

Hochfrequenzmethode zur Messung des
statischen Flächenwiderstandes von ebenen
und zylindrischen Widerstandsschichten

High-frequency Method for Measuring the
Static Surface Resistance of Plane
and Cylindrical Resistive Layers

H.-B. Schilling, W. Herrmann,
E. Springmann

IPP O/42

Juli 1979



MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK
GARCHING BEI MÜNCHEN

Hochfrequenzmethode zur Messung des
statischen Flächenwiderstandes von ebenen
und zylindrischen Widerstandsschichten

High-frequency Method for Measuring the
Static Surface Resistance of Plane
and Cylindrical Resistive Layers

H.-B. Schilling, W. Herrmann,
E. Springmann

IPP O/42

Juli 1979

*Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die
Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.*

IPP O/42

H.-B. Schilling,
W. Herrmann,
E. Springmann

Hochfrequenzmethode zur
Messung des statischen
Flächenwiderstandes von
ebenen und zylindrischen
Widerstandsschichten

Abstract

This method of surface resistance measurement uses a resonant circuit magnetically coupled to the unknown resistive layer. When excited by short pulses the circuit performs damped periodical oscillations. The time by which the oscillation amplitude decreases by a factor of 10 is displayed on a scope, thus giving a measure for the surface resistance. A computer program added in the appendix has been used to evaluate the surface resistance for various electrical and geometrical parameters.

1. Einleitung

Beim Elektronenringbeschleuniger kann ein Teil der möglichen Instabilitäten durch Anbringen von leitfähigen Schichten in der Nähe des Elektronenringes gedämpft werden. Der Flächenwiderstand dieser Schichten soll möglichst genau mit vorgegebenen Werten übereinstimmen, um einerseits den gewünschten stabilisierenden Effekt und andererseits ein ungestörtes Durchdringen der gepulsten Magnetfelder durch die Schicht zu ermöglichen. Bei der Eigenfertigung solcher Schichten durch Auftragen von Leitlacken traten Unsicherheiten bezüglich des tatsächlich erreichten Flächenwiderstandes auf. Insbesondere ergab die Bestimmung des Flächenwiderstandes durch Strom- und Spannungsmessung bei mehrschichtigen Flächen unerwartet hohe Widerstandswerte. Dieser Effekt kann durch die Annahme erklärt werden, daß sich zwischen den einzelnen Widerstandsschichten Zonen geringer Leitfähigkeit ausbilden, die eine Ausbreitung des Meßstromes in die tieferen Schichten erschweren. Deshalb wurde eine Meßmethode entwickelt, mit welcher sich Flächenwiderstände unabhängig von der Art der Schichtung des Widerstandsmaterials bestimmen lassen. Homogenität der Schichten im Meßbereich (einige cm^2) wird dabei vorausgesetzt.

2. Meßprinzip

Ein Schwingkreis wird durch kurze periodische Impulse zu gedämpften Schwingungen angeregt. Aus dem exponentiellen Abfall der Hüllkurve der Schwingungen kann die Dämpfung des Kreises ermittelt werden. Bringt man nun die zu untersuchende Widerstandsschicht in die Nähe der Schwingspule, so ändert sich die Dämpfung des Schwingkreises. Diese Änderung ist ein Maß für den Wert des Widerstandes. Ist die Dicke der Widerstandsschicht klein gegen die Skintiefe der Meßfrequenz und der im Experiment auftretenden Frequenzen, kann aus der Messung der relevante Wert des Flächenwiderstandes gewonnen werden. Bei einer Schichtdicke

d [cm], einem spezifischen Widerstand ρ [Ω cm], dem gewünschten Flächenwiderstand $R_{\square} = \rho/d$, der Skintiefe $\delta = \sqrt{2\rho/\mu\mu_0 \cdot \omega}$ [cm] muß für die Frequenz $f = \omega/2\pi$ gelten ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Vs/Acm)

$$f < \frac{R_{\square}^2}{\mu\mu_0 \cdot \pi \cdot \rho}$$

Für $R_{\square} = 0,1 \Omega$, $\mu = 1$, $\rho = 8,5 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ (V2A) ergeben sich Grenzfrequenzen von ~ 3 GHz. Die Frequenz der gepulsten Magnetfelder des Experimentes liegt bei ca. 40 kHz, die Frequenz der bedeutendsten transversalen resistiven Instabilität liegt unter 100 MHz. Die vorgeschlagene Meßmethode sollte für diese Fälle den relevanten Oberflächenwiderstand ergeben.

3. Meßanordnung

Der verwendete Schwingkreis (Fig.1) besteht im wesentlichen (genauere Angaben siehe Abschnitt 4) aus der Induktivität der Schwingspule und der Kapazität der angeschlossenen Leitungsschaltung.

