

cliente SCHNEIDER ELECTRIC S.p.A. Circonvallazione EST 1 - 24040 Stezzano (BG)

oggetto in prova Trasformatore trifase di potenza immerso in olio, per servizio continuo, con raffreddamento esterno per circolazione naturale dell'aria (ONAN): MF - tipo 800TORO20/0,66 - 800 kVA - 20 kV / 0,66 kV

prove eseguite prova di riscaldamento
verifica della capacità di tenuta dinamica al cortocircuito
verifiche dopo le prove di cortocircuito

documenti normativi IEC 60076-5 (2000-7)

data ricevimento del campione 17 Febbraio 2004

data prove: dal 20 Febbraio 2004 al 10 Marzo 2004

n. pagine 20 **n. pagine fuori testo** 10

I risultati di prova riportati nel presente documento si riferiscono al solo campione provato senza l'autorizzazione scritta del CESI questo documento può essere riprodotto solo integralmente



data prima emissione 16 Marzo 2004

elaborato PeC/TEST - V. Mantegazza

verificato PeC/TEST - F. Pizzi

approvato PeC/TEST - V. Scarioni

CESI
CENTRO ELETTROTECNICO SPERIMENTALE ITALIANO
Business Unit
Prove e Componenti
Il Responsabile del Laboratorio

presenti alle prove:Sig. Lecchi
Sig. Morelli
Sig. MigliavaccaSCHNEIDER ELECTRIC
MF Trasformatori
Edison**riconoscimento dell'oggetto: non richiesto**

Solo per esigenze di laboratorio, tutti i dati e le informazioni utili per riprodurre le condizioni di prova sono contenuti nel documento: —

Le incertezze di misura dei risultati di prova riportati nel presente documento sono le seguenti:

tensione: $\pm 5\%$; corrente: $\pm 5\%$; tempo: $\pm 5\%$

Le incertezze di misura sono espresse come due volte lo scarto tipo (corrispondente nel caso di distribuzione normale ad un livello di confidenza di circa il 95 %) e sono da considerarsi come valori massimi.

informazioni del laboratorio

personale di prova CESI: Perotti, Caglio

laboratorio di prova: MP3/P120

codice attività: 40347X

parole chiave: 12015R - 22601Y - 33020C - 44040V - 53001D - 62420Z

caratteristiche dell'oggetto in prova dichiarate dal Cliente

- Costruttore	MF Trasformatori srl
- tipo	800TORO20/0,66
- numero di serie del Costruttore	260104/13
- anno di costruzione	2004
- numero delle fasi	3
- tensione nominale dell'avvolgimento ad alta tensione (primario)	20 kV \pm 2 x 2,5 %
- tensione nominale dell'avvolgimento a bassa tensione (secondario)	660 V
- rapporto di trasformazione nominale	20 kV / 0,66 kV
- frequenza nominale	50 Hz
- potenza nominale	800 kVA
- corrente nominale dell'avvolgimento ad alta tensione (primario)	23,1 A
- corrente nominale dell'avvolgimento a bassa tensione (secondario)	700 A
- impedenza di cortocircuito	6,315 (1) - 6,393 (3) - 6,441 (5) %
- rapporto X/R	7,683 (1) - 7,590 (3) - 7,441 (5)
- simbolo di collegamento	Dyn11
- modo di raffreddamento	ONAN
- massa totale	3200 kg
- massa dell'olio di isolamento	700 kg

caratteristiche degli avvolgimenti:

- tensione massima relativa all'avvolgimento ad alta tensione	24 kV
- tensione massima relativa all'avvolgimento a bassa tensione	1,1 kV
- livelli nominali di isolamento	IA 125 FI 50 / FI 3
- tipo di costruzione	a bobine circolari concentriche
- conduttore dell'avvolgimento ad alta tensione	filo di rame
- conduttore dell'avvolgimento a bassa tensione	lastra di rame

nome e firma del rappresentante del Cliente _____

Misura della resistenza degli avvolgimenti
valori misurati

Le misure sono state effettuate in corrente continua, dopo aver lasciato il trasformatore immerso nell'olio, senza eccitazione, per un tempo superiore a tre ore.

data: 20 Febbraio 2004

posizione del commutatore di prese	avvolgimento ad alta tensione				avvolgimento a bassa tensione			
	resistenza misurata tra i terminali			temperatura ambiente	resistenza misurata tra i terminali			temperatura ambiente
	U-V	U-W	V-W		u-v	u-w	v-w	
Ω	Ω	Ω	$^{\circ}\text{C}$	m Ω	m Ω	m Ω	$^{\circ}\text{C}$	
-								
1	3,710	3,711	3,694	14,9	-	-	-	-
3	3,478	3,494	3,490	15,3	2,810	2,821	2,804	14,9
5	3,341	3,338	3,345	14,3	-	-	-	-

valori calcolati

posizione del commutatore di prese	resistenza di fase (valore medio)			
	dell'avvolgimento ad alta tensione		dell'avvolgimento a bassa tensione	
	a temperatura ambiente	a 75 $^{\circ}\text{C}$	a temperatura ambiente	a 75 $^{\circ}\text{C}$
	Ω	Ω	m Ω	m Ω
-				
1	5,557	6,894	-	-
3	5,231	6,479	1,406	1,739
5	5,012	6,207	-	-

Misura dell'impedenza di cortocircuito e delle perdite a carico
valori misurati

Le misure sono state effettuate alimentando l'avvolgimento ad alta tensione con valori di corrente prossimi alla corrente nominale (a frequenza nominale), con l'avvolgimento a bassa tensione cortocircuitato.

data: 20 Febbraio 2004

posizione del commutatore di prese	V_{cc} (valore medio)	I_{cc} (valore medio)	P_{cc} (valore medio)	temperatura ambiente
-	V	A	W	°C
1	1270	21,1	5109	15,5
	1270	21,1	5107	
	1270	21,1	5115	
3	1227	22,3	5272	15,5
	1228	22,2	5281	
	1229	22,2	5287	
5	1184	23,6	5476	15,5
	1183	23,6	5472	
	1183	23,6	5478	

valori calcolati

posizione del commutatore di prese	$R_{cc} I_c$ a 75 °C	$X_{cc} I_c$ a 75 °C	$Z_{cc} I_c$ a 75 °C	perdite a carico P_{cc} a 75 °C
-	%	%	%	W
1	0,815	6,26	6,32	6517
3	0,835	6,34	6,39	6681
5	0,858	6,38	6,44	6861

Misura delle perdite e della corrente a vuoto
valori misurati

Le misure sono state effettuate applicando valori di tensione prossimi alla tensione nominale (a frequenza nominale) all'avvolgimento a bassa tensione, con l'avvolgimento ad alta tensione aperto.

data: 20 Febbraio 2004

misure effettuate	V_0	P_0	I_0
n.	V	W	A
1	691	1016	0,97
2	677	970	0,93
3	669	943	0,91
4	661	917	0,89
5	656	903	0,88

valori calcolati

I seguenti valori sono stati ricavati tramite interpolazione dei valori misurati.

perdite a vuoto P_0 a tensione nominale U_1	corrente a vuoto I_0 a tensione nominale U_1		perdite a vuoto P_0 a tensione $1,1 U_1$	corrente a vuoto I_0 a tensione $1,1 U_1$	
	A	%		A	%
915	0,89	0,13	1144	1,09	0,16

Prova di riscaldamento

disposizioni e modalità di prova

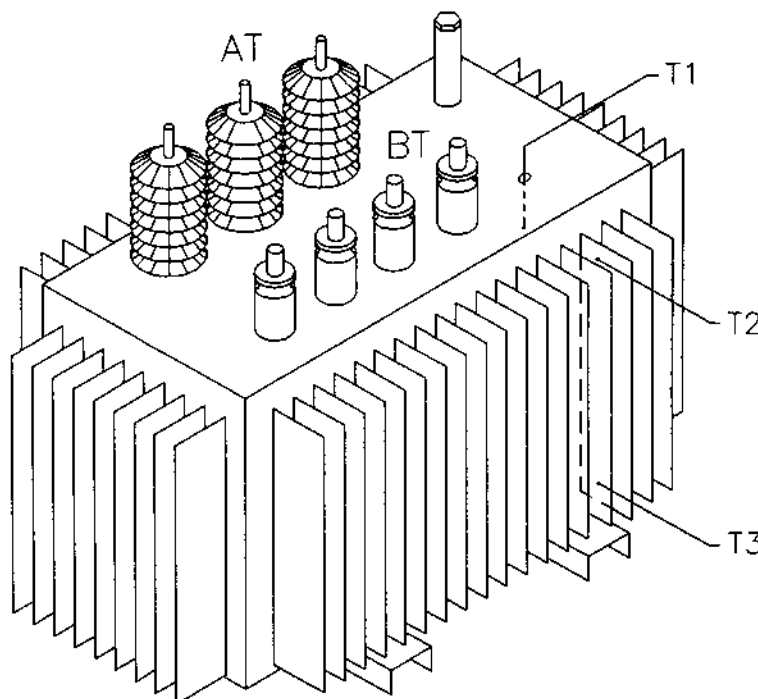
Per verificare i limiti di sovratemperatura del trasformatore è stata scelta la "Prova con il metodo di cortocircuito fino ad equilibrio termico"; tale prova è stata eseguita secondo le modalità specificate al Paragrafo 5.2.2 della Norma IEC 76-2 (1993-04).

Il trasformatore è stato montato sulle sue ruote, come nelle condizioni normali di servizio ed il commutatore di prese è stato posizionato sulla presa principale.

L'avvolgimento a bassa tensione del trasformatore è stato cortocircuitato e l'avvolgimento ad alta tensione è stato alimentato con una tensione tale che al trasformatore è stata fornita una potenza pari alla somma delle perdite a vuoto e delle perdite a carico (perdite totali); queste grandezze sono state applicate fino al raggiungimento della condizione di equilibrio termico. Sono state allora rilevate le temperature dell'olio nelle posizioni necessarie per determinare la sovratemperatura dell'olio nella parte superiore della cassa e la sovratemperatura media dell'olio (vedi grafico).

Successivamente, la tensione di alimentazione è stata ridotta ad un valore tale da far passare la corrente nominale, alla frequenza nominale, nell'avvolgimento ad alta tensione; questa condizione è stata mantenuta per un'ora e quindi sono state misurate le resistenze degli avvolgimenti, in corrente continua (vedi grafici), per determinare la loro sovratemperatura col metodo della variazione di resistenza.

