

PROJEKTERING AV ELEKTROMEKANISK PRESENTATIONSARM

HANS TROVIK

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET
UTLÄNAS EJ

Rapport RE - 66 okt. 1969

Projektering av

ELEKTROMEKANISK PRESENTATIONSARM

Examensarbete av

Hans Trovik

Handledare:

Jan Åkerlind

Oktober 1969

Abstract

The SVEN-group within the Research Institute of the Swedish National Defense has developed a complete artificial arm with active shoulder joint, elbow, and rotatable forearm together with flexible hand joint, fingers and thumb. Hybrid simulation is used to investigate the properties which the above artificial functions should have in order that the various parts be as easily manouverable as possible.

The result should be given in a form easy to interpret visually; an electromechanic demonstration arm would well satisfy this demand. This report is the result of design work carried out prior to a projected construction of such an arm.

The work includes a construction plan, including choice of components such as drive units and bearings, together with a hybrid simulation of the drive system for the motion of the elbow including dimesioning of the servosystem's circuit parameters.

Sammanfattning

Inom SVEN-gruppens ram utvecklas vid FOA 2 en fullständig armprotes med aktiv skulderled, armbåge, vridbar underarm samt flexion av handled fingrar och tumme. Därvid utreds med hjälp av hybrid simulering vilka egenskaper dessa protesfunktioner bör ha för att bli så lätt manövrerbara som möjligt.

Resultatet skall ges en enkel visuellt tolkbar form, och en elektromekanisk presentationsarm skulle väl tillfredställa dessa krav. Denna rapport är resultatet av det projekteringsarbete, som genomförts inför en kommande tillverkning av en sådan.

Arbetet omfattar ett direkt konstruktionsförslag inkluderande val av komponenter som drivande enheter och lagringar, samt en hybridsimulering av drivsystemet för armbågens flexion och dimensionering av servosystemets kretsparametrar.

Trevik

Sid nummering, figurnummer.
Bättre om siffror.
Sammanfattning.

" An ~~electronic~~ Hecke. Arm Display.

2.2 Lite mer om bakgrunden
till varför den ser ut som den gör.

Se protosen likadant ut? Rent geometrisk?

(12) Hur ser kompenseringen ut? $G(s)$?
Bodediagram?
Tasmanquial?

(14) Hur ser protomodellen ut?
Diff. eller?

/10.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING
 2. ELEKTROMEKANISK PRESENTATIONSARM
 - 2.1. Förutsättningar
 - 2.2. Beskrivning av armkonstruktionen
 1. Allmänt
 2. Hand
 3. Underarm
 4. Armbågsled
 5. Överarm
 6. Skulderled
 7. Resultat
 3. HYBRIDSIMULERING
 - 3.1.1. Val av simulerad funktion
 2. Modell
 - 3.2.1. Analogisimuleringen
 2. Simuleringens digitaldel
 - 3.3. Resultat
 4. REFERENSER
- APPENDIX:
- A. Konstruktionsritningar
 - B. Viktigare komponenter. Data och beskrivningar
 - C. Simuleringens resultatkurvor
 - D. SEMA 1.
 - E. SIMPUS

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING
 2. ELEKTROMEKANISK PRESENTATIONSARM
 - 2.1. Förutsättningar
 - 2.2. Beskrivning av armkonstruktionen
 1. Allmänt
 2. Hand
 3. Underarm
 4. Armbågsled
 5. Överarm
 6. Skulderled
 7. Resultat
 3. HYBRIDSIMULERING
 - 3.1.1. Val av simulerad funktion
 2. Modell
 - 3.2.1. Analogisimuleringen
 2. Simuleringens digitaldel
 - 3.3. Resultat
 4. REFERENSER
- APPENDIX:
- A. Konstruktionsritningar
 - B. Viktigare komponenter. Data och beskrivningar
 - C. Simuleringens resultatkurvor
 - D. SEMA 1.
 - E. SIMPUS

1. Inledning

Som ett led i SVEN gruppens utvecklande av en armprotes ingår hybrid-simulering av densamma vid institutionen för Reglerteknik vid KTH, med sikte på att utreda vilka statiska och dynamiska egenskaper hos protesens styrningsproblemen. (Ref 1). Presentation av simuleringen görs f.n. genom en bild på en oscilloskop skärm. Med hjälp av en elektromekanisk armodell blir åskådligheten avsevärt större, och detta arbete avser att ge ett förslag till utformning av en sådan.

Den första delen innehåller en beskrivning av presentationsarmens enskilda delar med skisser. Därpå följer en detaljerad analys av en ledfunktion som genomförts genom simulering på hybrid-simulatoranläggningen vid institutionen för Reglerteknik, KTH. (Ref. 2). Denna del innehåller schema över de modeller som använts, och flödesschema över det program som styrt simuleringen via hybridmaskinens digital del.

Till appendix har förelagts konstruktionsritningar för förslaget samt datablad och beskrivningar av speciella konstruktionsdetaljer, t.ex. drivorgan.

I appendix finns vidare de kurvor som åskådliggör simuleringsergebnaten och utskrifter på de digitala program som använts.

2. Elektromekanisk presentationsarm

2.1 Förutsättningar

En analog spänning är utstorhet från den simulerade protesmodellen, och denna skall omvandlas till ett vinkeläge hos presentationsarmen.

Protesmodellen har följande maximala värden på hastigheter och vinkelutslag:

Handledflexion	120°/s	± 60°
Underarms prosupination	180°/s	±150°
Armbågs flexion	120°/s	10°-125°

De dynamiska egenskaperna hos presentationsarmen skall vara försumbara i jämförelse med den simulerade protes-dynamiken. Presentationsarmen har således gjorts lätt och snabb.

Armen skall innehålla följande ledfunktioner.

1. Hand med enkelt grepp
2. Handledsflexion
3. Underarms-prosupination
4. Armbågsflexion
5. Överarmsprosupination
6. Skulderled.

2.2 Beskrivning av armkonstruktionen.

2.2.1 Allmänt

Önskemålen om snabbhet och försumbar dynamik har gjort det nödvändigt att minimera vikt och tröghetsmoment. Som konstruktionsmaterial har sålunda föreslagits dels plexiglas dels magnesiumlegeringen elektron, där påkänningarna beräknats bli större.

De motorer som placerats i rörliga delar, har lagts så nära skuldran som möjligt, räknat i radiell led, med armen utsträckt.

För att i någon mån standardisera, har endast två typer av DC-motorer föreslagits, nämligen Dunker GR 18x8 och Vactric size 08, båda av permanent-magnet typ med möjlighet att applicera standard gear-heads. Datablad för motortyperna, se appendix B.

Valet av vinkelavkännande organ har stått mellan konventionella potentiometrar och vinkelgivare baserade på trådtöjningselement i bryggkoppling och efterföljande differentialförstärkare. De förra är ur ekonomisk synvinkel att föredra medan de senare klart överlägsna ur vikts synpunkt. Trådtöjningsgivarna kräver emellertid utökad elektronik och ställer sig alltså dyrare. Ur prestanda synpunkt, råder ingen avgörande skillnad. En kompromiss skulle vara att de mer kritiska lederna, exempelvis handleden, förses med töjnings element, medan de övriga utnyttjar potentiometrar.

Nedanstående konstruktionsförslag baserar sig på töjningsgivare, men modifieringar i konstruktionen och lämpliga placeringsställen för potentiometrar har angivits i konstruktions ritningarna.

För utformning och data för vinkelgivaren, se appendix B.

För att göra konstruktions beskrivningen överskådligare numreras drivmotorerna enligt följande:

Motor Nr.	Funktion
1.	Driver handledsflexionen
2.	Driver underarms rotationen
3.	Driver armbågs flexionen
4.	Driver överarms rotationen
5.	Driver skulderledens flexion
6.	Driver skulderledens sagitalrotation

2.2.2 Hand

Handen tillverkas av plexiglas, och greppet markeras med ett "finger" likaledes i plexiglas. Fingret drivs av en liten dragmagnet (a), som utvecklats på Försvarets Forskningsanstalt för en pneumatisk ventil. För data, se appendix B. Greppet har således endast ett till- och ett från läge. I öppet läge är gapet mellan hand och finger ca. 5 mm.

Hand

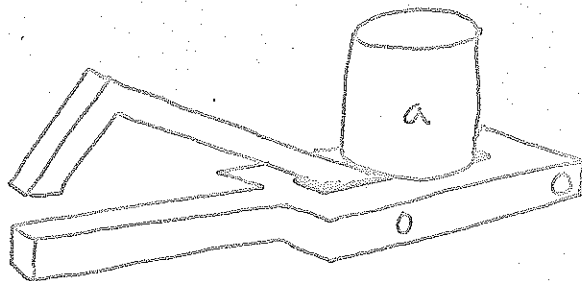


fig. 1.

2.2.3 Underarm

Underarmen tillverkas i fackverkskonstruktion av elektron. Handledsflexionen drivs via en konisk vinkelväxel (a) kring en axel i underarmens ytterände (c). Drivkällan, motor 1, utgörs av en Dunker motor plus gearhead.

Som vinkelavkännande organ för servosystemet till handleden föreslås en givare av tådtöjningstyp (b).

Till underarmen förläggs ytterligare en Dunker motor, motor 2, av samma typ som ovan. Denna driver via en kuggkrans i arm-bågsleden underarmsprosupinationen.

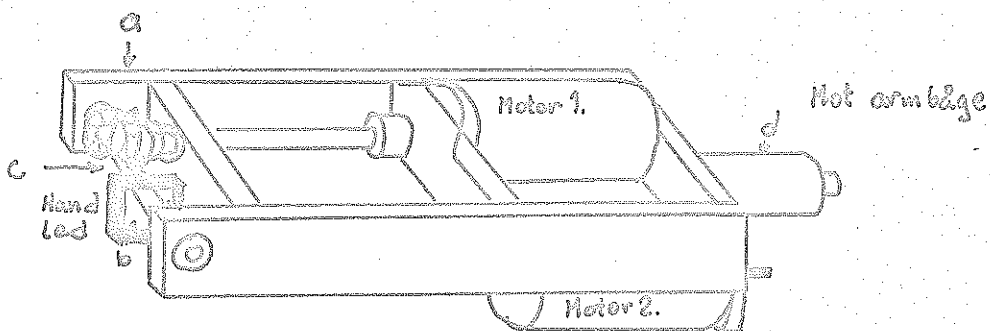


fig.2 Underarm

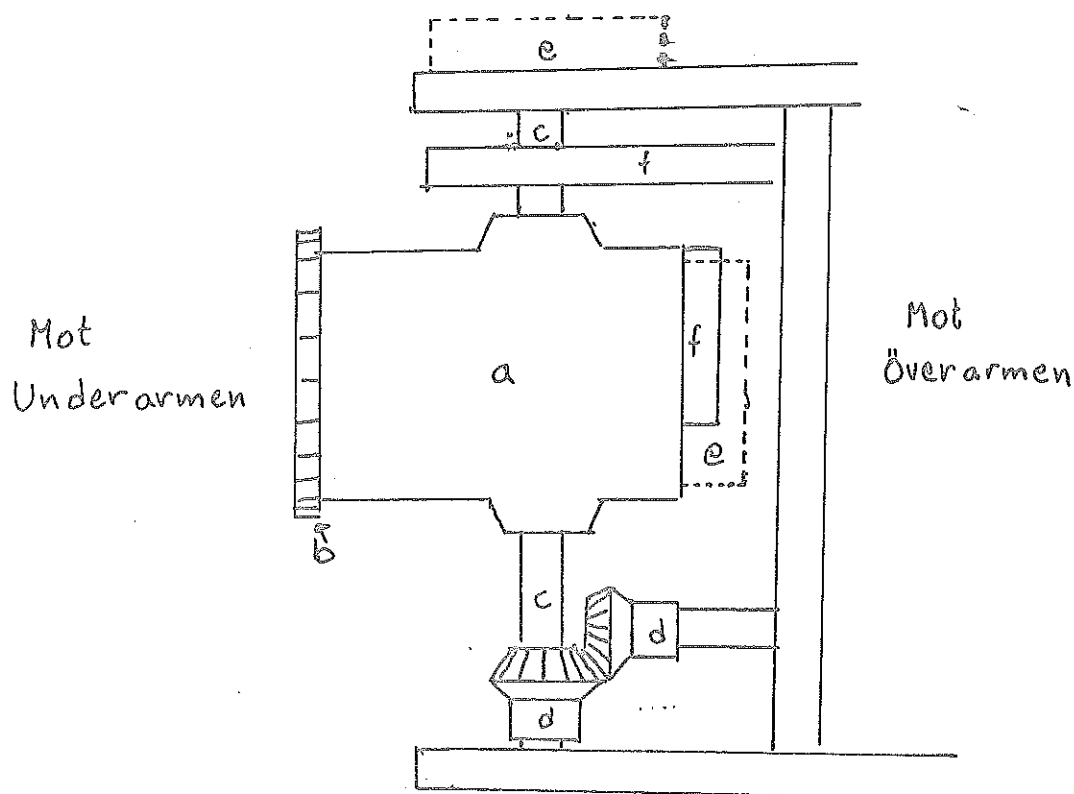
2.2.4 Armbågsled

Underarmens övre ände utgörs av en tapp, fig 2(d), som lagras i en hylsa (a). Underarmens prosupination sker genom att motor 2 vrider kring en kuggkrans fästad i armbågshylsans ände (b).

I hylsan är infästade två axlar i linje och dessa utgör tillsammans rotationsaxel (c) för armbågsflexionen. Drivkälla är i överarmen placerade motor 3 av typ Vactric 08 med gearhead, som driver på flexions axeln via en konisk växel (d).

I armbågen kan möjligen potentiometrar (e) ersätta töjningsgivarna (f) som vinkelkännande organ. Flexions axeln får då förlängas och potentiometern placeras utanför längsbalken. För prosupinationsavkänningen placeras potentiometern lämpligen i armbågshylsans förlängning.

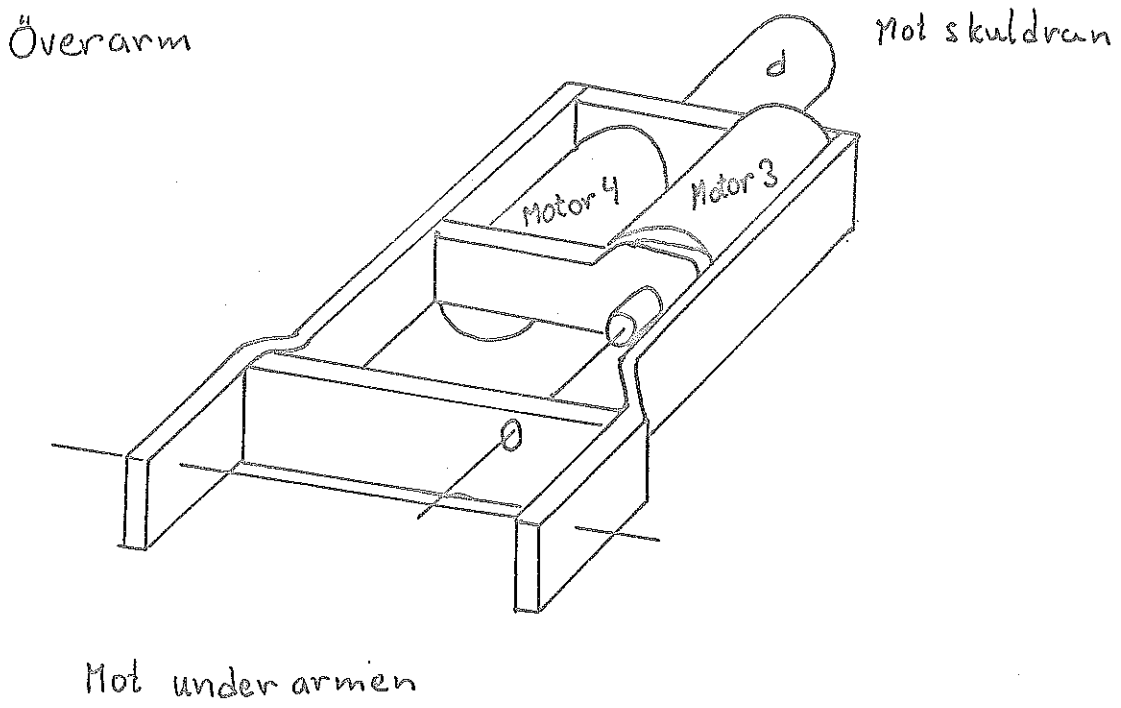
Detalj Armbågsled



figur 3.