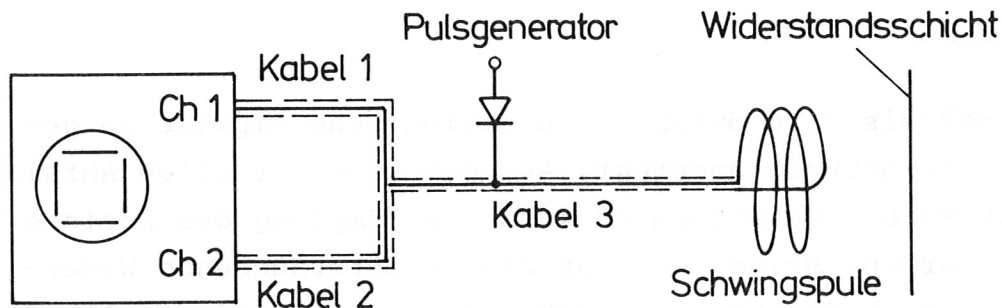


Fig.1: Meßanordnung

Die Einkopplung der Anregungsimpulse erfolgt über eine Diode. Diese bewirkt eine vollständige Entkopplung von Pulsgenerator und Schwingkreis, sobald die Schwingungsamplitude unter ca. 0,5 V abgesunken ist. Die Enden der Kabel 1 und 2 werden mit den beiden Eingängen eines Zweistrahloszillografen verbunden.

Die Empfindlichkeit der beiden Eingänge wurde im allgemeinen um den Faktor 10 verschieden gewählt. Dadurch erhält man zwei scheinbar identische Oszillogramme, die lediglich um die Zeit $\tau_{1/10}$ gegeneinander verschoben sind (Fig.2).

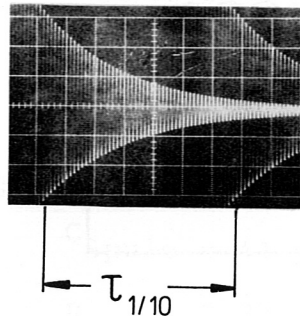


Fig.2: Bestimmung der Dämpfungszeitkonstante $\tau_{1/10}$ aus dem 2-Kanal-Oszillogramm.

Zeitmaßstab: 1 μ s/Teilung
Amplitude Kanal 1: 100 mV/Teilung
Amplitude Kanal 2: 10 mV/Teilung

Auf diese Weise läßt sich die Zeitkonstante für die Dämpfung auf 1/10 der Amplitude genau ablesen.

Wie gesondert nachgewiesen werden konnte, bewirkt die kurzzeitige Übersteuerung der Eingänge bei dem verwendeten Oszillografen (Tektronix 454) nur einen niederfrequenten Ausgleichsvorgang, jedoch keine Verzerrung der Hochfrequenzsignale im Meßbereich. Die zu vermessende Widerstandsschicht wird in definiertem Abstand von der Spule angebracht, bzw. im Fall der zylindrischen Schicht in die Spule eingeführt.

4. Bestimmung der Kreisparameter

Da der verwendete Kreis teilweise aus konzentrierten Schaltelementen und teilweise aus einer Leitungsschaltung besteht, ist eine exakte Umrechnung in einen einfachen Schwingkreis nicht möglich. Die Periodendauer der entstehenden Schwingung ist jedoch groß gegen die Leitungslaufzeiten.

Daher macht man keinen großen Fehler, wenn man die Leitungsblindelemente durch konzentrierte Schaltelemente gleicher Größe ersetzt. Das Ersatzschaltbild (Fig.3) besteht nun aus

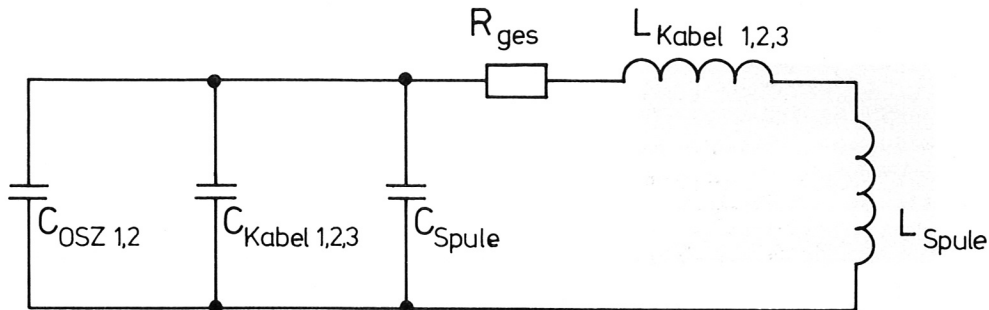


Fig.3: Ersatzschaltbild des Schwingkreises

den Oszillografen-Eingangskapazitäten $C_{Osz\ 1,2'}$
den Leitungskapazitäten $C_{Kabel\ 1,2,3'}$
der Streukapazität der Spule $C_{Spule'}$
der gesamten Leitungsinduktivität $L_{Kabel\ 1,2,3}$ und
der Spuleninduktivität L_{Spule} . Die dämpfenden Effekte werden durch einen Serienwiderstand R_{ges} berücksichtigt. Während die Oszillografen-Eingangskapazität und die Leitungsparameter unmittelbar bekannt sind, lassen sich die Spuleninduktivität und insbesondere die Streukapazität durch direkte Messung nicht hinreichend genau bestimmen. Ihre Ermittlung erfolgte nach folgender Methode: Durch zwei Messungen der Schwingungsfrequenz des Kreises im Originalzustand und nach Entfernung eines definierten Leitungsstückes erhält man zwei Gleichungen mit den beiden Unbekannten L_{Spule} und $C_{Spule'}$, welche dadurch bestimmt werden. Der Wert des Serienwiderstandes wurde aus der Dämpfung der Schwingung berechnet.