Le tre termocoppie rame-costantana utilizzate per rilevare la temperatura dell'olio nel pozzetto del coperchio e nella parte superiore ed inferiore della cassa (aletatura), sono state posizionate nello stesso lato del trasformatore (vedi figura seguente) per ricavare un valore medio omogeneo della sovratemperatura dell'olio.



metodo di cortocircuito fino ad equilibrio termico

trasformatore predisposto sul rapporto di trasformazione 28,5 kV / 0,66 kV

data: 23-24 Febbraio 2004

Parametri di prova:

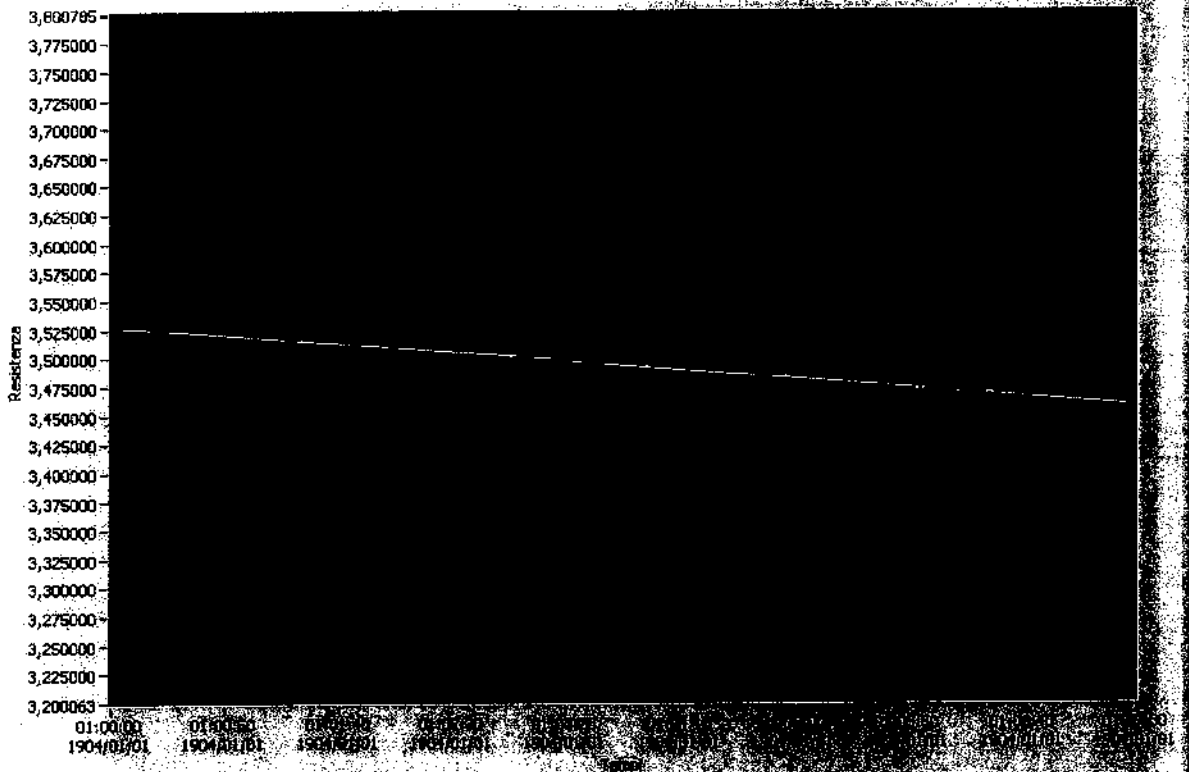
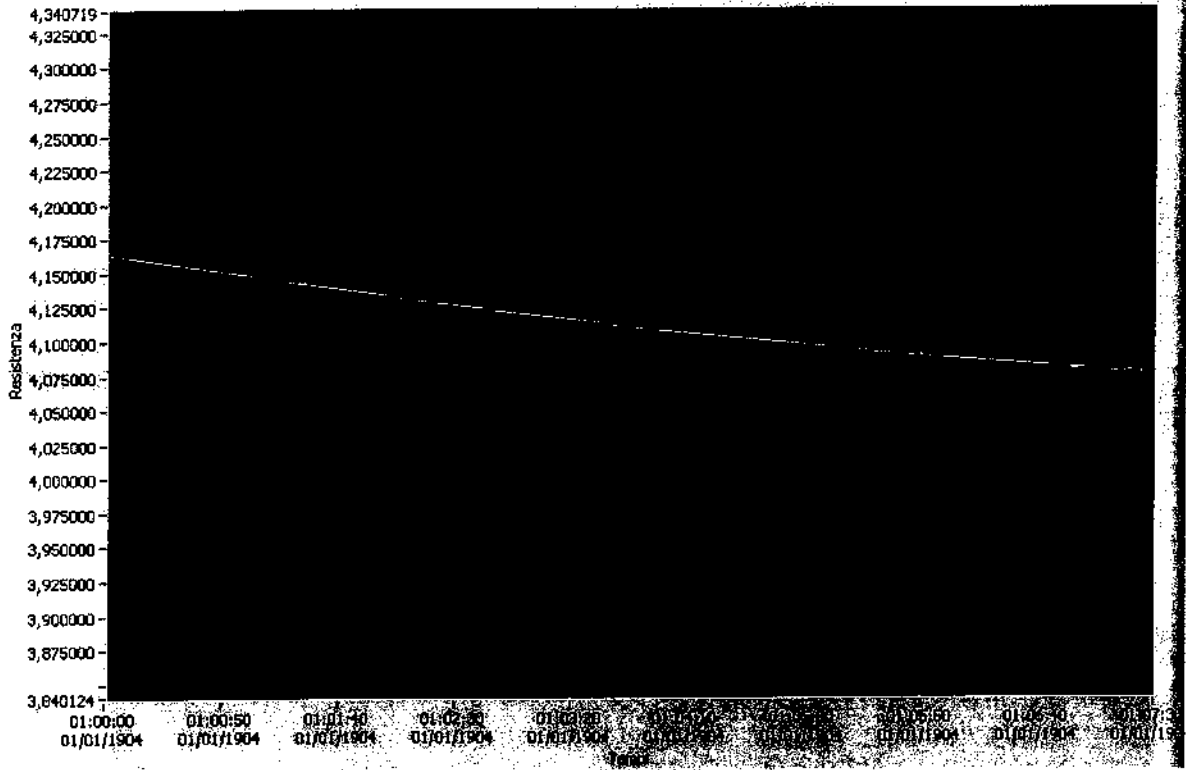
- perdite a vuoto (P_0) a tensione nominale	915 W
- perdite a carico (P_{cc}) a 75 °C	6861 W
- perdite totali a 75 °C	7776 W
- corrente nominale (I_n) dell'avvolgimento ad alta tensione	24,3 A
- frequenza nominale (f_n)	50 Hz

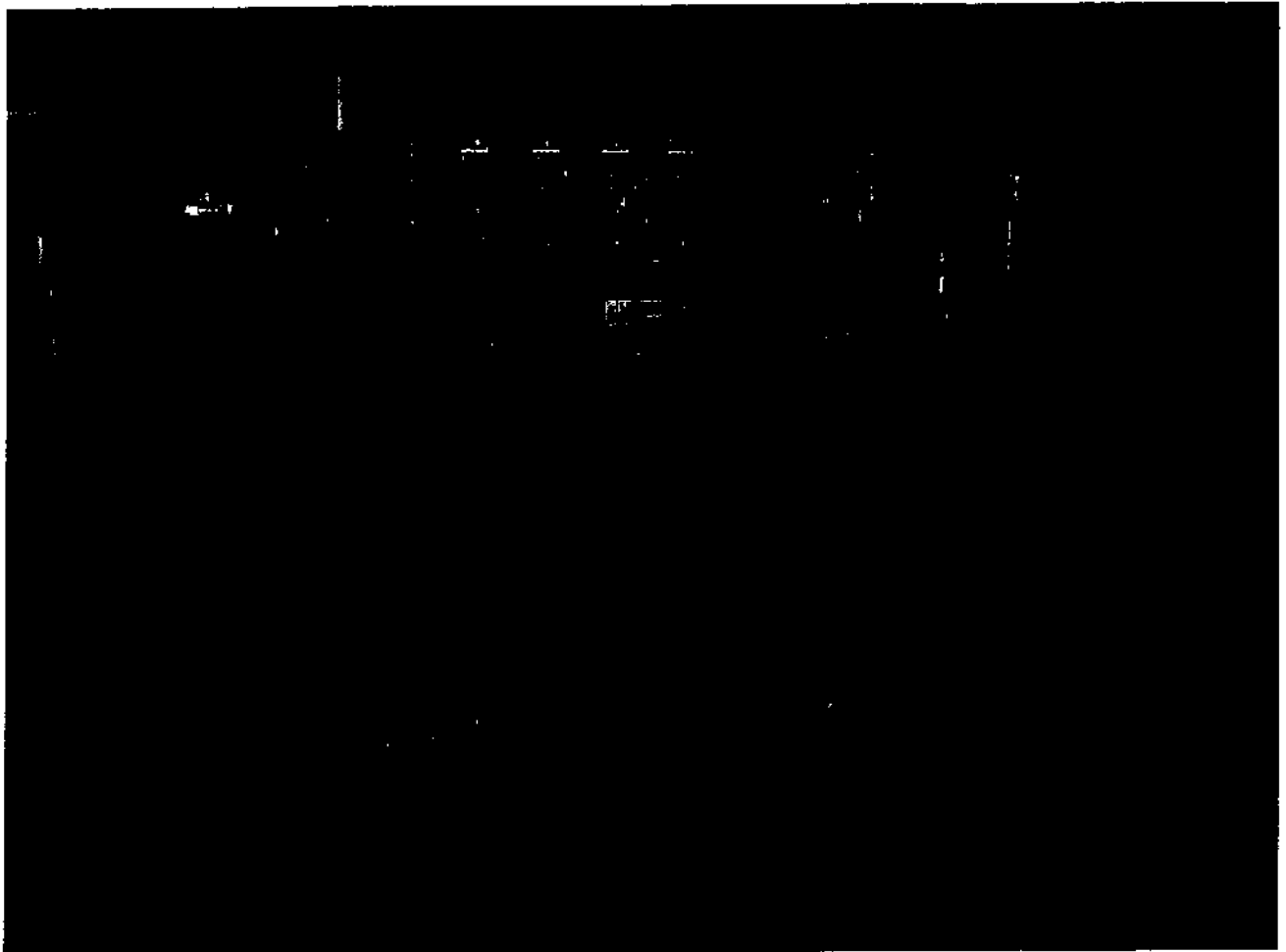
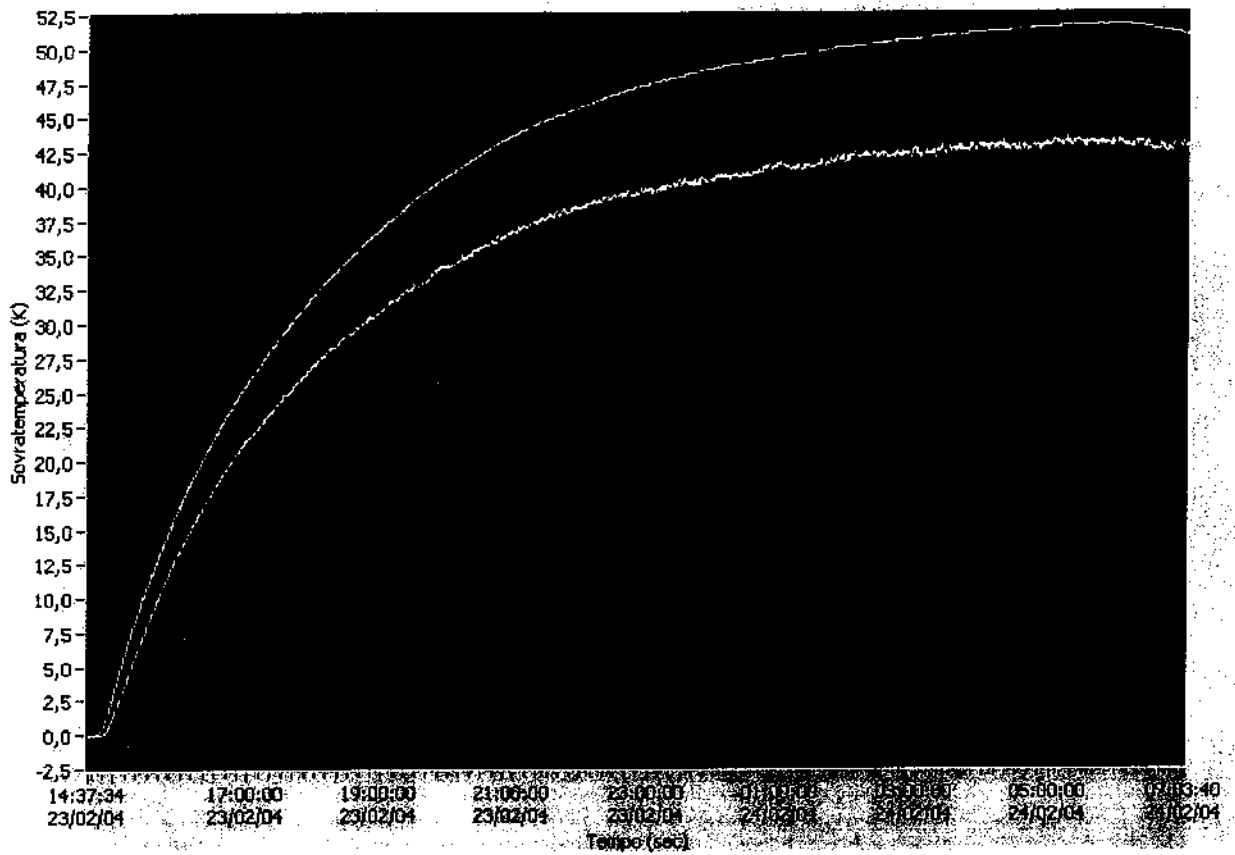
Risultati di prova:

