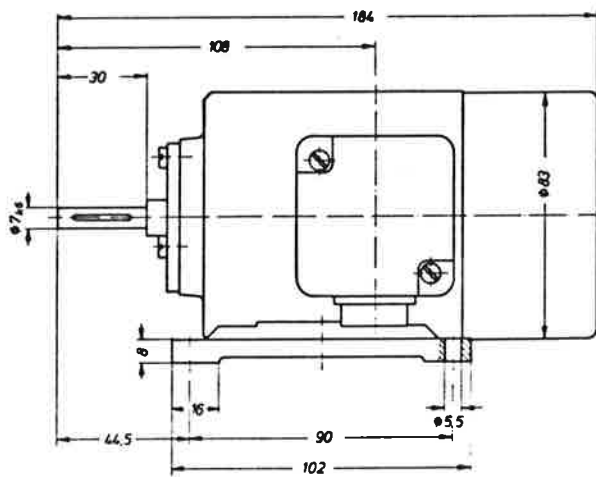
Bauformen: B 3, B 10



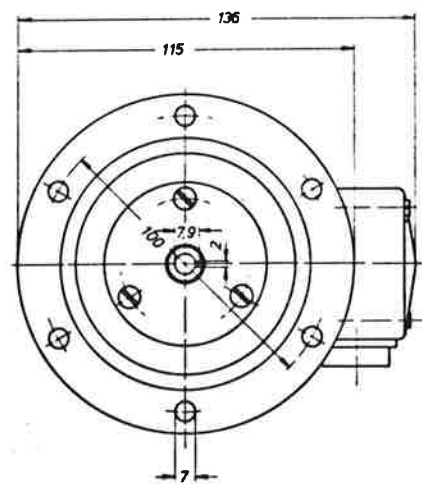
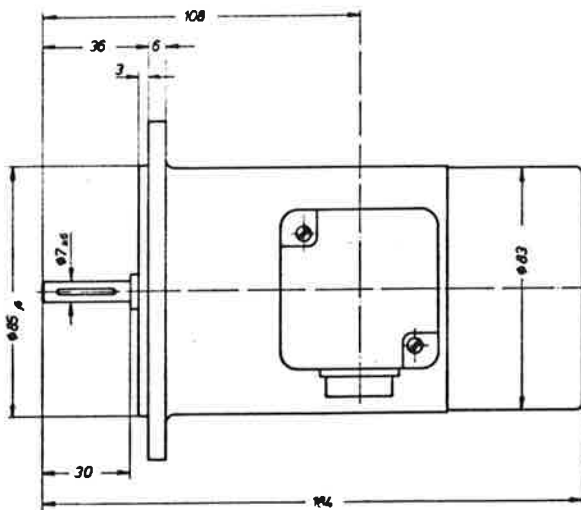
Nennleistung je min <sup>-1</sup>	4 m W v. 800 bis 3000 min <sup>-1</sup>
Maximale Maschinenleistung	12 W $\geq$ 3000 min <sup>-1</sup>
Nennspannungstoleranz	$\pm$ 6‰ (Einengung möglich)
Linearitätsabweichung	$\leq$ 1,5‰
Drehrichtung	reversierbar
Reversierfehler	$\pm$ 1‰
Temperaturgang bis 80° C	$\pm$ 0,6‰ pro 10 K bei 10 K pro Stunde
Überlagerte Wechselspannung (eff)	$\leq$ 5‰ ab 200 bis 3000 min <sup>-1</sup>
Polzahl / Umdrehungsfrequenz	2 / f <sub>n</sub> = n / 60 (Hz)
Nutenzahl / Nutenfrequenz	19 / f <sub>N</sub> = 19 f <sub>n</sub> (Hz)
Lamellenzahl / Lamellenfrequenz	57 / f <sub>k</sub> = 57 f <sub>n</sub> (Hz)
Max. Winkelbeschleunigung	10 <sup>4</sup> s <sup>-2</sup>
Trägheitsmoment J	1,15 kg cm <sup>2</sup>
Losbrechmoment	1,9 Ncm
Kohlebürsten	2 Paar AG 35, 5 x 4 x 8,5 mm
Maschinengewicht	2,5 kg

