



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Elektrokemiska mätmetoder - teori och instrumentinventering för linjära polarisationsmätningar

Ivan Falk
Tormod Kelén

151

Elektrokemiska mätmetoder — teori och instrumentinventering för linjära polarisationsmätningar

Ivan Falk
Tormod Kelén

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 · 113 82 STOCKHOLM · TEL. 08/ 34 09 80

Mars 1984
ISSN 0348-758X

ELECTROCHEMICAL MEASURING METHODS - A SURVEY
OF LINEAR POLARISATION MEASUREMENTS - THEORY
AND INSTRUMENTATIONS

Ivan Falk, Tormod Kelén

SUMMARY

Theoretical and practical conditions of measuring corrosion rates by using polarisation resistance technique are schematically described in this report. Today there is a rather wide range of assortment for measuring equipments from simple mobile instruments to automatically models with alarm and regulating functions.

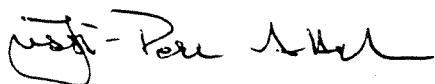
Measurements at high pressure and temperatures can also be made by using electrode systems constructed for these conditions.

The measuring method is most suitable for actively corroding materials such as mild steel. The usefulness for passivateable materials such as 18Cr8Ni stainless steel has to be checked in every application due to the risk for interfering processes during the measurements.

Today linear polarisation measurements are well tested and examined in laboratory work to measure corrosion rates in many combinations of materials - environments. This literature survey and instrument inventory show that the technique offers good possibilities to obtain an improved control and monitoring of the corrosion levels in water systems.

ELEKTROKEMISKA MÄTMETODER - TEORI OCH INSTRUMENTINVENTERING FÖR LINJÄRA POLARISATIONSÄTNINGAR

Ivan Falk, Tormod Kelén



HUVUDINNEHÅLL

I rapporten ges en schematisk beskrivning av teoretiska och praktiska förutsättningar för bestämning av korrosionshastigheter genom mätningar av polarisationsresistans. Det finns idag ett förhållandevis brett sortiment av mätutrustningar från enkla mobila instrument till automatiserade modeller med larm och styrfunktioner. Mätningar kan även utföras med elektrodsystem som är konstruerade för höga tryck och temperaturer.

Metodiken är bäst lämpad för aktivt korroderande material som kolstål. För passiverbara material som till exempel 18Cr8Ni-stål måste tillämpbarheten undersökas från fall till fall på grund av risken för störande processer vid mätningarna.

Linjära polarisationsmätningar är idag väl utprovade och undersökta i laboratorieskala för mätningar av korrosionshastigheter i ett stort antal material/miljösystem. Genomförd litteraturstudie och instrumentinventering visar att metodiken erbjuder goda möjligheter till förbättrad kontroll och övervakning av korrosionsnivån i vattensystem vid värmeverk och kraftverk.

1983-10-10

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
1 BAKGRUND	4
2 INLEDNING	5
3 GRUNDLÄGGANDE TEORI	6
3.1 Elektrodsystem i jämvikt	6
3.2 Polarisation	7
4 BESTÄMNING AV KORROSIONSSSTRÖM	10
4.1 Mätprinciper vid polarisationsmätningar	10
4.2 Linjär polarisation, princip	11
4.3 Elektrodarrangemang	12
4.4 Linjär polarisation och lokal-korrosion	13
4.5 Linjär polarisation vid höga temperaturer	14
5 BEGRÄNSNINGAR OCH FELKÄLLOR VID LINJÄRA POLARISATIONSMÄTNINGAR	15
6 SAMMANFATTNING AV LITTERATURSTUDIEN	18
7 INSTRUMENTINVENTERING	19
7.1 Corrater	19
7.1.1 Mätprincip	19
7.1.2 Kalibrering	20
7.1.3 Korrektion av spänningsfall i elektrolyten	20
7.1.4 Instrumentmodeller	21
7.1.5 Elektroder	21
7.2 Petrolite Corrosion Rate	22
7.2.1 Mätprincip	22
7.2.2 Kalibrering	23
7.2.3 Korrektion av spänningsfall i elektrolyten	23

1983-10-10

7.2.4	Instrumentmodeller	23
7.2.5	Elektroder	24
7.3	Övriga instrument	25
7.3.1	Waverly	25
7.3.2	Polartron	25
7.3.3	Corroxit	26
7.3.4	Corrosimetro	26
8	SAMMANFATTNING AV INSTRUMENTINVENTERINGEN	27
9	SLUTDISKUSSION	30
	REFERENSFÖRTECKNING	32
	Tabeller	34
	Bilagor	
A.	Coorater, specifikationer för instrument och elektroder	
B.	Petrolite, specifikationer för instrument och elektroder	

1983-10-10

1 BAKGRUND

En primär uppgift för vattenkemisten vid värmeverk och kraftverk är att begränsa korrosionen hos konstruktionsmaterialen. Man övervakar idag systemens korrosionsnivå indirekt genom att följa upp vattenkvaliteten. Detta görs genom bestämning av lämpliga storheter som konduktivitet, pH, syrehalt, metallhalter, klorid- och fluoridhalt, permanganatförbrukning, inhibitorhalt m m.

Som komplement till uppföljning av vattenkemin finns elektrokemiska metoder som mera direkt ger besked om korrosionsprocesserna. En av dessa är bestämning av allmänskorrosionen genom uppmätning av polarisationsresistansen. Metoden kallas även linjär polarisation.

1983-10-10

2 INLEDNING

SVTF-K33 "Elektrokemiska mätmetoder" är ett projekt som finansieras av Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning. I denna rapport, som avser projektets första etapp, redovisas en litteraturstudie och en marknadsinventering över kommersiella instrument.

I litteraturstudien ges en elementär introduktion till bakgrund och principer för linjära polarisationsmätningar. Vidare behandlas osäkerheter, begränsningar och felkällor. Framställningen avses ge en schematisk överblick av metoden utan att läsaren behöver fördjupa sig i den teoretiska bakgrunden för mätningarna. För mera djupgående beskrivningar hänvisas till Stern et al (1), (2) och (3), Heitz och Schwenk (4), Callow et al (5). På svenska har metodiken beskrivits av Wranglén (6) och Kučera (7).

1983-10-10

3 GRUNDLÄGGANDE TEORI

3.1 Elektrodsystem i jämvikt

Vid en metallyta i kontakt med en vattenlösning inställer sig en dynamisk jämvikt, där en eller flera anodreaktioner (oxidationsreaktioner) balanseras av en eller flera katodreaktioner (reduktionsreaktioner). Detta innebär att oxidationsreaktionerna avger lika många elektroner per tidsenhet som förbrukas av reduktionsreaktionerna. Om reaktionsprocesserna sker jämnt fördelade över metallytan, innebär elektronjämvikten att summan av de anodiska och de katodiska strömtätheterna är lika, eller

$$\sum i_a = \sum i_c = i_o$$

med beteckningarna:

i_a = anodisk strömtäthet

i_c = katodisk strömtäthet

i_o = utbytesström vid jämvikt

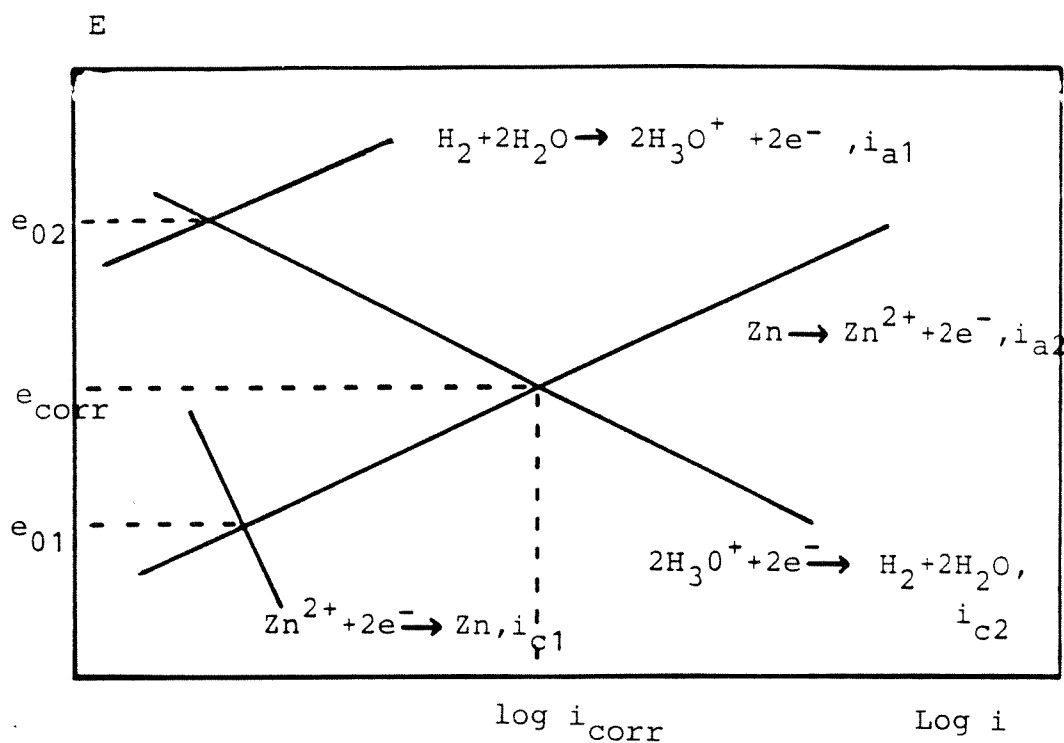
Detta är t ex fallet vid allmätkorrosion. Vid lokalkorrosion är reaktionerna lokaliserade till olika ställen av metallytan. Man får då uttrycka elektronjämvikten med totalströmmar i stället för strömtätheter.

Mot den dynamiska jämvikten av anod- och katodreaktioner svarar en vilopotential. Den kan uppfattas som en blandning av elektrodpotentialerna från flera elektrodreaktioner och kallas därför blandpotential.

På en allmätkorroderande yta kallas blandpotentialen korrosionspotential. Utbytesströmmen vid

1983-10-10

jämvikt kallas korrosionsström. Sambandet mellan blandpotentialen och utbytesströmmen framgår av potentialdiagrammet i Figur 1.



Figur 1

Potential-ström-diagram för upplösning av Zn i syra.

3.2 Polarisation

Om en metallyta i kontakt med en vattenlösning påläggs en yttre ström eller potential, förskjuts elektronjämvikten så att strömmen i den yttre kretsen (I_y) balanseras. Strömvillkoret blir

$$\sum i_a - \sum i_c = I_y$$

Om $I_y > 0$ dominerar anodreaktionerna, om $I_y < 0$ dominerar katodreaktionerna.

1983-10-10

Förskjutningen av elektronjämvikten får till följd att både utbytesström och elektrodpotential ändras. Fenomenet kallas elektrokemisk polarisation. Strömändringen kallas polarisationsström och potentialändringen polarisationspotential.

Det förekommer i huvudsak tre olika typer av elektrokemisk polarisation:

- Koncentrationspolarisation
- Resistanspolarisation
- Aktiveringspolarisation

Koncentrationspolarisationen beror på att koncentrationen av ett reagerande ämne på elektrodytan avviker från vattenlösningens. Intill ytan uppstår en koncentrationsgradient som ger upphov till ett diffusionsskikt. Det aktuella ämnet diffunderar genom skiktet mot lägre koncentration med en hastighet som bestäms av diffusionskonstanten och koncentrationsgradienten. Koncentrationspolarisationen försvinner långsamt, (flera sekunder), då den yttre strömkretsen bryts.

Resistanspolarisationen eller ohmsk polarisation beror på ohmsk resistans i ett skikt, t ex ett oxidskikt på metallytan, som ger upphov till ett ohmskt spänningsfall. Även elektrolyten mellan saltbryggan till en referenselektrod och mät-elektroden (metallytan) kan ge mätbara ohmska spänningsfall. Detta är särskilt påtagligt i högre vatten med låg elektrisk konduktivitet. Om spänningsfallet över elektrolyten inte kompenseras, uppstår ett mätfel. Resistanspolarisationen försvinner inom loppet av några mikrosekunder, då strömkretsen bryts.

1983-10-10

Aktiveringspolarisation beror på reaktionshämningar vilket leder till ett långsamt steg i elektrodprocessen. För att reaktionshämningen ska övervinnas, måste en aktiveringsenergi tillföras. Aktiveringspolarisationen försvinner inom loppet av några millisekunder då strömkretsen bryts.

1983-10-10

4 BESTÄMNING AV KORROSIONSTRÖMMEN

4.1 Mätprinciper vid polarisationsmätningar

Vid polarisationsmätningar polariserar man den korroderande metallen genom att koppla den som mätelektrod i en elektrodcell. Man mäter polarisationen:

1. genom att lägga en spänning E mellan elektroderna i cellen via en yttre strömkrets. Polarisationen avläses som den nettoström som uppkommer igenom cellen genom att endera av anod- eller katodreaktionerna gynnas. Om potentialen hålls konstant vid varje mätsteg sägs mätningen ske potentiostatiskt.

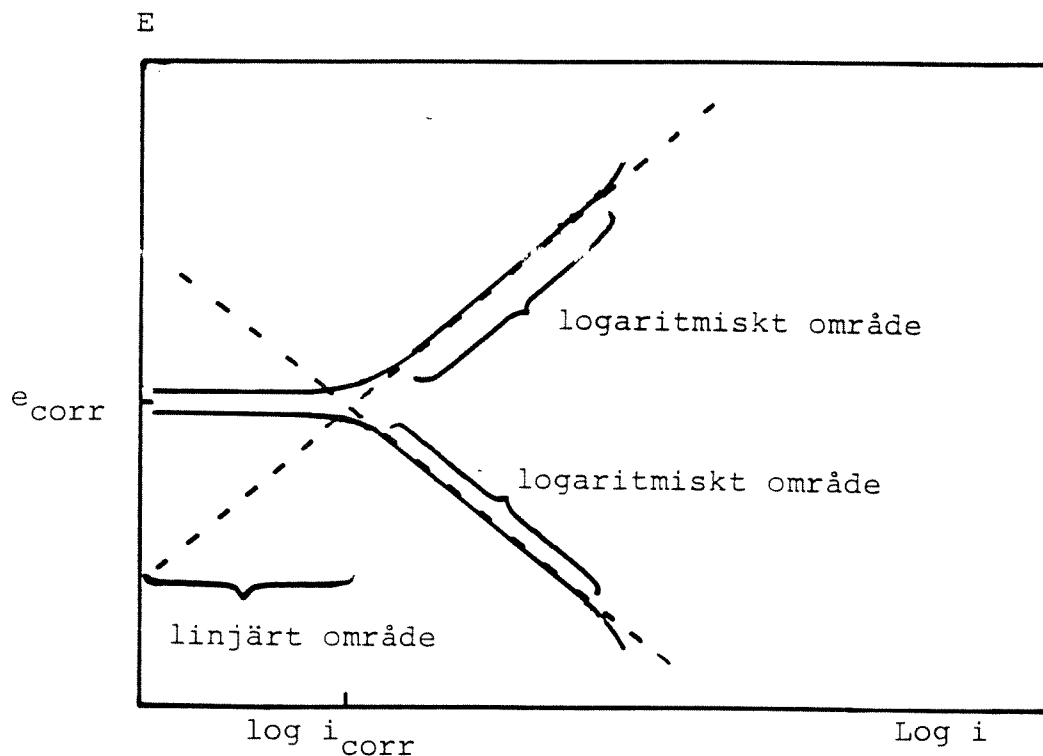
Om potentialändringen görs kontinuerligt, sägs mätningen ske potentiodynamiskt.