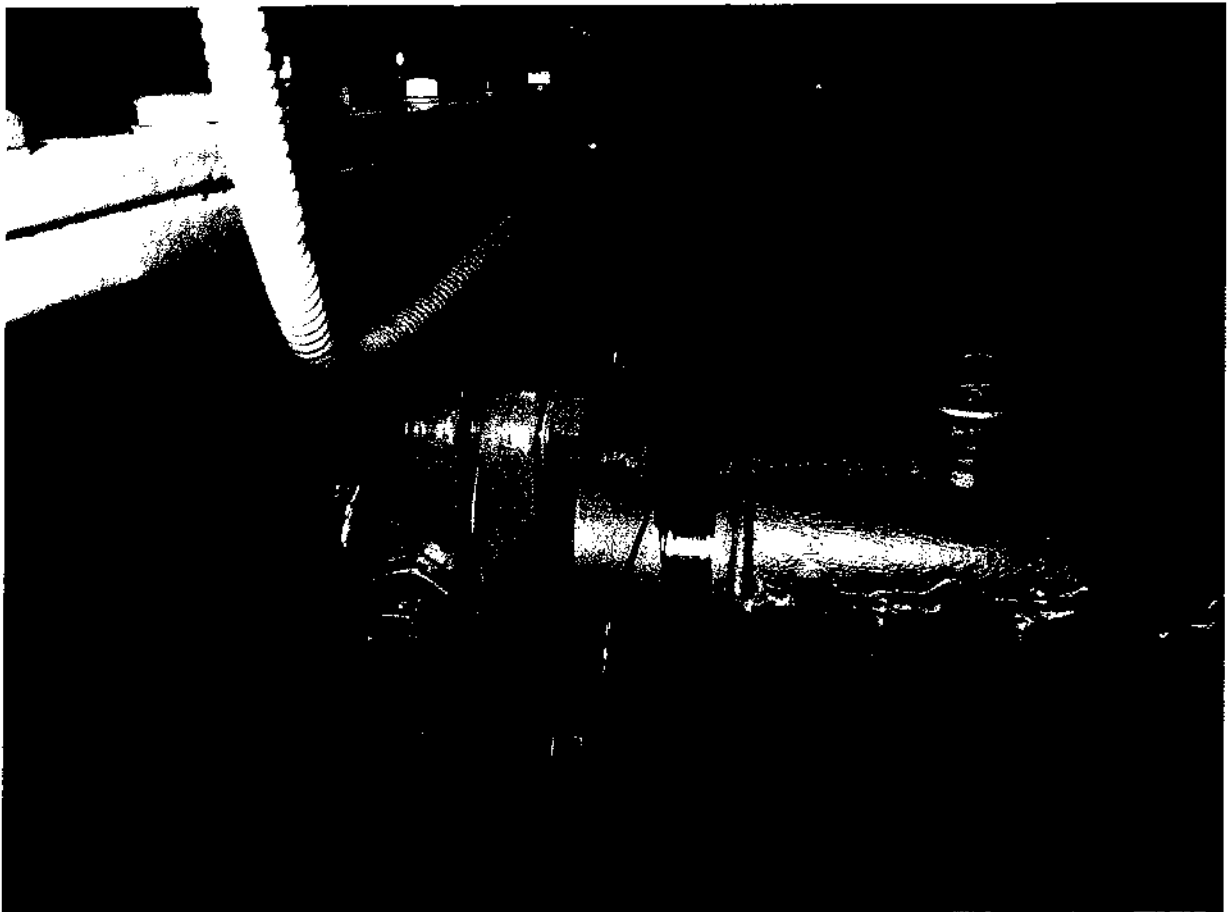
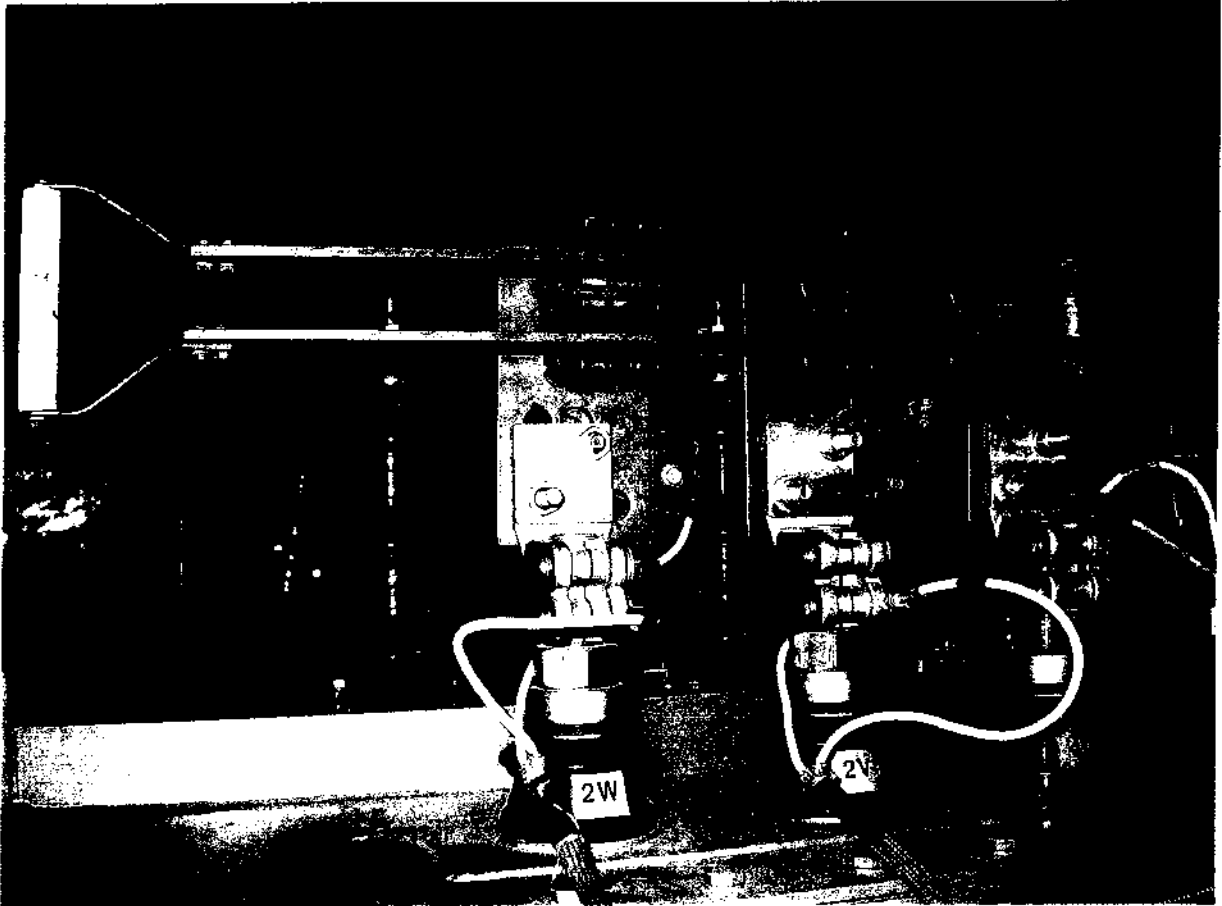
- la condizione di equilibrio termico della sovratemperatura dell'olio nella parte superiore ($\Delta t \leq 1$ K/h per quattro ore) è stata raggiunta dopo 15,5 ore di prova con iniezione delle perdite totali, alla temperatura ambiente di 17,4 °C
- le misure di resistenza degli avvolgimenti sono state effettuate dopo un'ulteriore ora di prova con iniezione della corrente nominale, alla temperatura ambiente di 17,3 °C

parte misurata	sovratemperatura	
	rilevata	ammessa (*)
	K	K
avvolgimento ad alta tensione	60,2	65
avvolgimento a bassa tensione	63,5	65
olio nella parte superiore (della cassa)	51,7	60

(*) Limite di sovratemperatura ammesso dalla Norma.









Verifica della capacità di tenuta dinamica al cortocircuito

valori richiesti

I valori delle correnti di prova sono stati calcolati trascurando l'impedenza della rete di alimentazione in quanto il suo valore dichiarato è inferiore al 5% dell'impedenza di cortocircuito del trasformatore.

posizione del commut. di prese	U _i	Z _{cc}	X/R	k x √2	corrente di cortocircuito (*)	
					valore efficace	valore di cresta
-	kV	%	-	-	A	A
3	20,0	6,393	7,590	2,357	10947	25806
1	21,0	6,315	7,683	2,363	11082	26182
5	19,0	6,441	7,441	2,349	10865	25525

(*) valori della corrente di cortocircuito dell'avvolgimento a bassa tensione (collegato a stella).

disposizioni e modalità di prova

Il trasformatore è stato provato collegando un'alimentazione trifase all'avvolgimento ad alta tensione (primario).

L'avvolgimento a bassa tensione è stato cortocircuitato prima dell'applicazione della tensione all'altro avvolgimento del trasformatore (cortocircuito predisposto).