2.2.5 Överarm

Överarmen utföres i likhet med underarmen av elektron, i fackverkskonstruktion. I överarmen är monterade två Vactric 08 motorer med gearhead. Den ena, motor 3, driver armbågsflexionen och den andra, motor 4, överarmsvridningen. Den sistnämnda rörelsen sker, i likhet med underarmsprosupinationen genom rotation kring den hylsa i vilken överarmen är lagrad i skuldran.



figur 4.

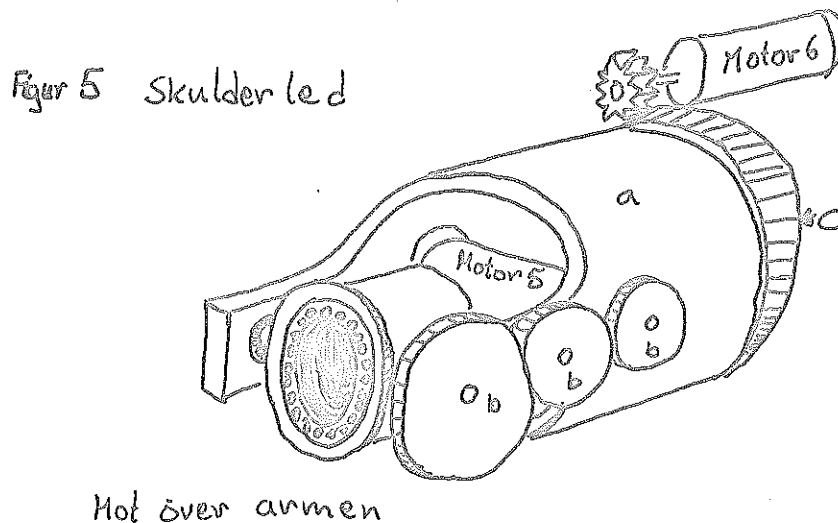
Skuldran intar en särställning bland konstruktionens delar genom att någon motsvarighet på den verkliga protesens ej ännu är under utvecklande. Detta medför förutom vaghet i önskade prestanda även en risk för ett system som är illa anpassat till den framtida protesskuldrans rövelseregister.

Den här föreslagna konstruktionen medger tillsammans med överarmsvridningen samtliga de lägen en mänsklig axelled kan prestera. En framtida justering av hastighetsprestanda kan tämligen enkelt åstadkommas genom val av andra motorer och annorlunda utväxling.

Stommen för skulderleden är ett rör (a) av elektron eller ev. starkare material som fasats av till två parallella balkar i ena änden. I balkarna lagras axeln för skulderledens flexion på samma sätt som i armbågsleden. Som drivkälla, motor 5, föreslås preliminärt en Vactric 08 med gearhead. Kraften överförs via en trehjuls rak växel (b) liggande utanpå skuldran.

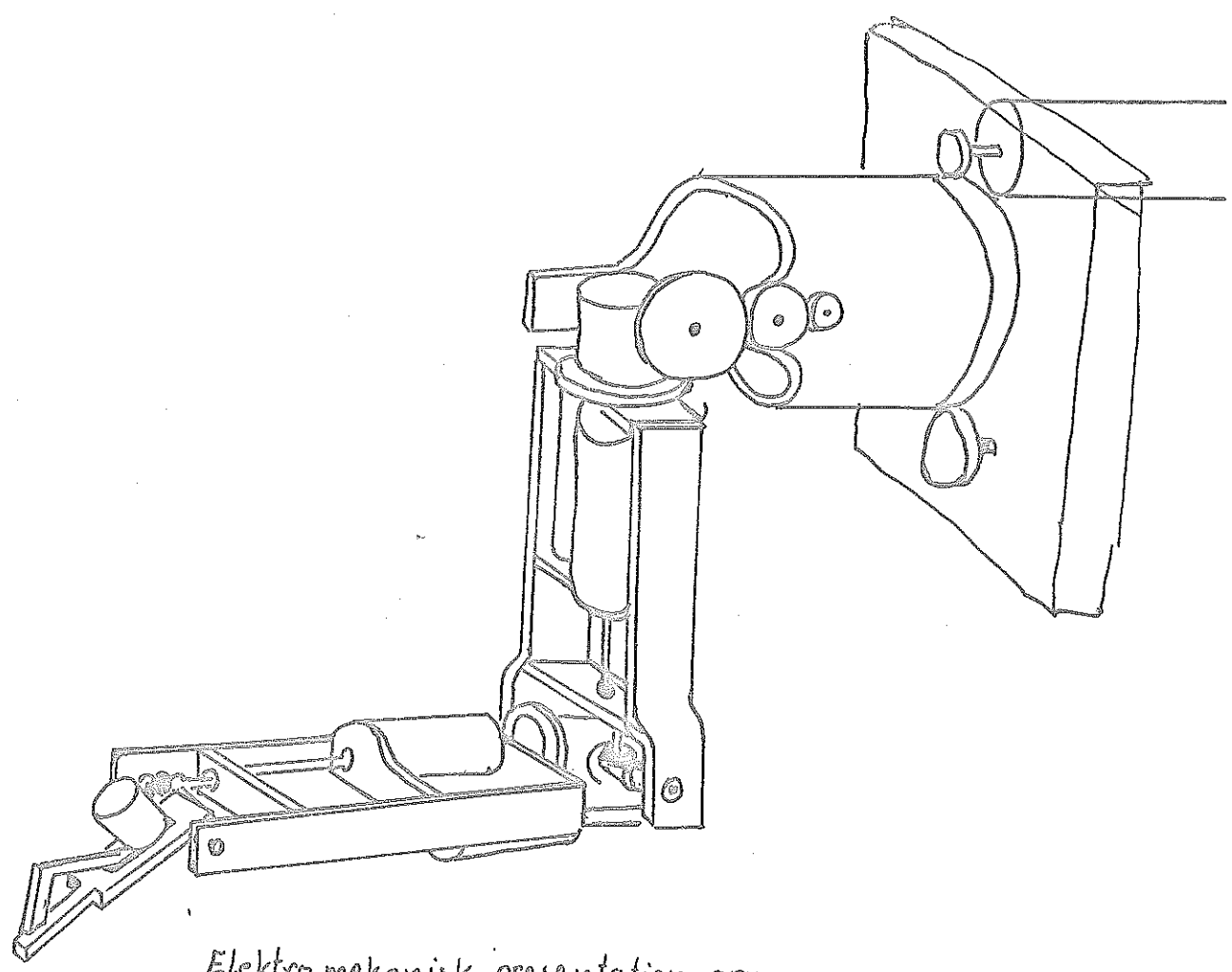
Ytterligare en rörelsefrihet åstadkoms genom att röränden lagras på en tapp. Kring denna kan skuldran roteras genom att motor 6 (Vactric 08 m. gearhead) driver på en kuggkrans placerad omkring rörets ände (c).

I skulderleden kan de vinkelkännande töjningsgivarna utan olägenhet utbytas mot potentiometrar. Lämpliga placeringar av dessa är markerade i konstruktionsritningen.



2.2.7 Resultat

Den föreslagna konstruktionen kommer att få ett ungefärligt utseende enligt nedanstående figur. Skulderleden lagras som tidigare nämnts på en tapp. Dessutom bör i upphängningsstativet beredas plats för motorinfästning, samt inplacering av vinkelkännande organ.



Elektro mekanisk presentations arm

figur 6

3. Hybridsimulering

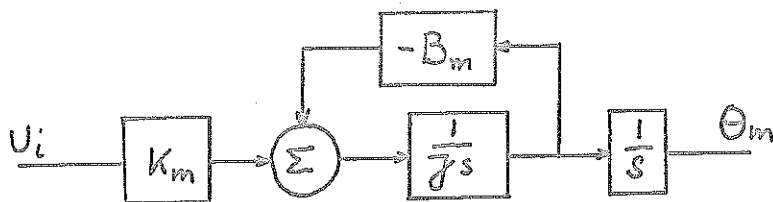
3.1.1 Val av simulerad funktion

För att undersöka om presentationsarmen kan ges en snabbhet och en dynamik, som gör dess överföringsfunktion försumbar i jämförelse med protes modellen, utfördes en simulering av presentationsarmens armbågsflexion.

Att denna ledfunktion valdes, beror på att, som tidigare nämnts, ingen jämförelse till skulderleden och överarmsvridningen finns tillgänglig, och att de övriga, handledsflexion och underarmsvridningen, säkert kan göras tillräckligt "bra" om armbågen kan ges önskad snabbhet och felmarginal.

3.1.2 Modell

Motorn kan representeras av följande schema



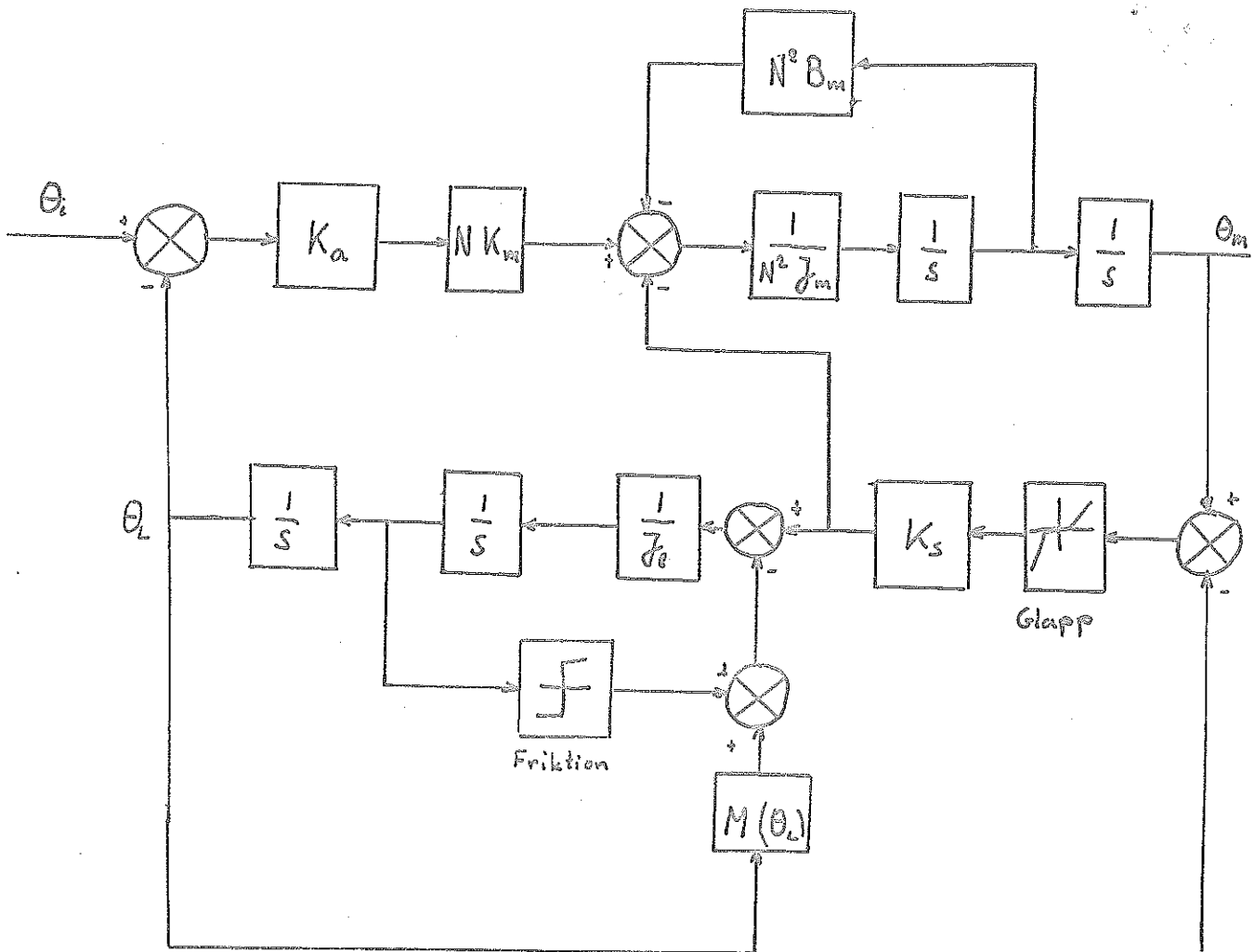
där U_i är inspänning

K_m är motorns vridmomentsförstärkning

B_m är motorns dämpning

och Θ_m motorns utvinkel

Om motorn belastas via en växel och lägges återkopplas, utgör följande schema en modell av systemet.



Figur 7.

där

K_a	betecknar	Spänningsförstärkningen
N		Utväxlingsförhållandet
J_m		Motorns tröghets moment
θ_m		Motorns utvinkel
K_s		Växeln styvhet
J_l		Lastens tröghets moment
θ_L		lastens utvinkel
$M(\theta_L)$		Last moment

Ty följande systemekvationer gäller för det återkoppl. systemet.

$$\text{För motorn } N^2 J_m \ddot{\theta}_m = N K_m K_a (\theta_i - \theta_L) - N^2 B_m \dot{\theta}_m - K_s (\theta_m - \theta_L)$$

$$\text{För växeln } J_L \ddot{\theta}_L = K_s (\theta_m - \theta_L) - T_f (\dot{\theta}_L) - M(\theta_L) \quad \text{ref(3 o 4)}$$

$T_f(\dot{\theta}_L)$ betecknar torrfriktionsmoment i växeln

$$T_f(\dot{\theta}_L) = T_{fo} \frac{\dot{\theta}_L}{|\dot{\theta}_L|} \quad T_{fo} \text{ antages konstant 5\% av max. överfört vridmoment.}$$

Konstanter för armbågsledens drivsystem

N		1.40	
J_m		$2,7 \cdot 10^{-7}$	kgm ²
T_s	Motorns maximala vridmoment	$1,23 \cdot 10^{-2}$	Nm
n_o	Motorns max. tomgångsvarv	8500	rpm
B_m		$1,38 \cdot 10^{-5}$	Nms/rad
K_m		$0,44 \cdot 10^{-3}$	Nm/rad
K_a	Spänningsförstärkningen		
K_s		$1,18 \cdot 10^2$	Nm/rad
J_L		$5,93 \cdot 10^{-4}$	kgm ²
T_{fo}		$2,46 \cdot 10^{-2}$	Nm

K_s är beräknad ur den axeldimension, som angivits i konstruktionsförslaget. Om dessutom växlar av sådan precision väljes, och krets förstärkningen görs tillräckligt stor att glapp kan försummas, betyder detta, att växelsimuleringen kan försummas.