2. genom att driva en ström I_y genom elektrodcellen. Polarisationen avläses då som den spänningsskillnad som uppstår mellan mätelektroden och referenselektroden. Mätningen görs här galvanostatiskt.

I fall 1 registrerar man således polarisationsströmmen som funktion av polarisationsspänningen. I fall 2 gör man tvärt om.

Om man varierar strömmen eller spänningen och lägger in mätresultaten i ett diagram, får man en polarisationskurva. Normalt avsätter man logaritmen för polarisationsströmmen på x-axeln och potentialen på y-axeln. En idealiserad polarisationskurva visas i Figur 2.

1983-10-10

Figur 2

Polarisationsdiagram.

En viktig principiell begränsning hos alla polarisationsmätningar är att polarisationsströmmen alltid måste mätas som en totalström, I_y , genom en yttre strömkrets. De anodiska och katodiska delströmmarna kan aldrig mätas upp var för sig. Detta innebär att korrosionsströmmen i_o inte kan bestämmas genom direkta mätningar. Den kan emellertid bestämmas indirekt från polarisationskurvorna.

4.2 Linjär polarisation, princip

Man kan visa, att det vid aktiveringspolarisation råder ett linjärt samband mellan polarisationsström och polarisationsspänning i närheten av vilopotentialen. Det linjära området kan variera mellan olika elektrodsystem. I de flesta fall ligger man dock i det linjära området inom ± 20 mV från vilopotentialen.

1983-10-10

Det linjära sambandet kan skrivas:

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p}$$

där R_p är riktningskoefficienten $\Delta E / \Delta I$ för den linjära kurvan. R_p kallas polarisationsresistans och kan uttryckas i sorten ohm.

B är en konstant, som måste vara känd för att i_{corr} skall kunna beräknas.

Det finns två principiella tillvägagångssätt att bestämma konstanten B:

1. B kan beräknas ur lutningen för de logaritmiska kurvdelarna i log-lin-diagrammet. Metoden är omständlig och knappast aktuell för praktiska rutinmätningar.
2. B kan bestämmas empiriskt genom att korrosionsströmmen jämförs med en oberoende mätning av korrosionshastigheten. Denna metod är den vanligaste för kalibrering av rutinmätinstrument som bygger på linjär polarisation.

4.3 Elektrodarrangemang

Ett vanligt arrangemang av elektroder i en mätcell är det s k tvåelektrodsystemet. Det består av en mätelektrod och en referenselektrod eller motelektrod. Motelektroden har här två uppgifter, nämligen att mäta eller hålla en spänningsskillnad mot mätelektroden och att leda en ström genom cellen. I många fall är elektroderna av samma material och utförande. Man skiljer då inte på elektrodernas funktion som mät- och motelektrod.

För vissa mätningar kan det vara lämpligt att låta referenselektroden arbeta strömlöst. Man

1983-10-10

kompenserar då strömmen mellan mät- och referenselektroden med en lämplig bryggkoppling. Polarisationsströmmen leds i stället mellan mätelektroden och en tredje elektrod. Mätcellen utgör då ett treelektrodsystem. En fördel med detta är att man undviker störningar vid potentialmätningarna på grund av spänningsfall i elektrolyten. Man undviker också störningar från eventuell polarisation av referenselektroden.

4.4 Linjär polarisation och lokalkorrosion

Om elektroderna i mätcellen utsätts för lokala korrosionsangrepp, kan man ur mätresultaten ej bestämma allmätkorrosionen i systemet.

När det gäller frågan om man med linjära polarisationsmetoder kan indikera lokalkorrosion, är meningarna delade. På vissa håll, t ex hos Rohrback Cooperation (8), hävdar man att mät-signalerna kan ge besked om att lokala korrosionsprocesser pågår. För en cell med mät- och motelektrod i samma material anger man att man får en indikation på lokalangrepp ("pitting indication") genom att en spontan potentialskillnad uppkommer mellan elektroderna.

Andra källor varnar för att dra slutsatser om lokalkorrosion ur linjära polarisationsdata. Moreland och Rowlands (9) t ex, konstaterar att man inte får ett pålitligt mått på lokalkorrosion inklusive gropfrätning, spaltkorrosion och spänningskorrosion. De anser dock att instabila mätsignaler kan vara en indikation på att sådana korrosionsprocesser förekommer intermittent.

1983-10-10

4.5 Linjär polarisation vid höga temperaturer

Mätningar vid temperaturer över 100°C har bl a gjorts av Hübner et al (10) och Tarkpea et al (11). Såväl kolstål som rostfritt 18/8-stål och Zircaloy har undersökts.

De praktiska problem som tillkommer vid högtemperaturmätningar hänger samman med de förhöjda tryck och temperaturer som råder i högtryckssystemen. Det gäller att få täta genomföringar utan risk för kortslutning och överledningar. Elektroduppsättningen måste tåla höga temperaturer, vilket bl a ställer speciella krav på den elektriska isoleringen. Speciell uppmärksamhet måste ägnas åt jordning och skärmning.

Mätningarna hos (10) och (11) tycks ha gått bra för kolstål, medan man har haft problem i syrefattiga högre vatten med Zircaloy och 18/8-stål. I syrerika högre vatten gick mätningarna på dessa senare material dock bra.

1983-10-10

5 BEGRÄNSNINGAR OCH FELKÄLLOR VID LINJÄRA POLARISATIONSMÄTNINGAR

För att allmänskorrosionshastigheten skall kunna mätas med linjära polarisationsmetoder, måste man beakta ett antal faktorer som kan begränsa metodiken eller som kan störa mätresultaten. Några av de viktigaste kommenteras i det följande:

1. Polarisationen måste vara tillräckligt låg.

Ju större polarisationen är, desto större blir avvikelsen från linearitet. För praktiska tillämpningar kan man utgå från att polarisationspotentialer mindre än ca 20 mV ger acceptabelt små linearitetsfel.

2. Korrosionsmediet (elektrolyten) måste ha tillräckligt hög konduktivitet.

Vid mycket låg konduktivitet och låg korrosionshastighet kan polarisationsresistansen dränkas i bidraget från elektrolytens resistans. Problemet motverkas genom att man optimerar cellgeometrin med avseende på elektrodytor och elektrodavstånd. Kommersiella tvåelektrodceller kan användas ner till 1 mS/m enligt Feitler (12). Samma källa anger att treelektrodceller kan användas ner till 0.1 mS/m.

Elektrolyter med mycket låg konduktivitet kan även ge problem med ingångsimpedansen hos mätutrustningen. Detta motverkas genom omsorgsfull skärmning av signalkablar och utrustning.

3. Konkurrerande redoxreaktioner får inte förekomma.

Utbytesströmmen är summan av samtliga anodiska respektive katodiska delströmmar. Vid en korroderande metallyta kan man dock i regel försumma övriga strömmar i förhållande till korrosionsströmmen. Detta gäller speciellt för metaller med jämförelsevis snabb allmänskorrosion, som t ex kolstål.

1983-10-10

I högre vatten med förhöjda vätehalter kan väteoxidation överskugga korrosionsreaktionen hos lättpassiverade metaller som t ex rostfria stål och Zircaloy. Den beräknade utbytesströmmen, som motsvarar summan av all förekommande oxidation, ger då ett för högt värde på korrosionshastigheten.

4. Jämvikt måste hinna inställa sig före varje avläsning av polarisationen.

Tiden till jämvikt är kort för snabbt korroderande metaller, t ex för kolstål. För system med mycket låg korrosionshastighet, framför allt lättpassiverbara system, kan tiderna till jämvikt bli besvärande långa.

5. Vilopotentialen får inte ändras alltför mycket under en mätcykel.

I verkliga system ändras vilopotentialerna med tiden. Detta kan bero på förändringar av hastigheten och även reaktionssättet hos delprocesserna, vilket i sin tur kan bero på förändringar i korrosionsmiljön som t ex inhibitorhalt, syrehalt, pH, temperatur etc.

Variationerna i vilopotential behöver inte ge några problem så länge de är långsamma i förhållande till mättiden. En gradvis förändring påverkar inte polarisationsspänningen, om referenspunkten för vilopotentialen korrigeras mellan varje mättillfälle.

I vissa situationer uppstår stora snabba fluktuationer hos vilopotentialen. Sådana fenomen är enligt Callow et al (5) typiska bl a för passiva material som t ex aluminiumlegeringar och nickellegeringar i miljöer som ger lokalangrepp, samt i miljöer med hög strömningshastighet. Fenomenet kan ge svåra problem vid likströmsmätningar. Den verkliga polarisationspotentialen kan hinna fluktuera långt utanför det linjära området under en mätcykel, vilket medför en kraftig felskattning av korrosionshastigheten. Som motåtgärder har det föreslagits växelströmsmätningar, där man polariserar provet med en växelspanning, som har högre frekvens än potentialfluktuationerna.

1983-10-10

6. Mätelektroden får inte polariseras irreversibelt vid mätningarna.

Polarisationen får enbart påverka hastigheterna hos anod- och katodprocesserna. Någon irreversibel förändring av reaktionsbetingelserna får inte förekomma. När den polariserande strömmen eller potentialen upphör, ska elektroden återgå till sin ursprungliga vilopotential.

Ett exempel på irreversibel polarisation i det linjära området har undersökts av Epelboin et al (13). En elektrod av järn i sur lösning inhiberades med propargylalkohol, som är en adsorptionsinhibitor. Vid höga inhibitorhalter gav likströmsmätningar av polarisationsresistansen kraftigt överskattade korrosionshastigheter. Fenomenet förklarades med att likströmspolarisationen trots sin litenhet påverkade graden av yttäckning för inhibitorn. I det aktuella systemet fick man god överensstämmelse mellan mätresultaten när man tillämpade växelströmsmätningar.

7. Ytan hos mätelektroden måste vara representativ för materialet i systemet. Mätningen ger ju enbart besked om vad som händer elektroderna och gäller inte automatiskt för det övriga materialet. Det är därför viktigt att elektrodmaterialen överensstämmer så nära som möjligt med detta. Potentiella felkällor är skillnader i tillverkning, skillnader i ytbehandling och skillnader som beror på icke-representativ försmutsning av elektrodytan med korrosionsprodukter, fett eller kemikalier.

8. Lokalkorrosion på elektrodytan kan störa mätningarna kraftigt. En speciell risk som måste uppmärksammas är spaltkorrosion mellan elektrodytan och intilliggande isolermaterial.

1983-10-10

7 INSTRUMENTINVENTERING

De vanligast förekommande instrumenten på marknaden tycks vara Corraters-instrumenten från Magna Instruments (en division av Rohrbach Corporation) och Petrolite-instrumenten från Petrolite Corporation, båda USA. Moreland och Rowlands (9) nämner även instrument från Waverly Electronics LTD, England, Polartron från VPZ, Tjeckoslovakien, Corrovit från Tacurrel Electronique, Frankrike och Atel SRL, Italien. En sammanställning av dessa instrument redovisas i Tabell 1. Tabellen är publicerad 1977 och är således inte helt aktuell. Den har ändå tagits med för att ge en överblick över utbudet.

7.1 Corraters

Rohrbach Corporation i USA säljer ett flertal instrument under namnet Corraters. Svensk återförsäljare är Kemi-Intressen AB, Box 618, 172 06 SUNDBYBERG, tel 08 - 28 91 60.

7.1.1 Mätprincip

Mätningen går till så att instrumentet lägger en konstant potentialskillnad mellan två identiska elektroder så att den ena elektroden polariseras anodiskt och den andra katodiskt. Polariseringsströmmen mäts därefter upp mellan elektroderna.

De flesta instrumentmodellerna arbetar med polomkastning, vilket innebär att de båda elektroderna polariseras växelvis anodiskt och katodiskt. Efter en polvändning beräknar och visar instrumentet medelvärdet av de båda polariseringsströmmarna. Denna ström är proportionell mot korrosionsströmmen enligt teorin för linjär polarisation.

1983-10-10

6 SAMMANFATTNING AV LITTERATURSTUDIEN

1. Den linjära polarisationsmetodiken är idag väl utprovad och undersökt för åtskilliga material-miljö-system. Det har gjorts omfattande studier, både experimentella och teoretiska, som har klarlagt metodikens användbarhet, felkällor och begränsningar.
2. Metodiken fungerar utmärkt för mätning av allmänkorrosionen hos bl a låglegerade stål med jämförelsevis snabb allmänkorrosion. Detta gäller även i högre vatten med låg konduktivitet. Metodiken fungerar bra även i högttemperatursystem.
3. På lättpassiverbara material, t ex austenitiska rostfria stål, Inconel och Zircaloy, kan linjära polarisationsmätningar ge helt missvisande resultat i högre vatten. För sådana kombinationer är möjligheterna att bestämma korrosionshastigheten med linjär polarisation helt beroende på om även andra redox-reaktioner innefattas i mätningarna eller ej. Detta måste undersökas för varje enskilt fall.
4. Metodiken ger inte utan vidare säkra besked om lokalkorrosion. I vissa fall kan man möjligen få indikationer på lokala korrosionsprocesser. Sambandet mellan linjära polarisationsdata och lokalkorrosion är dock oklart och tolkningarna av mätsignalerna osäkra.

1983-10-10

7.1.2 Kalibrering

Corrater-instrumenten är graderade i mpy (mils per year). Det avlästa värdet skall multipliceras med en kalibreringsfaktor, den så kallade probe multiplier, för att ge rätt avläsning av korrosionshastigheten. Instrumentets kalibrering har valts så att kalibreringsfaktorn för kolstål skall vara 1.0 i ett ordinärt industriellt kylvattensystem. För andra material måste kalibreringsfaktorn beräknas.

7.1.3 Korrektion för spänningsfall i elektro- lyten

Vid låg konduktivitet hos elektrolyten påverkas mätresultatet av spänningsfallet mellan elektroderna. Magna Instruments uppger, att man kan använda tvåelektrodsystem utan korrektion för spänningsfall så länge produkten av korrosionshastigheten (mpy) gånger elektrolytens resistivitet (ohm · cm) är mindre än 10 000. Motsvarande värde för treelektrodsystem uppges vara 25 000.

Sambandet kan även uttryckas

$$\frac{C_m}{\kappa} < 0.1$$

respektive

$$\frac{C_m}{\kappa} < 0.25$$

med beteckningarna

C_m = korrosionshastigheten, mpy

κ = elektrolytens konduktivitet, mS/m

I ett vatten med exempelvis $\kappa = 0.1$ mS/m svarar dessa samband mot en maximal korrosionshastighet utan korrektion för spänningsfall av 0.010

1983-10-10

respektive 0.025 mpy för två- respektive treelektrodsystemet vilket är undre gränsen av instrumentens känslighet.

Om man skall utföra mätningar i system där man ligger över omnämnda gränsvärden måste korrektionsdiagram användas. Dylika kan erhållas från Magna Instruments.