Die Werte der Schaltelemente betragen bei der Meßanordnung für ebene Schichten:

$$C_{\text{Osz } 1} = C_{\text{Osz } 2} = 20 \text{ pF}$$

$$C_{\text{Kabel } 1} = C_{\text{Kabel } 2} = 25 \text{ pF}$$

$$C_{\text{Kabel } 3} = 110 \text{ pF}$$

$$L_{\text{Kabel } 1} = L_{\text{Kabel } 2} = 62,5 \text{ nH}$$

$$L_{\text{Kabel } 3} = 275 \text{ nH}$$

$$L_{\text{Spule}} = 1710 \text{ nH}$$

$$C_{\text{Spule}} = 41 \text{ pF}$$

$$R_{\text{ges}} = 1,37 \text{ } \Omega$$

Bei der Meßanordnung für zylindrische Schichten ergab sich:

$$C_{\text{Osz } 1} = C_{\text{Osz } 2} = 20 \text{ pF}$$

$$C_{\text{Kabel } 1} = C_{\text{Kabel } 2} = 25 \text{ pF}$$

$$C_{\text{Kabel } 3} = 100 \text{ pF}$$

$$L_{\text{Kabel } 1} = L_{\text{Kabel } 2} = 65,6 \text{ nH}$$

$$L_{\text{Kabel } 3} = 250 \text{ nH}$$

$$L_{\text{Spule}} = 1274 \text{ nH}$$

$$C_{\text{Spule}} = 151 \text{ pF}$$

$$R_{\text{ges}} = 1,05 \text{ } \Omega$$

5. Berechnung der Wechselwirkung mit der Widerstandsschicht

In der Rechnung wurde der äußere Kreis, wie in dem Ersatzschaltbild auf Fig.3 gezeigt, berücksichtigt. Die resistive Wand wirkt über eine Gegeninduktivität auf den Kreis zurück. Zur Berechnung dieser Rückwirkung wird die Wand in NS Kreiselemente zerlegt, und zwar für ebene Wände wie in Fig.4a und für zylindrische wie in Fig.4b gezeigt.

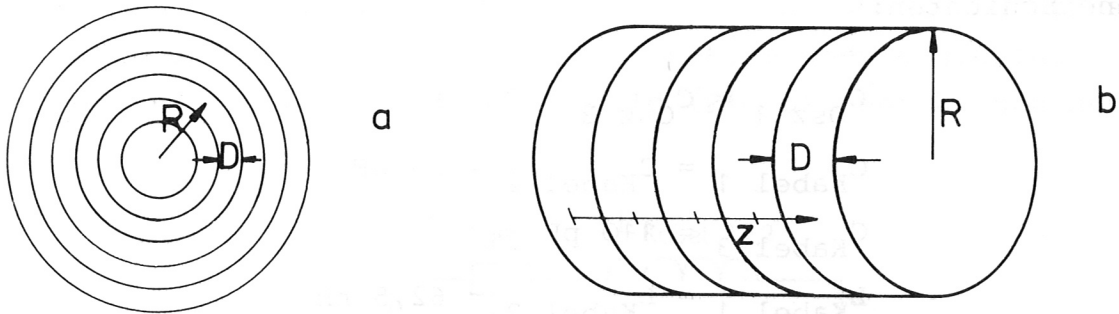


Fig.4: Zerlegung der resistiven Wand in Kreiselemente
 a) für ebene Wände
 b) für zylindrische Wände

Jedem Kreiselement mit der Breite D und dem mittleren Radius R_n wird entsprechend dem Oberflächenwiderstand R_{\square} ein Widerstand $R_{En} = R_{\square} \cdot 2\pi R_n / D$ und eine Selbstinduktion L_{nn} mit dem Wert

$$L_{nn} = 4\pi \cdot 10^{-7} R_n \left(\ln \frac{8R_n}{D} - 0,5 \right) \text{ zugeteilt.}$$

Die einzelnen Elemente stehen untereinander und mit der Induktivität der treibenden Spule L_{SP} über Gegeninduktivitäten L_{nm} in Wechselwirkung.

Ihr Wert wird wie folgt berechnet:

$$L_{nm} = 4\pi \cdot 10^{-7} \sqrt{R_n R_m} \left\{ \left(\frac{2}{k} - k \right) \cdot K - \frac{2}{k} \cdot E \right\}$$

$$\text{mit } k^2 = 4 \frac{R_n \cdot R_m}{(R_n + R_m)^2 + (Z_n - Z_m)^2}$$

K und E sind die vollständigen elliptischen Integrale 1. und 2. Art (alle Längenangaben in m).