Följande ekvation är då giltig för öppna systemet.

$$(N^2 J_m + J_L) \ddot{\theta}_m = N K_m K_a \theta_i - N^2 B_m \dot{\theta}_m - M(\theta_m) - T_f(\dot{\theta}_m)$$

3.2.1 Anlogisimuleringen

θ_m och θ_i amplitud-skalas till området $\pm\pi$

Det öppna systemets överföringsfunktion om moment och friktion försummas

$$G_o(s) = \frac{K}{S(ST+1)} = \frac{K_a \cdot 0,8}{S(0,046S+1)}$$

Det slutna systemet blir

$$G(S) = \frac{\frac{K}{T}}{S^2 + \frac{S}{T} + \frac{K}{T}}$$

Preliminära specifikationer

$$\begin{aligned} e_o &= 0 \\ e_1 &\leq 1^\circ \\ \zeta &= 0,7-0,8 \\ f_o &> 10 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Med en egen-frekvens hos systemet på 20 Hz erhålls $K_a=910$ och överföringsfunktionen

$$G(S) = \frac{15900}{S^2 + 21,8S + 15900}$$

Dämpningen är här $\sim 0,09$

Ett sätt att simulera denna ekvation på analogmaskin visas i figur 8. I kopplingen är ett stabiliserande nät inlagt för att förbättra modellens transient egenskaper. Nätet är av fasavancerande typ och ökar fasmarginalen vid skärningsfrekvensen. Vid tidsskalning med $\beta=20$, är lämpliga komponentvärden $C = 6,6 \mu\text{F}$, $R_1 = 90 \text{ k}\Omega$ och $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.

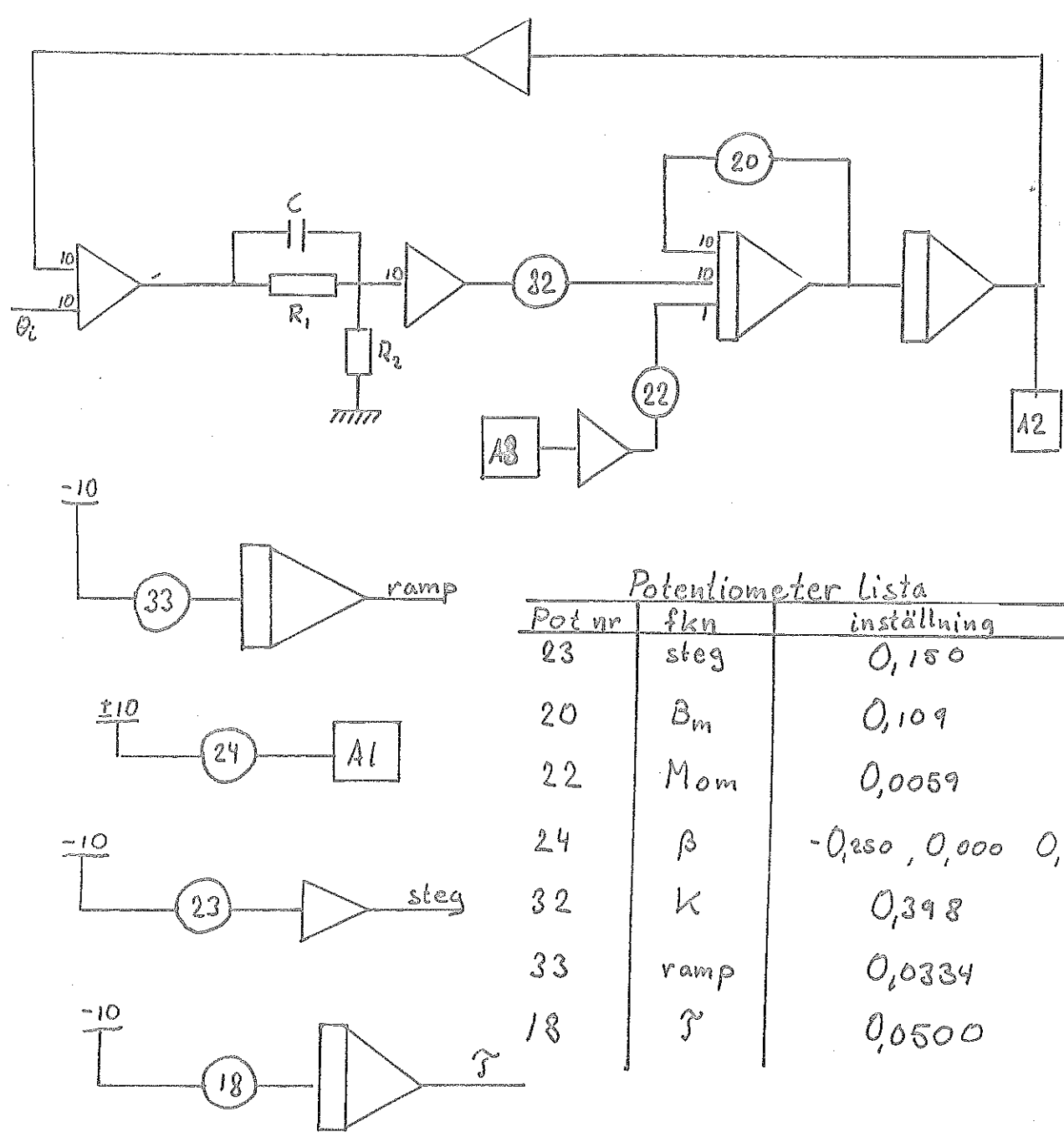


Fig 8. Anlogsimulering av överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{15\ 900}{s^2 + 21,8 s + 15\ 900}$$

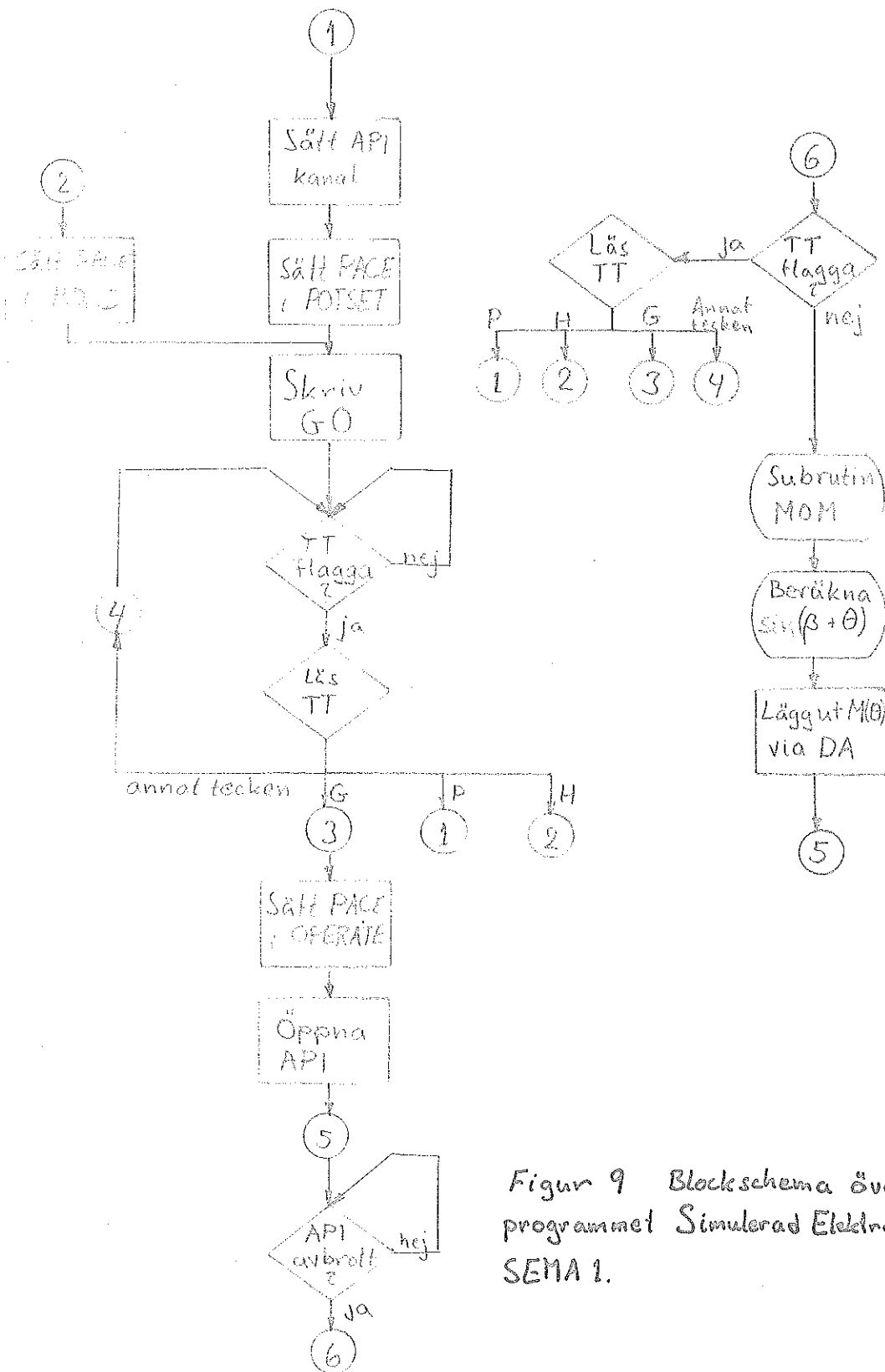
efter tidsskalning med faktorn $\beta = 20$

3.2.2 Simuleringens digital-del

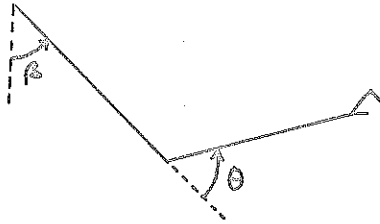
Hybridsimulatorns digital del PDP-7, används för att

1. Administrera simuleringen
2. Läsa spänningar representerande de analoga storheterna skuldervinkeln β och armbågsvinkeln θ definierade enligt fig.
3. Beräkna de trigonometriska olinjäriteter som ingår i protesmodellen.

Digital-programmet återfinns i appendix.



Figur 9 Blockschema över digital-programmet Simulerad Elektromekanisk Arm SEMA 1.



Figur 10. Definition av
Vinklar i armbögs-simuleringen.

3.3 Resultat


Hybridsimuleringen verifierar att de önskade egenskaperna ligger väl inom möjligheternas gräns. De specifikationer som preliminärt uppställdes som mål kunde väl uppfyllas.

Stegsvaret för den odämpade presentationsarmen uppvisade, som väntat, en svag dämpning. Appendix C blad 1.

Egensvängningsfrekvensen kunde samtidigt konstateras ligga vid ungefär 20 Hz. Ett mycket snabbt system hade således erhållits.

Den svaga dämpningen gjorde ett kompensande filter nödvändigt.

Ett optimalt värde på ingående komponenter bestämdes genom preliminärberäkning med efterföljande experimentell finjustering. Ett lämpligt fasavancerande filter med passiva komponenter har följande värden i realtidstillämpning $R_1 = 90 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ och $C = 0,33 \text{ }\mu\text{F}$, beteckningar enligt fig 8. Stegsvaret med insatt kompensationsfilter återfinns i appendix C blad 2. Systemet är snabbt och dämpningen bra.

Hastighetsfelet, som önskades $< 1^\circ$, visar sig  vid följning av en rampsignal något snabbare än vad praktisk användning av armen kommer att fordra, ha ett max. värde på $0,65^\circ$. Se Appendix C blad 3.

Då insignalen till presentationsarmen produceras av ett andra ordningens system, kommer dessutom riktningsprång, av det slag som uppstår vid start av testrampen, inte att förekomma, varför lägesfelet sannolikt kan räknas vara mindre än $0,5^\circ$ i praktisk användning.

För att undersöka om det statiska felet var litet, avbröts rampen, varvid felsignalen snabbt gick till noll. Appendix C blad 4.

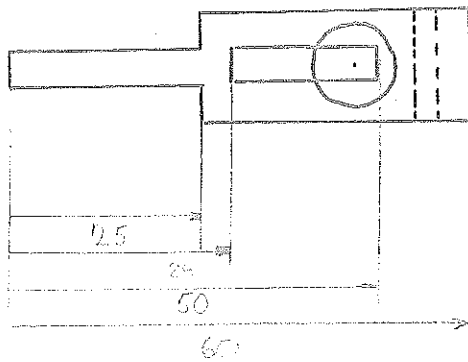
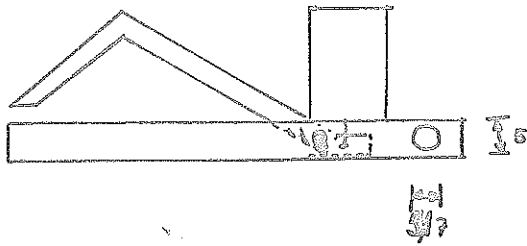
4. Referenser

1. Åkerlind. Biotekniska Protessystemstudier SVEN-ProjektIV.1968
2. Hälldin-Lindeborg-Åkerlind. Hybridsimulatorn vid Reglerteknik KTH. 1966.
3. Chubb. Modern Analytical design of instrument servomechanisms.
Addison-Wesley Publishing Company 1967
4. Davis-Ledgerwood. Electromechanical components for servomechanisms.
Mc Graw-Hill Book Company 1961