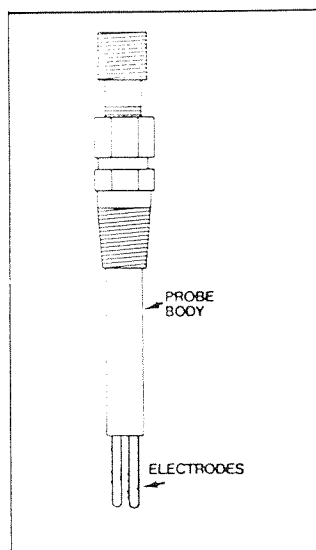
7.1.4 Instrumentmodeller

Corrater-instrument finns i utföranden både för batteridrift och för nätanslutning. Till några modeller kan endast anslutas tvåelektrodsystem, medan till andra kan anslutas såväl två- som treelektrodsystem. Flerkanalsmodeller finns. Reläutgångar för larm och styrsignaler kan anslutas. (Ingår i sexkanalsinstrumentet 1136.)

Specifikationer för Corraters modeller redovisas i Bilaga A.

7.1.5 Elektroder

Ett typiskt tvåelektrodarrangemang visas i Figur 3. Båda elektroderna är av samma material och har samma dimensioner.



Figur 3

1983-10-10

Hos treelektrodarrangemangen är de två testelektroderna identiska, medan den tredje, referenselektroden, är av rostfritt stål. Denna är placerad omedelbart intill den ena testelektroden.

De två testelektroderna är utbytbara. Referenselektroden är dock fast ansluten till instrumentet. Ett stort sortiment av elektrodmaterial finns på marknaden.

Testelektroderna kan levereras dels i standardutförande och dels i ett antal speciallegeringar. Utföranden finns för tryck upp till 7.0 MPa och temperaturer upp till 150°C.

Elektrodspecifikationer framgår av Bilaga A.

7.2 Petrolite Corrosion Rate

Petrolite Instruments, Texas, USA, säljer ett antal modeller under den gemensamma beteckningen Petrolite Corrosion Rate Instrument.

7.2.1 Mätprincip

Samtliga instrument mäter på treelektrodsystem med så kallad PAIR-teknik. (PAIR = Polarisation Admittance Instantaneous Rate). Detta är i praktiken konventionell linjär polarisationsmetodik. Instrumenten mäter skillnaden i korrosionspotential mellan referens- och testelektrod. Därefter sker en automatisk inkoppling av en polarisationsström mellan mot- och testelektrod, varvid 10 mV potentialskillnad uppstår mellan test- och referenselektrod. Polarisationen av testelektroden kan vara antingen anodisk eller katodisk. Vanligen används dock katodisk polarisation. Potentialskillnaden resulterar i en polarisationsström, I , mellan testelektroden och

1983-10-10

och referenselektroden. I är proportionell mot korrosionshastigheten enligt teorin för linjär polarisation.

7.2.2-----Kalibrering

Kalibreringen mellan elektroder och instrument är gjord för en antagen korrosionshastighet av det aktuella elektrodmaterial i en "typisk" miljö. Mätsignalen avläses som mpy. För att man skall få optimal precision på mätningen kan det krävas en kalibrering för den specifika miljön. Mätvärdet multipliceras då med en konstant kalibreringsfaktor.

7.2.3 Korrektion för spänningsfall i elektro- -----lyten

Petrolite Instruments uppger, att deras instrument kan användas för mätningar i elektrolyter ned till 0.01 mS/m. Eftersom spänningsfallen i elektrolyten kan vara avsevärda vid så låg konduktivitet, krävs för optimal precision en utvärdering av spänningsfallets storlek i förhållande till polarisationsresistansen för det aktuella mätfallet.

7.2.4-----Instrumentmodeller

Petrolite's elektrodarrangemang är alla av tre-elektrodotyp. Samtliga tre elektroder är normalt av samma material.

Modeller finns både för batteridrift, och för nätanslutning. Flerkanalsmodeller finns med larmnivåer.

På de enklare modellerna måste voltmetern för potentialbestämningar mellan test- och referenselektrod nollställas manuellt före mätningen.

1983-10-10

Detta görs för att kompensera potentialskillnader mellan elektroderna innan polarisationspotentialen läggs på.

På de mer avancerade modellerna görs nollställningen automatiskt i början av varje mätcykel. Mätcykelns längd kan här i regel ställas in på mellan någon minut och ca en timme.

Vissa modeller registrerar "offset-potentialen", dvs potentialskillnaden mellan test- och referenselektroden vid början av varje mätcykel.

På de enklare instrumenten väljer man med manuell omkopplare mellan anodisk och katodisk polarisation. På de avancerade instrumenten finns även ett mätalternativ med successiv mätning vid såväl anodisk som katodisk polarisation under en mätcykel.

Specifikationer på instrumentmodeller lämnas i Bilaga B.

7.2.5 _____ Elektroder

Elektroder finns med två geometrier. I den ena sticker elektroderna ut från hållarplattan i form av tre likadana pinnar. I det andra ligger elektrodytorna infällda som koncentrisk ringar i hållarplattan.

I "pinnmodellerna" är elektroderna lätt utbytbara. Detta ger möjlighet att byta ut testelektroden efter en mätperiod och jämföra mätresultaten med viktsförlusten hos elektroden.

Ett stort sortiment av elektroder finns, för temperaturer upp till 200°C och för tryck upp till 27 MPa.

1983-10-10

Elektrodspecifikationer ges i Bilaga B13 - 16.

7.3 Övriga instrument

7.3.1 Waverly

Enligt Moreland (9) tillverkar Waverley Electronics i Storbritannien ett växelspänningsinstrument som ger en signal med fyrkantvåg vid 10 Hz. Testelektroden oscilleras ± 5 mV kring korrosionspotentialen. Instrumentet är utrustat med ett treelektrodsystem.

Elektroder levereras dock normalt inte med instrumentet.

7.3.2 Polartron

Moreland (9) refererar till ett instrument, Polartron som tillverkas av VPZ, Praha-Bechovice, Prag, Tjeckoslovakien. Instrumentet levereras för två- eller treelektroduutförande. Det finns i utföranden för laboratorier och industrier.

Polartron kan polarisera både med 0.25 och 1.0 Hz fyrkantsvågor och med likström. Den maximala amplituden är 6 mV.

Korrosionshastigheten bestäms med hjälp av nomogram eller från omvandlingsformler av typen

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p}$$

där B är en konstant och R_p är polarisationsresistansen.

1983-10-10

7.3.3 Corrovit

Moreland (9) refererar även till instrumentet Corrovit tillverkat i Frankrike av Tacussel Electronique. Instrumentet utnyttjar en treelektrodcell, och lägger på en polarisationspotential mellan ± 1.25 och ± 125 mV. Potentialen kan läggas på som likspänning eller som en signal med triangulär vågform (sågtandsspänning) mellan 10^{-3} och 10^{-1} Hz.

Instrumentet finns endast för laboratoriebruk. Elektroder och kablar för industribruk levereras inte.

7.3.4 Atel SRL

Ett instrument som omnämns av Moreland (9) kommer från Atel, SRL i Italien. Det är batteri-drivet och utnyttjar ett treelektrodsystem. Elektroder finns både för laboratorie- och industribruk.

1983-10-10

8 SAMMANFATTNING AV INSTRUMENTINVENTERING

Samtliga redovisade instrument är baserade på teorin för linjär polarisation. Enligt denna teori är korrosionsströmmen proportionell mot en konstant B dividerad med polarisationsresistansen R_p (Callow et al (5)).

Samtliga instrument genomför även likströmsmätningen på principiellt samma sätt, genom att hålla polarisationspotentialen ΔE konstant och registrera polarisationsströmmen ΔI som en beroende variabel. Man kan då omforma sambandet för korrosionsströmmarna till

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} = \frac{B}{\frac{\Delta E}{\Delta I}} = \frac{B \cdot \Delta I}{\Delta E}$$

Eftersom både B och ΔE är konstanta under mätningen kan de skrivas

$$\frac{B}{\Delta E} = K$$

och man får

$$i_{\text{corr}} = K \cdot \Delta I$$

dvs korrosionsströmmen vid konstant polarisationspotential är proportionell mot polarisationsströmmen med K som proportionalitetskonstant.

Både Magna och Petrolite levererar kombinationer av instrument och elektroder med kalibrering i mpy. Kalibreringen utgår från vissa standardformer av korrosion. Vid mätning i ett system kan kalibreringsfaktorn ha ett avvikande värde. Innan man drar några slutsatser från mätningarna vad beträffar absoluta korrosionshastigheter i

1983-10-10

systemet, måste man därför förvissa sig om, att man arbetar med korrekt kalibreringsfaktor. I vissa system är kalibreringsfaktorn välkänd och reproducerbar. I andra krävs det att man gör en empirisk kalibrering mot oberoende metoder för den aktuella mätningen.

Samtliga instrument arbetar med treelektrodsystem utom några Polartron- och Corraters-modeller som använder tvåelektrodsystem.

Treelektrodsystemen har fördelar framför allt i vatten med låg konduktivitet, där spänningsfallet i elektrolyten kan minimeras och kompenseras. Tvåelektrodsystem kan vara att föredra vid högre konduktivitet. Det anses av vissa författare, t ex Callow et al (5), att tvåelektrodsystem är mindre känsliga för skillnader mellan elektrod- och konstruktionsmaterial.

I Corraters treelektrodarrangemang är referenselektroden av rostfritt stål. I vissa situationer kan den enligt (9) uppvisa potentialfluktuationer av helt annan karaktär än test- och motelektroder av t ex kolstål, varför resultatet måste tolkas med viss försiktighet. I system med hög redoxbuffertkapacitet finns risk för att referenselektroden mäter på buffertkomponenternas redoxreaktioner istället för på korrosionsförloppet.

Några av de redovisade instrumenten har måtalternativ för växelspänningspolarisation. Corraters polvändningsmetod kan i princip uppfattas som en växelspanning med låg frekvens. Det samma gäller för några av Petrolite's modeller.

1983-10-10

Mätningar vid högre frekvenser kan ibland lösa problem med fluktuationer hos elektrodpotentialerna. Kalibreringsfaktorn för växelströmsmätningen kan avvika starkt från den för likström. Kalibrering för den använda frekvensen är därför nödvändig.

Överensstämmelsen mellan linjära polarisationsmätningar och andra metoder för korrosionsbestämningar, t ex viktförlustmätningar, är i regel god för system där korrosionen försiggår i aktivt tillstånd. Inga mättekniska svårigheter föreligger härvid normalt. Resistansen i elektrolyten är försumbar i förhållande till polarisationsresistansen och tiden till stationärt tillstånd är kort. Vid sådana betingelser är förutsättningarna för de kommersiella instrumenten goda.

Vid mätningar av låga korrosionshastigheter i t ex rostfria system kan problem däremot uppstå. Mätningarna tar lång tid då stationära tillstånd uppnås långsamt. Spänningsfall kan förekomma som överskuggar polarisationsresistansen. Resultaten kan även innefatta andra redoxreaktioner än korrosionsreaktionerna.

I Tabell 2 - 6 korreleras linjära polarisationsmätningar på ett stort antal kombinationer av material och miljöer med oberoende mätningar. Tabellerna, som har tagits från (5), ger en god överblick över metodens användbarhet och begränsningar.

1983-10-10

9

SLUTDISKUSSION

Övervakningen av kvaliteten på systemvatten i värmeverk och kraftverk sker vanligen genom kemisk analys. Trots god vattenkemisk kontroll har i vissa fall skadefall inträffat t ex genom att spänningsskorrosionsprickor uppstått i fjärrvärmerör. I andra fjärrvärmenät med samma analysvärden på vattnet har däremot inga sprickor uppstått. I skadefallsutredningar framhålls att sprickorna sannolikt uppstår som följd av spänningar i materialet i kombination med kemisk inverkan från vattnet. Konventionellt framtagna analysvärden ger mot denna bakgrund ej tillfredsställande information om vattnets inverkan på materialet.

Linjära polarisationsmätningar erbjuder en förbättrad karaktärisering av den miljö materialet utsätts för. Förbättringen ligger däri att dessa mätningar ger en direkt och kontinuerlig mätsignal på hur materialet känner av miljön. Den kontinuerliga mätningen är speciellt värdefull som kontroll av vattenkvaliteten i samband med start av system och under inkörningsperioder. Mätsignalen kan kombineras med larmsystem så att larmsignal erhålles vid förändringar av vattnet utöver förutbestämda riktvärden.

I ett mer utvecklat utförande kan mätsignalen även användas för styrning och reglering av doseringspumpar. Inhibitorhalten i ett systemvatten kan således automatiskt upprätthållas inom önskade värden. Förutsättningen är då att mätsignalen intrimmats mot förutbestämda gränsvärden för inhibitorhalten eller att en bestämd mängd inhibitor doseras till systemet varje dygn.

1983-10-10

Linjära polarisationsmätningar är idag väl utprovade och undersökta i laboratorieskala för mätningar av korrosionshastigheter i ett stort antal material/miljösystem. Denna litteraturstudie och instrumentinventering visar att metodiken erbjuder goda möjligheter för förbättrad kontroll och övervakning av vattenkemin i aktuella system vid värmeverk och kraftverk. Projektarbetets fortsättning bör därför inriktas på utprovning av instrument i fältförsök. Provingarna bör göras på systemvatten med och utan tillsats av inhibitor och även omfatta viktförlustmätningar på provplåtar. Resultaten från fältförsöken kan sedan ligga till grund för en säkrare bedömning av metodens praktiska användbarhet.

1983-10-10

REFERENSFÖRTECKNING

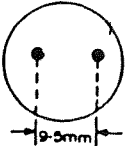
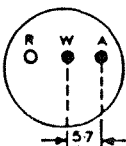
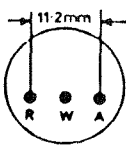
1. STERN, M och GEARY, AL
A theoretical analysis of the shape of polarisation curves.
J Electrochem Soc 104(1957);1, s 56 - 63.
2. STERN, M
A method for determining corrosion rates from linear polarisation data.
Corrosion 14(1958), 440t - 444t.
3. STERN, M och WEISERT, E D
Experimental observations of the relation between polarisation resistance and corrosion rate.
Proc Am Soc Test Mat 59(1959), s 1280 - 1290.
4. HEITZ, E och SCHWENK, W
Arbeitsgruppe "Grundlagen unter Anwendung physikalisch - chemischer Korrosionsprüfmethoden" der Europäischen Föderation Korrosion.
Theoretische Grundlagen der Ermittlung von Korrosionsstromdichten aus Polarisationwiderständen.
Werkstoffe und Korrosion 27(1976), s 241 - 245.
5. CALLOW, L M, RICHARDSSON, J A och DAWSON, J L
Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance Measurements.
Br Corros J 11(1976):3, sid 123 - 139.
6. WRANGLÉN, G
Korrosionsteorins nyare utveckling.
Svensk kemisk tidsskrift 71(1959):8, sid 367 - 386.
7. KUČERA, V
Elektrokemiskt accelererade korrosionsprovningssmetoder.
Jernkont Ann 152(1968), s 179 - 203.
8. Corratat faktablad från Rohrback Corporation via Kemi-Intressen AB, Box 618, 172 06 SUNDBYBERG.
9. MORELAND, P J och ROWLANDS, J C
Technique and Instrumentation for Polarisation Resistance Measurements.
Br Corros J 12(1977):2, sid 72 - 79.

