Tämja en tyristorkopplad kondensators funktion och tillämpning för inkoppling till ett nät

VBIK Ludvika 22 sept 2025



Underlag till föredraget

- Patent, artiklar och broschyrer som togs fram på ASEA/ABB-tiden.
- Referenslistor.

© ABB- 2

Vem är Harry Frank

- Militärson (Boden) Chalmerist (Göteborg)
- Utvecklingsingenjör tyristorteknik ASEA (1969-1979)
- Byggt upp en division till 60% marknadsandel FACTS (1980-1990)
- Flyttat en verksamhet från Stockholm till Ludvika (1990-1994)
- Forskningschef för ABB Corporate Research (1994-2003)
- Ansvar affärsutveckling energi inom ABB SE (2003-2008)
- Energiutskottet Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) (2008 –

- Polhemspriset (1990)
- IVAs Guldmedalj (1991)

- Ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien (KVA)
- Ledamot av Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA)
- Hedersdoktor Chalmers 2001
- Adjungerad professor på Mälardalens Högskola

© ABB

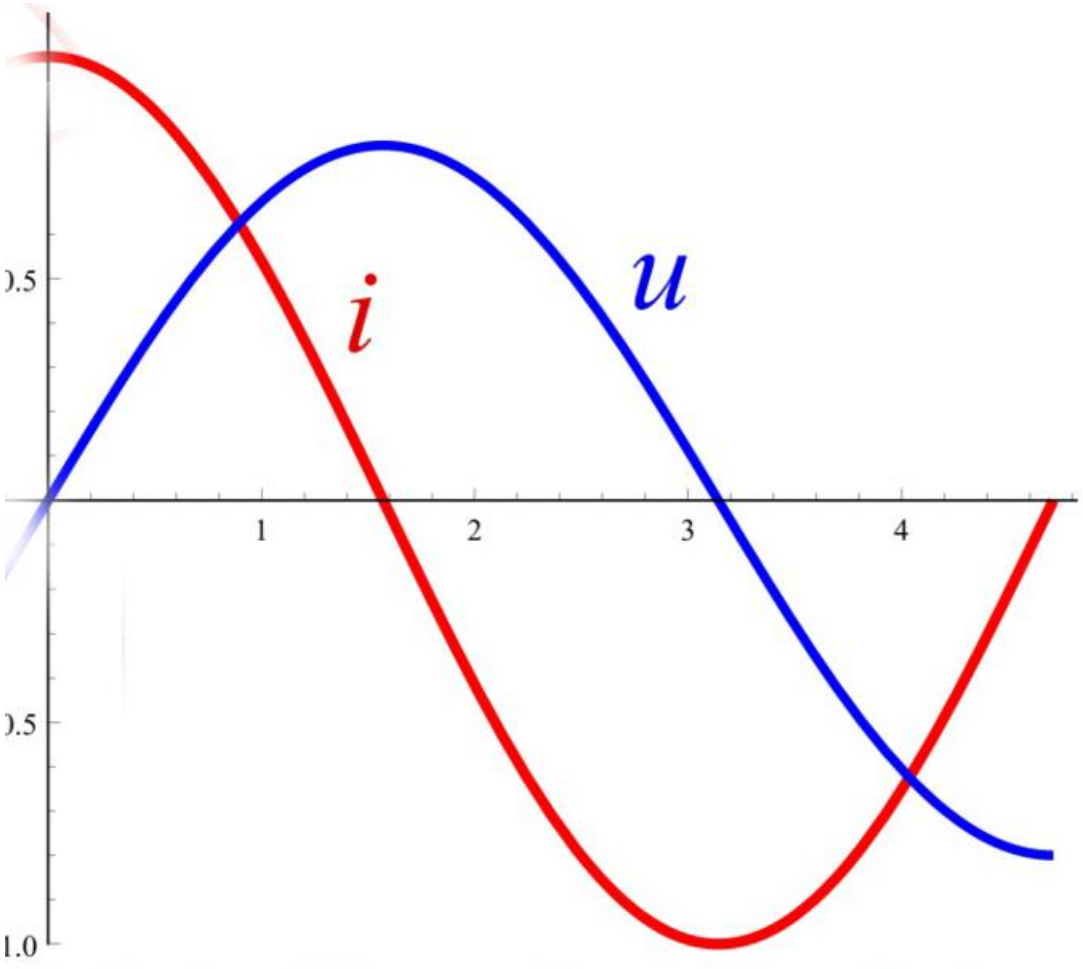
Kondensatorn

Brytarens värsta belastning



© ABB- 4

Kondensatorström- och spänning



© ABB- 5

Tyristorkopplad kondensator (TSC)

Den svåraste komponenten att koppla in och ur jämfört med en reaktor eller ett motstånd är en kondensator

- **Fler tyristorer i serie än för en reaktorstyrning**
- **DC-spänning över kondensatorn vid urkoppling**
- **Transienter vid inkoppling**



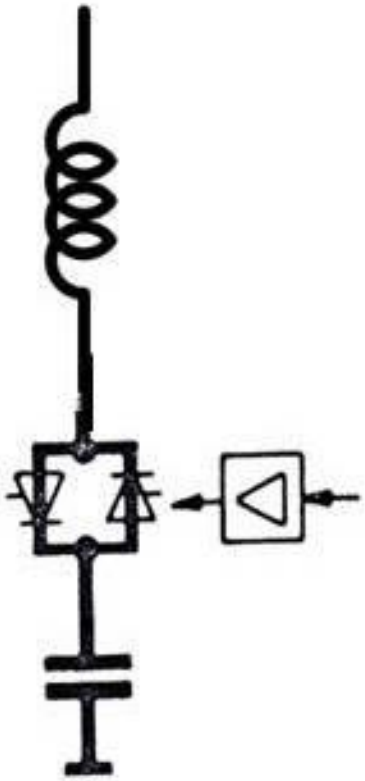
© ABB- 6

Tyristorkopplad kondensator (TSC)

- Feltändning som kan äventyra kondensatorerna och tyristorerna pga för hög spänning
- Styrpuls vid noll spänning över tyristorerna
- Vilken polaritet har kondensatorspänningen vid urkoppling
- Blockera tredje övertonen