Elektromekanisk presentationsarm

Hand

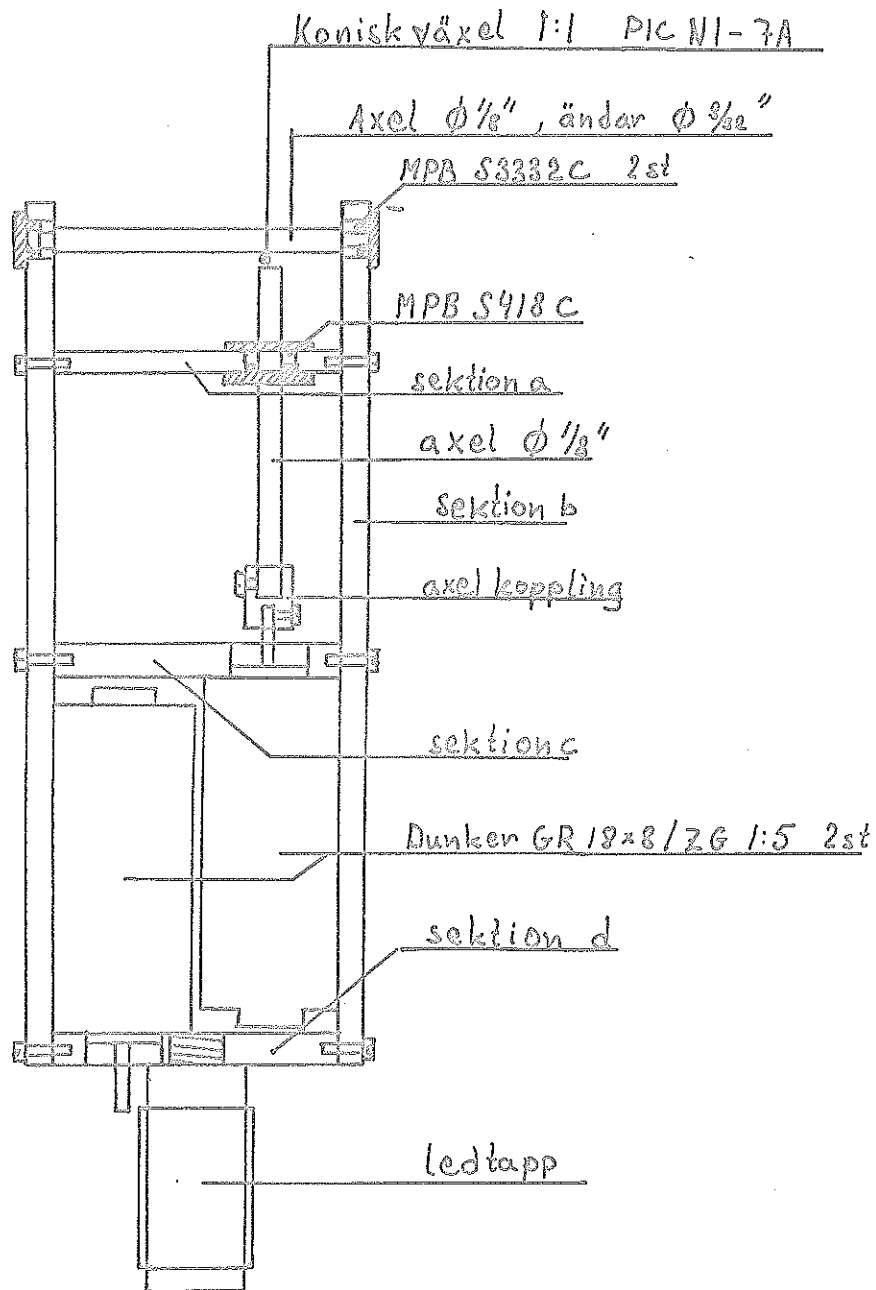
Skala 1:1



Ht 22.10.69

Elektromekanisk presentationsarm

Under arm skala 1:1

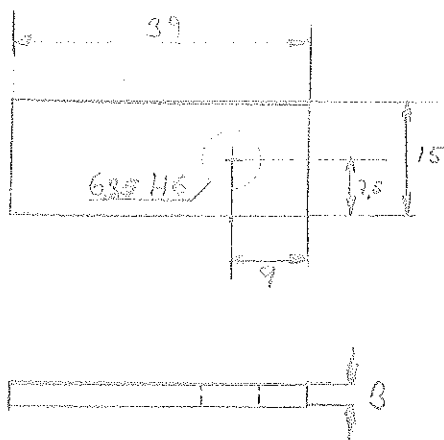


Hr 22.10.69

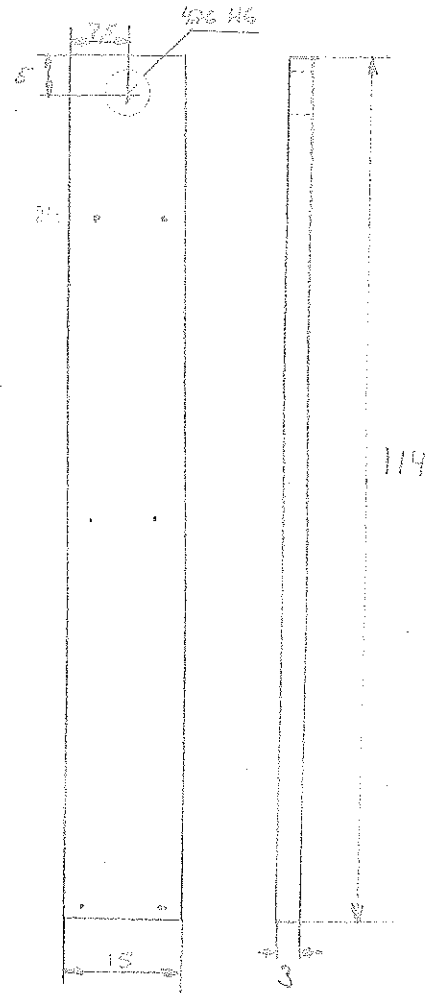
Elektromekanisk presentations arm

Underarmnings sektioner Skruja 1.1

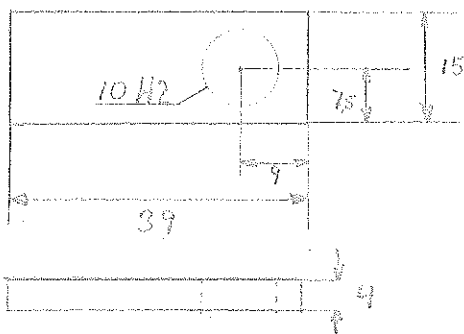
Sektion a



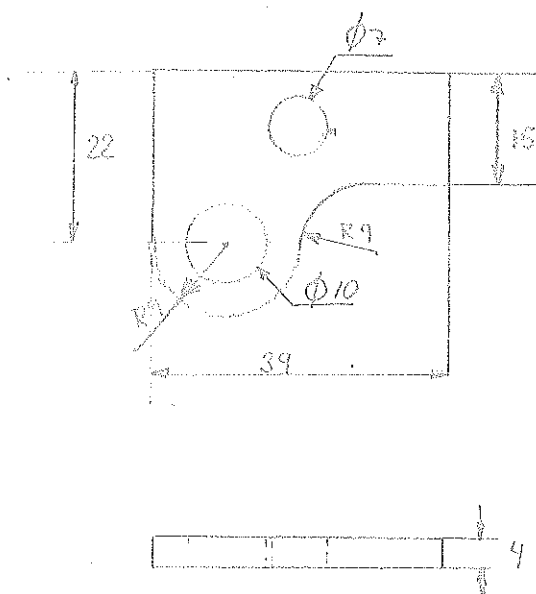
Sektion b



Sektion c



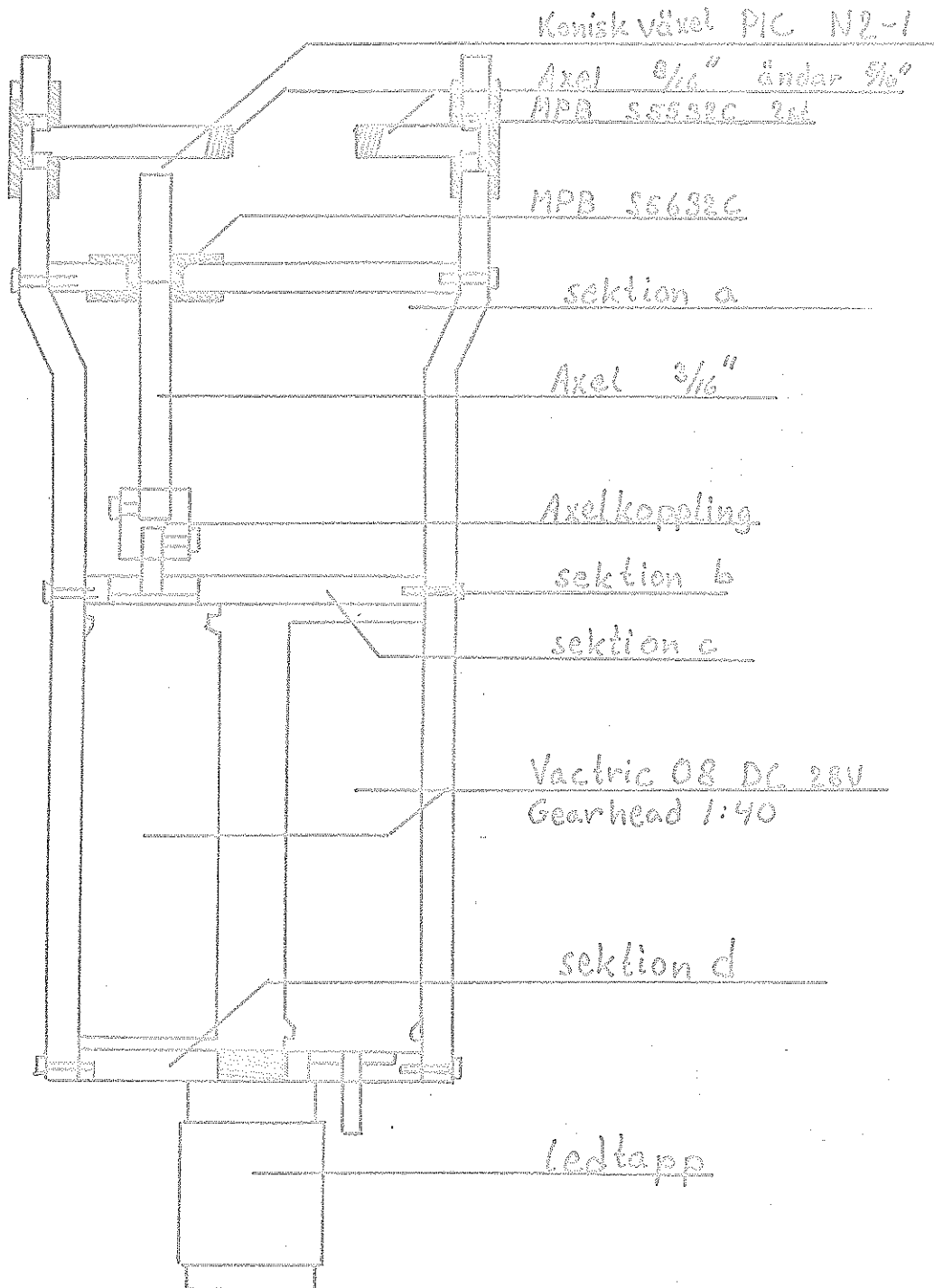
Sektion d



Elektromekanisk presentationsarm

överarm

Skala 1:1

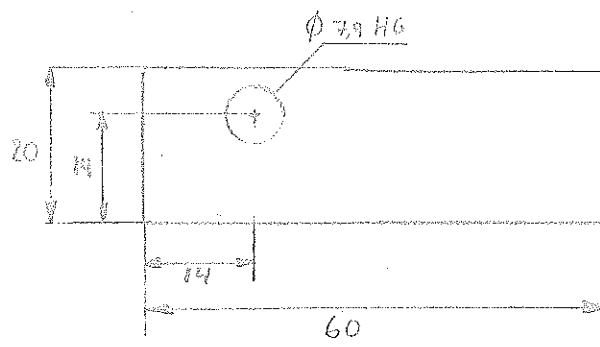


Hy

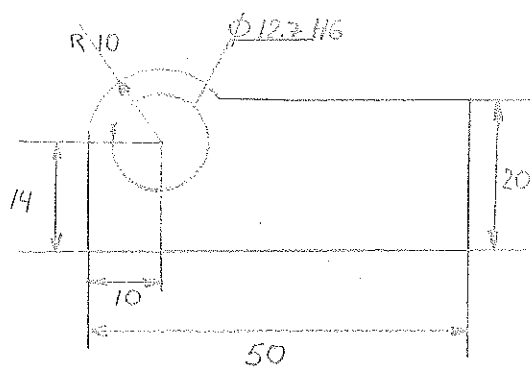
22.10.69

Elektromekanisk presentationsarm
Överarm detaljer
Samtliga delar 4mm tjocka

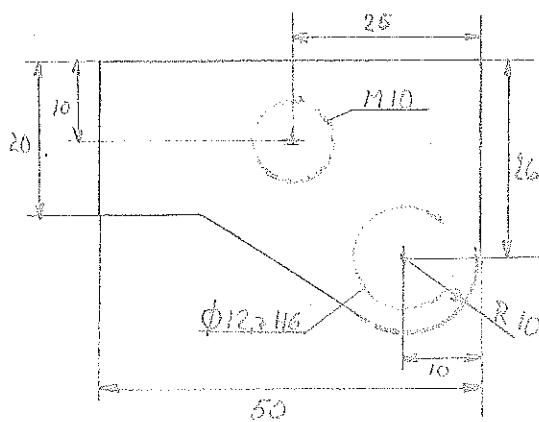
sektion a



sektion c

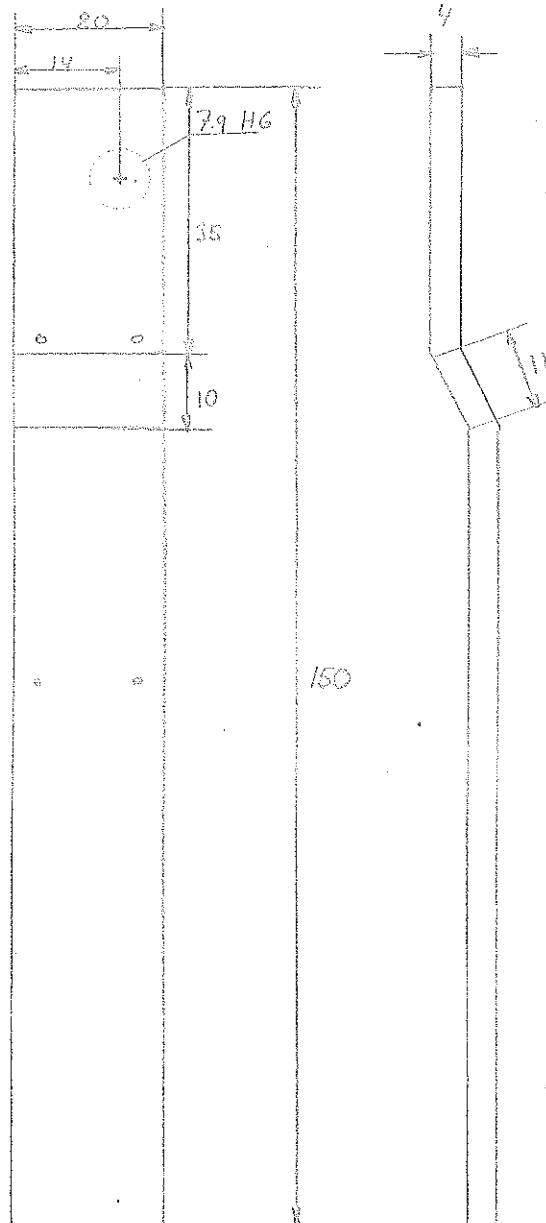


sektion d



Elektromekanisk presentationsarm
Överarm detalj

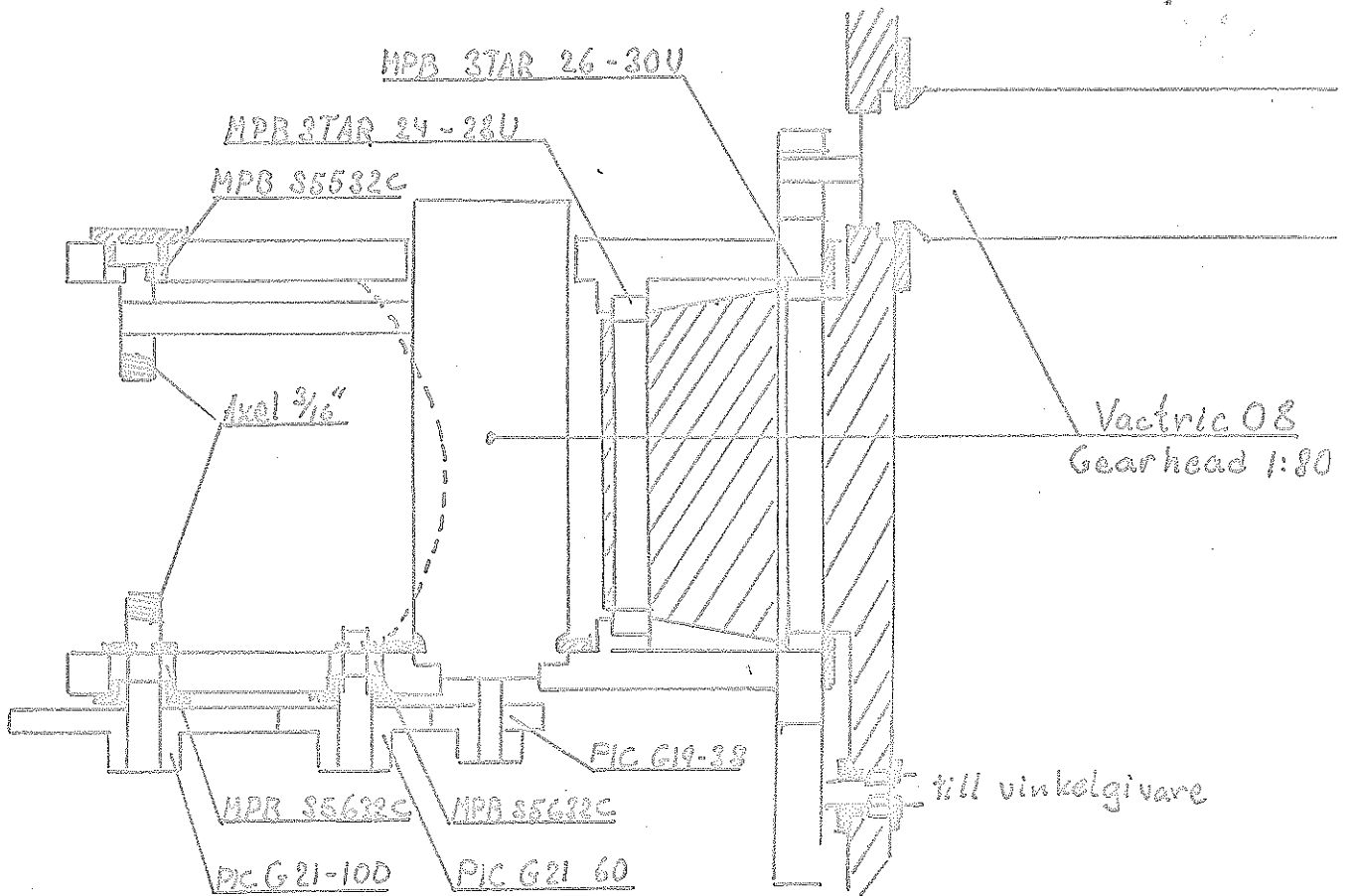
sektion b



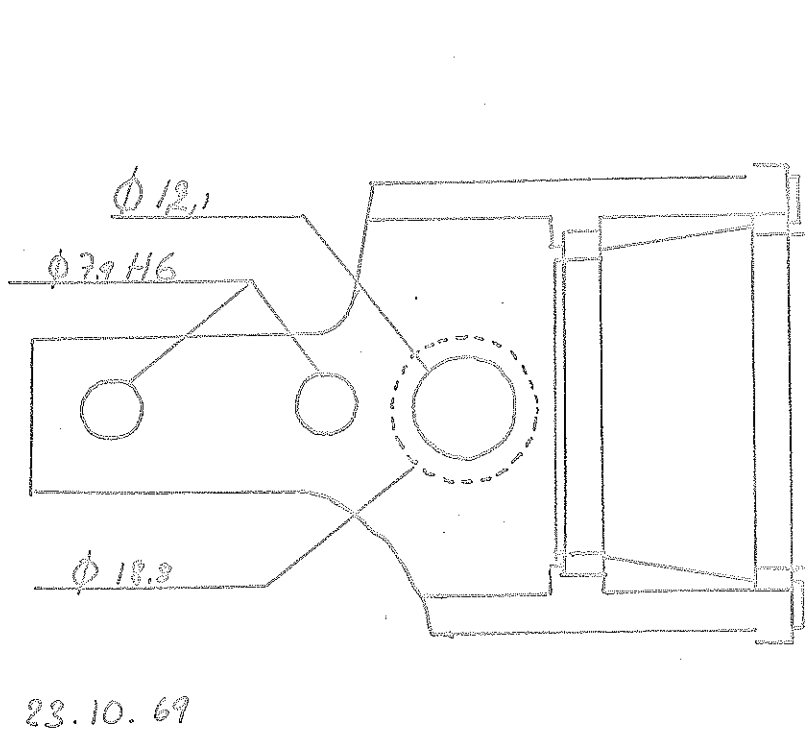
Elektromekanisk presentationsarm

Skulderled

Skala 1:1



Utvaxling 1:2,75

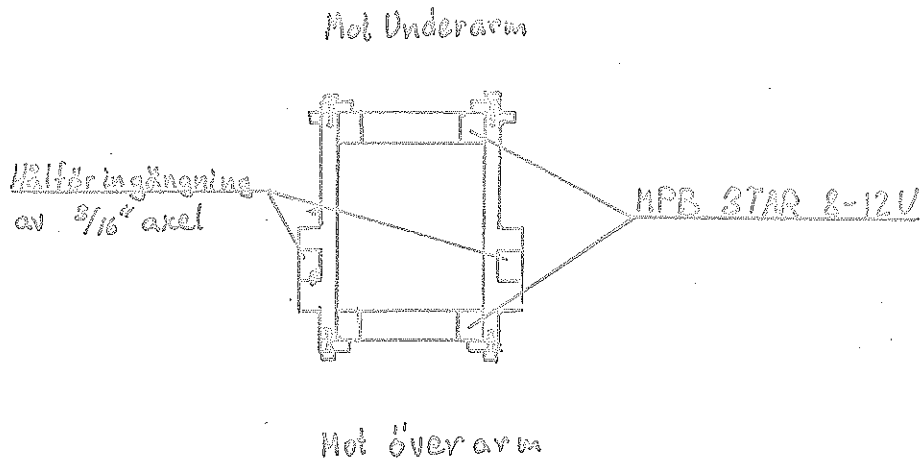


Hj 23.10.69

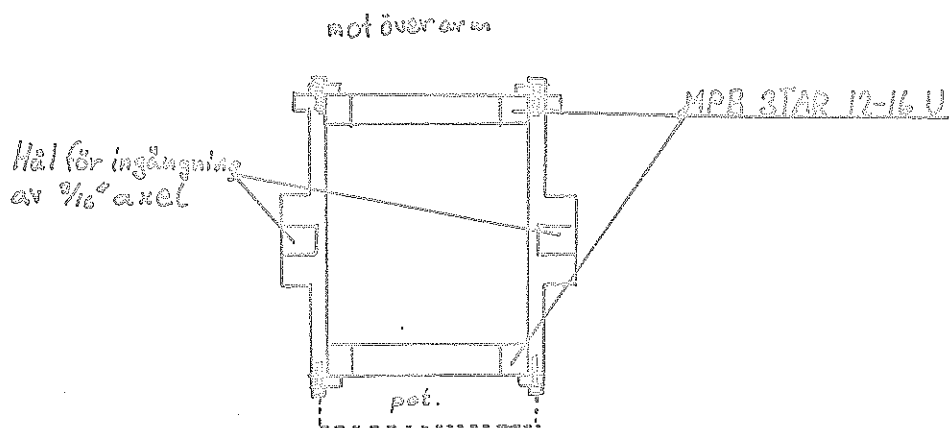