1983-10-10

10. HÜBNER, W, BRAUNER, F och LUNDBERG, K
Elektrokemiska metoder för kontinuerlig
mätning av korrosionshastighet, speciellt
hos högttemperaturutrustning.
AE-MK-171, Studsvik 1970.
11. TARKPEA, P et al
Elektrokemiska metoder för kontinuerlig
mätning av korrosionshastigheter,
speciellt hos högttemperaturutrustning
av kolstål, rostfritt 18/8-stål och
Zircaloy-2.
AE-MK-271, Studsvik 1971.
12. FEITLER, H
Mater Prot Perf 1970, October, sid 37.
13. EPELBOIN, I KEDDAM, M och TAKANOUTI, H
J appl Electrochem (1972):2, s 71.

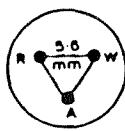
Tabell 1

Commercial Instruments for Polarisation Resistance Measurements
 *Ranges in mpy for Corrater and Petrolite models are based on the use of steel

Name and Model	Suppliers	No. of electrodes	Electrode design	Applied voltage, ΔE	Circuit type	Power source	Use	Range, mpy* (Corrater & Petrolite Models)	Notes
Corrater Model 1110	Magna Corporation, 11808 South Bloomfield Avenue, San'a Fe Springs, California, USA	2	Type I (2-electrode) 	30 mV total	Reversing d.c. Cycle time 60 s	115V 50/60 Hz 230V 50/60 Hz	Lab/Plant	0-1000 6 ranges	Built-in recorder output, control and alarm output
Corrater model 1130		2	Both electrodes of same material and size	30 mV total	Reversing d.c.	115V 50/60 Hz 230V 50/60 Hz	Lab/Plant	0-10 0-100	Recorder output Control and alarm output
Corrater Model 1100		2 & 3		0-50 mV variable	Reversing d.c. with variable cycle time	115V 50/60 Hz 230V 50/60 Hz	Lab/Plant	0-1000 4 ranges	Two full time active instruments. Dual channel with control and alarm outputs. Intrinsically safe (USA Specification)
Corrater Model 1120		2 & 3	Type II (3-electrode) 	0-1 volt variable	Manually reversing d.c.	Two 8.4 V batteries	Portable Lab/Plant	0-1000 6 ranges	Cathodic and anodic polarisation possible
Corrater Model 1172		2	Reference electrode of stainless steel	30 mV total	Non-reversing d.c.	Four 4.5 V batteries	Portable Lab/Plant	0-10 0-100	
Petrolite M1000 Series	Petrolite Instruments, 4411 Bluebonnet, Stafford, Texas, 77477 USA	3	Type I  3 electrodes, same material and size	10 mV anodic, cathodic, or alternate anodic/cathodic	PAIR technique applies addit. 10 mV differential between ref. and test electrodes. Time adjustable 1-30 min	115V 60 Hz Specials available	Lab/Plant	0-1000 10 ranges	Unstable up to 10 ¹⁰ M Ω resistivity M-1010 CI 10 stations available

Storeland & Rowlands: Polarisation Resistance Measurements

Tabell 1 (forts)

Name and Model	Suppliers	No. of electrodes	Electrode design	Applied voltage, ΔE	Circuit type	Power source	Use	Range, mpy* (Corrater & Petrolite Models)	Notes
Petrolite Model 103		3		± 10 mV usually, ± 200 mV possible	PAIR technique	Rechargeable 6V Ni batteries	Portable Lab/Plant	0-1000 6 ranges	Useable up to 1 M Ω cm resistivity. Recorder output
Petrolite Model 210		3		± 10 mV	PAIR technique	Three mercury batteries	Portable Lab/Plant	0-1000 8 ranges	Useable up to 1 M Ω cm resistivity
Petrolite Model 212		3		± 10 mV usually ± 140 mV possible	PAIR technique	Two alkaline batteries	Portable Lab/Plant	0-200 10 ranges	Useable up to 1 M Ω cm resistivity
Petrolite M-2000 Series		3		± 10 mV	PAIR technique	115V/60 Hz Specials available	Plant	0-20 0-200	Digital readout; 2 probe input; recorder, alarm and control outputs
Waverley Type CM471	Waverley Electronics Limited, Waverley Road, Weymouth, Dorset, England	3	Custom made. All electrodes need not be same material or lab. type, ref. useable	ΔE potentiostatically controlled, $+5$ mV to -5 mV about floating E_{corr}	Constant a.c. potential with 10 Hz square wave	240V/50 Hz or 115V/50 Hz or battery	Lab/Plant	0-1000 μ A/mV in the 4 ranges calculable from current measure	Normally supplied with chart recorder or data logger output. Digital display available or integrator for total corrosion display. Useable with up to 1 M Ω cm resistivity solutions
Corrovit	Tacussel Electronique Solea, 72-78 Rue d'Alsace, 69100 Villeurbanne, France	3	Not specified	$\pm 1-25$ to ± 125 mV step or triangular of 10^{-1} to 10^{-4} Hz	Constant potential. Constant current available with 25nA to 1250 μ A	240V/50 Hz or battery	Lab/Plant	25nA - 1250 μ A	Can be driven by external signal generator
Polarotron	VPZ Praha-Bechovice, Prague, Czechoslovakia	2	Identical electrodes	± 6 mV max. Square wave of 0.25 and 1.0 Hz or d.c.	Constant or alternating current	220V/50 Hz	Lab or Plant	0-150k Ω in 10 ranges	Chart recorder output
		3	Calomel or silver chloride reference						
Corrosimetro Model CSO 100/3	Atel SRL, Via dell'Accademia, Tibernia, 22 00147 Roma, Italy	3	Standard electrodes are of the same material, or use of other ref. electrodes	± 10 mV adjustable	Constant potential	Battery	Lab/Plant	0-10mm/yr in 4 ranges	Circuit isolated from ground

Tabell 2

Callow et al.: Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance I

Summary of polarisation resistance measurements on iron and its alloys

METAL/ALLOY	MEDIUM	CHECKS	CORRELATION	R, mV	REF.
Mild steel	H ₂ SO ₄ solutions	Weight loss	Good correlation	30	40 ^(a)
Mild steel	Inhibited H ₃ PO ₄ Citric acids	Weight loss	Good correlation	15-21 12	39
Mild steel	Inhibited pickling acid	Weight loss	Good correlation		15
Iron	0.5 M H ₂ SO ₄ + propargyl alcohol	Weight loss	Correlation with polarisation resistance poor, but charge transfer resistance good	25	28 ^(e)
Mild steel	Organic acids	Weight loss	Good correlation		7
Iron	Inhibited acids			16-45	41
Iron	0.5 M H ₂ SO ₄ M HCl			13 23	42 42
Iron	10% H ₂ SO ₄ 0.2 M HCl M HCl			43 30 28	26 ^(b)
Carbon steel	0.5 M H ₂ SO ₄	Tafel extrapolation	Good correlation	12	43
Iron	0.5 M H ₂ SO ₄ (10 min) 0.5 M H ₂ SO ₄ (1400 min)	Solution analysis	Good correlation	10 38	44 44
Mild steel Mild steel Free cutting steel SiMn steel	Sea water 4% HCl solution	Weight loss	Good correlation	2-5	29 ^(a)
Mild steel	NaCl solutions + NaNO ₂ inhibitor	None			6, 45
Mild steel	54% Li Br solution 54% Li Br solution + Li ₂ CrO ₄ inhibitor	Tafel extrapolation and weight loss	Reasonable correlation	36 20	46
Mild steel	Inhibited and uninhibited ethylene glycol solution	Tafel extrapolation and weight loss	Good correlation		47
Mild steel	Simulated cooling waters	Weight loss	Generally good correlation		48
Mild steel	River water + Zn chromate/poly- phosphate	Weight loss	Good correlation		49
Ingot irons Fe18Cr8Ni	Artificial sea water	Tafel extrapolation and weight loss	Good correlation		50
Fe18Cr10Ni	H ₂ SO ₄ solutions		Good correlation between transient and steady state techniques		18-20 ^(f)
Ferritic and austenitic stainless steels	Dil. H ₂ SO ₄ d.c. solution 30 Hz 50 Hz 100 Hz	Weight loss	Good correlation	18 4.9 2.6 1.3	23 ^(e)
Stainless steel	Dil. H ₂ SO ₄ solution	Weight loss	Good correlation		51
Fe18Cr8Ni	Alkaline lithiated water	Tafel extrapolation and weight loss	Results correlated with Tafel extrapolation but not weight loss	24	52
Fe13Cr1Ni Fe13Cr4Ni Fe12Cr5Ni1Mo Fe14Cr5Ni1Mo	3% NaCl solution	Weight loss	Good correlation	22 36 36 41	53
Mild steel Fe18Cr9Ni Fe25Cr20Ni Fe18Cr13Ni2Mo	Sea water	Weight loss	Polarisation resistance over- estimated rate for carbon steel; underestimated rates for stainless steels		54

(a) a.c. technique, f 0-25 Hz

(b) a.c. technique, f 0.5-1 Hz

(c) a.c. technique, f < 2 Hz

(d) a.c. technique, f 9-7 Hz

(e) a.c. technique, f 30, 50, 100 Hz

(f) d.c. transient technique

Tabell 3

Callow et al.: Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance I

Summary of polarisation resistance measurements on aluminium and its alloys

METAL/ALLOY	MEDIUM	CHECKS	CORRELATION	B_p , mV	REF.
Al 1.25 Mn	Apple juice Beef gravy Beer Cream corn Green beans Prune juice Tomato juice	Tafel extrapolation H_2 evaluation	Good correlation	29	55
Aluminium (SAE 329)	Inhibited and uninhibited ethylene glycol solutions	Tafel extrapolation and weight loss	Good correlation		47
Al1Mn1Mg	Sodium sulphate solutions	Tafel extrapolation	Good correlation		14
Aluminium (grade unspecified)	0.2 M NaOH 2.5 M H_2SO_4 0.5 M H_2SO_4 0.1 M $NaHCO_3$ 0.05 M $Na_2B_4O_7$ 0.1 M K_2HPO_4	None		105 (d.c.) 75 (a.c.)	56 ^(a)
Pure aluminium	H_2 -saturated 0.5 M H_2SO_4	Tafel extrapolation and weight loss	Results less than half those obtained by Tafel extrapolation and weight loss		57
Pure aluminium AlCladAl4.5Cu1Zn Al1ZnCladAl1.2Mn1Mg Al4Mg Al1Mg Al3.5Zn2.5Mg	Filtered and unfiltered flowing sea water	Weight loss	Polarisation resistance gives lower rates than weight loss		54
Al3Mg1Mn	Artificial sea water	Tafel extrapolation and weight loss	Good correlation		50
Aluminium (commercial purity)	Sea water	Weight loss	Good correlation	5.7	29 ^(b)
Various alloys	Media at 40 °C			64 ± 13	58

(a) a.c. technique, f 0.25 Hz

(b) a.c. technique, f 9.7 Hz

1983-10-10

Tabell 4

Callow et al.: Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance I

Summary of polarisation resistance measurements on copper and its alloys

METAL/ALLOY	MEDIUM	CHECKS	CORRELATION	B, mV	REF.
Cu10Ni Cu20Zn2Al Cu29Zn1Sn Cu30Ni Cu39Zn1Sn Cu2-3Fe	Artificial sea water	Tafel extrapolation and weight loss	Reasonable correlation		50
Cu30Ni Cu33Zn Cu8-5Ni1-5Fe Cu7Al3-5Fe Cu2-3Fe Cu4-8Sn Cu24Zn11Ni Cu2Fe	Filtered and unfiltered sea water	Weight loss	Good correlation		54
Phosphorous deoxidised copper	Sea water	Weight loss	Good correlation	5.5	29 ^(a)
Aluminium brass	Sea water	Tafel extrapolation	Poor correlation		24 ^(a)
Cu10Ni1Fe	Sea water	Weight loss	Correlation barely acceptable for both stationary and non-steady-state measurements	49	59
Aluminium brass	0.5 M NaCl solution 130 °F	None			66
Cu31Ni1Fe Cu10Ni1Fe Cu20Zn2Al DIN1785-S13/Cu DIN1785-S18/Cu	Artificial sea water	Calculated and measured Tafel extrapolation and weight loss	Results correlate well with Tafel extrapolation and weight loss, but 2-3 times higher than Schwerdtfeger's (50)	54 18 17 20 20	61
Copper Cu1-12Al Cu8-12Al 1-5Fe Cu8-12Al 1-5Ni Cu8-12Al 1-4Fe 3-6Ni	3% NaCl solution	None		31 ca 20 ca 12 ca 12 ca 12	62
Aluminium bronze Copper	Sea water flowing	None		14	63
Pure copper	0.5 M H ₂ SO ₄			20	26 ^(a)

(a) a.c. technique, f 25 Hz

(b) a.c. technique, f 9.7 Hz

(c) a.c. technique, f 0.5-1 Hz

1983-10-10

Tabell 5

Callow et al.: Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance I

Summary of linear polarisation measurements on miscellaneous metal/alloy systems

METAL/ALLOY	MEDIUM	CHECKS	CORRELATION	B, mV	REF.
Partially de-tinned tin plate	Citric acid Grapefruit juice Prune juice Tomato juice	Standard pack test	Good for partially de-tinned plate even though anodic polarisation diagrams were not reproducible. The plate had to be de-tinned to 50% coverage before the technique was usable	ca 38	65
Ti4Al4Mh	Artificial sea water	Weight loss and Tafel extrapolation	Agreement with weight loss coupons good but Tafel extrapolation badly in error		50
Pure titanium Pure chromium	0.5 M H ₂ SO ₄	Weight loss and Tafel extrapolation	Good correlation		57
Mg6.5Al1Zn	Sea water filtered and unfiltered	Weight loss	Excellent results with filtered water, but results from polarisation resistance were significantly lower than those from weight loss when fouling occurred in unfiltered sea water		54
Lithium	Propylene carbonate + LiBF ₄ and LiCl	Weight loss	Poor quantitative agreement with weight loss; qualitative agreement good		66
Pure zinc	0.5 M H ₂ SO ₄ + 0.01 M H ₂ O ₂			32 18	26 ⁶⁰
Galvanising zinc	De-aerated and aerated NaCl	Variety of polarisation techniques	Good correlation		21
Zircaloy-2	Slightly alkaline lithiated water containing dissolved hydrogen	Weight loss and Tafel extrapolation	Good correlation	ca 35	64

1983-10-10

Tabell 6

Callow et al.: Corrosion Monitoring using Polarisation Resistance I

Summary of polarisation resistance measurements on nickel and its alloys

METAL/ALLOY	MEDIUM	CHECKS	CORRELATION	B, mV	REF.
Pure nickel Ni15Cr7Al Ni15Cr4Al Ni20Cr2Al Ni20Cr4Al Ni15Cr3Ti Ni20Cr3Ti	H ₂ -saturated H ₂ SO ₄	Weight loss and Tafel extrapolation	Results 3 times those from weight loss and Tafel extrapolation Results 5 times those from weight loss and Tafel extrapolation Good correlation with weight loss but not Tafel extrapolation Good correlation with Tafel extrapolation but both techniques gave 2 or 3 times those from weight loss		57
Ni15Cr8Fe	Slightly alkaline lithiated water containing dissolved hydrogen	Weight loss and Tafel extrapolation	It was not possible to measure the corrosion rate electrochemically on this alloy in solutions containing significant amounts of hydrogen	ca 24	64
Pure nickel Ni30Cu3Al1Fe Ni21-5Cr9Mo2-5Fe	Flowing sea water	Weight loss	Polarisation method underestimated corrosion rate by an order of magnitude Good correlation The corrosion rate was so low as to make comparison with weight loss techniques meaningless		54
Ni31-5Cu1-25Fe1Mn Ni31Fe21Cr3Mo	Artificial sea water	Tafel extrapolation and weight loss	Good correlation		50

Corrater, specifikationer för instrument och elektroder.