© ABB- 7

Inkoppling av en konsensator från noll spänning



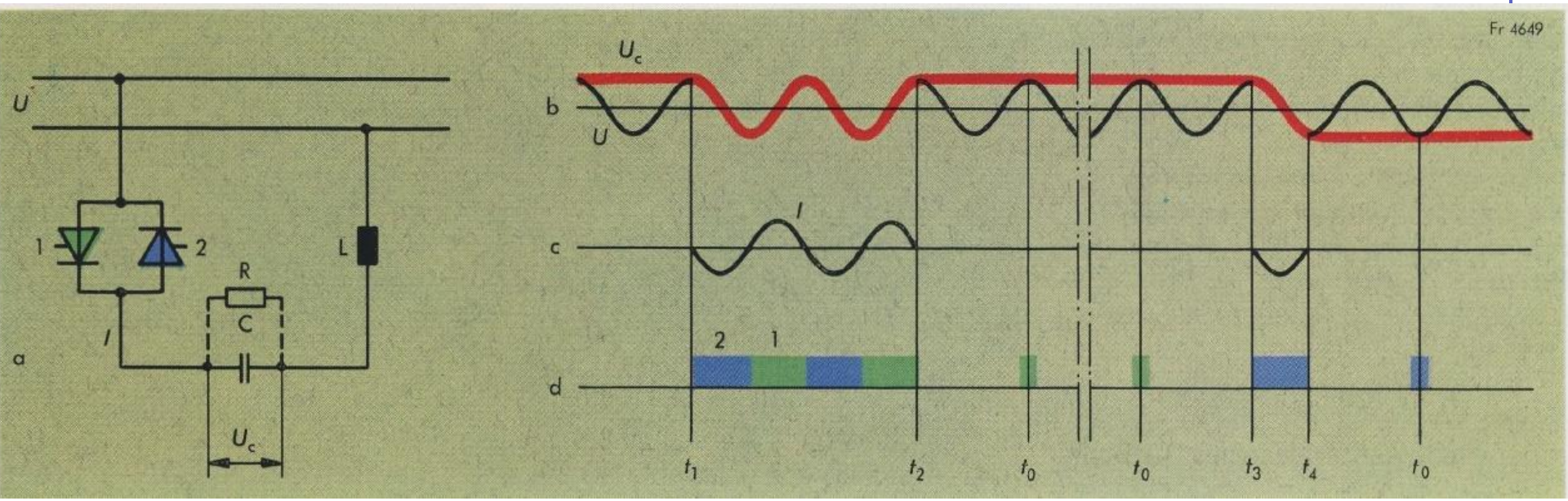


Startström
2 ms lång

Fullt uppladdad
kondensator

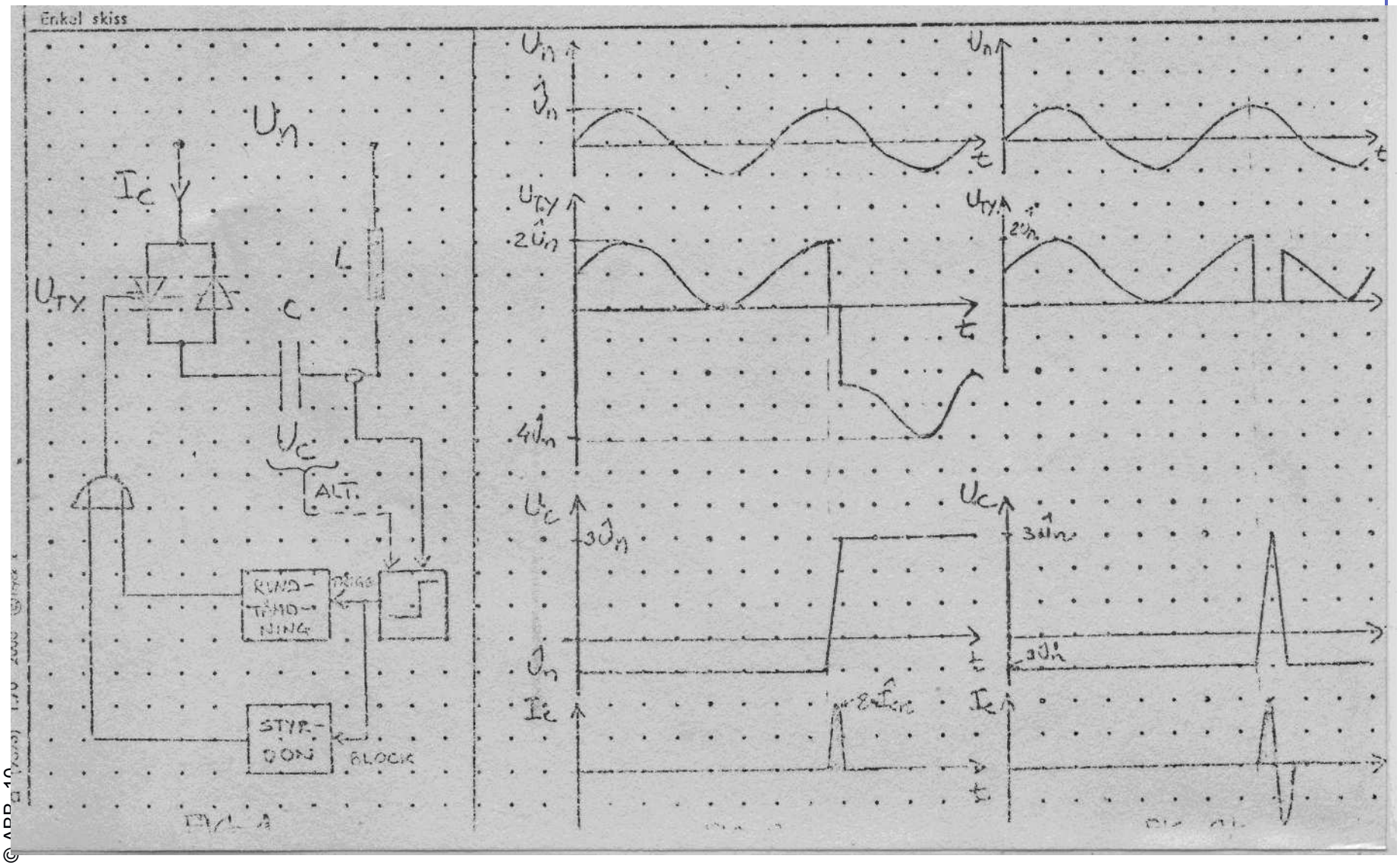
© ABB- 8

In-och urkoppling av en uppladdad kondensator och ompolarisering



© ABB- 9

Feltändningsskydd

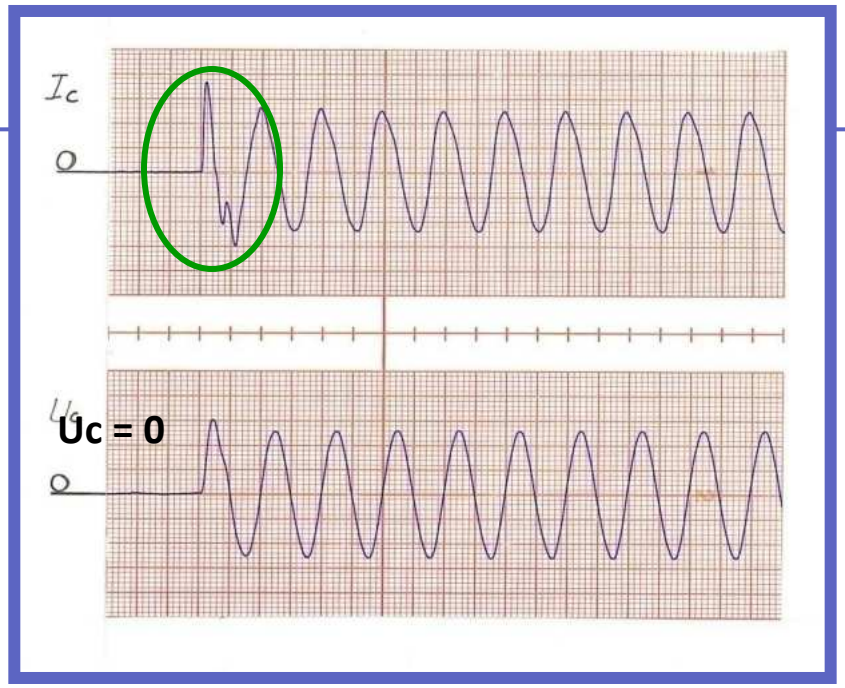


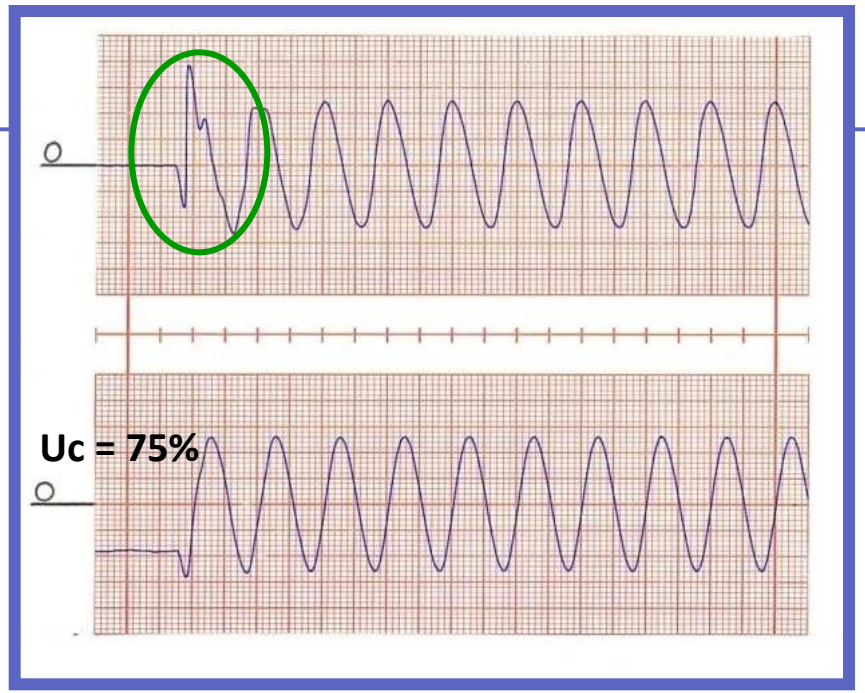
© ABB 10