Für die Berechnung der Gegeninduktivität zwischen Spule und Widerstandselementen wird der oben angegebene Wert noch mit der Windungszahl WD der Spule multipliziert. Der Abstand der einzelnen Spulenwindungen voneinander ist so klein im Vergleich zu den Abständen zur Widerstandsschicht, daß nur ein mittlerer Radius und Abstandswert Z benutzt wurde.

Man erhält folgendes Gleichungssystem

$$(L_{SP} + L_{Kabel}) \dot{I}_{SP} + \sum_{n=1}^{NS} L_{SP n} \dot{I}_n = -R_{ges} I_{SP} - Q/C_{ges}$$

$$\dot{Q} = +I_{SP}$$

$$L_{1 SP} \dot{I}_{SP} + \sum_{n=1}^{NS} L_{1 n} \dot{I}_n = -R_{E 1} I_1$$

·
·
·
·

$$L_{NS SP} \dot{I}_{SP} + \sum_{n=1}^{NS} L_{NS n} \dot{I}_n = -R_{ENS} I_{NS}$$

Hierbei werden die Werte für L_{SP} , L_{Kabel} , R_{ges} , C_{ges} aus dem Experiment übernommen. Q ist die Ladung der Kapazität. Ihr Anfangswert $Q/C_{ges} = U_0$. Der Anfangswert aller Ströme ist 0.

Die Lösung dieses Gleichungssystems, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, gibt den Strom für die Spule und die verschiedenen Elemente, aber auch den Wert U/U_0 an der Kapazität als Funktion der Zeit.

Der Anhang enthält das Rechenprogramm und einen Plot der normierten Spannung U/U_0 an der Kapazität als Funktion der Zeit.

6. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen für die verwendeten Anordnungen sind in Form der Eichkurven in Fig.5a (für ebene Schichten) und in Fig.5b (für zylindrische Schichten) dargestellt.

Dabei bedeuten τ_∞ und τ_R die Zeiten, in denen die Schwingungsamplitude ohne bzw. mit Widerstandsschicht auf 1/10 abgesunken ist.