**ROHRBACK INSTRUMENTS**

CORRATER® Probe Selection Guide

GENERAL INFORMATION

Magna produces a variety of CORRATER probes for laboratory and process service. Probes consist of two corrosion-sensing electrodes, of the desired metal or alloy, which are exposed to the corrosive environment; a probe body with appropriate fittings for insertion into the system; and an end connector for attachment to the CORRATER measuring instrument. Selection of electrodes and probe design depend on the conditions of a particular application. Electrodes of the desired material are ordered separate from the probe and can be easily removed and replaced on threaded probe studs.

PROBE TYPES

LABORATORY PROBES

Laboratory probes are simply constructed, all-plastic body probes for use in the laboratory or in some low-pressure and low-temperature process streams. Laboratory probes

may be inserted through a rubber stopper, held by a clamp above an open vessel, or used with a threaded fitting for insertion into low-pressure systems.

FIXED PROCESS PROBES

Fixed process probes are designed to be inserted into or removed from a pressurized system, such as a pipeline or process vessel, when there is no pressure on the system. Fixed process probes are attached to the process line or vessel by threaded fittings, and are of stainless steel construction.

RETRACTABLE PROCESS PROBES

Introduced into the system through a packing gland mounted external to a valve, retractable process probes can be inserted into or removed from a pressurized system without a system shutdown. As with the fixed process probe, retractable process probes are fabricated with stainless steel bodies and fittings.

ELECTRODE DESIGN

Corrosion-sensing electrodes are 3/16-in.-diameter by 1¼-in.-long threaded cylinders. Supplied cleaned and dust-blasted, they are ready for immediate service without further preparation. Probes are made to accommodate either two identical test electrodes or two identical test electrodes plus a 60-mil stainless steel reference electrode located very close to one test electrode. The two styles permit corrosion rate readings to be made using either the two- or three-electrode measurement techniques.

TWO- OR THREE-ELECTRODE.

The 2-electrode probe is recommended for general use. The 3-electrode probe is required only for systems where there is a highly resistive solution combined with a relatively high corrosion rate (i.e., where products of corrosion rate times resistivity in ohm-cm is greater than 25,000).

ELECTRODE INSULATION. Electrode mounting studs are isolated from the probe body by epoxy or glass. Glass is recommended for most general purpose applications while epoxy is recommended for applications where the pH is above 10.

ELECTRODE SEALS. O-rings are used to protect electrode mounting studs from corrosive attack. Although the standard O-ring material is Viton®, other compounds such as Teflon® are available where required. O-ring material may limit the temperature range below the maximum rating of 300°F.

ELECTRODE ALLOYS. The nature of the alloy or metal to be studied determines the choice of the electrode element material.

STANDARD ELECTRODE ALLOYS. Standard electrode alloys are metals which are readily available in 3/16-in. diameter rods and are stocked by Magna as follows:

Magna No.	Alloy
8001	1010 mild steel
8003	1020 mild steel
8013	304 stainless steel
8020	316 stainless steel
8021	316L stainless steel
8061	Copper

SPECIAL ELECTRODE ALLOYS.

Special electrode materials are alloys which, although available in 3/16-in. rod, may not be stocked by Magna. Availability of these materials varies:

Magna No.	Alloy
8005	4130 steel
8043	Carpenter 20
8048	Nickel
8054	Monel 400
8064	Alum. brass
8074	Alum. bronze
8078	Alum. 5154
8080	Alum. 1100-0
8081	Alum. 3003
8085	Alum. 2024

For element alloys not listed, contact factory for availability. If alloys are not available in rod form, Magna will fabricate electrodes from material supplied by the customer. Contact your Magna representative or the factory for details.

REPLACEABLE ELECTRODES AND SEALS

Replaceable electrodes are packaged in pairs with the electrode surfaces cleaned and prepared for immediate use. All electrode pairs come with Viton® O-ring seals. The standard order, therefore, is sufficient where Viton® as a seal is suitable for the application. When seals of a different material or style are required, please consult Bulletin 791. These special seals must be ordered separately.

Because 3-electrode style probes have one permanent or nonreplaceable electrode (the reference electrode), the 2- and 3-electrode designs both require two replaceable electrodes.

CABLES

Extension cables are used when probes are beyond the reach of the CORRATER's 5-ft. connection cable. Cable lengths up to 1,000 ft. are available. All cables come with a locking nut to assure a firm attachment to the probe.

The table shows cable part number required for each series of CORRATER probes. The cables shown will fit all probe types within a given series whether 2- or 3-electrode and can be used with all CORRATER instruments.

Probe Type	Probe Series ±	Extension Cable Part #
Laboratory	6000 and 6100	60860
Fixed Process	7000 and 7200	60860
Retractable	8000	60861

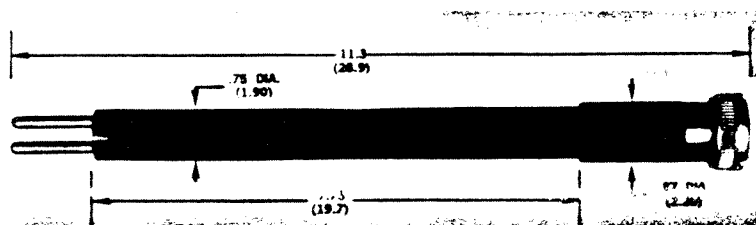
PROBE RETRACTOR

A special retractor is available for insertion and removal of 8000 Series retractable probes in systems with pressure too high to permit manual operation.

Specify Model Number per Bulletin 792.

1983-10-10

PROBE TYPES

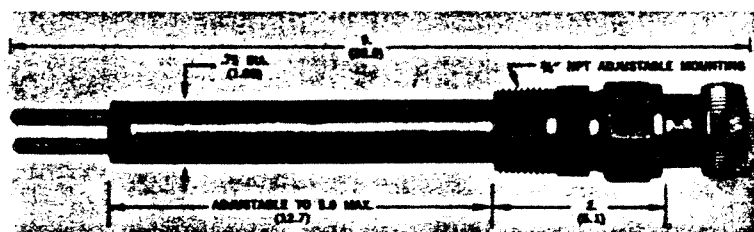


SERIES 6000

LABORATORY

6000 SERIES — 100 psi maximum rating

Probe Model No.	No. Elect.	Probe Body Material	Electrode Insulation Material
6012) integral	2	Epoxy	Epoxy
6013) cable	3	Epoxy	Epoxy
6112	2	Epoxy	Epoxy
6113	3	Epoxy	Epoxy

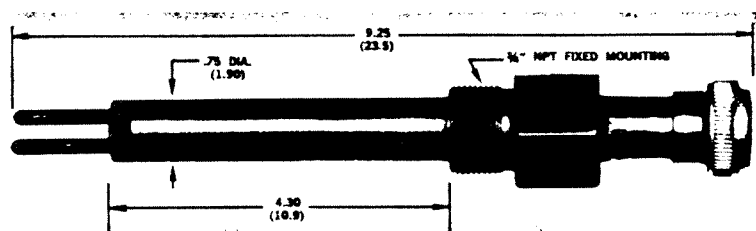


SERIES 7000

FIXED PROCESS

7000 SERIES — 500 psi maximum rating

Probe Model No.	No. Elect.	Probe Body Material	Electrode Insulation Material
7012	2	304 SS	Epoxy
7013	3	304 SS	Epoxy
7022	2	316 SS	Glass
7023	3	316 SS	Glass



SERIES 7200

7200 SERIES — 1000 psi maximum rating

Probe Model No.	No. Elect.	Probe Body Material	Electrode Insulation Material
7212	2	304 SS	Epoxy
7213	3	304 SS	Epoxy
7222	2	316 SS	Glass
7223	3	316 SS	Glass



SERIES 8000

RETRACTABLE PROCESS

8000 SERIES — 1000 psi maximum rating

Probe Model No.	No. Elect.	Probe Body Material	Electrode Insulation Material
8012	2	304 SS	Epoxy
8013	3	304 SS	Epoxy
8022	2	316 SS	Glass
8023	3	316 SS	Glass

Std. Length in.	A Dimension*		B Dimension	
	in.	cm	in.	cm
18	17.5	44.5	24.7	62.9
24	23.5	59.7	30.7	78.1
30	29.5	74.9	36.7	93.3
36	35.5	90.2	42.7	108.6

*A dimension is with probe fully inserted in packing gland.

All dimensions in in. and (cm)

Probes shown are 2-electrode. 3-electrode probes have identical dimensions.

HOW TO ORDER

PROBES

Specify: Probe Model Number and any special features as required.

Series #	Specify
6000	Model No./cable length if not standard 6-ft length
6100	Model No. only
7000	Model No. only
7200	Model No. only
8000	Model No./Length

Examples: Laboratory: 6002/30-ft. cable

Fixed: 7212

Retractable: 8003/24-in.

REPLACEABLE ELECTRODES AND SEALS

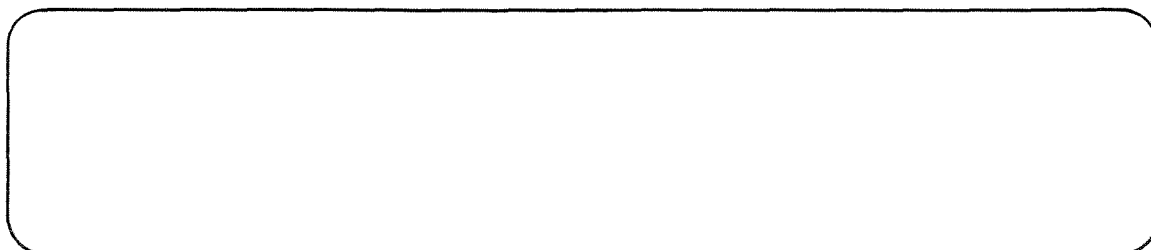
Specify: Ordering Number (60814) and Electrode Alloy Number (see Alloy Chart)

Example: 60814/8061

CABLE

Specify Ordering Number and length.

Example: Extension Cable No. 60861, 200 ft.



ROHRBACK INSTRUMENTS LTD., 5A Oxford Road, Reading, Berks RG1 7QG England, tel 0734 - 582932, telex 847734

ROHRBACK INSTRUMENTS GmbH, Feldstrasse 76, 423 Wesel-13, West Germany, tel 0281 - 5480, telex 812756

ROHRBACK INSTRUMENTS B.V., P.O. Box 381, Lange Nieuwstraat 123 E + F, Schiedam, Netherlands 010-732113, telex 27489



MAGNA Instruments
A division of Rohrbach Corporation

11861 EAST TELEGRAPH ROAD
SANTA FE SPRINGS, CA 90670
213/695-0421 TELEX 67-7663

1983-10-10

Instrumentspecifikationer för Corraters modeller

Modell 1120

- o Range: 0 - 1 000 mpy in six ranges of 0 - 1, 3, 10, 100 and 1 000 mpy.
- o Instrument Accuracy: $\pm 5\%$ of full scale.
- o Probe Types: All two- or three-electrode CORRATER probes.
- o Power: Two 8.5 V mercury batteries.
- o Weight: 5.5 lbs, (2.5 kg).
- o Package: Rugged plastic body mounted in leather case.
- o Operating Temperature: 0 - 50°C.
- o Size: $9\frac{1}{2}''$ H x $14\frac{1}{2}''$ W x $9\frac{1}{2}''$ D (24.1 cm x 11.4 cm x 11.4 cm).

Modell 1172

- o Ranges: 0 - 10 mpy and 0 - 100 mpy.
- o Instrument Accuracy: $\pm 6\%$ of full scale.
- o Probe Type. All two-electrode style CORRATER probes.
- o Power: Four 4.5 V alkaline batteries.
- o Weight: 6 lbs, (2.3 kg).
- o Package: Shock resistant metal chassis in durable vinyl carrying case.
- o Operating temperature: 0 to 55°C.
- o Size: 8'' H x 7 - $\frac{3}{4}''$ W x 4 - $\frac{1}{2}''$ D (20.3 cm x 19.7 cm x 11.4 cm)

Modell 1130

- o Corrosion Rate Ranges: 0 - 10, 0 - 100 mpy.
- o Control Ranges: Adjustable 0 - 100 % of full scale.
- o Alarm Points: Control point plus 25 % of full scale.
- o Probe Compatability: All two-electrode CORRATER probes.
- o Meter Readout: 0 - 10, 0 - 100 mpy in 20 uniform divisions.
- o Recorder Output: 0 - 5 VDC, or 0 - 1 ma standard.
- o Power Requirement: 115 or 230 (optional) VAC, 50/60 Hz; 10 watts.
- o Size: 8 - $\frac{1}{2}''$ W x 3 - $\frac{1}{2}''$ H x 9'' D (21.6 cm W x 8.9 cm H x 22.9 cm D).
- o Weight: 4 lbs (1.8 kg).
- o Relay Outputs: Control and Alarm points rated at 18 amps resistive, 1.4 hp capacity at 120 VAC, and 1/3 hp at 240 VAC.
- o Operating temperature: Range 0 - 50°C.

Model 1136

- o For each of six continuously active channels:
 - Corrosion Rate Ranges: 0 - 1, -10, -100, -1 000 mpy.
 - Control Range: Adjustable 0 - 100 % of full scale.
 - Probe Compatability: All two-electrode CORRATER probes.
- o Meter Readout: Built-in meter, switch selected to read any channel.
- o Recorder Output (standard): For P/N 113661, 113662 or 113663 Recorder Panel only.
- o Power Requirements: 115 or 230 (optional) VAC, 50/60 Hz; 50 watts maximum.
- o Size: 19'' W x 5 - $\frac{1}{4}''$ H x 19 - $\frac{1}{2}''$ D.
- o Weight: 17 lbs.
- o Relay-Outputs: Control and Alarm points rated at 18 mps resistive, 1/4 hp capacity at 120 VAC, and 1/3 hp at 240 VAC.
- o Operating Temperature: Range 0 - 50°C.

Petrolite, specifikationer för instrument och elektroder.

PETROLITE CORROSION RATE INSTRUMENT

Lab and Field Research Portable Meter

DESCRIPTION

The M-103 instrument is a time-proven portable corrosion rate monitor designed for years of rugged use. The fully transistorized system with a printed circuit board provides stable operation under wide ranges of temperature and fluid corrosivity. The batteries, with proper charging and maintenance, will have years of useable life.

The PAIR (Polarization Admittance Instantaneous Rate) technique is used to measure the corrosion rate occurring at the time of the reading on a test electrode mounted on a probe that is immersed in a liquid corrodant. Measurements of laboratory precision can be made in the field of rates as low as 0.1 mpy and as high as 1,000 mpy.