Type	Spannung bei 1000 min <sup>-1</sup>	maximale Drehzahl	Mindest- belastungs- widerstand	Ankerwider- stand bei 20° C $\pm$ 8‰	Nennstrom	therm. Grenz- strom
	Volt	min <sup>-1</sup>	Ohm	Ohm	mA	mA
TG 74 - 2	20	8000	100	8	200	600
TG 74 - 3	30	8000	225	19	133	400
TG 74 - 4	40	8000	400	31,3	100	300
TG 74 - 5	50	8000	625	51	80	240
TG 74 - 6	60	8000	900	81	66	200
TG 74 - 7	70	8000	1200	106	57	170
TG 74 - 8	80	8000	1600	135	50	150
TG 74 - 9	90	7000	2000	173	44	130
TG 74 - 10	100	6500	2500	217	40	120
TG 74 - 11	110	5500	3000	276	36	110
TG 74 - 12	120	5000	3600	299	33	100
TG 74 - 13	130	4800	4200	408	31	93
TG 74 - 14	140	4500	4800	437	29	86
TG 74 - 15	150	4200	5600	466	27	80





Bauform B3



Bauform B10



**BOFORS  
ELEKTRONIK**

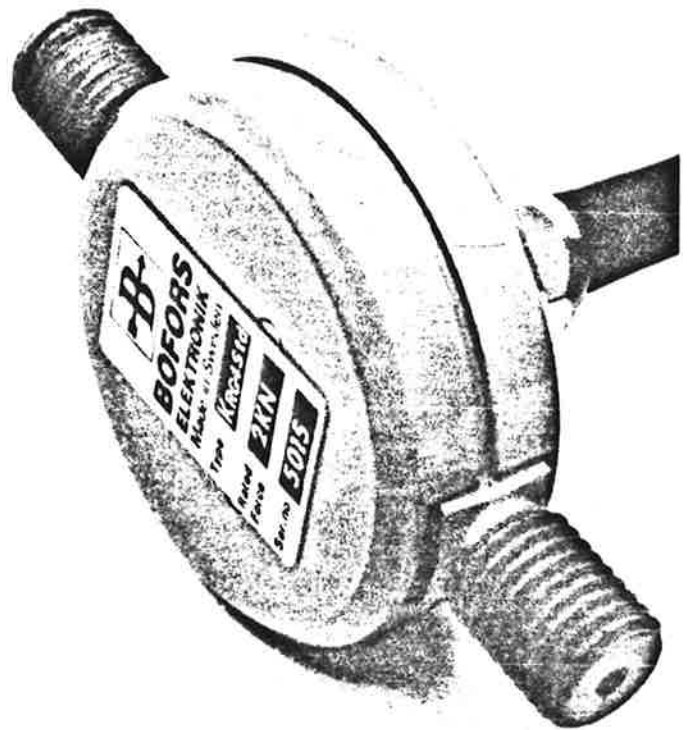
# FORCE TRANSDUCER KRG-4

The Force Transducer Type KRG-4 is intended for determining tension and compression forces and is manufactured in four ranges between 0 – ±2 kN and 0 – ±20 kN.

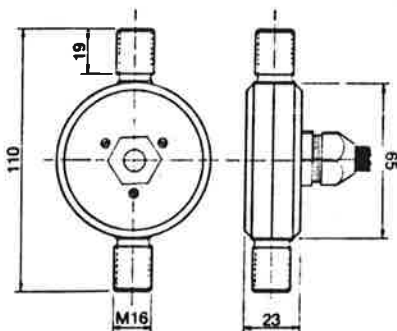
For the actual measuring element, strain gauges are used, giving a high degree of accuracy with good stability. The deformation suffered by the force transducer under full load is very small, which permits the transducer to be used in rapid measuring systems.

Due to the ring-shaped measuring device on this type of transducer, the sensitivity for bending forces is low.

Each transducer is supplied with an individual data and calibration sheet, in which all data required for its use are compiled.



## Dimensions

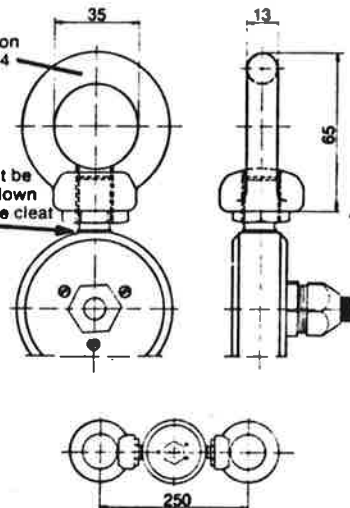


## End Fittings

With a safety factor  $\geq 5$  the maximum load is 4 kN. However, the lug can be used for loads of up to 20 kN without being permanently deformed. Loads having a fatigue character reduce the maximum permissible force.