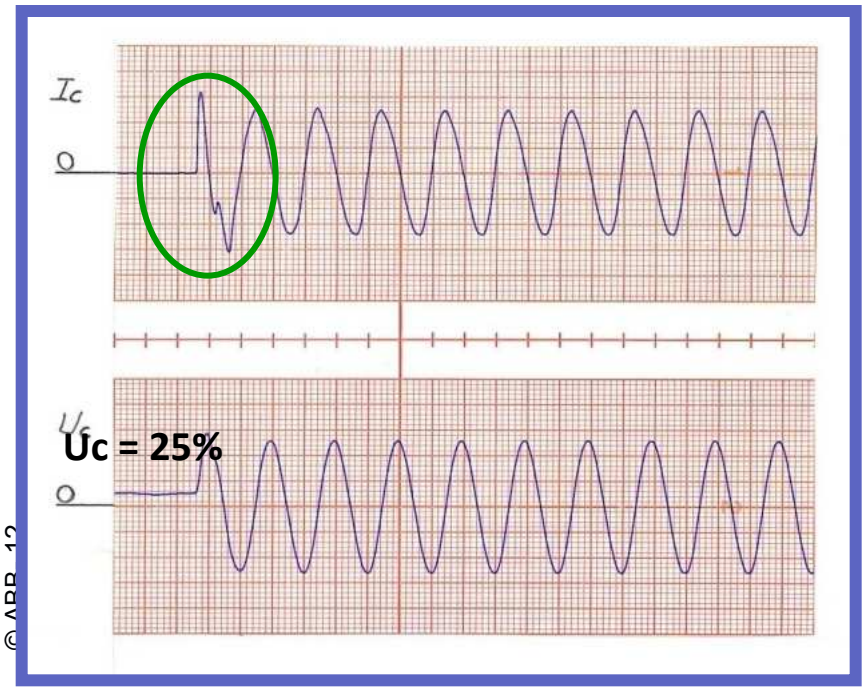
Ompolarisering

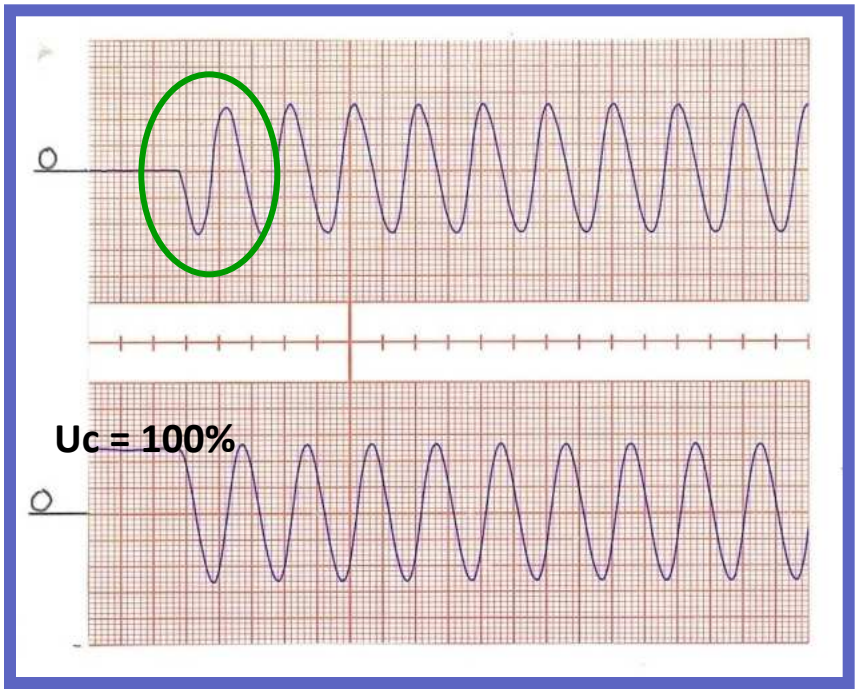
- Vi höll kondensatorn uppladdad till full spänning och ompolariserade den var 20e sekund.
- Vi gjorde test att kondensatorn inte kunde hålla likspänning åt ett håll en längre tid.
- Vid försäljning av första utility till AEP 1976 bad dom oss ta bort detta.
- Det gick utmärkt. Borde ha tänkt på det själva innan.

© ABB- 11