FEATURES

Direct mpy (mils per year) meter readings with selector switch ranges of zero to 3, 10, 30, 100, 300, and 1,000 mpy.

Forward (cathodic) and reverse (anodic) polarization readings of the corrosion rate of the test electrode.

Polarization source with 10-turn fine adjustment control over the six ranges provides high stability polarization current independent of variations in the corrodant resistivity.

Output Circuit:

Adjustable zero center ± 200 mV.

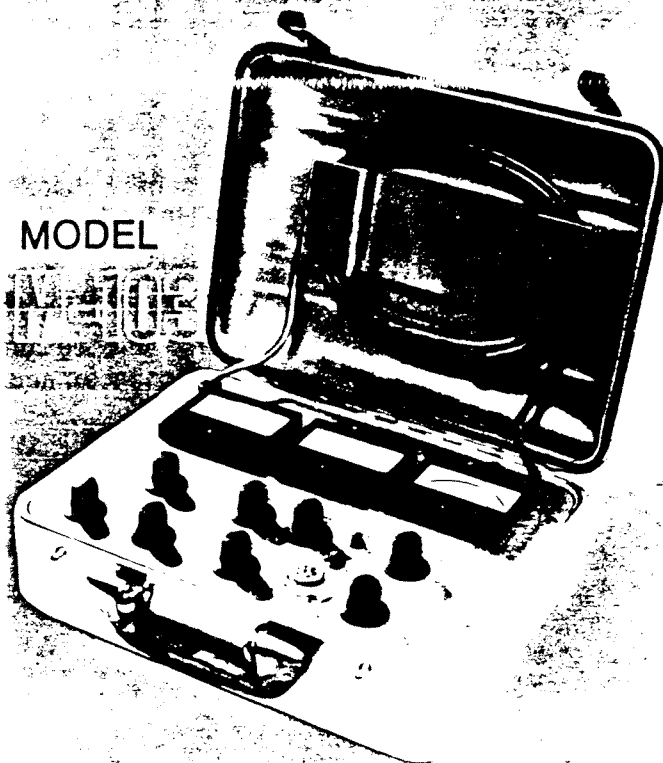
Two ranges of ± 100 mV and ± 10 mV.

Input impedance of 100 megohms with an exclusive "open adjust" control for true potentiometric null measurements of reference-test electrodes cell potentials.

Reference electrode current loading less than one nanoampere.

MODEL

M-103



Shunt feature to permit rapid reading of freely corroding potential difference (offset potential) between reference and test electrode.

Multifunction meter to monitor battery charging current and check battery voltage. Charging circuit can operate in any one of three modes when connected to 115-volt AC convenience outlet. Also available for 220-volt AC power on special order.

- 1) Trickle-charge in INST/OFF position.
- 2) Trickle-charge plus normal operating current in ON/BAT position.
- 3) Full charge rate (8-12 hours) in ON/CHARGE position.

Two 6-volt nickel cadmium batteries.

1983-10-10

GENERAL

Six-foot, four-wire probe lead equipped with an MIL environmental industrial socket connector to mate with a connector on a PETROLITE* Probe or on an extension lead.

Ambient Temperature Limits:

Operating -20 to +110°F.

Storage -40 to +140°F.

The instrument, complete with battery charging cord and probe lead, is contained in a 12" x 9" x 5" aluminum case and cover.

Weight: 8 pounds (shipping weight, 14 pounds).

The M-103 Corrosion Ratemeter is shipped complete with an instruction and maintenance manual and one M-452 meter prover.

DISCUSSION

The M-103 instrument with standard probes can read corrosion rates in solutions having specific resistivities up to one megohm-cm. This includes all aqueous systems such as steam condensates and distilled water as well as some oil/water emulsions.

The corrosion rates are read directly on the mpy meter.

Partial polarization curves can be obtained with voltage values to ± 200 mV and current values to ± 5.5 mA.

The instrument can be operated at distances up to 1,000 feet from probe location if necessary due to safety, health, or convenience reasons with the use of extension cables.

1983-10-10

PETROLITE CORROSION RATE INSTRUMENT

Portable Industrial Series

DESCRIPTION

The M-212 is an updated model in the M-200 series of battery-powered portable PETROLITE* Corrosion Rate Instruments designed especially for use in clean or well-inhibited systems where the corrosion rates are very low. Its application is not limited to these streams, however, as it has ranging capabilities up to 200 mils per year full scale readings.

An improved battery system with considerably longer life, a more stable passive offset nulling design and an expanded voltage-measuring capacity are additional features of the instrument.

The system incorporates a printed circuit board with all solid-state components in a rugged plastic housing. A leather carrying case with internal foam rubber padding provides additional protection.



MODEL M-212

All measurements are read on a single large multifunction meter. A six-foot probe lead with an MIL environmental electrical connector is furnished with the instrument.

The PAIR (Polarization Admittance Instantaneous Rate) technique is used to measure the actual rate of corrosion on a test electrode mounted on a probe and immersed in a liquid corrodant as it is occurring at the time of evaluation. The instrument is capable of direct reading measurements from less than 0.02 mpy to as high as 200 mpy.

The PETROLITE* M-212 Instrument has proprietary circuits which:

- 1) Read the freely corroding potential difference in millivolts.
- 2) Null (manually) the freely corroding potential difference (offset potential) between the reference and test electrodes.
- 3) Apply proper polarizing current (automatically) between the auxiliary and test electrodes to

produce an additional 10-mV differential between the reference and test electrodes.

- 4) Read the magnitude of polarizing current directly as mpy on the instrument meterface.
- 5) Change immediately the polarizing current (and mpy readouts) as corrosion intensity changes to maintain the additional 10-mV difference between the reference and test electrodes.

SPECIFICATIONS

General Voltmeter Circuit:

Battery-powered for maximum isolation.

Impedance: 100 megohms.

Zero center meter with positive readings to the right and negative readings to the left.

Null adjustment ± 140 mV.

External voltage measuring capabilities in conjunction with range selector and mV x 10 switches of:

FULL SCALE VALUES

±0.2 mV	± 5.0 mV	±100.0 mV
±0.5 mV	±10.0 mV	±200.0 mV
±1.0 mV	±20.0 mV	±500.0 mV
±2.0 mV	±50.0 mV	± 1.0 Volt
		± 2.0 Volts

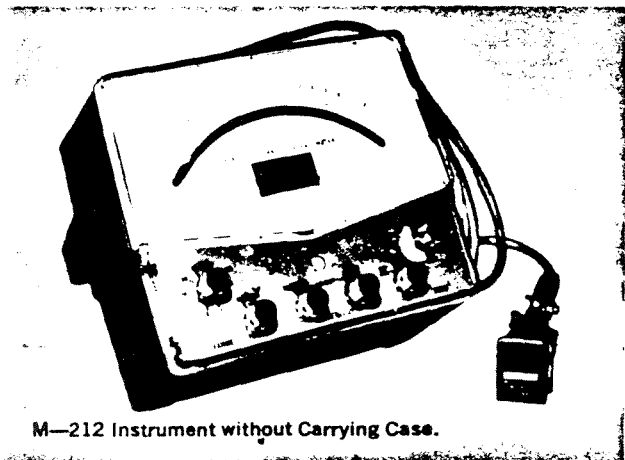
Mils per Year Meter Circuit:

Zero center meter with anodic readings to the right and cathodic readings to the left.

Direct mpy (mils per year) meter readings with range selector switch of:

0-0.2 mpy	0- 10.0 mpy
0-0.5 mpy	0- 20.0 mpy
0-1.0 mpy	0- 50.0 mpy
0-2.0 mpy	0-100.0 mpy
0-5.0 mpy	0-200.0 mpy

Separate anodic and cathodic polarization readings of the corrosion rate of the test electrode.



M-212 Instrument without Carrying Case.

Batteries:

Two alkaline batteries for polarization current source.

Mallory DURACELL (or equal) MN1604, 9.0 Volt.

One mercury battery for voltage reference.

Mallory DURACELL (or equal) RM12R, 1.35 Volt.

GENERAL

Ambient temperature limits:

Operating and Storage
-20°F to +120°F

Sizes and weights (approx.):

Net weight:
with leather case, 7 pounds.

Domestic shipping weight:
13 pounds.

Size (plus lead):
with leather case, 9" x 9" x 5 3/4".

The M-212 instrument is shipped complete with an instruction and maintenance manual and one M-452 meter prover.

DISCUSSION

The M-212 instrument with standard probes can read corrosion rates in solutions having specific resistivities up to three megohms-cm. This includes all aqueous systems such as steam condensates and distilled water as well as some oil/water emulsions.

The corrosion rates are read directly on the mpy meter.

Instruments can be operated without loss in accuracy at distances over 1,000 feet from probe location if necessitated by safety, health or convenience reasons with the use of extension cables.

ADDITIONAL CAPABILITIES

MODEL

DESCRIPTION AND SPECIFICATIONS

The instrument's ability to operate completely independent of an external power connection allows measurements to be made without extraneously induced distortion or errors. The battery-powered concept also permits maximum portability.

The full floating, operational amplifier circuit design is very flexible and can be used for additional measurements other than corrosion rate readings. Some of these applications are:

- A) D.C. voltmeter with 100 megohm impedance. Measurement ranges are adjustable from 0 ± 200 microvolts to 0 ± 2 volts by selector switch setting on the instrument.
- B) Zero resistance D.C. ammeter. Measurement ranges are adjustable from 0-0.11 microamperes to 0-1.1 milliampere by selector switch setting on the instrument. Current measurements at selected resistance values above zero can also be made.
- C) Additional potential ranging ($0 \pm 1,000$ mV) can be provided with a PETROLITE* M-370 Adjustable Null Unit.

CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

Any 200 Series instrument can also be used to measure conductivity or equivalent Total Dissolved Solids content of water. Depending on the instrument model, readings from less than 10 micromhos to more than 200 millimhos can be obtained using a PETROLITE M-5803 Conductivity Cell to complete the system.

See Accessories section for additional information.

*Registered Trademark, Petrolite Corporation

1983-10-10

LABORATORY AUTOMATIC CORROSION RATE INSTRUMENTS

DESCRIPTION

The M-1010 is a fully transistorized instrument for research study and/or industrial process monitoring. Adaptable to process control. Designed for shared time readings of from one to ten probes under wide ranges of corrosion rates. Meter readings and recorder output signals are linear and in direct ratio with the corrosion rate.

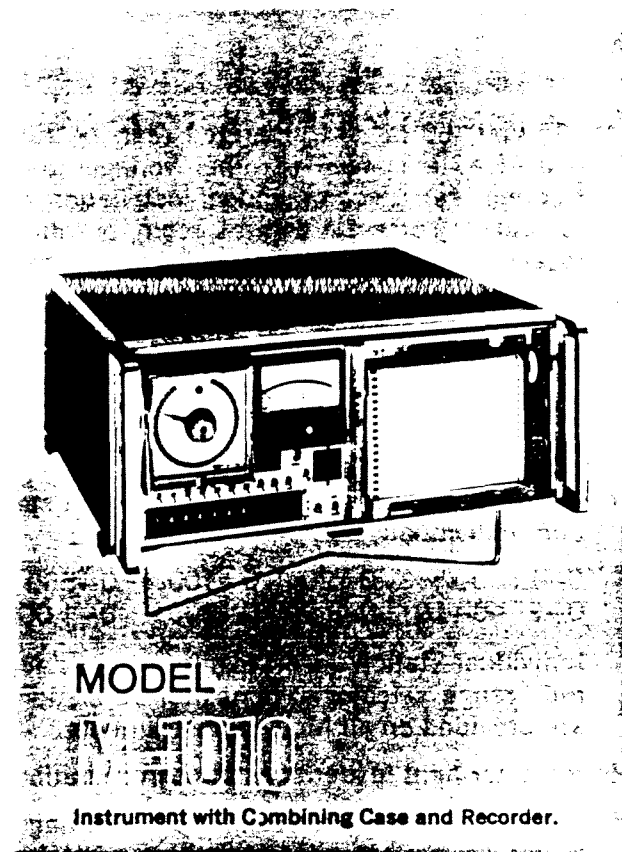
An M-1010 Ratemeter System consists of the following:

- A) *Instrument with Combining Case*
- B) *Instrument with Recorder*
The controlled current (CI) operating mode is standard for the M-1000 Series systems.
- C) *Instrument for Ten-Station Capability*. Complete with MIL environmental probe lead connections.
- D) *Instrument with Recorder*
M-1368 and M-1369 Five-inch Mosley 680 Strip Chart Recorder with event marker, special pens, service kit and initial supply of chart rolls. Instrument output trim adjusted to recorder at time of assembly into combining case, or
M-1368-EW and M-1369 Recorder and Combining Case as above except that servo pen, event marker and chart rolls provided for electro-writing instead of wet ink tracing.

Decision on electro-writing or wet ink option must be made at time of ordering the recorder.

OPERATION

The PAIR (Polarization Admittance Instantaneous Rate) technique is used to measure the actual rate of corrosion on a test electrode mounted on a probe and immersed in a liquid corrodant as it is occurring at the time of evaluation. The instru-



ment is capable of direct reading and recording measurements of less than one mpy and as high as 1,000 mpy.

The PETROLITE* Instrument has proprietary circuits which:

- 1) Correct for the freely corroding potential difference (offset potential) between the reference and test electrodes and calibrate for an additional 10-mV differential between these electrodes irrespective of their existing half-cell potentials. The offset potential may be read on the recorder at this time.
- 2) Apply proper polarizing current between the *auxiliary* and *test* electrodes to produce this additional 10-mV differential between the *reference* and *test* electrodes. As the *reference* electrode remains in a freely corroding state, the full 10-mV shift is produced on the *test* electrode.
- 3) Read the magnitude of polarizing current directly as mpy on the instrument meter and recorder.
- 4) Immediately change the polarizing current (and mpy readouts) as corrosion intensity changes to maintain the additional 10-mV difference between the reference and test electrodes.

SPECIFICATIONS

1) 115-Volt, 60Hz, line operated (can be furnished as a special in other voltages and frequencies). Recommended installation in laboratory, process control room or other location with similar protection. Polarized male fitting on line connector.

2) Operable in solutions with specific resistivities up to 10 megohm-cm.

3) Individual on/off toggle switches to selectively activate each station as desired.

4) Mpy ranges on selector switch for each station, individually set.

0-1	0-5	0-20	0-100	0-500
0-2	0-10	0-50	0-200	0-1,000

Individual station on/off toggle switches and mpy range selector switches for 10 stations are provided on all M-1010 instruments.

5) Indicator light to identify station in operation.

6) Meter for visual corrosion rate readings. Meter system has adjustable high corrosion rate relay contacts (max. 2 amps at 115-volt) activated for the last 10 seconds of corrosion rate measurement on each operating station.

7) Total station polarization time is adjustable between 1-30 minutes.

8) Panel selector (ABC switch) for all anodic, all cathodic or alternate anodic/cathodic measurements. In the anodic/cathodic position all active probes are sequentially read, first anodically and then sequentially cathodically.

9) Automatic offset potential nulling and cali-

brating prior to each corrosion rate reading.

10) Dual range offset potential zeroing capability to permit use of regular as well as optional reference electrodes such as standard Calomel half cell, ± 100 mV and ± 500 mV.