Elektromekanisk presentationsarm

Skala 1:1

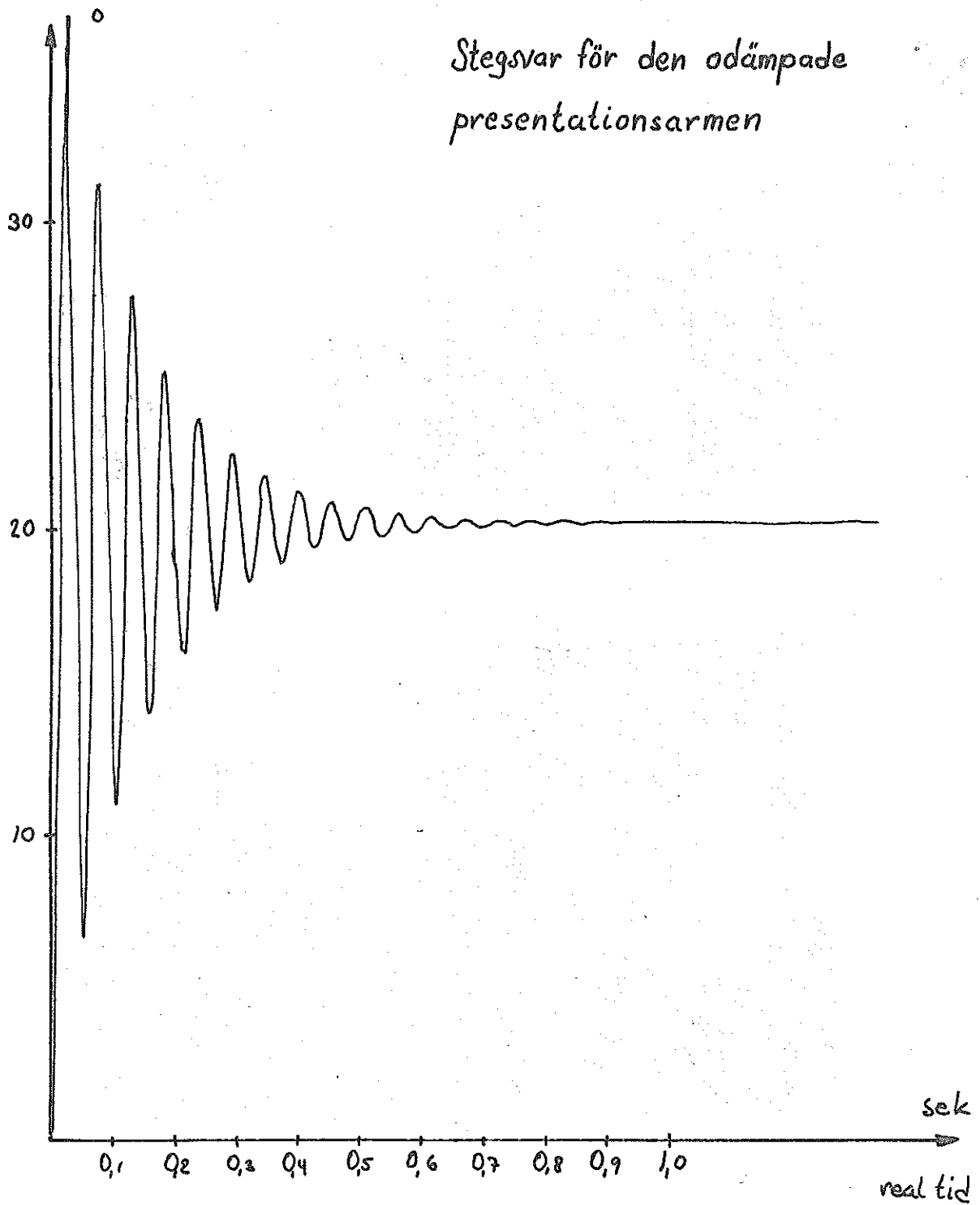
Detalj Armbågs hylsa



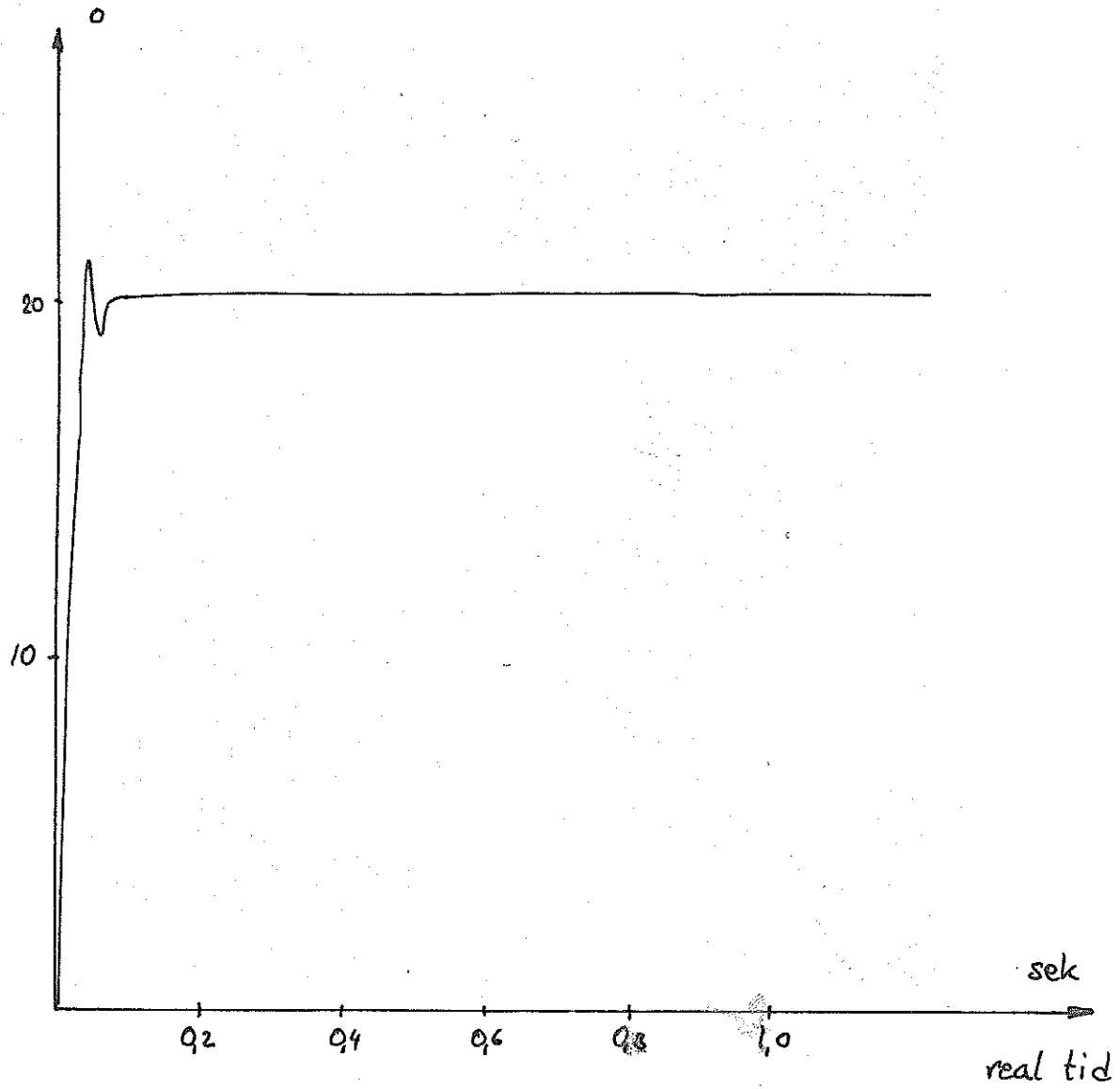
Detalj Skulder hylsa



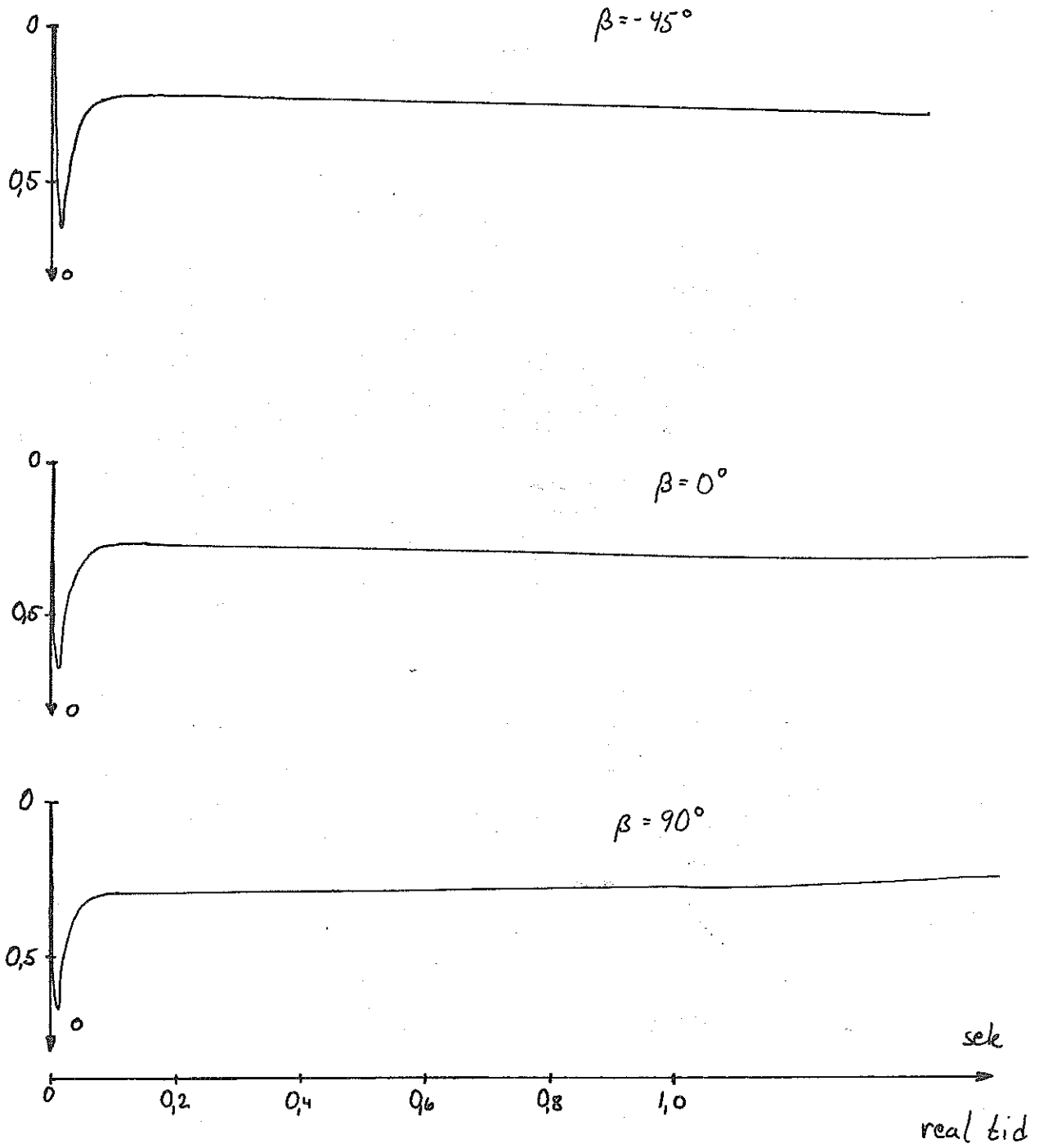
Appendix B

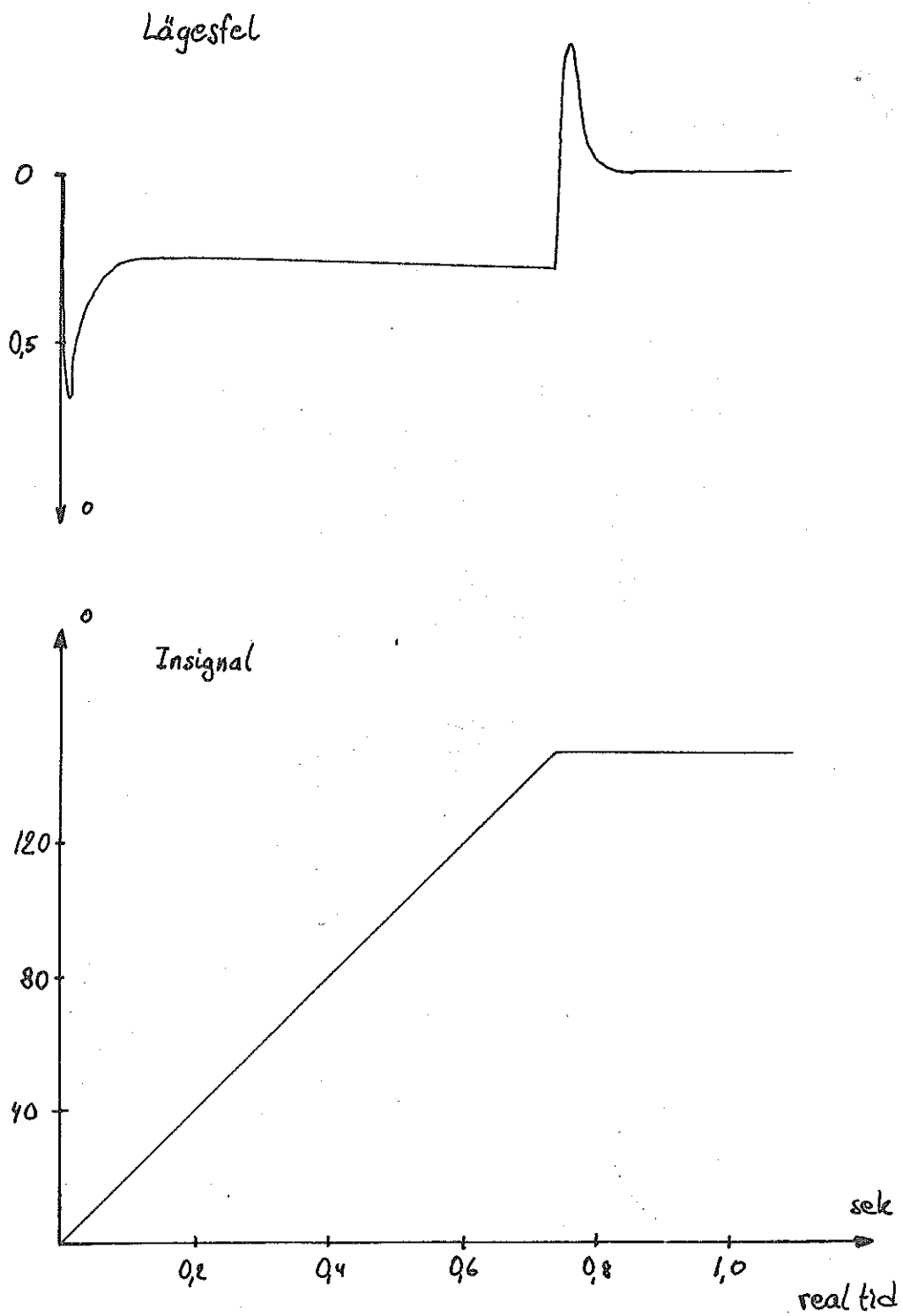


Stegsvar för presentationsarmen med inlagt
fasavancerande filter



Lägesfel vid följning av ramp $\sim 180^\circ/s$



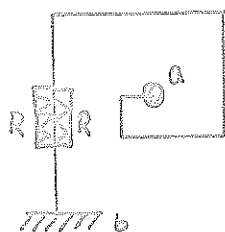


Felsignal vid avbruten rampsignal

Appendix C

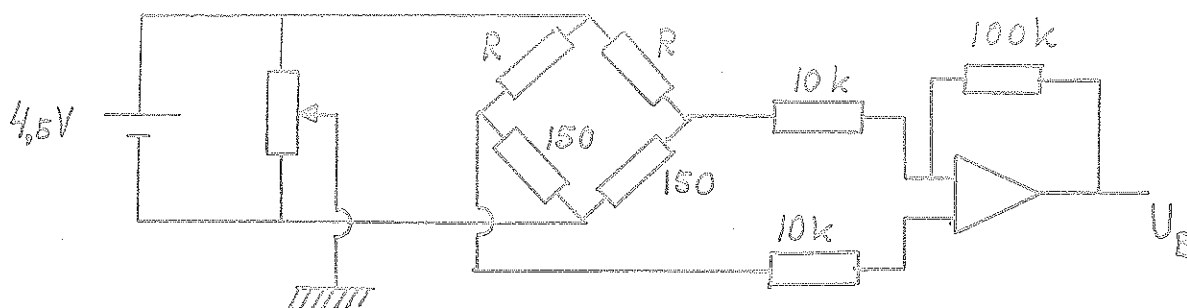
Vinkelgivare av trådtöjningstyp.

Mellan de två ledade föremål vilkas inbördes vinkel man önskar mäta, fästes ett antal sammanfogade stålfjädrar i en sorts spiralfiguration.

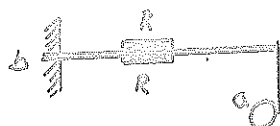


a roterande del
b fast del
R trådtöjningsgivare

På ovan och undersidan av ett av fjäderstyckena är trådtöjningsgivare applicerade. Dessa kopplas i en resistansbrygga vars utspänning mäts i en differential förstärkare.



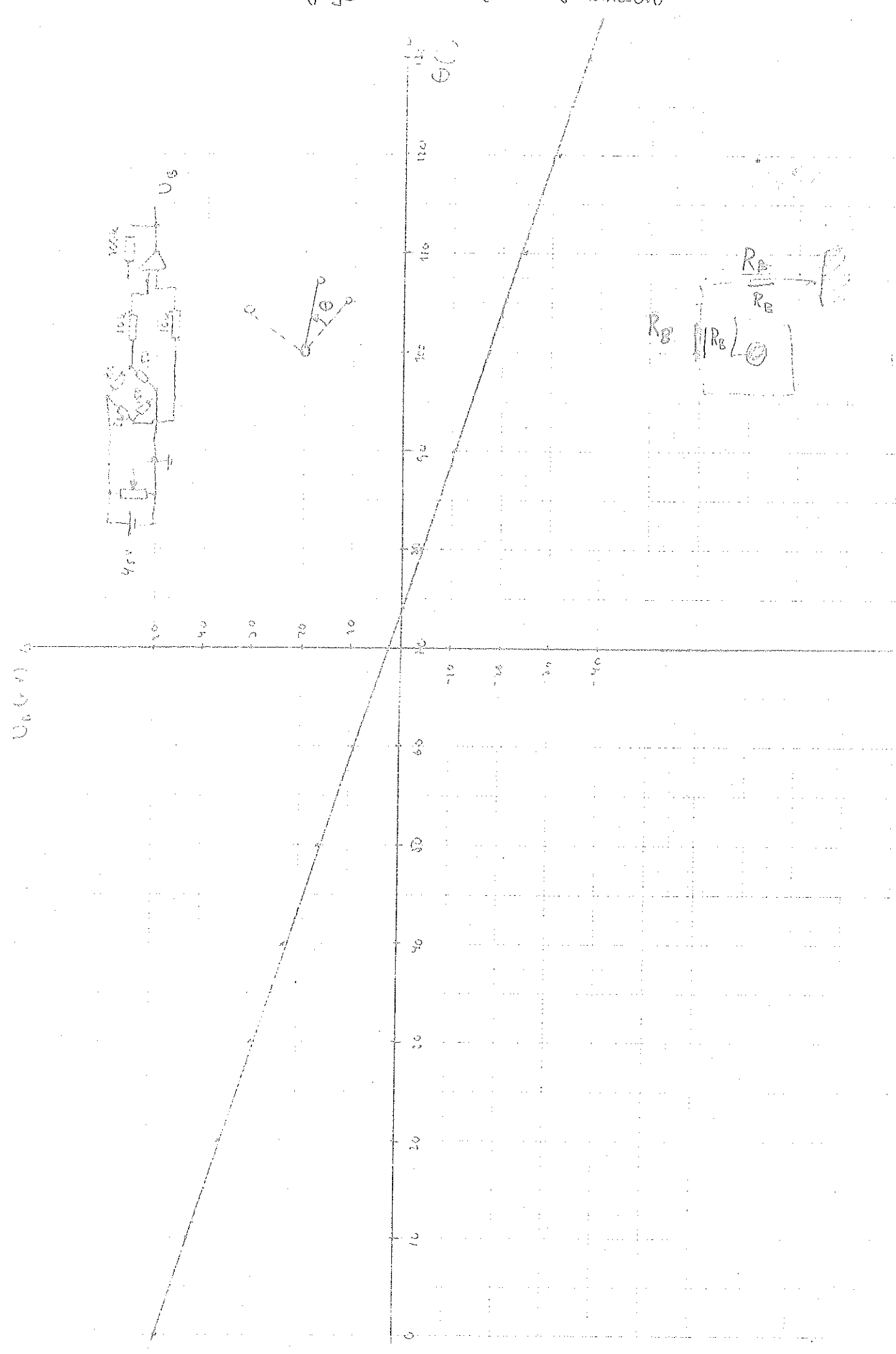
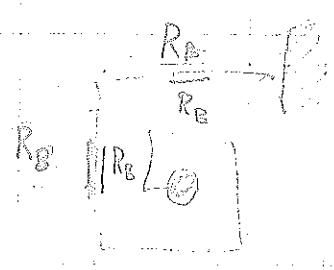
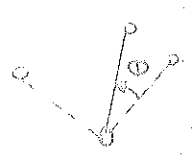