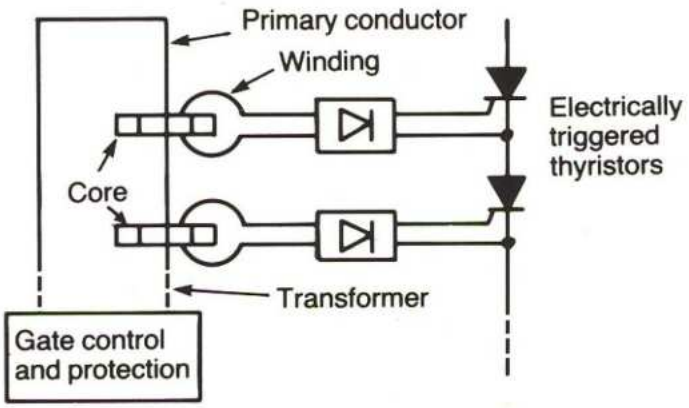


© ABB 12

Magnetiskt tändsystem

MAGNETIC TRIGGERING SYSTEM

The SVS at Hasle is furnished with an electromagnetic gating system for the thyristors where the energy is supplied from a power source at ground potential. This feature makes it possible to start up even against zero voltage on the terminals, which is very important when operating the TCR in the fixed reactor mode.



Magnetic triggering system

© ABB- 13

Tyristorkopplad kondensator (TSC)

Den svåraste komponenten att koppla in och ur jämfört med en reaktor eller ett motstånd

- **Fler tyristorer i serie än för en reaktorstyrning - OK**
- **Upprätthålla en DC-spänning över kondensatorn efter urkoppling- Bortagen**
- **Transienter vid inkoppling - Seriereaktor**



© ABB- 14

Tyristorkopplad kondensator (TSC)