11) Offset potential (true difference in freely corroding half cell potentials between test and reference electrodes) measurement with on/off switch for recording capabilities.

12) Chart saver switch to activate the recorder only during the last 10 seconds of station clock time. The alternate position of the switch permits full time recorder use.

13) MIL environmental type fittings on instrument case for probe electrical lead connection.

14) Dimensions—

Instrument Recorder Assembly: $16\frac{3}{4}" \times 18\frac{1}{2}" \times 6\frac{3}{4}"$.

15) Weight—

Instrument, recorder and case: approximately 40 pounds.

Each instrument with combination instrument and recorder case is readily adaptable to bench, rack or panel mounting. Support brackets for panel or rack mounting are supplied with the assembly.

The system can be centrally located and probes installed miles away without loss of accuracy when using four-conductor extension cables.

1983-10-10

PETROLITE[®] CORROSION RATE INSTRUMENT

Automatic Industrial Model

DESCRIPTION

The M-2000 Series instruments are designed primarily for continuous industrial monitoring applications with special emphasis placed on simplicity, reliability and compatability with process plant conditions.

The M-2000 Series Industrial Model assembly consists of the following:

- 1) Instrument carrier and protector. This is slightly smaller than a 6" x 6" panel cutout and will slip into the panel from the front. The case is 19³/₄" deep and requires a minimum of 24" total behind the panel for cable connections. Two adjustable support and mounting clips are provided to hold the instrument package in the instrument panel cutout.
- 2) M-2000 instrument package. This will be housed in the top 3" x 6" section of the instrument carrier and protector described above.
- 3) Visual readout (analog or digital meters) and active station indicator lights are designed for the M-2000 package as indicated in the photographs on succeeding pages.

Note: Two styles are offered.

- a) M-2002 digital readout with movable decimal point. Four digit meter.
- b) M-2003 analog panel meter.

SPECIFICATIONS

Rear Connections

Inputs:

- a) 115-volt AC $\pm 10\%$, 60 cycle, single phase, 50-watt. (available on special order in other voltages and frequencies).
- b&c) Two stations, 4-wire leads from PETROLITE[®] Probes. Probes may be installed miles away from the instrument without loss of reading accuracy.



Outputs:

- a) Recorder signal connections 0 to ± 10 volts at 2k output impedance (short circuit protection). Linearly proportional to selected mpy range. Recorders with less than 10 volt full scale signal input may be matched to the instrument with an adjustable span resistor.
- b) Alarm or control circuit energizing connections (if used) active during last 10 seconds of each individual probe reading.

Front Mounted Indicators:

- a) Two active station signal lights.
- b) Digital or analog panel meter.

Internal Adjustments:

- a) Range selection switch for 20 or 200 mpy (maximum).
- b) Adjustable total reading time cycle from 5 to 55 minutes.
- c) Anodic or cathodic polarization mode.

OPERATION

The PAIR (Polarization Admittance Instantaneous Rate) technique is used to measure the actual rate of corrosion on a test electrode mounted on a probe end immersed in a liquid corrodant as it is occurring at the time of evaluation. The module will produce direct mpy readings on a digital or

analog meter (see option below) furnished by Petrolite.

The PETROLITE* Instrument has proprietary circuits which automatically:

- 1) Correct for the freely corroding potential difference (offset potential) between the reference and test electrodes and calibrate for an additional 10-mV differential between these electrodes irrespective of their existing half-cell potentials.
- 2) Apply proper polarizing current between the auxiliary and test electrodes to produce a 10-mV shift, balancing the 10-mV differential

applied above. As the reference electrode remains in a freely corroding state, the full 10-mV shift is applied on the test electrode surface.

- 3) Produce signal on external terminals for corrosion rate readings on recorder. Length of total reading time cycle adjustable from 5-55 minutes set by the user.
- 4) During the last 10 seconds of the reading, close contacts on an alarm/control signal relay if the equilibrium corrosion rate is above a value preselected by the customer. (Operable only if optional alarm module is used.)

Options

M-2002

Instrument as above with digital meter for visual mpy readings. Meter has movable decimal point; output will be direct mpy values.

M-2003

Instrument as above with analog meter for visual corrosion rate readings. Full scale readings with zero on left hand side. Meter readings will be instantaneous values of the active station and will correspond directly with the recorder signal. The readings will be percentage of full scale meter values.

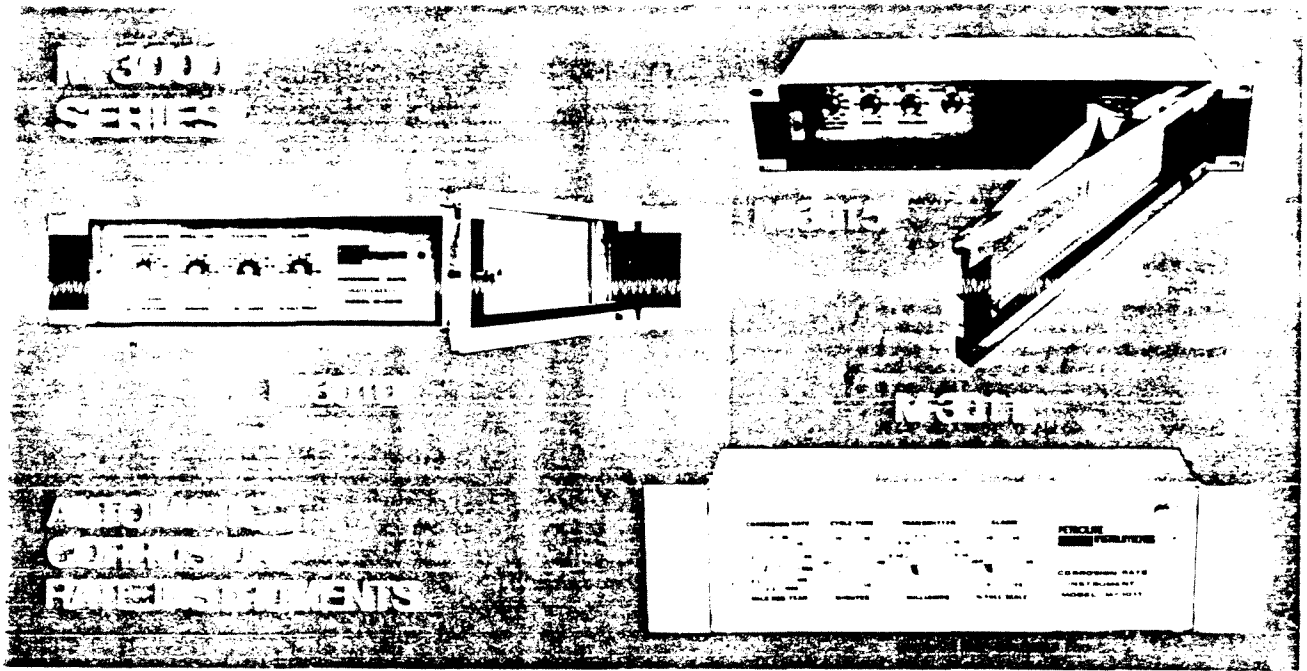
CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

Any 2000 Series instrument can be adapted to provide alternate conductivity measurements along with normal corrosion rate readings. Depending on the system, readings as low as 10-20 micromhos to as high as 200 millimhos can be obtained using a PETROLITE M-5803 Conductivity Cell connected to one of the instrument's stations.

See Accessories section for additional information.

*Registered Trademark, Petrolite Corporation

1983-10-10



M-3000 Series

Petrolite's newest instrument series, the Model 3000 series, is rapidly establishing itself as the new standard for industrial corrosion rate monitoring.

M-3010

The Petrolite Model M-3010 is a low cost, automatic, completely computer compatible corrosion monitoring system. This compact, single station, rack mountable, instrument features special output circuitry that allows a direct interface with most industrial computers and process control systems. Six, standard, front panel selectable outputs provide easy matching of instrument output characteristics to computer input requirements.

Instantaneous corrosion measurements as low as 0.05 MPY and as high as 1,000 MPY can be measured and recorded by the M-3010 using conventional Petrolite Probes and Electrodes, while conductivity measurements in millimhos, can be made in the same ranges as for corrosion using a Petrolite Conductivity Cell. For corrosion measurements, the instrument has a useable cycle time, continuously adjustable, between 5 and 50 minutes. For conductivity measurements, a standard 0.5 minute cycle time is provided.

Measurements are displayed on an integral recorder that provides a 30 day record of conductivity or corrosion readings as well as providing visual access to the last 24 hours of recorded data. The instrument is equipped with alarm circuitry that will activate an alarm system should the measured corrosion rate or conductivity level exceed the limits set by a front panel control. Specifications and an outline drawing of the Model M-3010 are shown on page B-8.

M-3015

The Petrolite Model M-3015 is a low cost, automatic D-C powered corrosion monitoring system. This compact, single station, rack mountable instrument is designed to be operated from a positive 12 volt/negative 12 volt power source consisting of either batteries or a solid state power supply.

The Model M-3015 provides the same capabilities as the Model M-3010 but without the special output circuitry for direct interfacing with industrial computers or process control systems.

The features of the M-3015 Instrument makes it an ideal choice for remote pipeline locations or unmanned offshore platforms. Specifications and an outline drawing of the Model M-3015 are shown on page B-8.

M-3011

Petrolite's Model M-3011 instrument provides the same capabilities as the Model M-3010 but without the recorder, thus lowering the cost to customers with recorders on hand or who definitely intend computer interfacing. The instrument, using optional hardware can be mounted in standard 19-inch racks. A 0-10 volt instrument output is conveniently available at the rear panel of the instrument for recording the data if required. Specifications and an outline drawing of the Model M-3011 are shown on Page B-8.

1983-10-10

M-3000 SERIES

M-3010

DIMENSION DRAWING

FUNCTIONS: Corrosion in mils per year
or
Conductivity in millimhos

Ranges: 0 - 0.2, 0 - 0.5, 0 - 1.0
0 - 2.0, 0 - 5.0, 0 - 10.0
0 - 20.0, 0 - 50.0, 0 - 100.0
0 - 200.0, 0 - 500.0, 0 - 1000.0
Selectable from front panel

Cycle Time: 0.5 to 50 minutes

Display: Integral inkless recorder

Alarm Control: Continuously variable alarm set point as percent of full scale

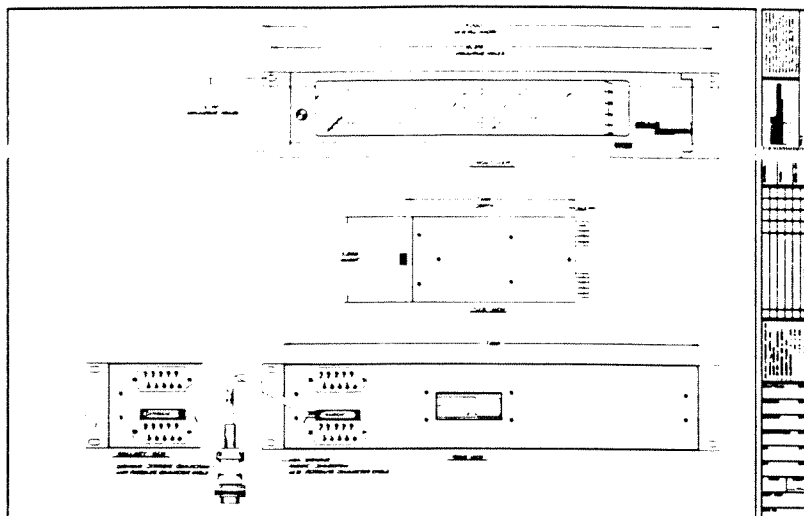
Alarm Outputs: Normally open alarm - contacts 115 vac at 5 amps/normally closed alarm - contacts 115 vac at 5 amps

Outputs: 0 - 40 MA, 0 - 16 MA, 0 - 4 MA, 1 - 5 MA, 4 - 20 MA, 10 - 50 MA
Selectable from front panel

Power Requirements: Programmable for use with 100 vac 50/60 Hz, 120 vac 50/60 Hz, 220 vac 50/60 Hz, and 240 vac 50/60 Hz Line Voltage Sources

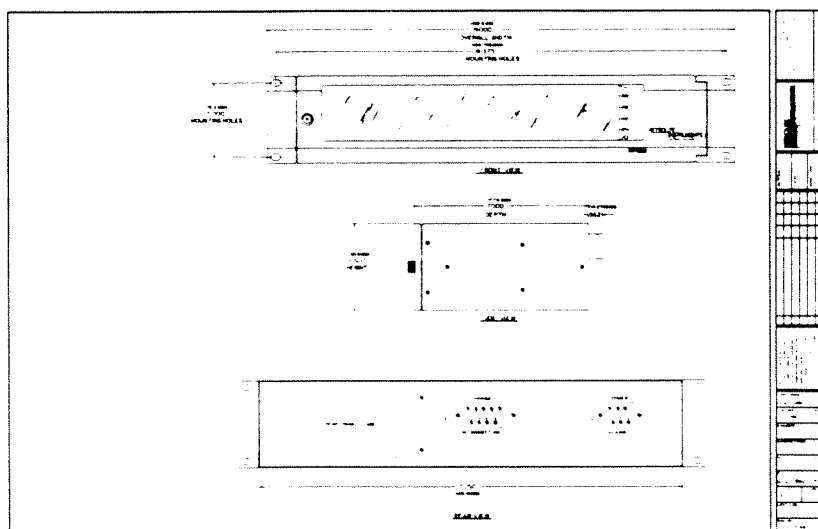
Mounting Requirements: Standard Nema 19 inch, half panel

Options: 2 unit weatherproof housing
1 unit weatherproof housing



M-3015

DIMENSION DRAWING



SPECIFICATIONS:

FUNCTIONS: Corrosion in mils per year
or
Conductivity in millimhos

Ranges: 0 - 0.2, 0 - 0.5, 0 - 1.0,
0 - 2.0, 0 - 5.0, 0 - 10.0,
0 - 20.0, 0 - 50.0, 0 - 100.0,
0 - 200.0, 0 - 500.0, 0 - 1000.0
Selectable from front panel

Cycle Time: 0.5 to 50 minutes

Display: Integral inkless recorder

Alarm Control: Variable alarm set point as percent of full scale

Alarm Outputs: Normally open or normally closed
Contacts rated - 115 vac @ 5 amps

Power Requirements: + 12 volt/ - 12 volt DC power source

Mounting Requirements: Standard Nema 12, 19 inch, half panel

M-3011

DIMENSION DRAWING

FUNCTIONS: Corrosion in mils per year
or
Conductivity in millimhos

Ranges: 0 - 0.2, 0 - 0.5, 0 - 1.0
0 - 2.0, 0 - 5.0, 0 - 10.0
0 - 20.0, 0 - 50.0, 0 - 100.0
0 - 200.0, 0 - 500.0, 0 - 1000.0
Selectable from front panel

Cycle Time: 0.5 to 50 minutes

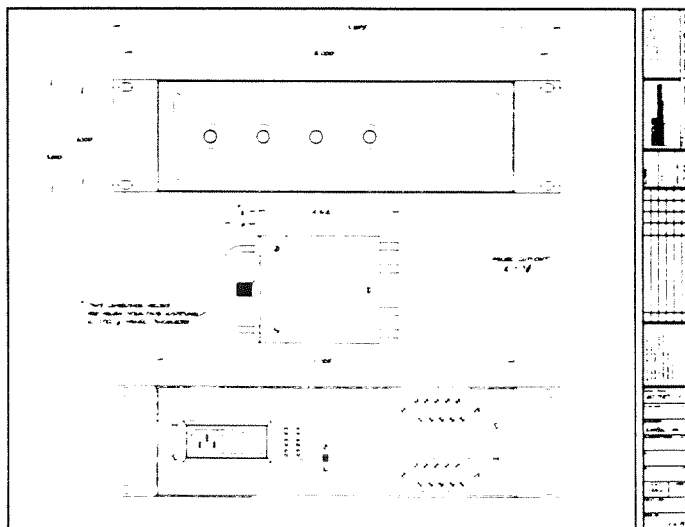
Alarm Control: Continuously variable alarm set point as percent of full scale

Alarm Outputs: Normally open alarm - contacts 115 vac at 5 amps/normally closed alarm - contacts 115 vac at 5 amps

Outputs: 0 - 1 MA or 10.0 vdc

Power Requirements: Programmable for use with 100 vac 50/60 Hz, 120 vac 50/60 Hz, 220 vac 50/60 Hz, and 240 vac 50/60 Hz Line Voltage Sources

Outputs: 0 - 40 MA, 0 - 16 MA, 0 - 4 MA, 1 - 5 MA, 4 - 20 MA, 10 - 50 MA
Selectable from front panel



PROBES
for PETROLITE®
Corrosion Rate
Instruments

Note: All probes will be supplied with MIL environmental electrical connectors unless specifically ordered otherwise.