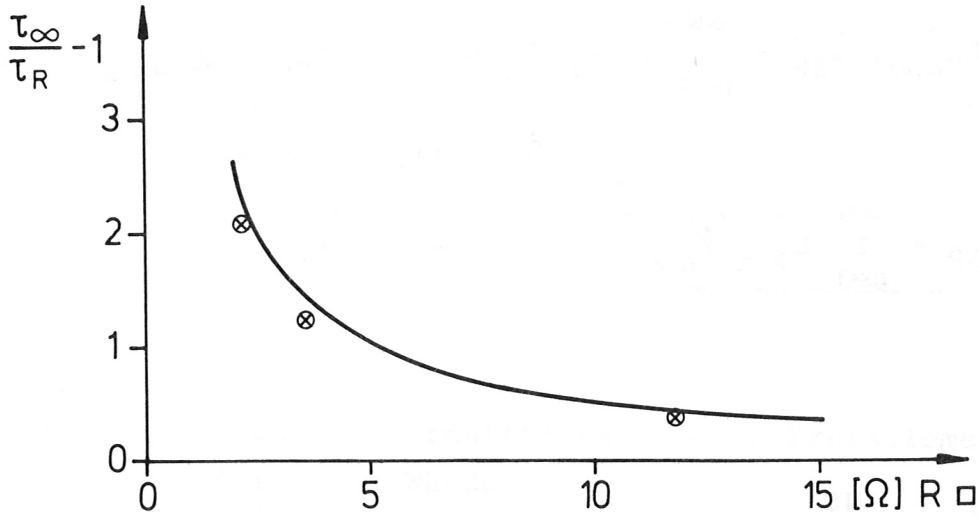


Fig.5a: Eichkurve für ebene Schichten

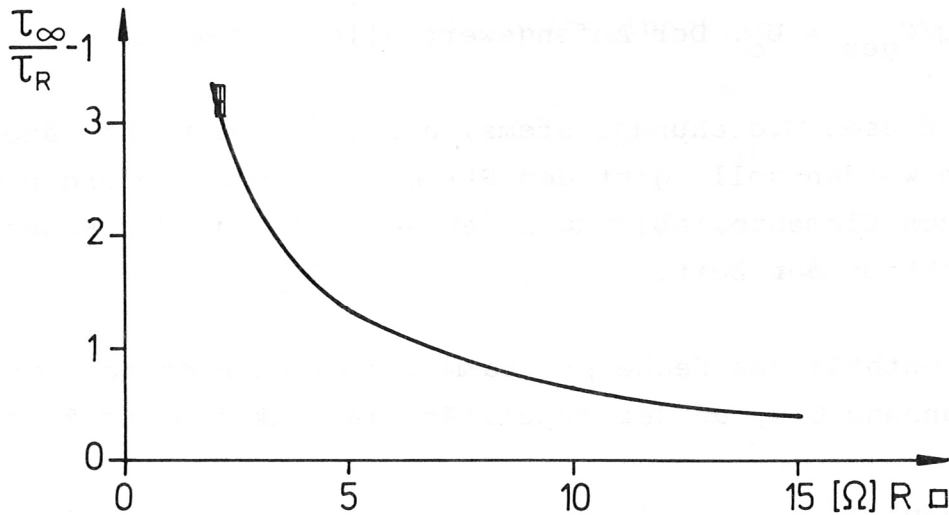


Fig.5b: Eichkurve für zylindrische Schichten

Die Eichkurve ist in Fig.5 nur für den in dieser Arbeit interessierenden "resistiven" Teil der Kurven berechnet. Bei kleineren Oberflächenwiderständen würde die Dämpfung wieder abnehmen ("induktiver" Teil der Kurve); jedem Dämpfungswert entsprechen zwei Oberflächenwiderstände. Die dadurch entstehende Doppeldeutigkeit kann im Zweifelsfall durch die zusätzliche Auswertung der Frequenzänderung beseitigt werden. Möchte man Messungen bei größeren oder kleineren Oberflächenwiderständen machen, empfiehlt es sich, die Meßfrequenz entsprechend zu vergrößern oder zu verkleinern.

Zur Beurteilung der erreichten Meßgenauigkeit wurden Metallfilmwiderstandsschichten sowohl mittels der beschriebenen Methode, als auch durch Strom-Spannungsmessung untersucht. Bei der ohmschen Methode wurden Meßfehler durch Einflüsse der Kontaktierung vermieden. Zu diesem Zweck wurden Stromzuführung und Spannungsmessung voneinander getrennt. Der Spannungsabgriff erfolgte direkt auf der Widerstandsfläche durch Spitzen über ein hochohmiges Meßgerät. Die Meßpunkte sind in Fig.5a eingetragen. Es ergaben sich Abweichungen zwischen beiden Methoden von maximal 12%. Ein ähnlicher Vergleich wurde für eine zylindrische Widerstandsschicht durchgeführt. Der Meßpunkt in Fig.5b zeigt, daß auch in diesem Fall eine gute Übereinstimmung der beiden Methoden vorliegt.

FORTRAN IV G1 RELEASE 2.0 MAIN DATE = 79242 10/40/40

1000 BERECHNUNG DES STATISCHEN FLAECHENWIDERSTANDES
1001 VON EBENEN UND ZYLINDRISCHEN WIDERSTANDSSCHICHTEN
1002 ***** EDS ***
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068

FUER EINEN RING (SPULE) UND 'NS' SEITENPLATTENELEMENTE
(ODER ZYLINDERELEMENTE) WIRD
* DER STROM IM RING UND DEN SEITENPLATTENELEMENTEN DURCH
* LOESUNG VON 'NS+2' DIFFERENTIALGLEICHUNGEN BESTIMMT UND
DIE NORMIERTE ABKLINGFUNKTION 'U/U0 (T)' BERECHNET UND
GEPLOTTET.

BENOETIGTE PROGRAMME:

MAIN :: INPUT; MATRIX L-INVERS; START INTEGRATION
PORGY :: GEOMETRIE DER ELEMENTE; INDUKTIVITAETSMATRIX
FIND :: GEGENINDUKTIVITAETSFORMEL (ALLGEMEIN)
FCT :: DEFINITION DER DIFFERENTIALGLEICHUNGEN
OUTP :: OUTPUT-ROUTINE FUER DHPG; PLOT U/U0(T)
DMINV :: MATRIXINVERSION
DHPG :: LOESUNG DER GEWOEHNLICHEN DIFF-GLEICHUNGEN

NB: DIESE VERSION GILT NUR BEI FOLGENDEN EINSCHRAENKUNGEN:
ES IST NUR 1 RINGSPULE VORHANDEN (WINDUNGSZAHL 'WD' WIRD
BEI DER BESTIMMUNG DER INDUKTIVITAETEN BERGECKSICHTIGT);
ES WIRD NUR EINE ZYLINDER- ODER SEITENPLATTENSTRUKTUR
ANGENOMMEN (GERADENSTUECK), UNTERTEILT IN GLEICHLANGE ELEMENTE;
DER R- UND Z-ANTEIL DER ELEMENTLAENGE WIRD IN /GEOM/ UEBERTRAGEN