Den enklaste varianten av givaren är ett ensamt fast inspänt bleck med två töjningsgivare. En sådan är tillräcklig i de flexionsleder där vinkelutslaget inte är större än 120° . En tum wire appliceras i fjäderns fria ände och lägges runt den roterande axeln.



Beteckningar
som ovan

Utspänning från vinkelgivare med
strain-gage
(ent. Johansson)

9.6.20



Gleichstrom-Motoren mit permanentem Magnetfeld

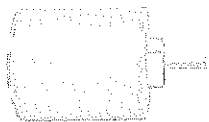
Typenreihe GR 18

Bei unseren Gleichstrom-Motoren wird die Felderregung mittels eines hochwertigen Dauermagneten bewirkt. Da für die Felderregung keine elektrische Leistung erforderlich ist, erreichen unsere Gleichstrom-Motoren, verglichen mit Motoren mit elektrischer Felderregung, hohe Wirkungsgrade. Praktisch ist die Leerlaufdrehzahl der Gleichstrom-Motoren direkt proportional zur angelegten Spannung. Die Drehzahl läßt sich leicht mit Hilfe eines Vorwiderstandes oder Spannungsteilers in weiten Grenzen regeln.

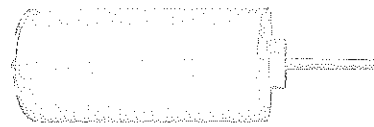
Die abgebildeten Diagramme der einzelnen Motor Typen zeigen das Verhalten von Drehzahl, Strom und Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom abgenommenen Drehmoment.

Maß- und Konstruktionsänderungen behalten wir uns vor. Die Kennlinien sind unverbindlich.