M-501E Laboratory Probe

Non-pressure construction of Teflon*. Used primarily for preliminary laboratory tests in open beaker.

Size: 2" dia. x 2¾" overall.

Weight: approximately 4 ounces.

M-502E Laboratory Probe Assembly

For insertion into glass beaker or retort through a No. 7 stopper. Snap-on electrical harness arrangement is ideal for comparative testing of three different metals or alloys by switching test-reference-auxiliary electrode connections. It is also convenient for substitution of calomel (or other) reference electrode into the PAIR system. Assembly consists of the following:

- Neoprene stopper (No. 7) with triangularly oriented ¼" diameter holes for electrode extension rods.
- Three electrode extension rods, ¼" diameter by 11½" long. No. 5-40 thread one end for electrode attachment and other end reduced to ⅛" diameter for electrical connection. Penton** coated.
- Electrodes harness to connect electrode extension rods to instrument cable through MIL

environmental fittings. Connections referenced by molded rubber knobs on rod connections as follows:

- 1 row of knobs—for reference electrode
- 2 rows of knobs—for test electrode
- 3 rows of knobs—for auxiliary electrodes

Complete with one removable alligator clip connector.

NOTES:

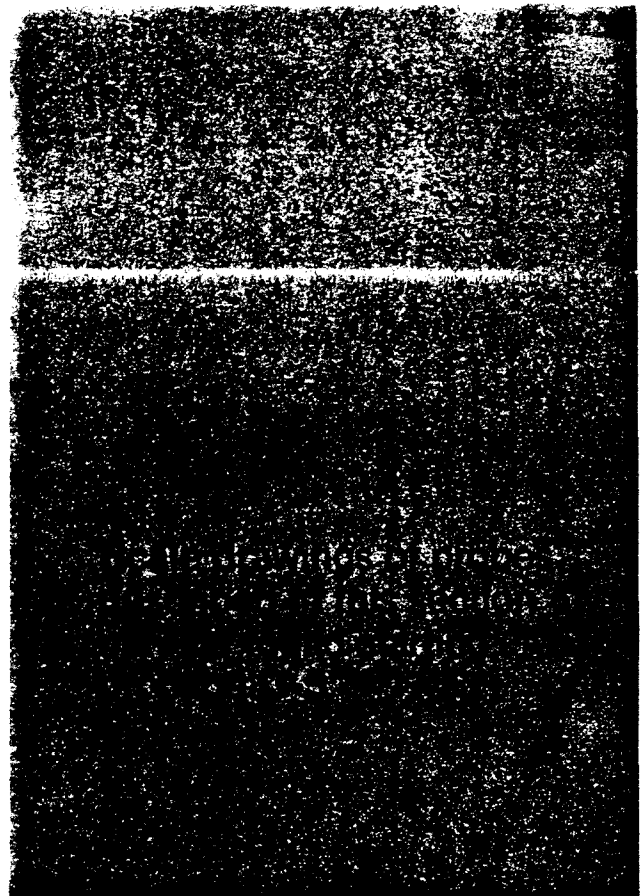
Neoprene stopper can be provided for No. 9 with in-line oriented ¼" diameter holes for electrode extension rods.

Size: 11" long x 1¼" dia. (less harness).

Weight: approximately 4 ounces.

*Trademark, E. I. duPont de Nemours & Co.

**Trademark, Hercules Powder Co.



Designed for use with Cosasco high-pressure replacement system. Adapts to Cosasco Hollow Plug Assembly, Part No. 120954 that installs into Cosasco Nipple, Part No. 120543, MIL environmental electrical fitting.

Length: 8½" overall (less electrode min.)

Weight: approximately 1½ pounds.

NOTE: Cosasco Plug Assembly not included in above.

(Special Order)



M-555E Flush Mounted Probe with Replaceable Electrode Assembly

This probe is designed for insertion into any of Grant Oil Tool, COSASCO Division nominal 2-inch, 3000# series fittings. The highly accurate, concentric ring design replaceable electrode assembly is easily replaced by simply unscrewing the old assembly, connecting three wires, and screwing the new assembly in place after which the probe is re-installed in the pipeline access system. Typical M-555E fitting installations include: Buttweld, using COSASCO part number 124043; NPT, using COSASCO part number 120543; Socket, using COSASCO part number 120193; and Flareweld, using various COSASCO part number fittings depending on inlet style and size. Complete COSASCO

fitting information is available from Petrolite Instruments.

As probe length varies with pipe diameter and pipewall thickness, both of these parameters must be specified at time of order to ensure accurate probe positioning with designated COSASCO fittings. The M-555E probe can also be manufactured to be compatible with the COSASCO 6000# series fittings. This must be requested at time of order in addition to specifying pipe diameter and pipewall thickness.

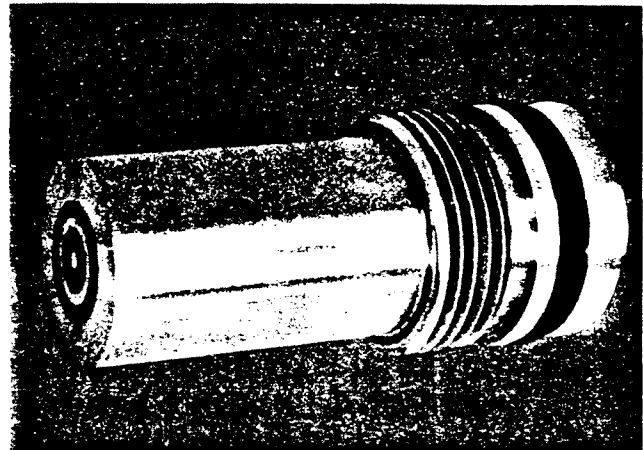
NOTE: The COSASCO part numbers listed in this description are not intended to be all inclusive, but rather to serve as an example of the standard fittings that are available.

Size: 6.153 inches.

Weight: approximately 1½ pounds.

Pressure Rating: 4000 psig.

Temperature Rating: 200°F.



M-540E Flush Mounted Probe

This probe is designed for insertion into a T.D. Williamson 2-inch nominal fitting available from Petrolite Instruments complete with solid brass plug. The probe and butt weld fitting are designed so that the end of the probe will be exactly flush on the inside wall of a 0.25-inch thick pipewall. Pipewall thicknesses other than 0.25-inch can be accommodated by special probes and fittings. Pipewall thickness should be specified at time of order. There are additional charges for special length probes.

Size: 5.687 inches.

Weight: approximately 1½ pounds.

Pressure Rating: 1440 psig during insertion and retrieval.
3600 psig operating.

Temperature Rating: 200°F.

Unless specifically requested as an extra, the probe is shipped without packing. This permits selectivity of packing material as preferred by the user or as required by the application. (A suggested all-purpose packing is a square Teflon filament type Belmont* No. 3090 or equal.)

The M-511 Probe can be inserted and retracted through a 1¼" full diameter opening. (Caution, some gate and ball valves have reduced ports of other than circular cross section.)

An advantage of the M-511 Probe is that it uses the replaceable electrodes and other design features of the M-510 Probe on a smaller base. It can be positioned in a desired location into a pipe and can be inserted and withdrawn without disrupting a continuous process.

Length: 40" long overall (less electrode).

Weight: approximately 11 pounds.

Pressure Rating: 600 psig.

Temperature Rating: 300°F.

M-511SSE

The M-511 Probe is also available with all-wetted parts of 304 stainless steel. (Sold without electrodes.)

M-512E Industrial Extension Probe with Set-A-Length Feature

In instances where the M-510 Probe electrodes will not extend into the stream far enough to experience representative process conditions, the M-512 Industrial Extension Probe can be used. The probe's depth into the stream can be adjusted by the "set-a-length" feature. Once the length has been set, however, further adjustment up or down the probe shaft cannot be made. The M-512 Probe has been used at pressures up to 2,000 psig. 1½" NPT connection.

It also uses replaceable electrodes and has similar advantages to those described for the M-510 Probe.

The M-512 Probe requires a 1¼" minimum diameter opening for installation and retraction.

Length: 29" overall (less electrode).

Weight: approximately 4 pounds.

Pressure Rating: 1500 psig.

Temperature Rating: 400°F.

*Trademark, Belmont Packing & Rubber Co.

M-512SSE

The M-512 Probe is also available with all-wetted parts of 304 stainless steel. (Sold without electrodes.)

M-515E Molded Standard Probe

The M-515 Molded Standard Probe is offered as a more moderately priced alternate for the M-510 Probe or where the 2" NPT base on the M-510 is prohibitive.

The probe has all nonmetal wetted surfaces of Viton*. Viton should not be used in strong or hot (above 100°F.) alkali, acetaldehyde, acetic acid, acetone or diacetone, amines, amyl or butyl acetate, amyl chloride, butyric acid, chromic acid, or chloroform.

The M-515 Probe has a 1" NPT mild steel base. The design has been tested to 10,000 psig and 300°F. Customer should apply his own operating pressure limit in accordance with good practices. It is recommended this not be above 1,000 psig. Probes with bases of metals other than mild steel available on special order.

The M-515 Probe uses the replaceable electrode feature.

Size: 3" long overall (less electrode).

Weight: 7 ounces.

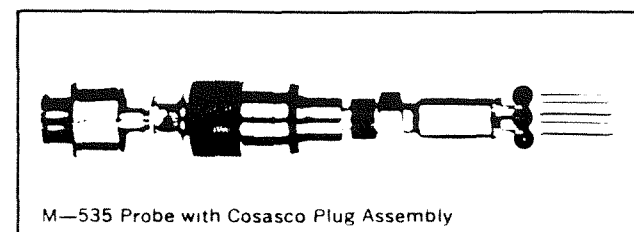
Pressure Rating: 1000 psig.
positive only.

Temperature Rating: 300°F.

M-535E Special Industrial Probe Assembly

For adapting to Grant Oil Tool Company's Cosasco** Access Fitting.

Industrial probe design using the special glass-to-metal seals and replaceable electrode elements. Can be supplied with length of insertion set by customer.

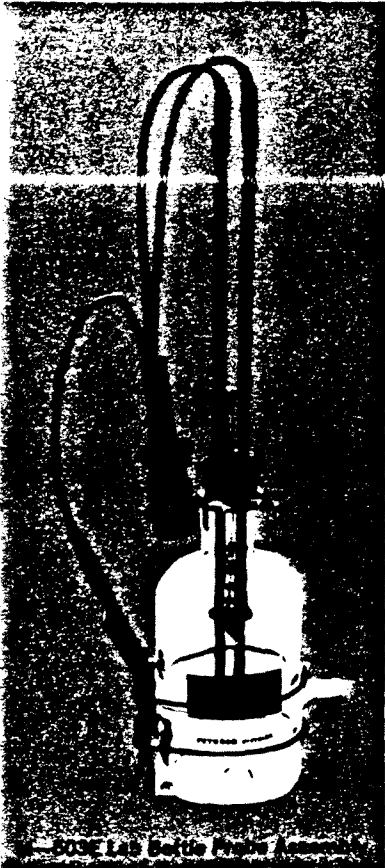


M-535 Probe with Cosasco Plug Assembly

*Trademark, E. I. duPont de Nemours & Co.

**Trademark, Grant Oil Tool Co.

M-503E Lab Bottle Probe Assembly



This assembly consists of items described in M-502 (A), (B) and (C) plus a special 500-ml. Pyrex bottle as illustrated. Can be used as M-502 with mechanical stirrer or liquid flow-through with external pump system.

One-square-inch gasketed opening for strip metal test electrode. Test specimens of from 30 gauge to $\frac{1}{4}$ " thickness can be accommodated. Complete

with gasket and retaining springs. Designed to withstand internal pressure equivalent to boiling water at one atmosphere absolute.

Size: $3\frac{1}{4}$ " min., 6" max.

Weight: approximately 2 pounds.

M-504E AA Lab Cell/Probe Assembly

This assembly consists of a one liter glass jar complete with a fitted Teflon top having 4 holes, three with Swagelok fittings. The assembly also includes three Kelf coated rods and a four-wire electrical harness.

Size: 14 inches.

Weight: approximately 2 pounds.

M-509E Standard Industrial Probe

The M-509E standard industrial probe is built on a $1\frac{1}{2}$ -inch NPT forged steel pipe plug. Because of the smaller physical size of the probe base, a triangular electrode configuration is used on the M-509E probe rather than the in-line configuration of most other Petrolite standard industrial probes.

Size: $2\frac{1}{8}$ " long overall (less electrode).

Weight: approximately 1 pound.

Pressure Rating: 2000 psig.

Temperature Rating: 400 F.

M-510E Standard Industrial Probe

The M-510 Standard Industrial Probe is built on a 2-inch NPT 6,000 psig forged steel pipe plug. The electrical feed-throughs are special glass-to-metal seals.

The M-510 Probe Assembly design has been tested to the limit of available test facilities at 10,000 psig and 600°F. Individual units are to be rated by the customer in accordance with his standard practices for commercial pipe fittings.

The M-510 Probe is the design most commonly used. It has the advantages of using replaceable electrodes, is economical, and of high-pressure design.

Size: (with shipping protector) $2\frac{3}{4}$ " dia. x $4\frac{1}{2}$ " high.

Weight: approximately $1\frac{3}{4}$ pounds.

Pressure Rating: 2000 psig.

Temperature Rating: 400 F.

M-510SSE

The probe is also available in 304 stainless steel construction. (Sold without electrodes.)

M-511E Industrial Extension Probe with Packing Gland

In instances where it is desirable to insert and retract a probe into and out of a flowing stream under pressure without a shutdown, the M-511 Industrial Extension Probe with packing gland may be considered.

The packing gland can accommodate up to six rings of $\frac{1}{4}$ " square packing. It carries nominal rating of 600 psig. $1\frac{1}{2}$ " NPT connection.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forkningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37