EINGABE :
3 KARTEN TEXT --> PROBL(1...54) FORMAT(18A4)
/NL1/ N NS ANZAHL DER RINGELEMENTE (= 1)
ANZAHL DER SEITENPLATTENELEMENTE
/NL2/ RR I ANGABEN ZUM RINGSPULE:
ZR I LAGE UND AUSDEHNUNG DES RINGELEMENTS
DR I (ANGABEN IN M)
WD WINDUNGSZAHL DES RINGS
SL SELBSTINDUKTIVITAET (H)
CAP KAPAZITAET (F)
WID WIDERSTAND (OHM)
VOLT SPANNUNG (VOLT)
ELS ZULEITUNGSINDUKTIVITAET (H)
/NL3/ X1,Y1 ANGABEN ZUR SEITENPLATTE/ZYLINDER
OHM ANFANGSPUNKT (Z,R) DER SEITENPLATTE
(X1,X2) (BZW. ZYLINDERS) (IN M)
OHM OBERFLAECHENWIDERSTAND (IN OHM/QUADRAT)
/NL4/ PRMT SIEHE SR 'DHPG'


```

00019 C
00020 C
00021 C
00022 C
00023 C
00024 C
00025 C
00026 C
00027 C
00028 C
00029 C
00030 C
00031 C
00032 C
00033 C
-----
C      EINGABEDATEN - ANFANGSGROESSEN
C      -----
C      PI = 3.141592653589793D0
C      READ(5,NL1)
C      READ(5,NL2)
C      READ(5,NL3)
C      READ(5,NL4)
C      NC = N+NS
C      NT = NC
C      N00=N
C      RSUB(1)=RR
C      GSUB(1)=ZR
C      ASUB(1)=DR
C      RES(1)=WID
C      XL=SL+ELS
C      WRITE(6,10050) WD
C      WRITE(6,10050) (I,RSUB(I),GSUB(I),ASUB(I),I=1,N)
C
C      BESTIMMUNG DER UNTERELEMENTE DER SEITENPLATTE (DES ZYLINDERS)
C      INDUKTIVITAETSMATRIX; STROMDICHTEVERTEILUNG
C      -----
C      CALL PORGY(NC,NT,N,X1,Y1,X2,Y2,RSUB,GSUB,ASUB)
C
C      DO 220 L=1,NC
C      EDEL(L)=GEM((L-1)*NT+L)
C      RHO(L)=RES(L)/EDEL(L)
C      UM((L-1)*NC+L)=1.
C      DO 220 I=1,NC
C      IF(I.EQ.L) GOTO 220
C      IL=(L-1)*NC+I
C      UM(IL)=GEM(IL)/EDEL(L)
C
C      220 CONTINUE
C
C      INVERTIERE INDUKTIVITAETSMATRIX
C      -----
C      CALL DMINV (UM,NC)
C
C      ABGELEITETE ELEKTRISCHE GROESSEN
C      -----
C      OM2 = 1.D0/(CAP*GEM(1))
C      OM  = DSQRT(OM2)
C      TAU  = PI*.5D0/OM
C
C      WRITE(6,10000)
C      WRITE(6,10020)
C      WRITE(6,10030) RES(1),CAP,ELS,VOLT
C      WRITE(6,10090) OM
C      WRITE(6,10095) TAU
C
C      ANFANGSWERTE FUER DAS DIFFERENTIALGLEICHUNGSSYSTEM
C      START DER INTEGRATION
C      -----

```

1230
1240
1250
1260
1270
1280
1290
1300
1310
1320
1330
1340
1350
1360
1370
1380
1390
1400
1410
1420
1430
1440
1450
1460
1480
1490
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
1600
1610
1620
1630
1640
1650
1660
1670
1680
1690
1700
1710
1720
1730
1740
1750
1760
1770
1780
1790

```

0053 NPL=0
0054 NPLUS=0
0055 WRITE(6,1040) PRMT(1),PRMT(3),PRMT(2),PRMT(4)
0056 DO 200 I=1,NC
0057 Y(I)=0.D0
0058 200 CONTINUE
0059 Y(NC+1)=-CAP*VOLT
0060 OQU=OHM

C
0061 WRITE(6,1000)
0062 WRITE(6,1100)
0063 DHH=1.D-2+DFLOAT(NS)+1.D6
0064 DY(1)=1.D-2/DHH
0065 NC1=NC+1
0066 DY(NC1)=1.D6/DHH
0067 DO 252 K=2,NC
0068 DY(K)=1.D0/DHH
0069 252 CONTINUE
0070 UANF=Y(NC1)

C
0071 CALL DPCG(PRMT,V,DY,NC1,IHLF,FCT,OUTP,AUX)
0072 WRITE(6,1080) IHLF,NPL

C
0073 STOP
0074 FORMAT(18A4)
0075 FORMAT(IH1)
0076 1010 FORMAT(/70X,'DATUM : ',2A4/70X'ZEIT : ',2A4/
70X,'JOBNAME : ',2A4)
0077 1020 FORMAT(3X,'ELEKTRISCHE PARAMETER'//)
0078 1030 FORMAT(10X,'STROMRING'//)
$ 10X,'RES =',1PE11.3,'(OHM)'//
$ 10X,'CAP =',1PF7.3,5X,'(NF)'//
$ 10X,'L =',1PF7.3,5X,'(MYH)'//10X,'VOLT =',-3PF7.3,5X,'(KV)'//)
1040 $ FORMAT(/3X,'INTEGRATION UEBER T =',1PE6.0,'('E10.3/'
E10.3,' SEC: GENUAIGKEIT : ',E10.3/)
1050 $ FORMAT(10X,'14.0P3F15.6)
1060 $ FORMAT(/10X,'STROMRING : ',F4.0,' WINDUNGEN'//
22X,'R (M)',10X,'Z (M)',10X,'A (M)'//)
1080 $ FORMAT(/10X,'INTEGRATIONSENDE MIT IHLF =',I3/
10X,'4',PUNKTEFUER DEN PLOT GESPEICHERT')
1090 $ FORMAT(/)
1095 $ FORMAT(/)
1100 $ FORMAT(6X,'T (NS)',5X,'U/U0',3X,'I (STROMRING)',4X
$ END