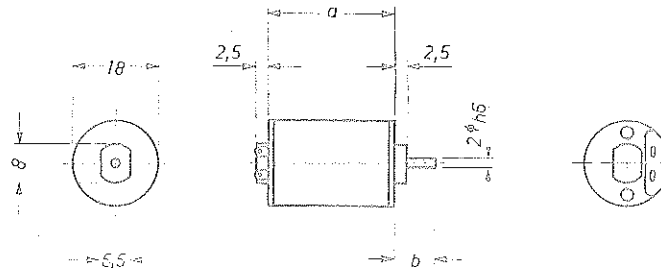
BAUFORMEN



GR 18 x 8



GR 18 x 22

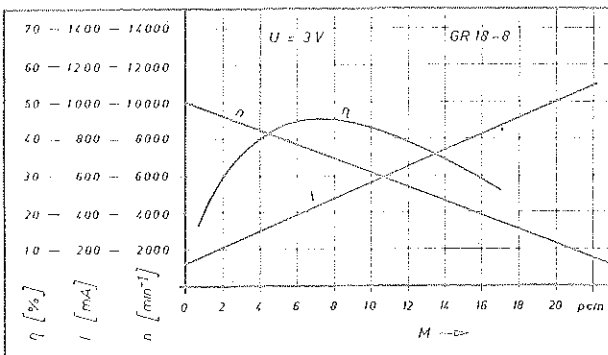


Motor Typ	Maß a
GR 18 x 8	26
GR 18 x 22	41

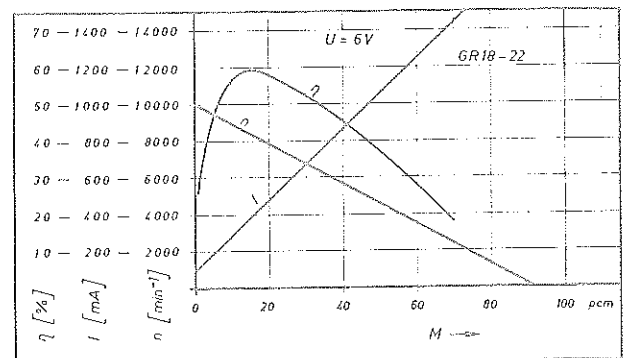
Motor Typ	Leerlaufdrehzahl max. min ⁻¹	Motordauerleistung Watt	Nenn Drehmoment pcm	Aufnahmelistung Watt	Nennspannung *) Volt	Gewicht in kg
GR 18 x 8	10000	0,24	8	0,75	3 ... 8	0,024
GR 18 x 22	10000	0,6	20	1,2	3 ... 18	0,038

*) Sonderspannung auf Anfrage

GR 18 x 8



GR 18 x 22



An diesen Motor kann folgendes Getriebe angeflanscht werden: ZG (runde Ausführung 18 mm Ø, zentrischer Abtrieb) umseitig aufgeführt.



Stirnrad-Getriebemotoren für Gleichstrom

Typenreihe GR 18/ZG

Technische Daten der Motoren siehe umseitig.

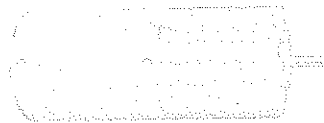
1. **Aufbau:** Unser Stirnradgetriebe ZG ist als zylindrische Baueinheit mit zentrischem Abtrieb ausgeführt. Das Gehäuse besteht aus Leichtmetall-Druckguß und ist ganz geschlossen. Das Getriebe ist wartungsfrei, die Radsätze sind gehärtet. Die Wellen sind feingeschliffen und laufen in selbstschmierenden Sinterbuchsen. Lieferbar bis 7 Stufen. Als höchste Unterseizung pro Einheit wird 488:1 erreicht. Durch Zusammenbau von zwei Getrieben sind demnach Unterseizungen bis 238144:1 möglich. Das Zahnspiel ist am Abtrieb kleiner als 2° . Zur Befestigung sind an der Stirnseite 4 Gewindebohrungen vorgesehen.

2. Wahl des Getriebes:

- a) Maximal zulässiges Drehmoment nicht überschreiten. Überlastung hat größeren Getriebeverschleiß zur Folge.
- b) Bei der Motorauswahl nach Möglichkeit stets dem Motor mit der geringeren Drehzahl den Vorzug geben. Kleinere Motordrehzahl ergibt weniger Verschleiß und geringere Geräuschbildung.

Bei Bestellungen und Anfragen bitten wir um folgende Angaben:

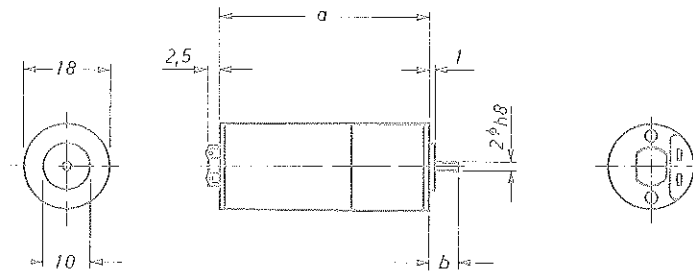
- 1. gewünschte Drehzahl am Abtrieb
- 2. erforderliches Drehmoment am Abtrieb
- 3. Betriebsspannung



GR 18 ZG

Typ	Maß a
GR 18 x 8	43,5
R 18 x 22	58,5

Lieferbare Unterseizungen	Stufen
5:1	2
12:1	3
32:1	4
78:1	5
195:1	6
488:1	7



Belastung im Dauerbetrieb an der Getriebeausgangswelle: max. 800 pcm.

Alle Maß- und Konstruktionsänderungen vorbehalten.

Alle Anfragen und Angaben über technische Einzelheiten werden von uns streng vertraulich behandelt.

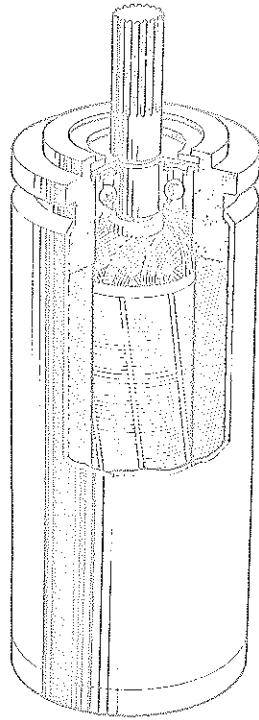
Vactric Control Equipment Limited

Garth Road, Morden, Surrey

DERwent 6644
Telex 27796

Size 08.
DC motor

Permanent Magnet



General description

The Size 08 D.C. Motor is a miniature, precision-built permanent magnet motor, which has a long trouble-free life under most environmental conditions. The armature has been carefully balanced for vibration-free operation and it runs on precision miniature stainless steel ball bearings which have been rigorously tested for friction torque and noise.

When fitted with a pinion it is particularly suited for connecting to a high precision reduction gearhead which can be supplied with ratios up to 1,000:1. (See Gearhead Sheets.)

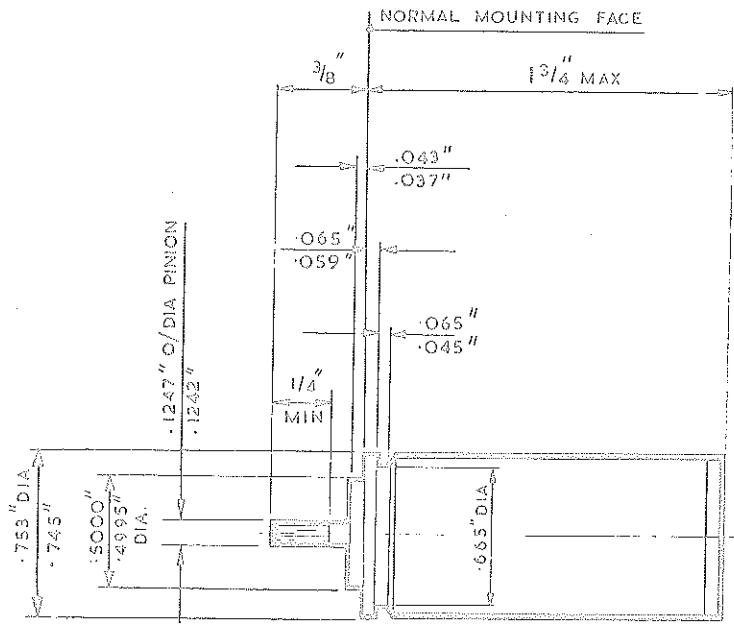
The outline drawing below should not be used for installation purposes. The appropriate drawing can be supplied on request.

Mounting method

Mounting is accomplished by use of the spigot on the front face of the motor housing and clamping is effected by clips acting in the groove behind the flange on the front housing.

Pinion Data

Diametral Pitch	120
Pressure Angle	20°
Tooth Form	Involute
No. of Teeth	13
P.C.D.	0.1083"
Plain shaft dia.	I. .1200" .1195"
	II. .1247" .1245"
Diameter over Motor label	.765" dia. max.



Details of the specification on this broadsheet are subject to change without notice.

August 1965

Size 08
DC motor

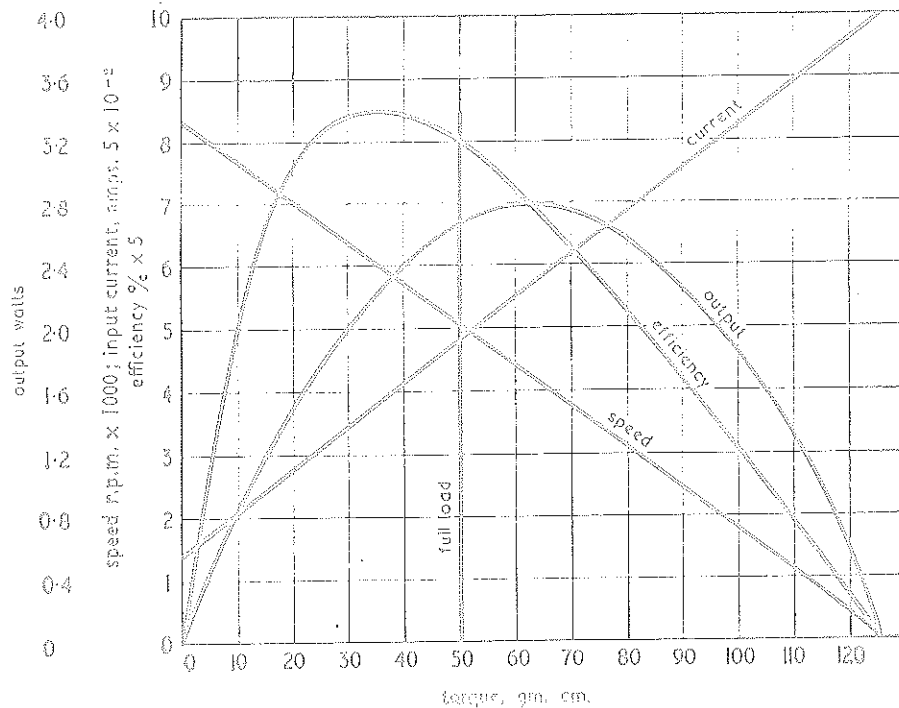
Performance details and curves

Permanent Magnet

output	2.5 watts
torque	50 gm-cm. (0.7 oz")
speed	5000 r.p.m.
voltage	28 volts d.c.
current	0.21 amperes
average input	6.7 watts
minimum stall torque	100 gm-cm. (1.39 oz")
rating	continuous
no-load speed	8500 r.p.m.
weight	70 grams. (2.6 oz)
moment of inertia	2.7 gm-cm. ²

The motor can be wound to give nominal performance within the voltage range 6 to 28 volts d.c., the standard voltages being 6, 12 and 28 volts, and the power output is 2.5 watts for continuous rating. In special cases the motor can be wound for operation at voltages between 28 and 75 volts d.c. It is reversible and can also be used as a d.c. Generator. Due to its favourable overall size this motor is eminently suitable for installation in compact electronic apparatus. It has been designed to M.O.A. Specification EL.1925 and its outline dimensions conform to M.O.A. Drawing No. EL.41030. It will operate within a temperature range -65°C. to +85°C.

Average performance curve for 28 volt motor



Vactric Control Equipment Limited

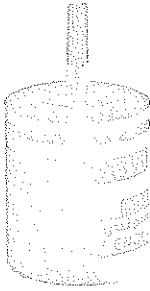
Garth Road, Morden, Surrey

DERwent 6644
Telex 27796



Ball Bearing

ADVANCE INFORMATION



General description

For light duty servo work, this gearhead employing exact ratios is invaluable where considerations of space and weight are important. It has been designed for use in control systems as a compact means of converting the motive power of servo motors into more manageable torques and speeds. Special care has been taken to ensure that the essential features of the servo motor are not impaired by the addition of the gear train. Miniature precision stainless steel ball bearings are used throughout.

The guiding specification in the design of this gearhead is E.L. 1893 issue "C" published by R.A.E. Farnborough and the unit is designed to conform to the general requirements in that specification. In fact, the design will meet more stringent requirements with respect to acceleration and vibration as demanded for guided missile applications.

Data given in this broadsheet is for general guidance only. The outline drawing and performance details overleaf must not be used for installation purposes. The appropriate drawing will be supplied on request.

Spline data

Diametral pitch	120
Pressure angle	20°
Tooth form	Involute
No. of teeth	13
Nominal P.C.D.	.1083"
Length of spline	.220" .210"

Spline Roll Test data

Graphical record reading	.0547"/.0531"
Total composite error	.0006" max.
Tooth to tooth error	.0004" max.

Thread data

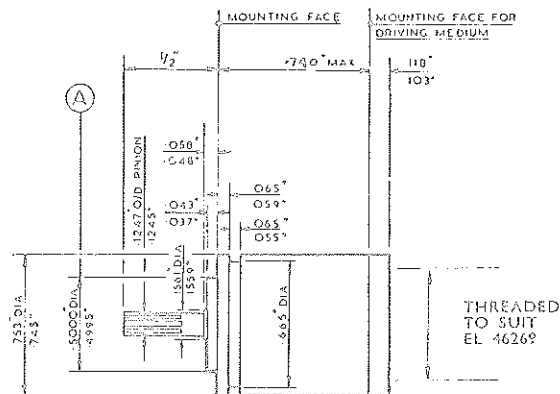
Thread form	U.N.F.5-44-2
Major dia.	.125"/.120"
Length of thread	.195"/.180"

Total run out

Datum	A
plain portion	.0006" max.
Diameter over labelling	.760" dia.

Mounting method

Gearheads are mounted by the circular groove around the housing. The method of mounting the gearhead to a motor is by means of a screwed spigot.



Details of the specification on this broadsheet are subject to change without notice.

January 1966

Size 08

gearhead

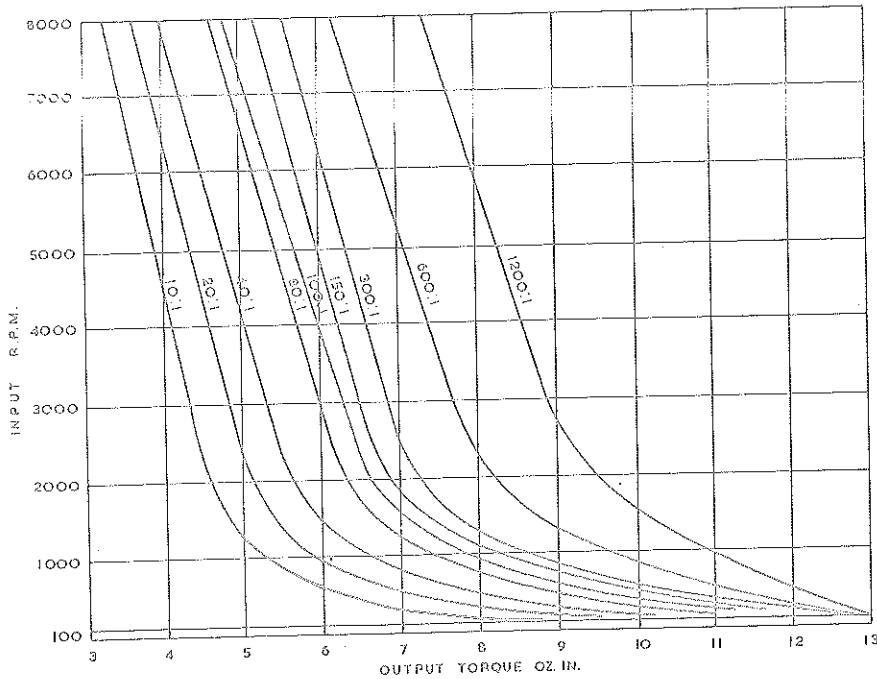
Ball Bearing

Performance details and curves

Standard ratios	10:1	20:1	40:1	80:1	100:1	150:1	300:1	600:1	1200:1
Output shaft rotation with respect to input	same	same	reverse	reverse	reverse	same	same	same	same

driving motor sizes	08. Screwed spigot (EL.46239) Shaft Length .225"/.205"	static torque	25 oz. in. max.
backlash at 2 oz. in. reversing torque on output shaft	90' max.	momentary running torque (for 1 hour total during working life)	16 oz. in. max.
increase in lost motion per oz.in. of additional reversing torque	6'	continuous running torque	see graph
inertia referred to input	.01 gm. cm. ² (approx.)	safe static side load on output shaft at 1/4" from normal mounting face	6 lb. max.
breakaway torque	.2 gm. cm. max.	safe static axial load on the output shaft	3 lb. max.
running friction torque at 5,000 R.P.M., no-load	.5 gm. cm. max.	weight	40 gm. (1.50 oz.)