Type designation  
DO-KRG-4

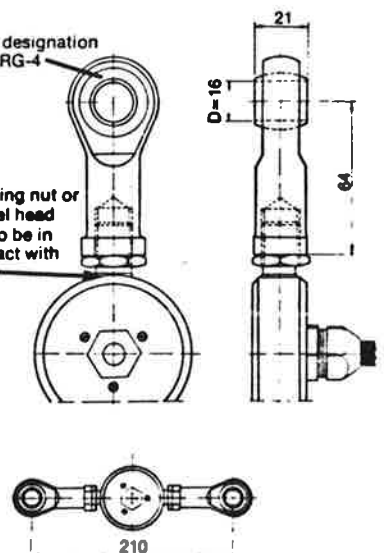
Securing  
nut or lug  
should not be  
screwed down  
against the cleat



## Swivel Heads

Type designation  
LH-KRG-4

Locking nut or  
swivel head  
not to be in  
contact with  
ring



## Technical description

The working principle of the transducer is based on the elastic deformation of a ring, which is loaded at two diametrically opposite points. Thus, both positive and negative strains are obtained along the periphery and transformed into electrical signals, with the aid of four resistive strain gauges bonded to the inside of the ring. The force to be measured is transmitted by the two threaded end bolts to the ring. Due to the symmetrical shape of the measuring element, the best possible compensation for oblique load is obtained. To protect the strain gauges against mechanical damage and the effects of moisture and temperature changes, the transducer is totally enclosed in a casing sealed with O-rings. The strain gauges are protected by a rubber compound, which gives a very good protection against moisture. The measuring element is rust-protected through a surface treatment and the covers are painted. The transducer is equipped with four active strain gauges, electrically connected to form a four-arm full bridge. The bridge corners are connected to a cable. The strain gauges are chosen with consideration to the best possible bridge balance and the smallest possible temperature dependence. Should a transducer be required with a better temperature dependence than that of the standard range, the transducer can be supplied with additional temperature compensation (type T 10).

For calibrating the transducer, external calibration resistors are used, which are connected between bridge corners B and C (shunt calibration). Thus, off-balance signals are obtained, corresponding to previously established force values indicated in the calibration sheet (supplied with the transducer). It is, in this way, possible to acquire a simple and accurate calibration of the entire measuring arrangement, as the force value corresponding to a given calibration resistor is valid independent of the input voltage, amplification, etc. used.

For measurements with strain gauge transducers, AB BOFORS manufacture a complete range of electronic instruments, all provided with a stabilized power supply for feeding the bridge, as well as with calibration and compensation devices for bridge balancing. The instruments can be obtained with or without signal amplifiers and are capable of both static and dynamic measurements.

When you order, please use article number.

		Standard	Temp.comp. type T10
Transducer	2 kN	01 102 697	01 125 148
"	5 "	01 102 698	01 125 149
"	10 "	01 102 699	01 125 150
"	20 "	01 102 700	01 125 151

Swivel head LH-KRG-4 01 125 271  
End fitting DO-KRG-4 10 301 597

## Instructions for use

In order to ensure high accuracy and trouble-free operation, the force transducer should be mounted so that it is not exposed to large transverse forces. If the force transducer is exposed to force variations of fatigue character, the measuring range should be chosen with due allowance for this.

## Technical specifications

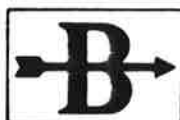
Rated force	±2, 5, 10, 20 kN
Rated output (open circuit)	2.5 mV/V input voltage
Tolerance of shunt calibration value	0.5%
Input voltage, recommended	15V
Input voltage, maximum	18V
Input resistance	350 ohms
Output resistance	350 ohms
Combined error (non-linearity and hysteresis) referred to the best straight line trough zero	Max. 0.1% of rated output
Repeatability	Within 0.1% of rated output
Temperature range	-40°C to +100°C
Temperature effect (between -10°C and +50°C):	

	Standard	Compensated Type T 10
On rated output % of recorded output voltage/ °C	≤0.04 <sup>1)</sup>	≤±0.005
On zero balance % of rated output/ °C	≤±0.02	≤±0.005

<sup>1)</sup> For rated force 2 and 5 kN this value is 0.06.  
Overload: Safe 75% of rated force  
Ultimate 150% of rated force  
Deflection at rated force 0.1–0.2 mm  
Electrical connection 3 m cable

The above data are valid at room temperature.

We reserve the right to modify design specifications and data without notice.



**BOFORS  
ELEKTRONIK**

Address: P.O. Box 600, S-690 20 Bofors, Sweden.  
Tel. 0586/360 00 Telex: 735 74 BONIK S