Durante ciascuna prova sono state registrate le tensioni di alimentazione concatenate, le correnti di fase dell'avvolgimento a bassa tensione e l'eventuale corrente di guasto tra la cassa (isolata) del trasformatore e terra.

Sono state eseguite nove prove (tre prove su ogni colonna):

- tre prove con il commutatore di prese sulla presa principale (con la massima corrente di cresta una volta su ciascuna colonna),
- tre prove con il commutatore di prese nella posizione corrispondente al rapporto di trasformazione più elevato (con la massima corrente di cresta una volta su ciascuna colonna),
- tre prove con il commutatore di prese nella posizione corrispondente al rapporto di trasformazione più basso (con la massima corrente di cresta una volta su ciascuna colonna).

prove di cortocircuito con corrente trifase

circuito di prova : M022
 frequenza di prova : 50 Hz
 n. di protocollo degli oscillogrammi : MP-A4/006186

condizioni del trasformatore prima delle prove: come dopo la prova di riscaldamento

trasformatore predisposto sul rapporto di trasformazione 20 kV / 0,66 kV

data: 26 Febbraio 2004

prova n.	oscillogramma n./fogli	posizione del commutatore di prese	tensione di alimentazione a vuoto V	corrente di prova			durata s
				valore di picco A	valore efficace A	valore medio A	
1	1/1	3	-	16290	7200 7080 7080	7120	0,1
2	2/1	3	-	26270	11270 11030 11050	11120	0,5
3	3/1	3	-	26440	11210 10950 11000	11050	0,5
4	4/1	3	-	26450	11220 10930 11020	11060	0,5
5	5/1	1	-	26370	11190 10900 10980	11020	0,5
6	6/1	1	-	26230	11190 10890 11000	11020	0,5
7	7/1	1	-	26200	11190 10890 10940	11010	0,5
8	8/1	5	-	25000	11000 10750 10770	10840	0,5
9	9/1	5	-	25670	11020 10750 10810	10860	0,5
10	10/1	5	-	26000	11000 10740 10780	10840	0,5

condizioni del trasformatore dopo le prove: esternamente non presentava alcun danneggiamento

misura dell'induttanza di cortocircuito

La misura dell'induttanza di cortocircuito è stata effettuata prima delle prove di cortocircuito e dopo ogni serie di tre prove mediante l'uso di un ponte di Shering (schema Maxwell) che permette una riproducibilità a meno di $\pm 0,2$ %.

Per tutte le misure il trasformatore è stato predisposto nelle seguenti condizioni:

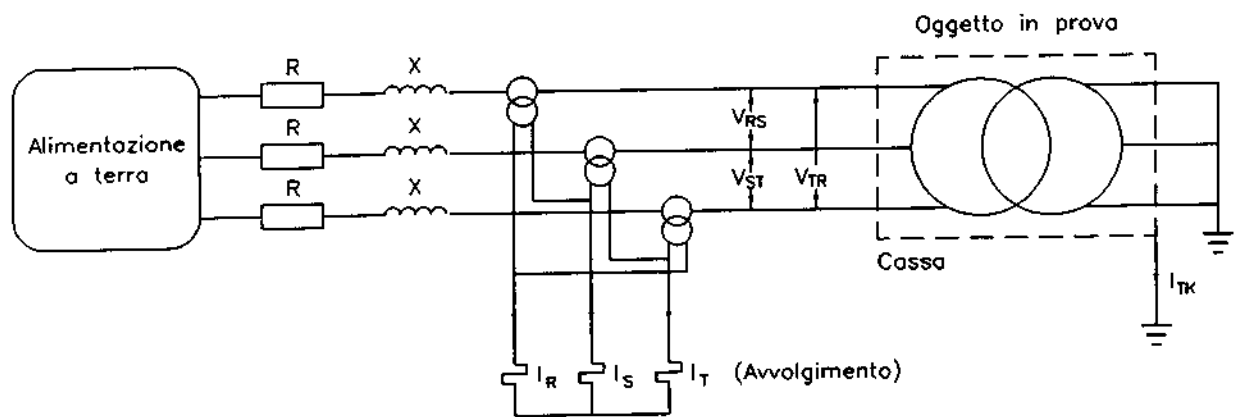
- il commutatore di prese è stato sistemato sulla posizione corrispondente al rapporto di trasformazione più elevato,
- i terminali dell'avvolgimento a bassa tensione sono stati cortocircuitati,
- i punti di misura sono stati applicati ai terminali dell'avvolgimento ad alta tensione, collegato a triangolo.

data: 26 Febbraio 2004

posizione del commutatore di prese	misura effettuata	induttanza di cortocircuito [mH]			variazione [%]			induttanza di cortocircuito [mH]			variazione [%]		
		U-V	U-W	V-W	U-V	U-W	V-W	U	V	W	U	V	W
1	prima delle prove	214,86	218,56	219,82	-	-	-	318,12	332,90	329,02	-	-	-
1	dopo la prova n. 4	216,72	220,86	221,58	0,87	1,05	0,80	320,76	335,19	332,97	0,83	0,69	1,20
1	dopo la prova n. 7	217,90	222,86	223,00	1,41	1,97	1,45	322,04	337,13	336,69	1,23	1,27	2,33
1	dopo la prova n. 10	219,10	224,05	224,15	1,97	2,51	1,97	323,87	338,80	338,50	1,81	1,77	2,88

Variazione massima dell'induttanza di cortocircuito ammessa dalla Norma: 4 %.

circuito di prova M022



I simboli usati in questo schema sono gli stessi degli oscillogrammi.

corrispondenza tra la fase del circuito del laboratorio ed il terminale dell'oggetto in prova

fase del circuito del laboratorio	terminale dell'oggetto in prova
R	U
S	V
T	W

verifiche dopo le prove di cortocircuito

prove di isolamento (al 100% dei valori iniziali)

Le prove sono state effettuate con il trasformatore approssimativamente a temperatura ambiente.

prova con tensione applicata a frequenza industriale

La tensione di prova (monofase) è stata applicata tra i terminali dell'avvolgimento in prova ed i terminali dell'altro avvolgimento e la cassa, collegati insieme e a terra.

data: 10 Marzo 2004

avvolgimento in prova	posizione del comm. di prese	tensione di presa avvolgimento AT	parametri di prova		
			tensione	frequenza	durata
		kV	kV	Hz	s
ad alta tensione	0	20	50	50	60
a bassa tensione	0	20	3	50	60

Esito della prova: non si è riscontrato alcun cedimento della tensione di prova.

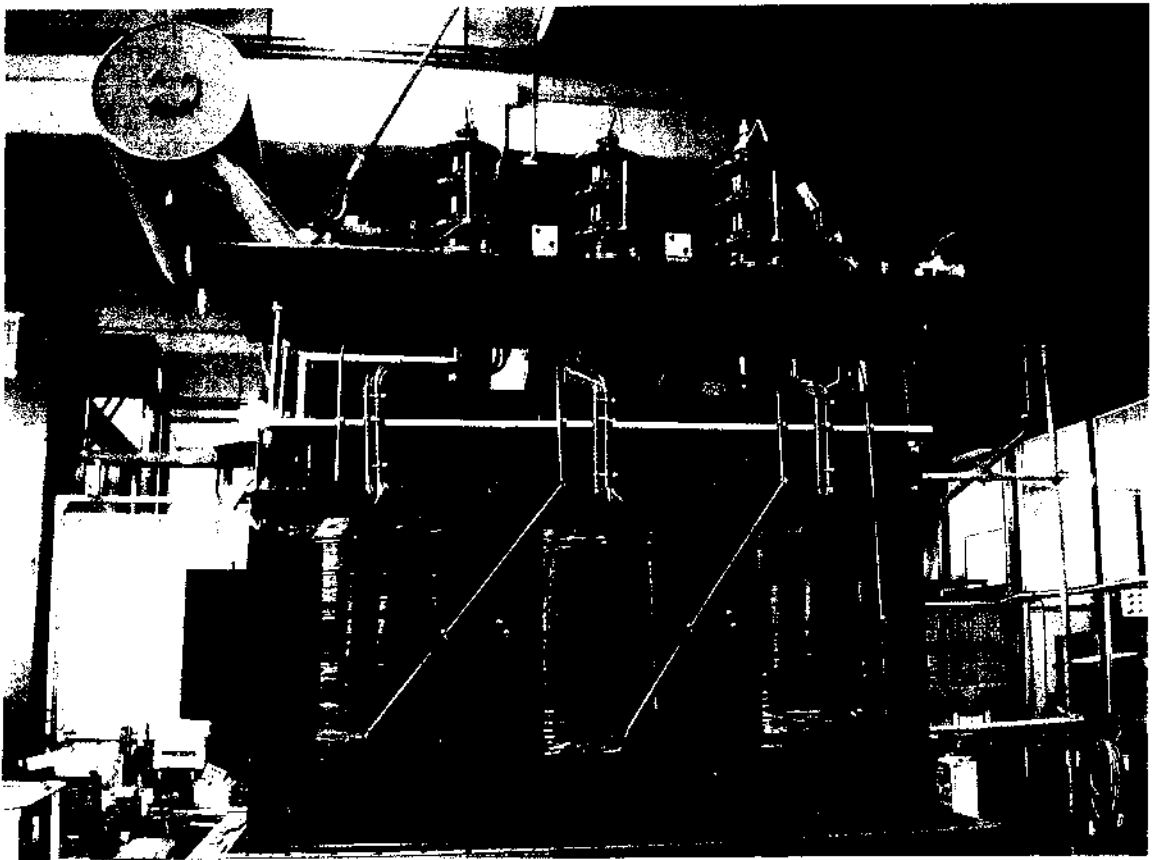
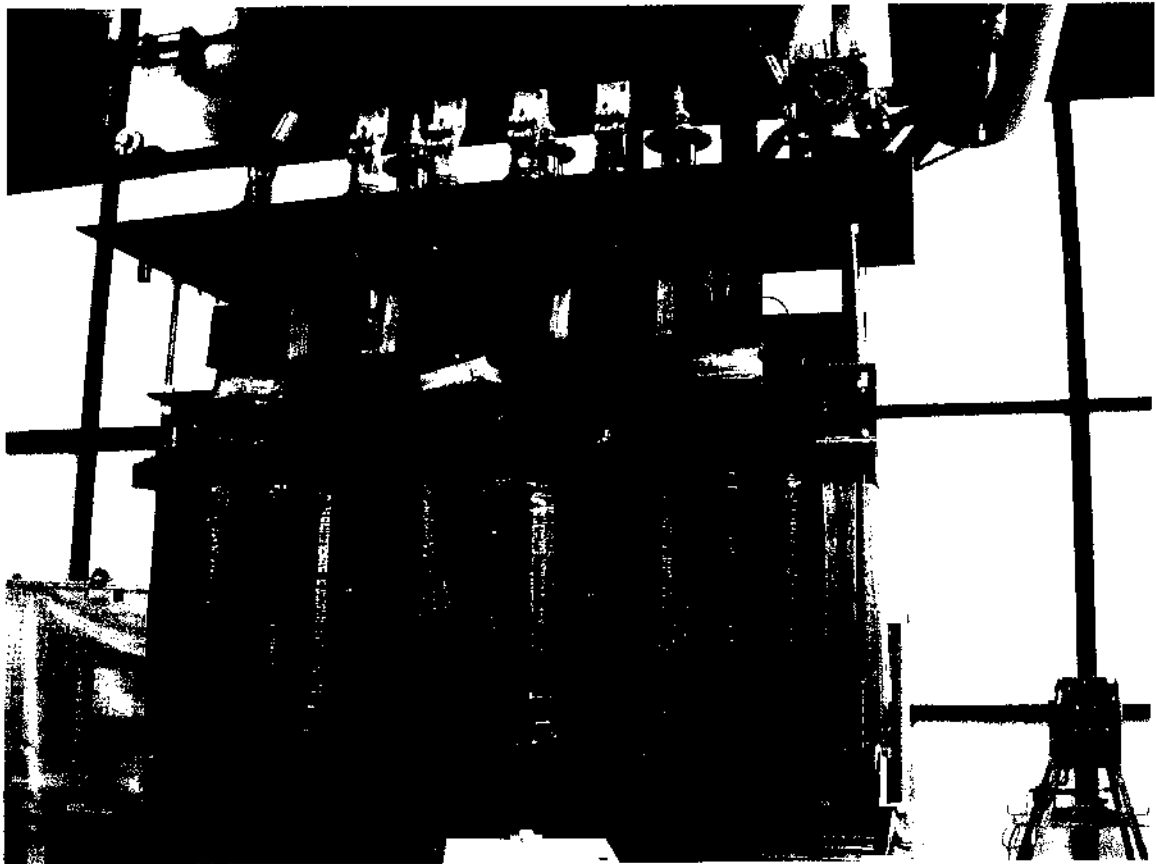
prova con tensione indotta