Safe working limits of load and speed for a life of 1000 hours continuous or intermittent running.



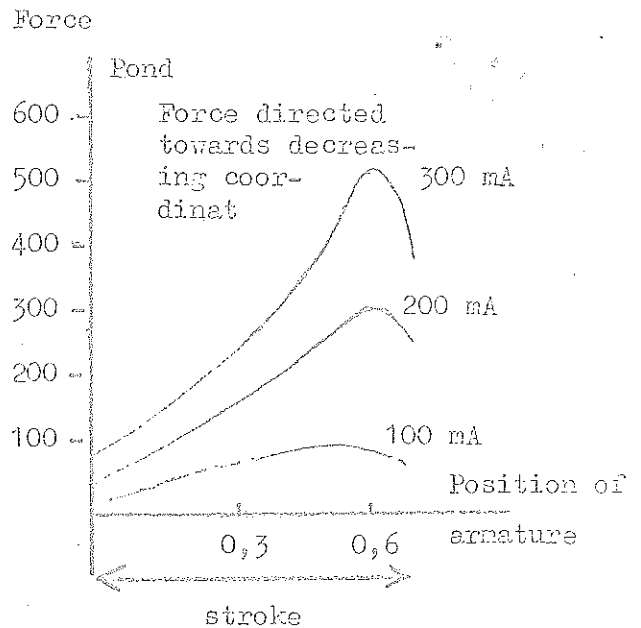
Expected increase in backlash per 100 hours running when working on actual curve: 3'

March 1969

Preliminary data for electromagnet unit and pneumatic valve

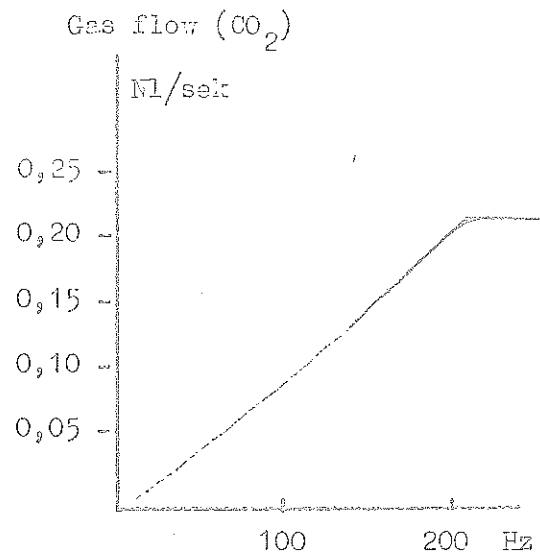
Electromagnet (solenoid) unit

Diameter	= 10 mm
Length	= 15 mm
Volume	= 1 cm ³
Weight	= 6,5 g
Coil, number of turns	= 670
Gauge of wire	= 0,12 mm
Coil resistance	= 20 Ω
Max force at 300 mA	= 500 Pond
Max electric power	= 2 W
Air gap	= 35 μm
Bearing clearance	= 5-10 μm



Valve unit with two valve elements

Breadth	= 16 mm
Length	= 30 mm
Height	= 40 mm
Volume	= 12 cm ³
Weight	= 40 g
Orifice diameter	= 0,3 mm
Stroke	= 0,3 - 0,5 mm
Max pulse frequency at 1 ms current pulse	= 200 Hz
Required electric control-power at 200 Hz	= 0,6 W
Max supply pressure	= 60 bar



Gasflow through valve element at 1 ms current pulse through coil with 20 bar supply pressure.

Programmets namn: Simulerad Elektro Mekanisk Arm 1. (SEMA 1)

Författare: H. Trovik

Ändamål: SEMA 1 ingår i en hybridsimulering av en armbågsled i en presentationsarm där programmet

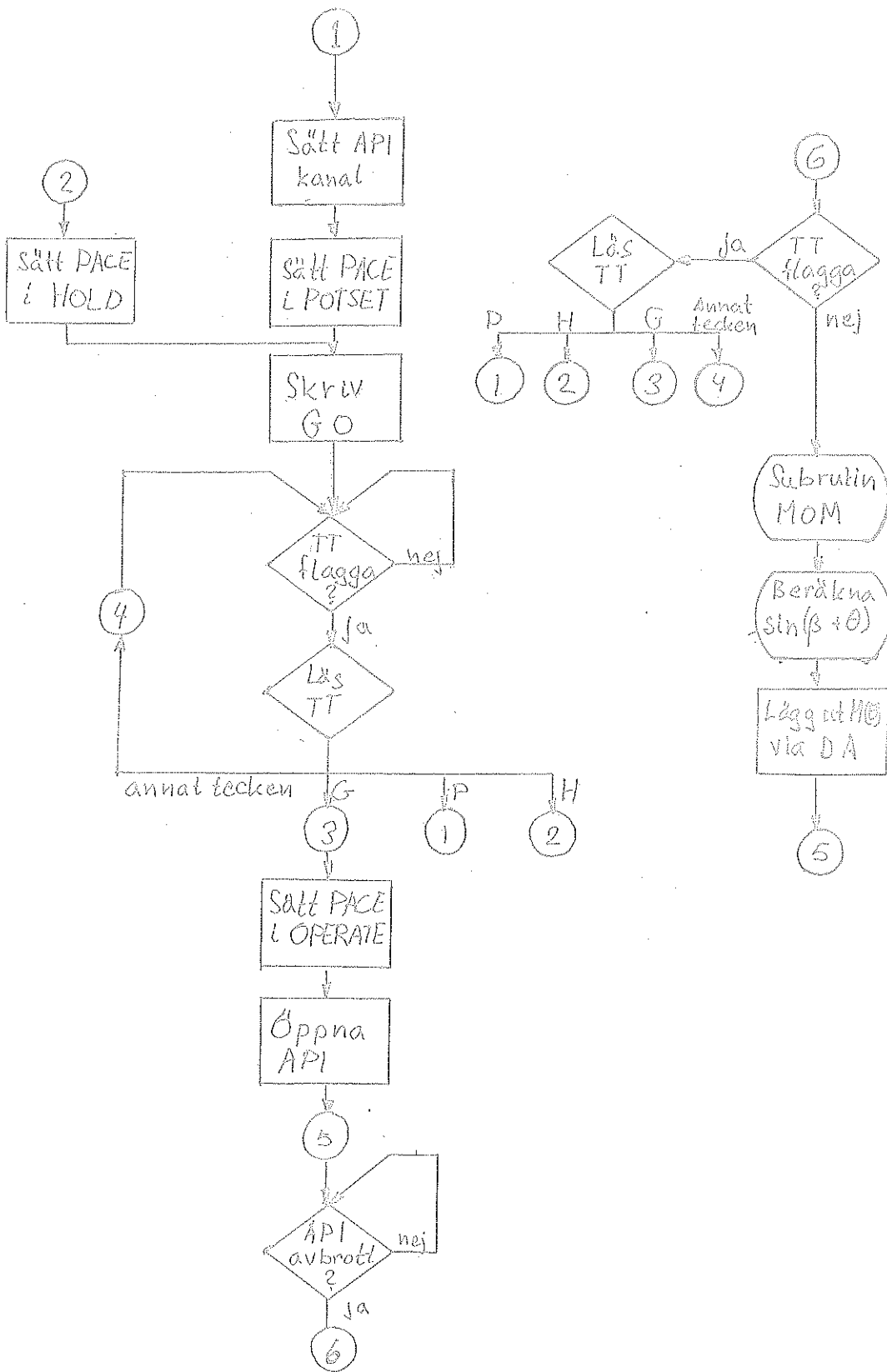
1. Administrerar simuleringen
2. Läser spänningar representerande vinklar hos armen
3. Beräknar trigonometriska olinjäriteter som ingår i protesmodellen.

Program språk: Symbolic Assembler

Tid: Samplingstiden är styrd av yttre klocka till 10 ms.

Flödesschema: Se nedan

Programutskrift: Se nedan



```
SENA 1. 69. HT.  
NOINPUT  
400/  
SIMPUS, 200  
BEGIN, CAF  
LACC40 /KLOCKA PA KANAL 12  
ASC  
LAC (JMS AVB  
DAC 52  
JMS PS /POTSET  
GO, LAW GOTX  
TEXPR  
KSF  
JMP -1  
JMS TTREAD  
GOON, LAW CRLF  
TEXPR  
JMS OP /OPERATE  
EPI  
JMP .  
NOP  
AVB, 0  
KSF  
SKP  
JMS TTREAD  
MOM, LAW  
ADSM  
JMS ADREAD  
DAC BETA  
ADIM  
JMS ADREAD  
ADD BETA  
XCT SIMPUS  
SINUS, 0  
COSIN, 0  
LAC SINUS  
DA5  
DBR  
JMP GOON +3  
PS, 0  
LAC RESET /200 RESET  
RELBUF  
JMS WAIT /WAIT C:A 100 MS  
LAC POTSET /400 POTSET  
RELBUF  
JMP I PS  
OP, 0  
LAC RESET /200 RESET  
RELBUF
```

```
JMS WAIT
LAC OPERATE /100 OPERATE
RELBUF
JMP I OP
WAIT, 0
LAC DELAY
DAC COUNT
DZM
DZM
ISZ COUNT
JMP --3
JMP I WAIT
GOTX, 307317
000000
ITREAD, 0
READ
SAD G
JMP GOON
SAD P
JMP BEGIN
SAD H
JMP HLD
JMP GO
HLD, CLA
RELBUF
JMP GO
CRLF, 215212
000000
ADREAD, 0
ADSC
ADSF
JMP --1
ADRB
JMP I ADREAD
RESET, 200
POTSET, 400
OPERATE, 100
DELAY, -20000
COUNT, 0
BETA, 0
G, 307
H, 310
P, 320
START BEGIN
?
```


Program number: Ph 8.1

Name: SIMPUS III

Author: Jan A Åkerlind

Date: Sept. 6 1969

Purpose: In a real-time, on-line or hybrid program there is sometimes a need for fast approximations of trigonometric functions but with rather slight requirement of accuracy.

This program, which is a subprogram to Pa 8.4 ASTOR II, will give you sinus and cosinus with an accuracy as specified below.

Programming language: Assembly Code

Used software: ASTOR II (Pa 8.4)

Operating Instructions: The program is adapted to hybrid-computing, which in this case means that an angle α $[-180^\circ, +180^\circ]$ corresponds to a voltage $[-10\text{ V}, +10\text{ V}]$. Accordingly, when SIMPUS is called, the AC must contain the angle α in a form corresponding to a AD-converted voltage. ($+180_{10}$ (10 volt) corresponds to 377000_8). The results $\text{SIN } \alpha$ and $\text{COS } \alpha$ $-1, +1$ are also obtained in a form suitable to DA-converting (9 digits, left-adjusted). See table below. The following program sequence, or equivalent should be used in the main program.

MAIN PROGRAM TITLE

400 /

SIMPUS, LAW XX /CODENUMBER

.

.

.

LAC . ALFA

XCT SIMPUS

SINUS,	Ø		/SIMPUS stores sinus here
COSIN,	Ø		/SIMPUS stores cosin here
	LAC	SINUS	/Main program continues
	.		
	.		
	.		
	.		

Accuracy: Resolution in α : $0,7^\circ$

Resolution in SIN α (worst case):

$$3000_8 = 0,11 \text{ volt} = 0,011.$$

Time required: Abt. 80 μ s

Memory required: SIMPUS occupies 443_8 positions.

TABLE

Angle α			SINUS α		COSIN α	
Degrees	Volts	Converted 9-digits	Digital	Volts	Digital	Volts
-180	-10	400000	000000	0	400000	-10
- 90	- 5	600000	400000	-10	000000	0
0	0	000000	000000	0	377000	10
5	0,3	007000	025000	0,8	376000	10
10	0,6	016000	053000	1,7	373000	9,9
15	0,8	025000	100000	2,5	366000	9,6
30	1,7	052000	175000	4,9	335000	8,7
45	2,5	100000	264000	7,1	264000	7,1
60	3,3	125000	334000	8,6	200000	5,0
75	4,2	152000	365000	9,6	104000	2,7
90	5,0	177000	377000	10	000000	0
105	5,8	224000	365000	9,6	673000	- 2,7
120	6,7	252000	334000	8,6	577000	- 5,0
135	7,5	277000	264000	7,0	513000	- 7,0
150	8,3	324000	175000	4,9	442000	- 8,7
165	9,2	351000	100000	2,5	411000	- 9,6
180	10,0	377000	000000	0	400000	-10

SIMPLE SINUS III. 6.9.1968. JAA.

NOINPUT

4007

SINCOS, 0
GSM
DAC TEMP
CLARRAR
DAC SIGN
LAC TEMP
CLL
LRS 11
ADD TABLAD
DAC TEMP
LAC I TEMP
CLL
CLO
LRS 11
ALS 11
DAC I SINCOS
LAC SIGN
SMA
JMP . 4
LAC I SINCOS
CMA
DAC I SINCOS
ISZ SINCOS
LACO
SPA
XOR SEVENS /777
DAC I SINCOS
ISZ SINCOS
JMP I SINCOS

TABLAD, JMP TABLE

TEMP, 0
SIGN, 0
0
SEVENS, 777
TABLE, 000377
003376
006376
011376
014376
017376
022376
025376
030375

034375
037375
042374
045374
050373
053373
056372
061372
064371
067370
072370
075367
100366
104365
107364
112364
115363
117362
122361
125360
130357
133355
136354
141353
144352
147351
152347
155346
157345
162343
165342
170340
172337
175335
200334
203332
205331
210327
213325
215324
220322
222320
225316
227314
232312
234311
237307
241305
244303
246301

250277
253274
255272
257270
262266
264264
266262
270257
272255
274253
277250
301246
303244
305241
307237
311234
312232
314227
316225
320222
322220
324215
325213
327210
331205
332203
334200
335175
337172
340170
342165
343162
345157
346155
347152
351147
352144
353141
354136
355133
357130
360125
361122
362117
363115
364112
364107
365104
366100
367075

370072
370067
371064
372061
372056
373053
373050
374045
374042
375037
375034
375030
376025
376022
376017
376014
376011
376006
376003
377000
376774
376773
376766
376763
376760
376755
376752
375747
375743
375740
374735
374732
373727
373724
372721
372716
371713
370710
370705
367702
366677
365673
364670
364665
363662
362660
361655
360652
357647
355644

354641
353636
352633
351630
347625
346622
345620
343615
342612
340607
337605
335602
334577
332574
331572
327567
325564
324562
322557
320555
316552
314550
312545
311543
307540
305536
303533
301531
277527
274524
272522
270520
266515
264513
262511
257507
255505
253503
250500
246476
244474
241472
237470
234466
232465
227463
225461
222457
220455
215453

213452
210450
205446
203445
200443
175442
172440
170437
165435
162434
157432
155431
152430
147426
144425
141424
136423
133422
130420
125417
122416
117415
115414
112413
107413
104412
100411
075410
072407
067407
064406
061405
056405
053404
050404
045403
042403
037402
034402
030402
025401
022401
017401
014401
011401
006401
003401
000400

START SINCO