```

1800
1810
1820
1830
1840
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
2050
2060
2070
2080
2090
2100
2110
2120
2130
2140
2150
2160
2170
2180
2190
2200
2210
2220
2230
2240

```

00001
C
C
C
C
C
C
C
C
00002
00003
00004
00005
00006
00007
00008
00009
00010
00011
00012
00013
00014
00015
00016
00017
00018
00019
00020
00021
00022
00023
00024
00025
00026
00027
00028
00029
00030
00031
00032
00033
00034
SUBROUTINE PORGY(NC,NT,N,X1,Y1,X2,Y2,RSUB,GSUB,ASUB)
*****
GEOMETRIE
SELBST-UND GEGENINDUKTIVITAETEN
UNTERPROGRAMME: FUNCTION FIND
*****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
REAL*8 RSUB(1),GSUB(1),ASUB(1)
S
S
COMMON /EL2 / OHM,XL,WD,RES
COMMON /GEOM / DR,DX
COMMON /NUM / N00,NPL,NPLUS
COMMON /MATR / GEM
C
DATA U / 1.256637061435917D-6 /
,PI / 3.141592653589793D0 /
S
GEOMETRIE: UNTERELEMENTE VON SEITENPLATTE|ZYLINDER
-----
VA = Y1
DR = (Y2-Y1)
DX = (X2-X1)
NSH = (NC-N000)
DIS = DSQRT(DR*DR+DX*DX)/DFLOAT(NSH)
DR = DR/DFLOAT(NSH)
DX = DX/DFLOAT(NSH)
C
NE = N
=NE+1
I = NE+1
JA = N00+1
JE = JA-1+NSH
DO 130 J=JA,JE
XJ = X1+(J-N000-.5)*DX
YJ = Y1+(J-N000-.5)*DR
RSUB(I)=XJ
GSUB(I)=YJ
ASUB(I)=DIS
I = I+1
130 CONTINUE
C
ELEMENTWIDERSTAND
-----
NB = NE+1
NE = NE+NSH
HR = OHM*PI*2.D0/DIS
DO 140 J=NB,NE
RES(J)=HR*(VA+(J-N000-.5D0)*DR)
140 CONTINUE
C
WRITE(6,1030) OHM

```

```

0035 WRITE(6,1020) (I,RSUB(I),GSUB(I),ASUB(I),RES(I),I=NB,NE)
C
C INDUKTIVITAETEN
C -----
0036 NT1=NT-1
0037 DO 200 I=1,NT1
0038 K = I+1
0039 R1 =RSUB(I)
0040 G1 =GSUB(I)
0041 GEM(I+(I-1)*NT) = U*R1*(DLOG(8.D0*R1/ASUB(I))- .5D0)
0042 DO 200 J=K,NT
0043 IJA = I+(J-1)*NT
0044 IF(I.GT.1) GOTO 10
0045 GEM(IJA)=U*WD*FIND(RSUB(J),R1,GSUB(J),G1)
0046 GOTO 15
0047 CONTINUE
0048 GEM(IJA)=U*FIND(RSUB(J),R1,GSUB(J),G1)
0049 JIA =J+(I-1)*NT
0050 GEM(JIA) = GEM(IJA)
0051 CONTINUE
0052 R1 =RSUB(NT)
0053 GEM(NT+(NT-1)*NT) = U*R1*(DLOG(8.D0*R1/ASUB(NT))- .5D0)
0054 GEM(1)=XL
C
0055 WRITE(6,1060)
0056 DO 360 I=1,NC
0057 IJ=(I-1)*NC
0058 WRITE(6,1050) I,(GEM(IJ+J),J=1,NC)
0059 CONTINUE
C
0060 RETURN
0061 FORMAT(10X,I4,0P3F15.6,0PF15.2)
0062 FORMAT(//10X,'SEITENPLATTEIZVYLINDER :',F8.4,' OHM/QUADRAT'//
0063 $ 22X,'R (M)',10X,'Z (M)',10X,'A (M)',8X,'WIDERSTAND'//
0064 FORMAT(10X,0PI4,1P2D15.6,(T45,1P5D15.6))
0065 FORMAT(//10X,'SELBST- UND GEGENINDUKTIVITAETEN'//)
END

```

680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900
910
920
930
940
950
960
970
980
990
1000
1010
1020
1030
1040
1050
1060

00001
00002
00003
00004
00005
00006
00007
00008
00009

```

C REAL FUNCTION FIND*8(RI,RJ,ZI,ZJ)
C *****
C GEGENINDUKTIVITAET ZWEIER LEITERPUNKTE *****
C UNTERPROGRAMME 'DCELI' UND 'DCEL2' AUS SYS:SSPLIB ZUR BERECHNUNG
C DER ELLIPTISCHEN INTEGRALE *****
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
C AK1=4.D0*(RI*RJ)/((RI + RJ)**2 + (ZI-ZJ)**2))
C AK = DSORT(AK1)
C CALL DCELI(ELK,AK,IER)
C CALL DCEL2(LELE,AK,1.D0,1.D0-AK1,IER)
C FIND = DSORT(RI*RJ)*((2.D0/AK)-AK)*ELK
C
C
C RETURN
C END