La tensione di prova (trifase) è stata applicata ai terminali dell'avvolgimento a bassa tensione ed il relativo terminale di neutro è stato connesso a terra.

data: 10 Marzo 2004

avvolgimento in prova	posizione del comm. di prese	tensione di presa avvolgimento AT	parametri di prova		
			tensione	frequenza	durata
		kV	kV	Hz	s
a bassa tensione	0	30	1,22	150	40

Esito della prova: non si è riscontrato alcun cedimento della tensione di prova.



informazioni di servizio per il laboratorio

valori richiesti e parametri del circuito di prova

data: 26 Febbraio 2004

prova n.	posizione del commutatore di prese -	valori richiesti			X_{AT} Ω	R_{AT} Ω	posizione del chiuditore sincronizzato °el.	ora della prova -
		corrente di picco A	corrente efficace A	durata prova s				
1	3	-	7500	0,1	22,5	3,23	163	10:50
2	3	25806	10947	0,5	2,9	0,95	163	11:05
3	3	"	"	0,5	"	"	103	11:10
4	3	"	"	0,5	"	"	43	11:15
5	1	26182	11082	0,5	2,0	"	43	11:25
6	1	"	"	0,5	"	"	103	11:30
7	1	"	"	0,5	"	"	163	11:35
8	5	25525	10865	0,5	4,4	"	163	11:45
9	5	"	"	0,5	"	"		
10	5	"	"	0,5	"	"		

informazioni di servizio per il laboratorio

impianto di prova utilizzato : P102 / MP1
 personale di prova CESI : M. Assolari, C. Assi, A. Martino, S. Moretti
 data di prova : 26 Febbraio 2004

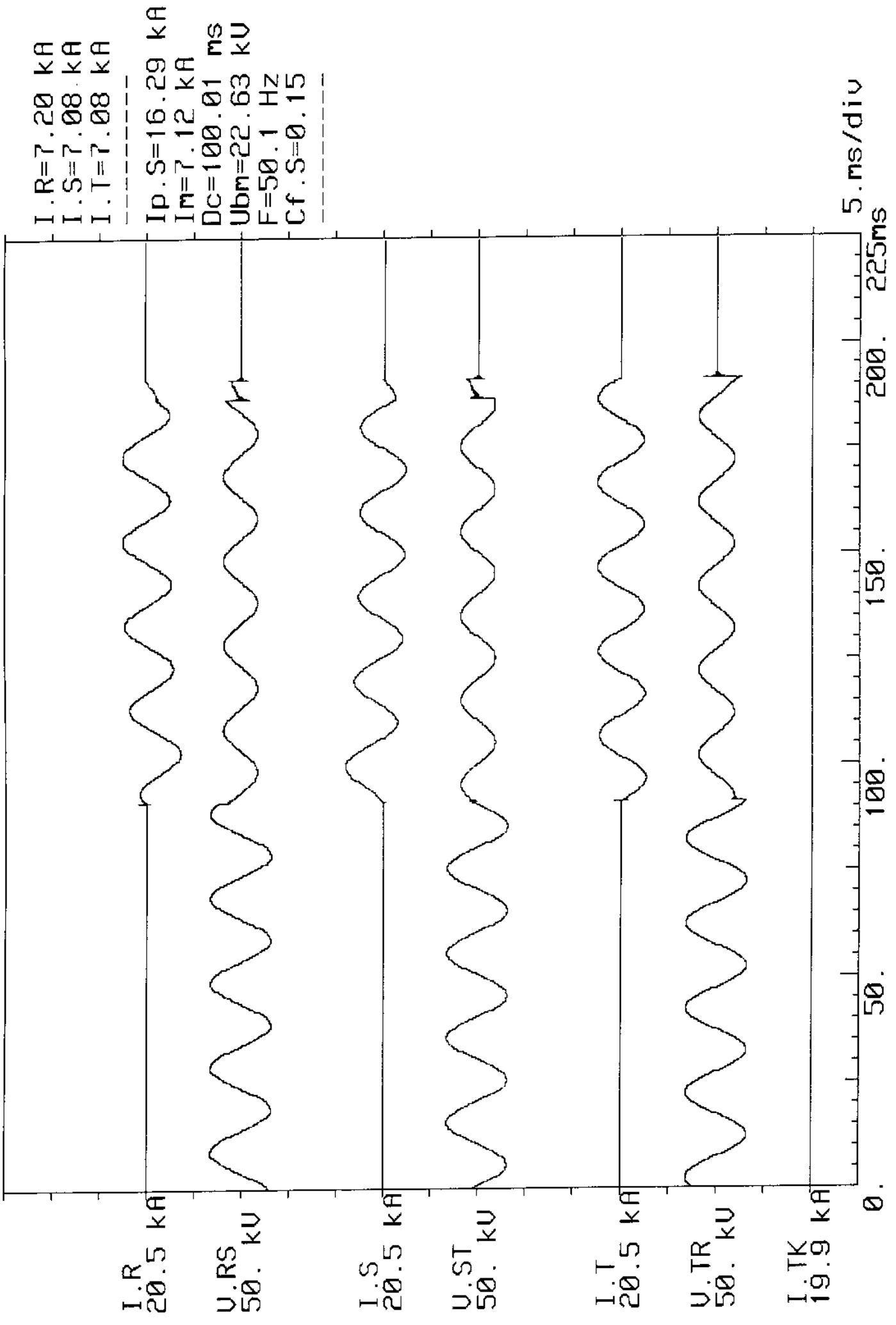
caratteristiche del circuito di alimentazione

prove da a	alimentazione	OTE MT		OTE BT	
		K	posizione	K	posizione
1 10	23 kV Lambrate	-	-	-	-

caratteristiche del sistema di misura utilizzato

misura	trasduttore		KRENZ		TRANSISCOPE
	sigla	posizione	TRC	canale	canale
			n.	n.	n.
I.R	C1 + D1		1	1	
V.RS	A1 + M1		1	2	
I.S	C2 + D1		1	3	
V.ST	A2 + M1		1	4	
I.T	C3 + D1		1	5	
V.TR	A1 + A2 + M1		2	1	
I.TK	N1 + D2		2	2	

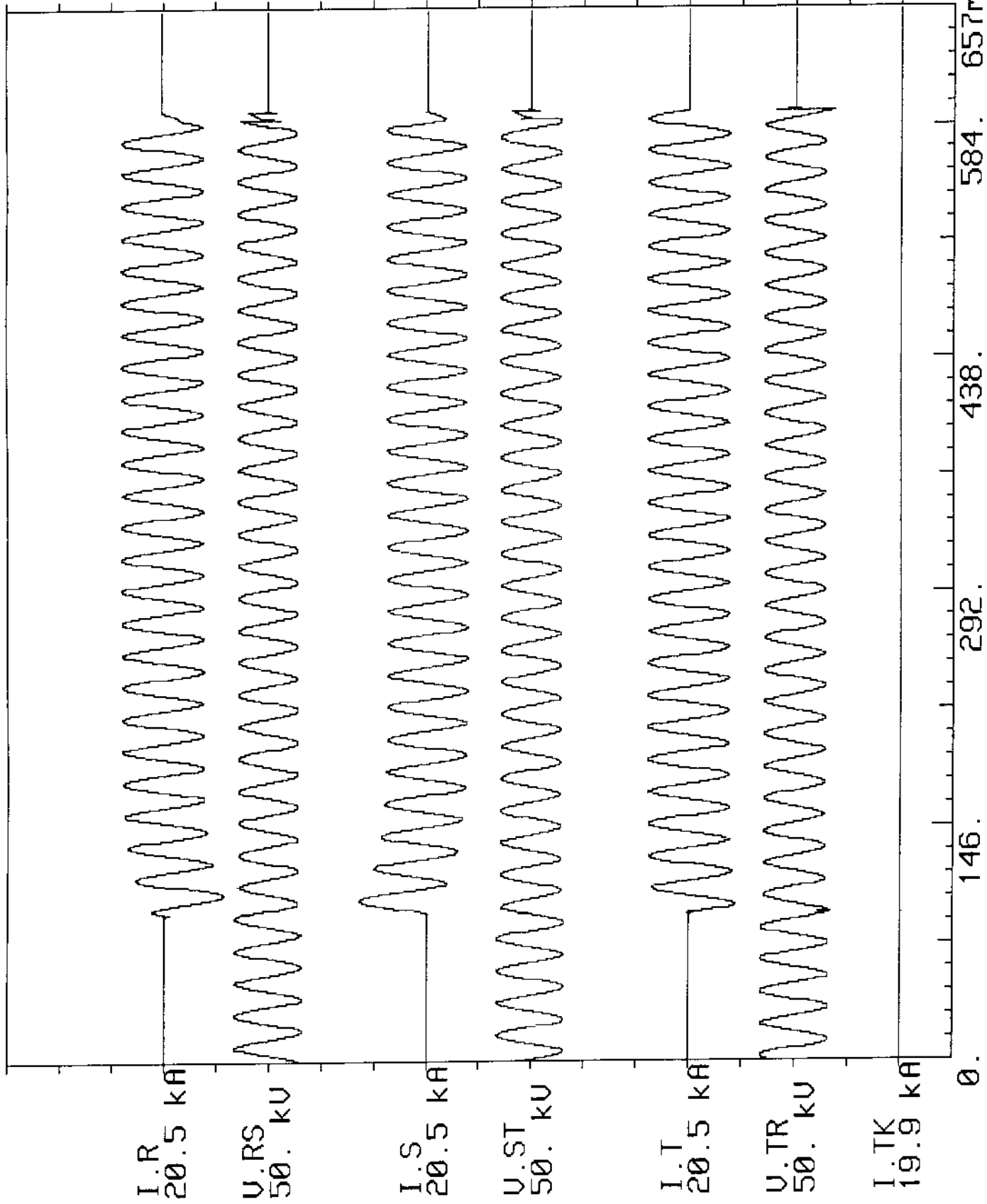
altre apparecchiature di misura utilizzate: -



CESI MP-A4/006186 n.1

I.R=11.27 kA
 I.S=11.03 kA
 I.T=11.05 kA

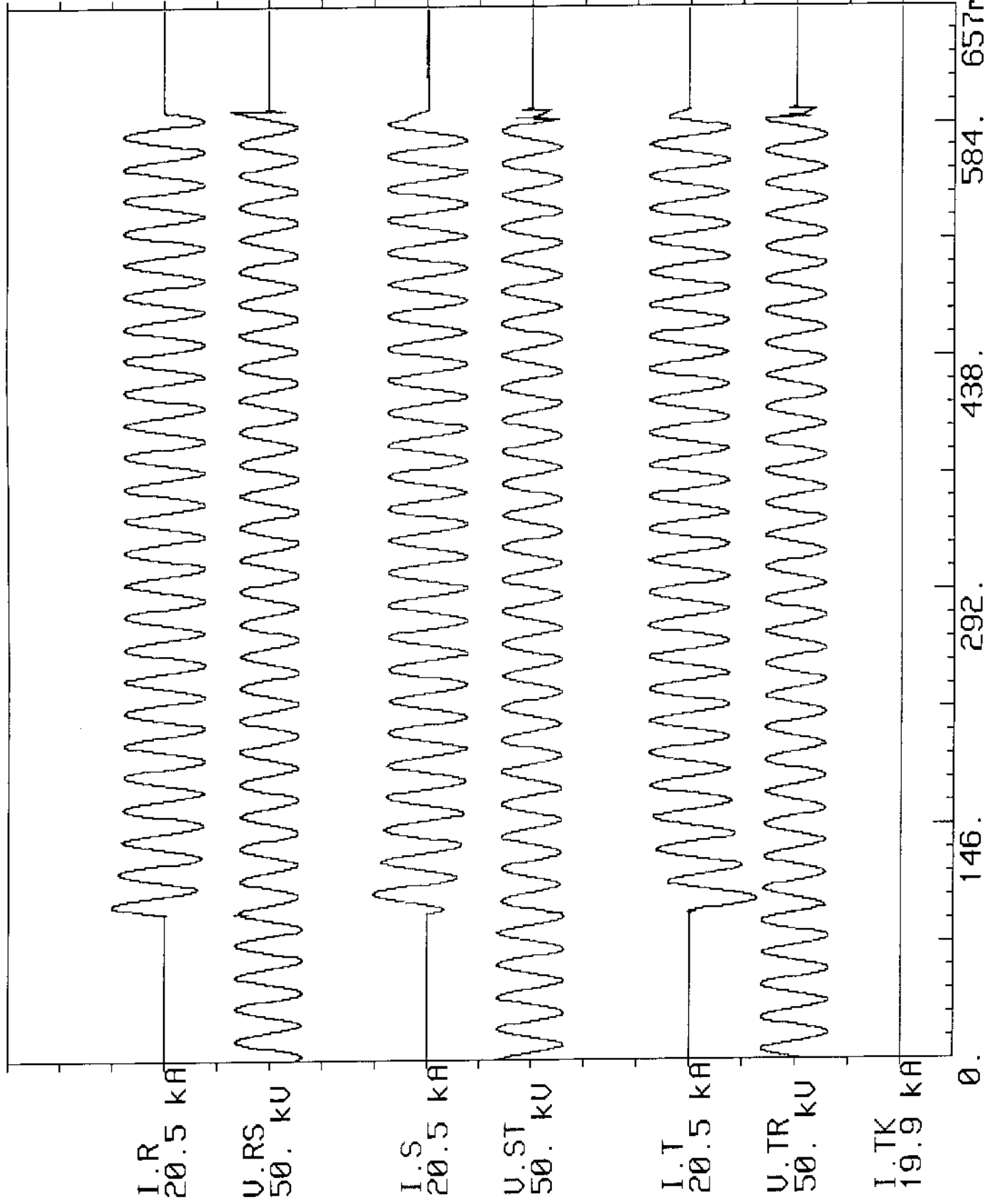
 Ip.S=26.27 kA
 Im=11.12 kA
 Dc=500.57 ms
 Ubm=22.69 kV
 F=50.0 Hz
 Cf.S=0.12



CESI MP-A4/006186 n.2

I.R=11.21 kA
 I.S=10.95 kA
 I.T=11.00 kA

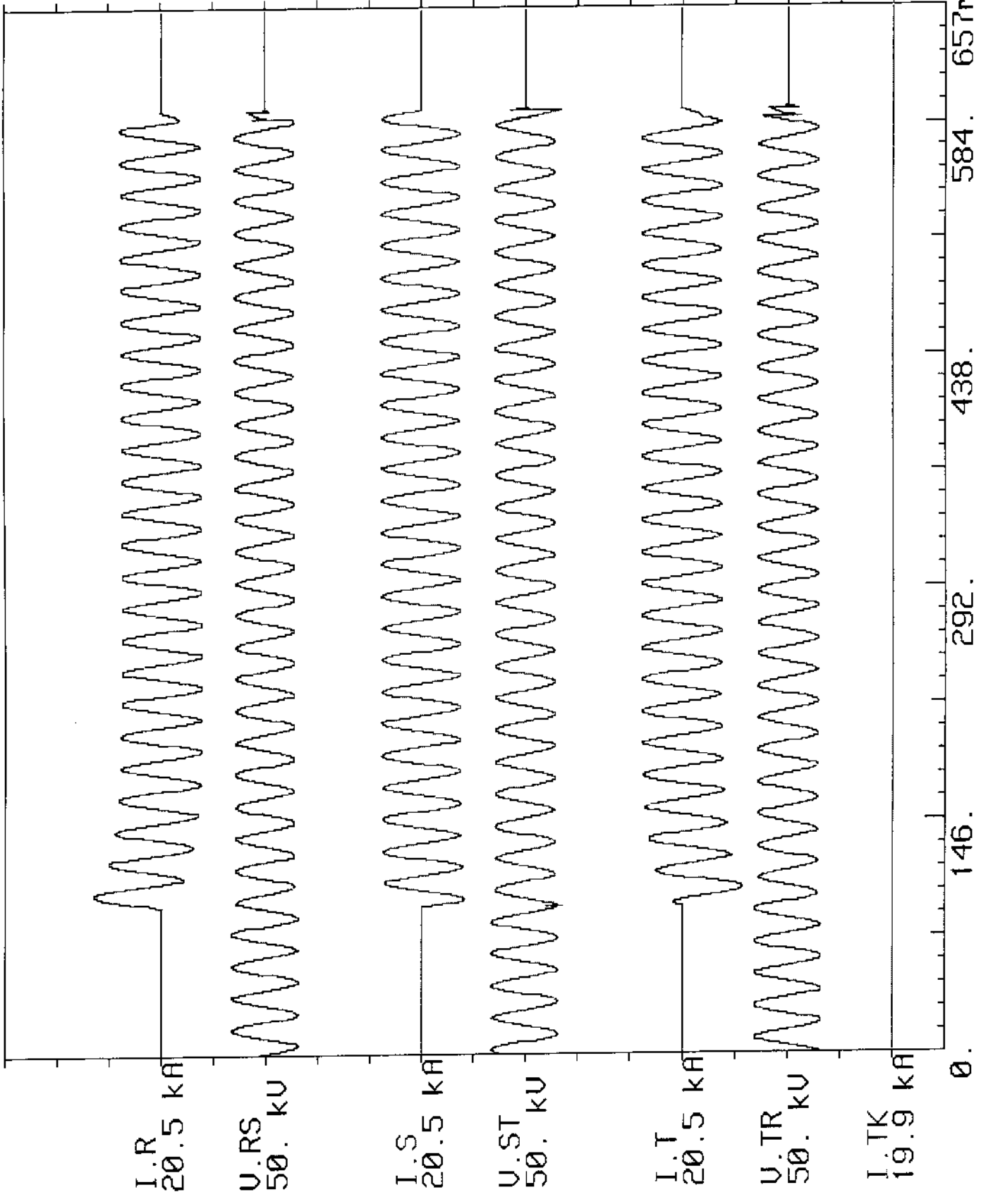
 Ip.T=26.44 kA
 Im=11.05 kA
 Dc=501.17 ms
 Ubm=22.61 kV
 F=49.8 Hz
 Cf.T=0.12



CESI MP-A4/006186 n.3

I.R=11.22 kA
 I.S=10.93 kA
 I.T=11.02 kA

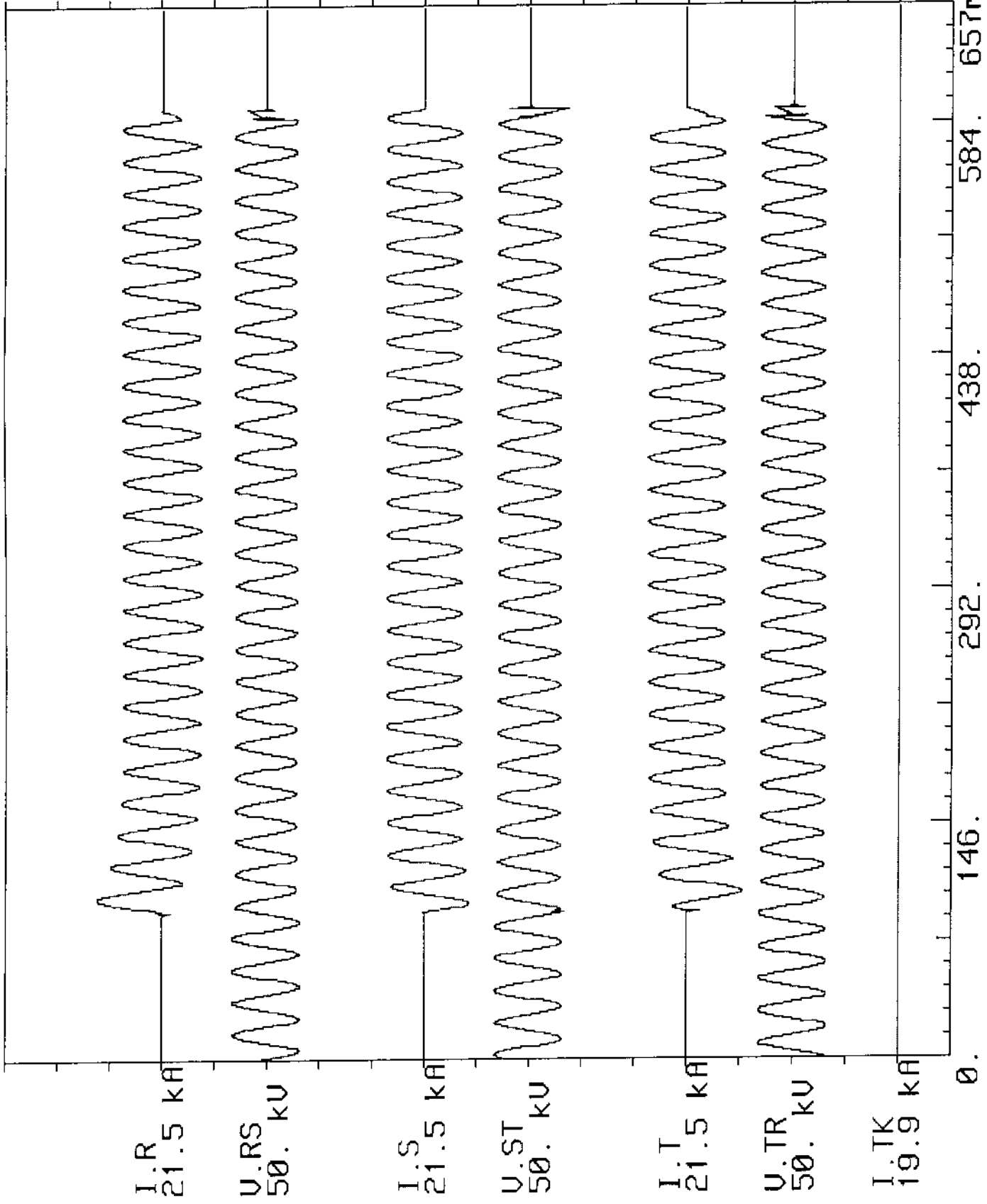
 Ip.R=26.45 kA
 Im=11.06 kA
 Dc=500.46 ms
 Ubm=22.63 kV
 F=49.9 Hz
 Cf.R=0.13