```

00010
00011
00012
00013
00014
00015
00016
00017
00018
00019
00020
00021
00022
00023
00024
00025
00026
00027
00028
00029
00030
00031
00032
00033
00034
00035
00036
00037
00038
00039
00040

00041
00042
00043
00044
00045
00046
00047
00048
00049
00050
00051
00052
00053
00054
00055
00056
00057
00058
00059
00060
00061
00062
00063
00064
00065
00066
00067
00068
00069
00070
00071
00072
00073
00074
00075
00076
00077
00078
00079
00080
00081
00082
00083
00084
00085
00086
00087
00088
00089
00090
00091
00092
00093
00094
00095
00096
00097
00098
00099
00100

```

0001 SUBROUTINE FCT(X,Y,DY)
0002 ***** DIFFERENTIALGLEICHUNGEN 'DY' AN DER STELLE 'X'
0003 ***** MIT WERTEN 'Y' *****
0004
0005 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0006 REAL*8 X,Y(1),DY(1)
0007 $,ELEC(41),RHO(41)
0008 $,F(41)
0009 $,UM(2000)
0010
0011 COMMON /ELEC / OM2,RHO,NC,NT,UM
0012
0013 DO 100 KC=1,NC
0014 F(KC) = - RHO(KC)*Y(KC)
0015 100 DY(KC) = 0
0016 F(1) = F(1)-OM2*Y(NC+1)
0017
0018 DO 200 I=1,NC
0019 DO 210 L=1,NC
0020 DY(I) = DY(I) + UM((I-1)*NC+L)*F(L)
0021 200 CONTINUE
0022 DY(NC+1)=Y(1)
0023
0024 RETURN
0025 END

```

740
750
760
770
780
790
800
810
820
2000
4000
7000
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000
10010
10020

0001 0001

INVENTORY

DATE = 79242

FCT

RELEASE 2.0

FORTRAN IV G1

```

0001
SUBROUTINE OUTP(X,VY,DERV,IHLF,ND,PRMT)
*****
OUTPUT-ROUTINE ZU 'DHPCG': DATENAUSGABE UND -SPEICHERUNG FUER PLOT
X :: UNABHAENIGIGE (HIER ZEIT)
VY :: ABHAENIGIGE (HIER STROEME UND LADUNG)
DY :: ERSTE ABLEITUNGEN
ND :: ANZAHL DER DIFFERENTIALGLEICHUNGEN
SH:SSPLIB(DHPCG)
*****

0002 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0003 REAL*8 VV(1),DERV(1),PRMT(1)
0004 REAL*4 XSA(2000),USA(2000),XPL(5),YPL(5),DX,DY
0005 COMMON /NUM / N00,NPL,NPLUS
0006 COMMON /SCAL / UANF,OQU
0007 IF(X.LT.NPL*5.DD-9-1.D-14 )
0008 NC=ND-1
0009 HU= VV(ND)/UANF
0010 NPL=NPL+1
0011 XSA(NPL)=X*1.E6
0012 USA(NPL)=HU
0013 WRITE(6,1000) IHLF,X,HU,VV(1)
0014 N01=N00+1
0015 IF(NPLUS/10*10.EQ.NPLUS) WRITE(6,1010)(VV(I),I=N01,NC)
0016 NPLUS=NPLUS+1
0017 IT =ITIME(0)
0018 IF(IT.LT.500)
0019 IF(X.LT.PRMT(2)-6.D-9)
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
60
CONTINUE
CALL PBLATT
DX =2./25.
DY =2./16.
CALL KOOLOG(1.5,9.,-25.,0.,1H,0.,3,0.,5.,3,-1.,5/DX,0,5)
CALL KOOLOG(1.5,1.,-25.,0.,1H,0.,3,0.,5.,3,-1.,5/DX,0,5)
CALL SCHRFT(24.,1.8,3.,T\(\GJM\DSEC @\)$')
CALL KOOLOG(1.5,1.,16.,90.,1H,0.,-3,-1.,5.,3,1.,5/DY,1,5)
CALL SCHRFT(3.0,17.,3.,U\U\V:0$')
CALL SCHRFT(15.0,17.,3.,OBERFLAECHEWIDERSTAND : $')
CALL PZAHL(999.,999.,3,SINGL(OQU),0.,1,2)
CALL SCHRFT(999.,999.,3,OJHM @/QJUS')
CALL SCALE(-1.5*DX,-1.-DY,25.5*DX,-1.+17.*DY)
VPL(1)=.1
VPL(2)=.1
XPL(1)=0.
XPL(2)=PRMT(2)*1.E6
CALL PLOTLS(XPL,YPL,2)
VPL(2)=-.1
PLOT U/U0 (T)
-----

```

0001

10/40/40

DATE = 79242

OUTP

RELEASE 2.0

FORTRAN IV G1

0001

EDS759 22. AUG. 79 09:43 F2-01 01 +

Oberflaechenwiderstand : 2.0 Ohm/Qu