CESI MP-A4/006186 n.4

I.R=11.19 kA
 I.S=10.90 kA
 I.T=10.98 kA

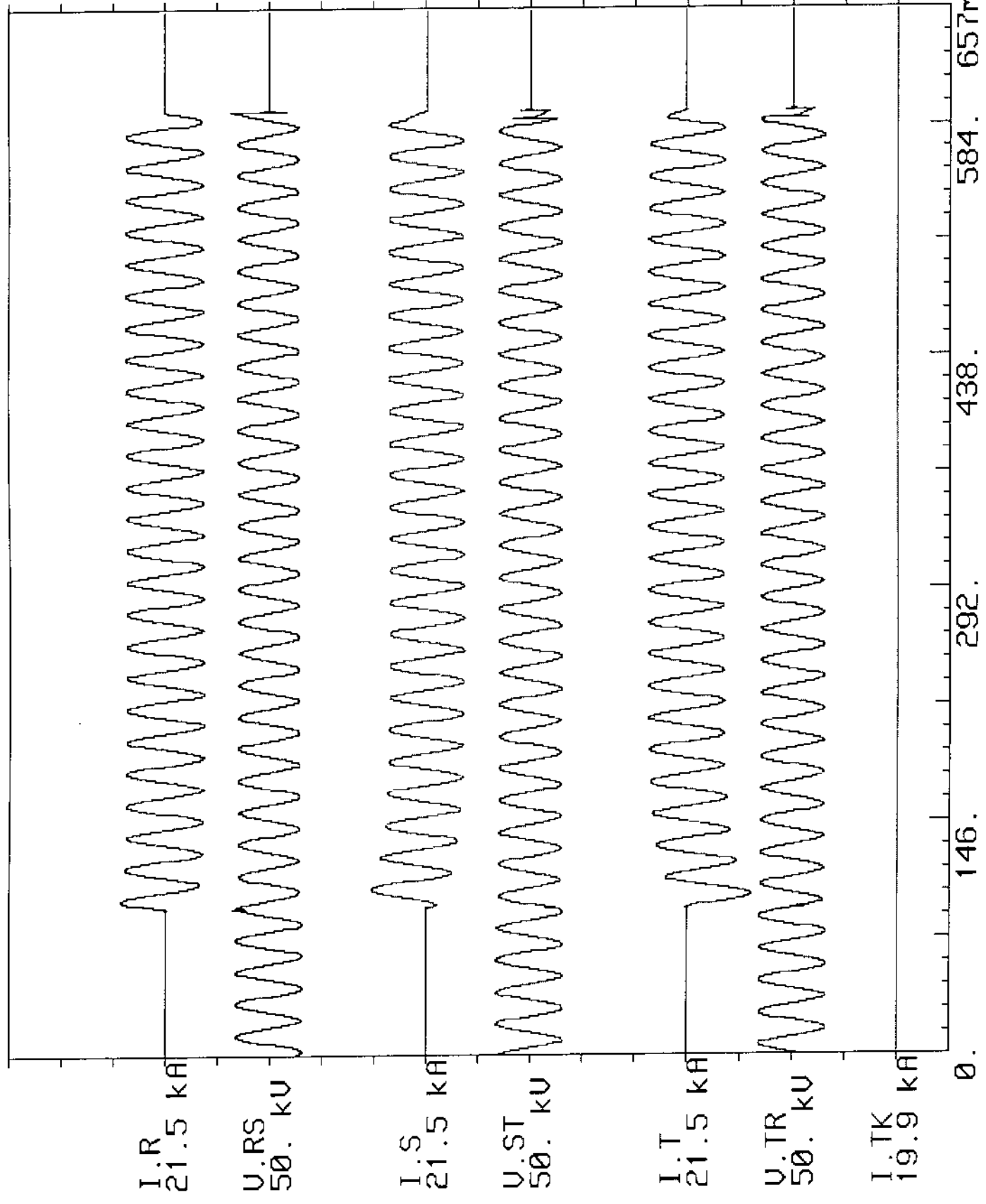
 I_p.R=26.37 kA
 I_m=11.02 kA
 Dc=500.80 ms
 U_{bm}=22.69 kV
 F=50.0 Hz
 Cf.R=0.13



CESI MP-A4/006186 n.5

I.R=11.19 kA
 I.S=10.89 kA
 I.T=11.00 kA

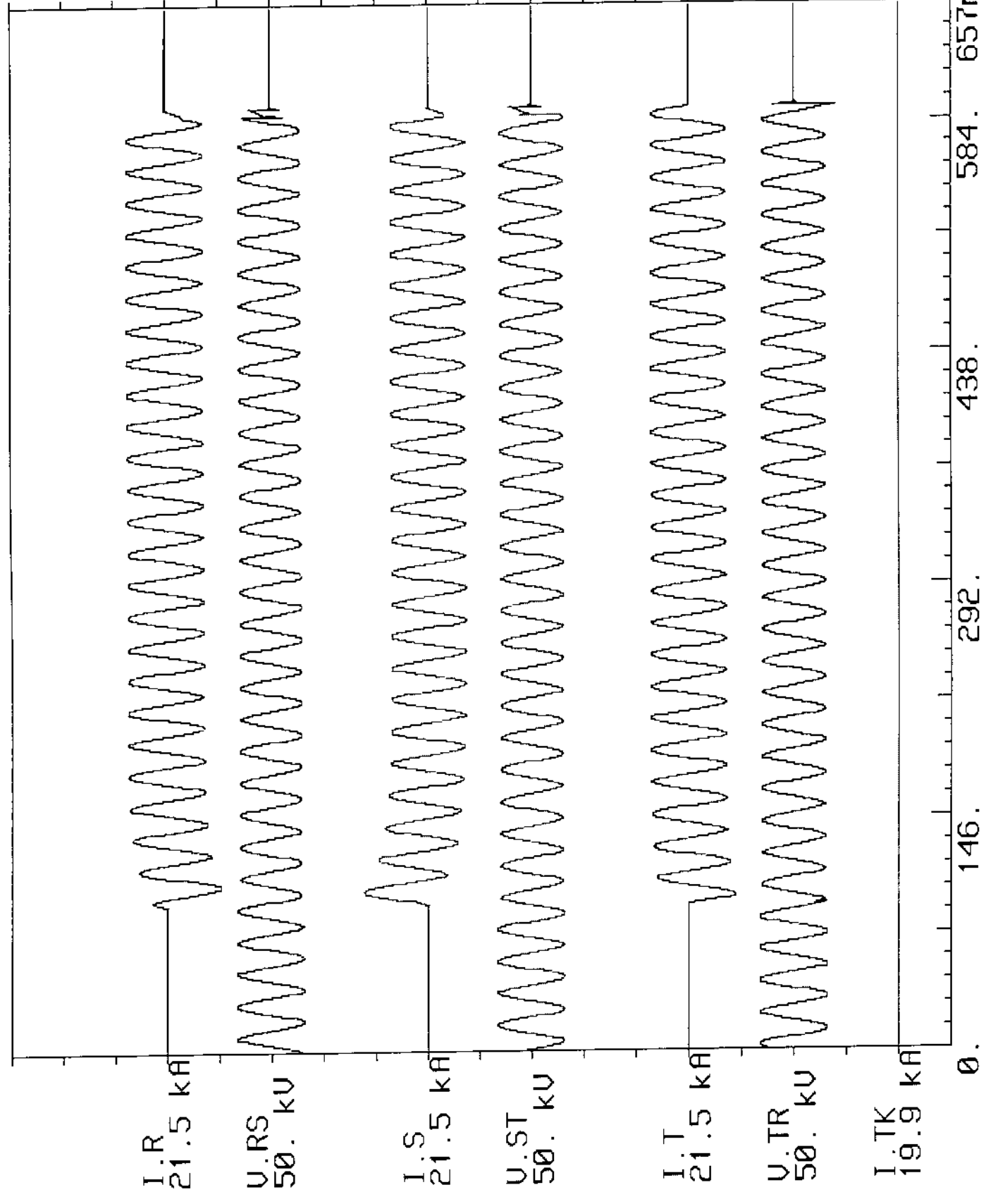
 Ip.T=26.23 kA
 Im=11.02 kA
 Dc=500.55 ms
 Ubm=22.67 kV
 F=49.9 Hz
 Cf.T=0.12



CESI MP-A4/006186 n.6

I.R=11.19 kA
 I.S=10.89 kA
 I.T=10.94 kA

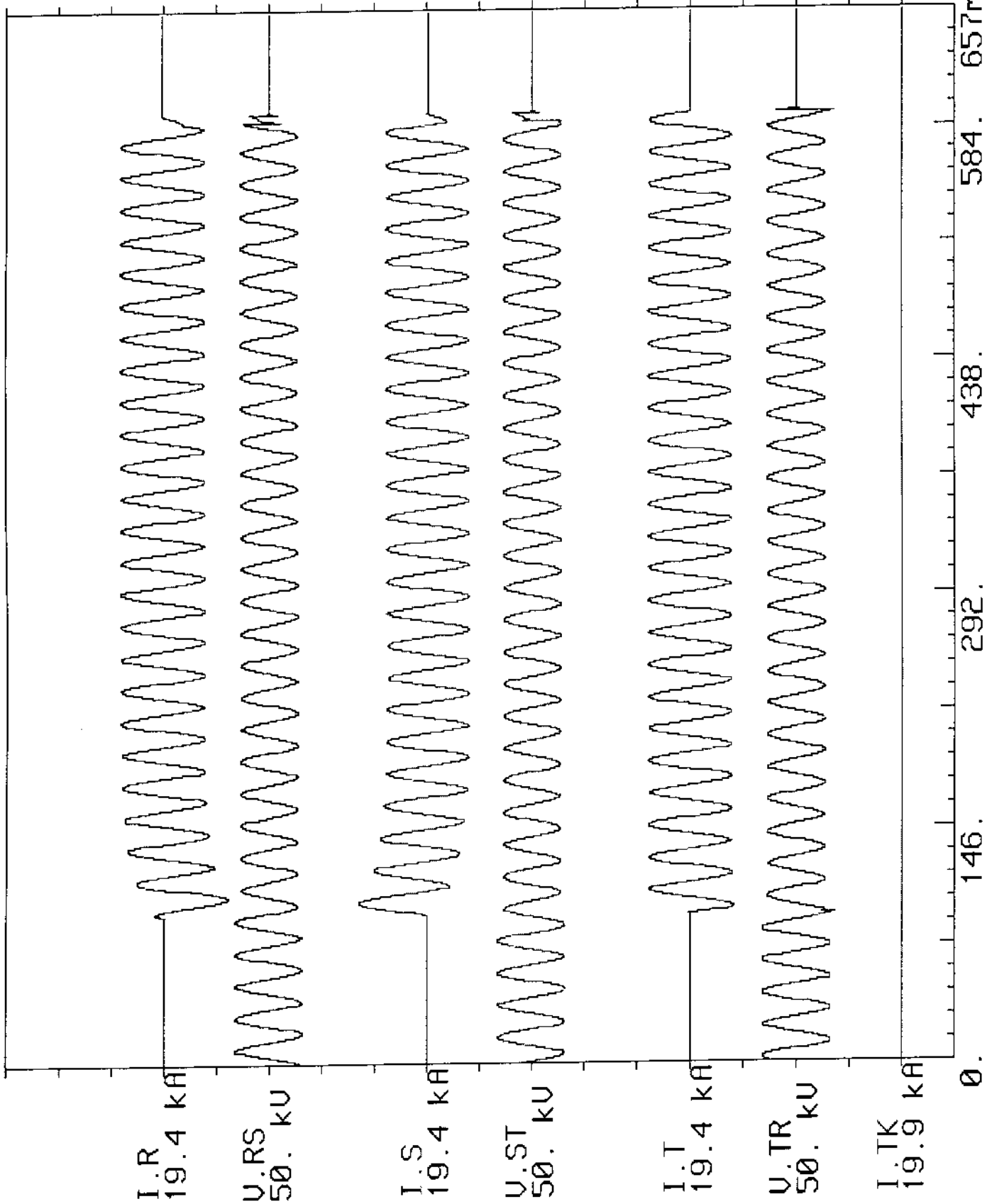
 Ip.S=26.20 kA
 Im=11.01 kA
 Dc=500.90 ms
 Ubm=22.74 kV
 F=50.0 Hz
 Cf.S=0.11



CESI MP-A4/006186 n.7

I.R=11.00 kA
 I.S=10.75 kA
 I.T=10.77 kA

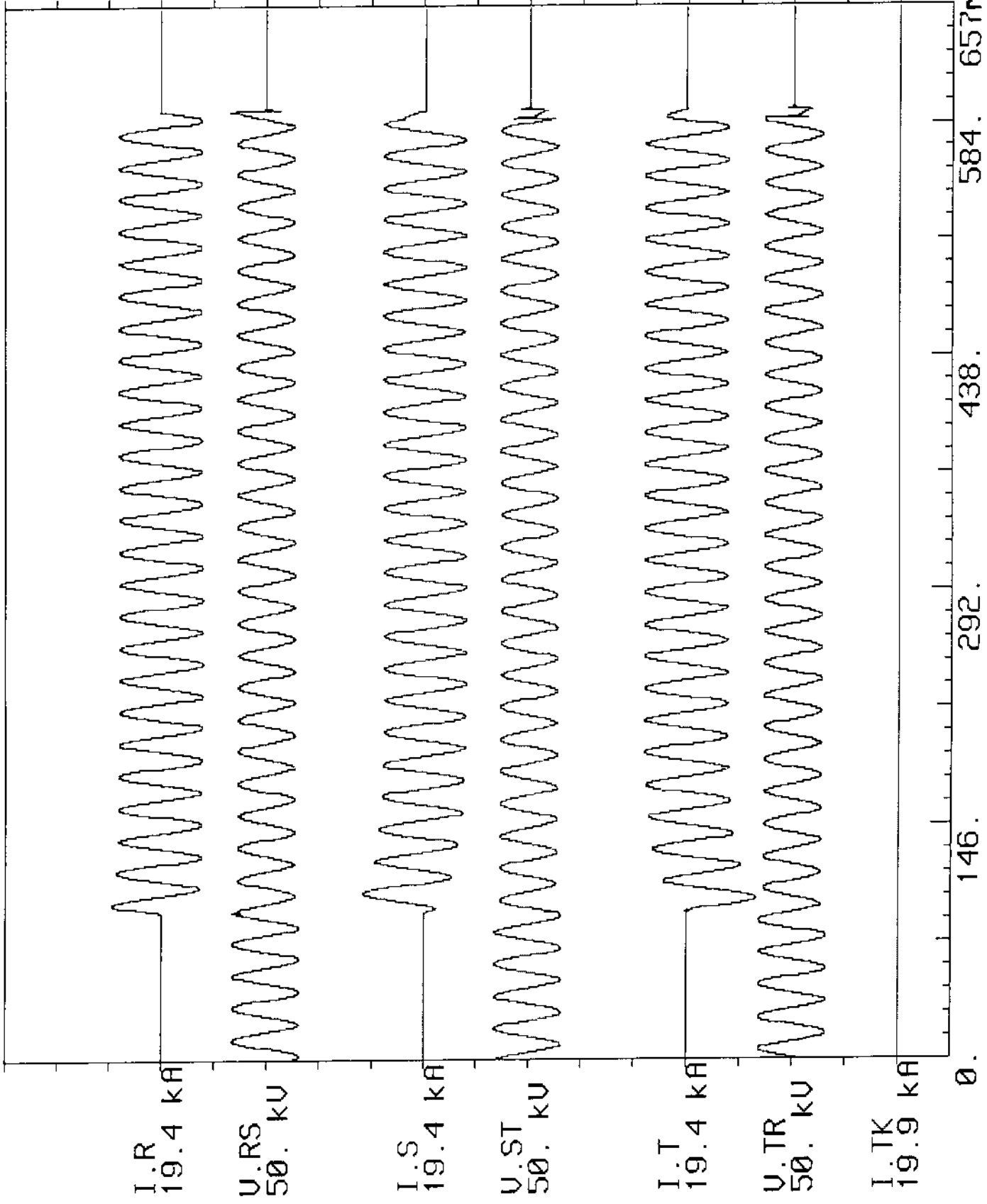
 Ip.S=25.00 kA
 Im=10.84 kA
 Dc=500.06 ms
 Ubm=22.71 kV
 F=50.2 Hz
 Cf.S=0.14



CESI MP-A4/006186 n.8

I.R=11.02 kA
 I.S=10.75 kA
 I.T=10.81 kA

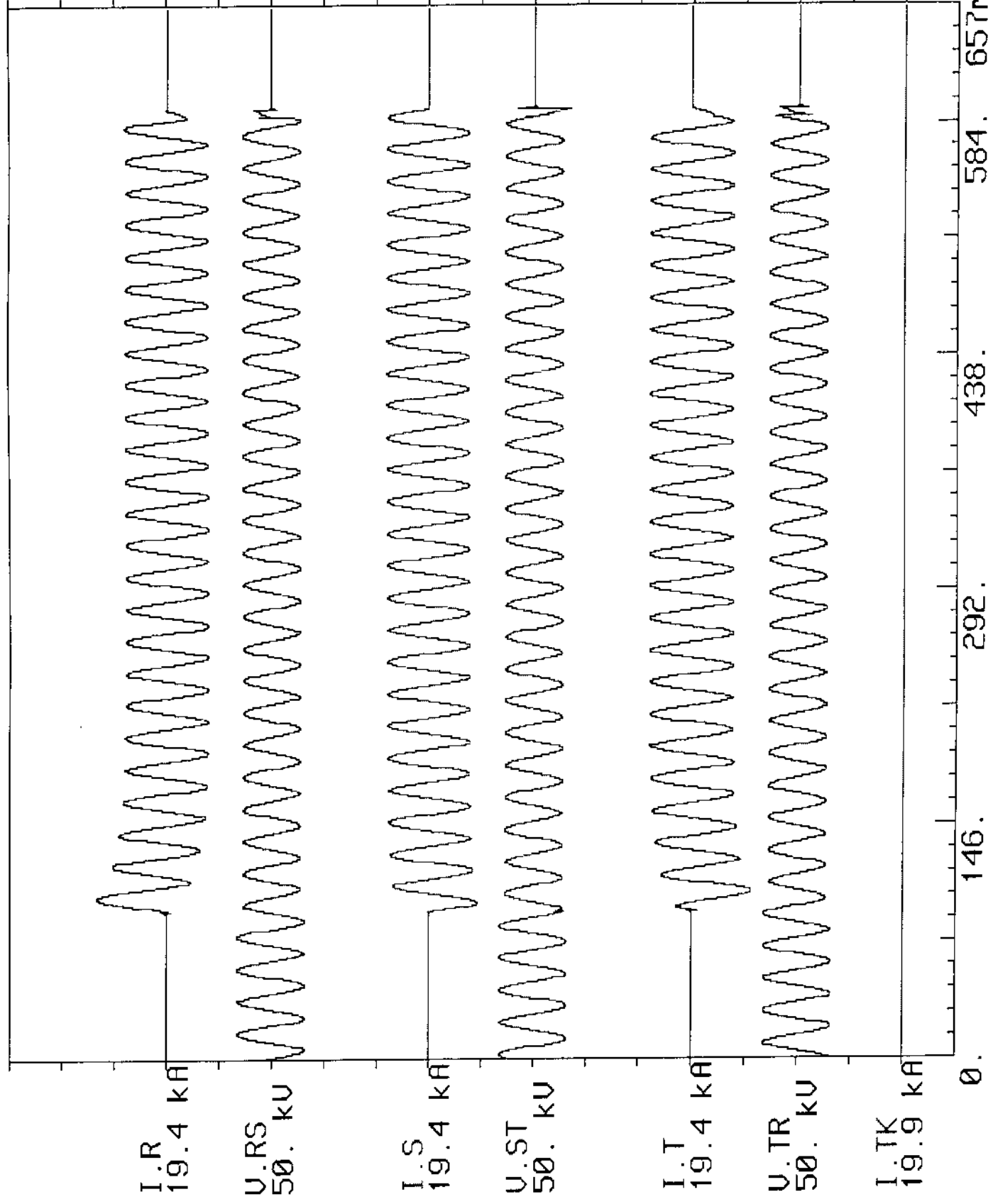
 Ip.T=25.67 kA
 Im=10.86 kA
 Dc=500.32 ms
 Ubm=22.75 kV
 F=50.1 Hz
 Cf.T=0.13



CESI MP-A4/006186 n.9

I.R=11.00 kA
 I.S=10.74 kA
 I.T=10.78 kA

 Ip.R=26.00 kA
 Im=10.84 kA
 Dc=500.79 ms
 Ubm=22.75 kV
 F=50.0 Hz
 Cf.R=0.13



CESI MP-A4/006186 n.10