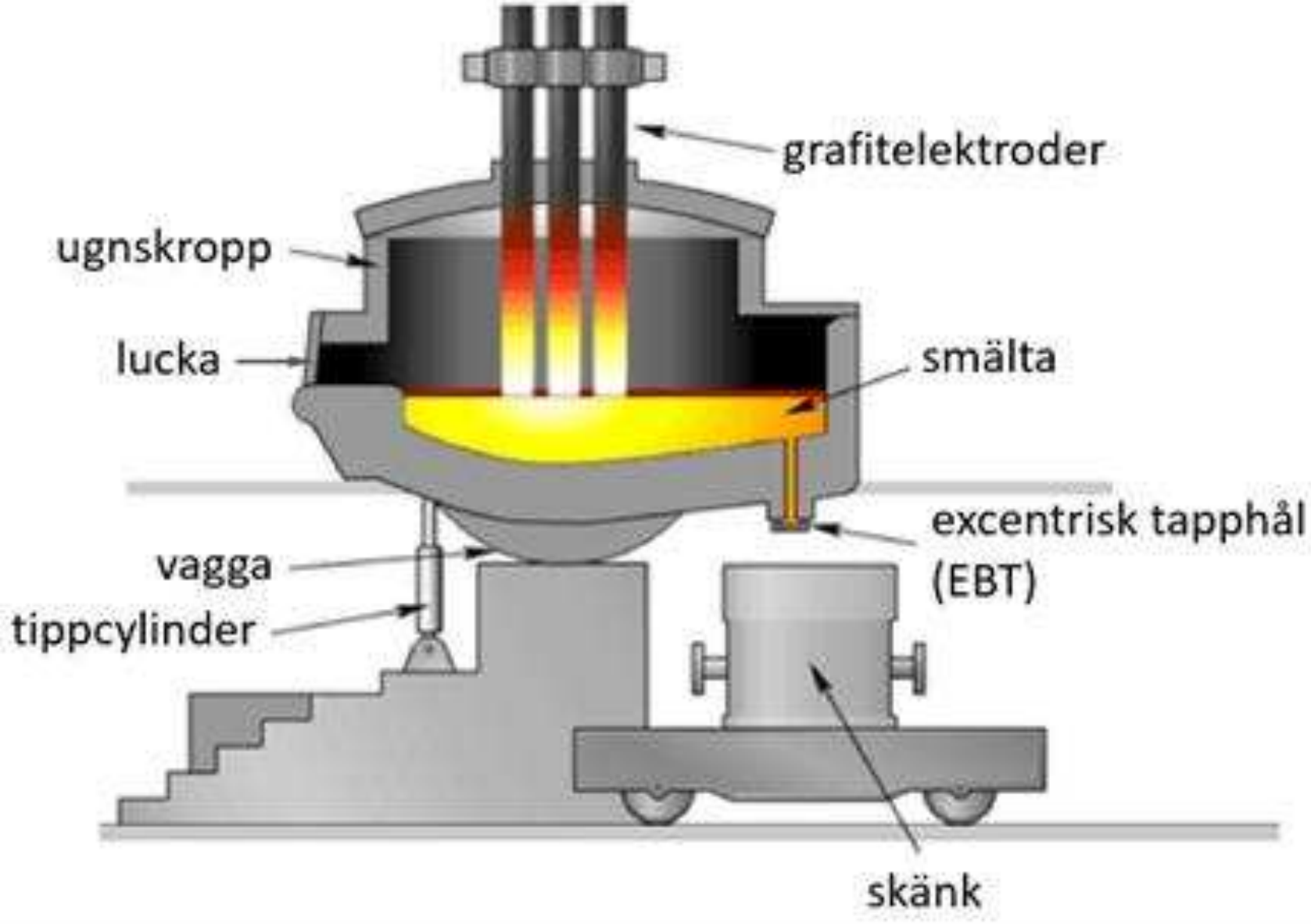
- Feltändning som kan äventyra kondensatorerna och tyristorerna pga hög spänning - Feltändningsskydd
- Styrpuls vid noll spänning över tyristorerna – Magnetisk tändsystem
- Vilken polaritet har kondensatorspänningen vid urkoppling
- Minns sista strömpulsens polaritet
- Blockera tredje övertonen –Styrpuls enbart på en tyristor i taget

© ABB- 15

51 års produktionshöjande effekt i Smedjebackens ljusbågsugn

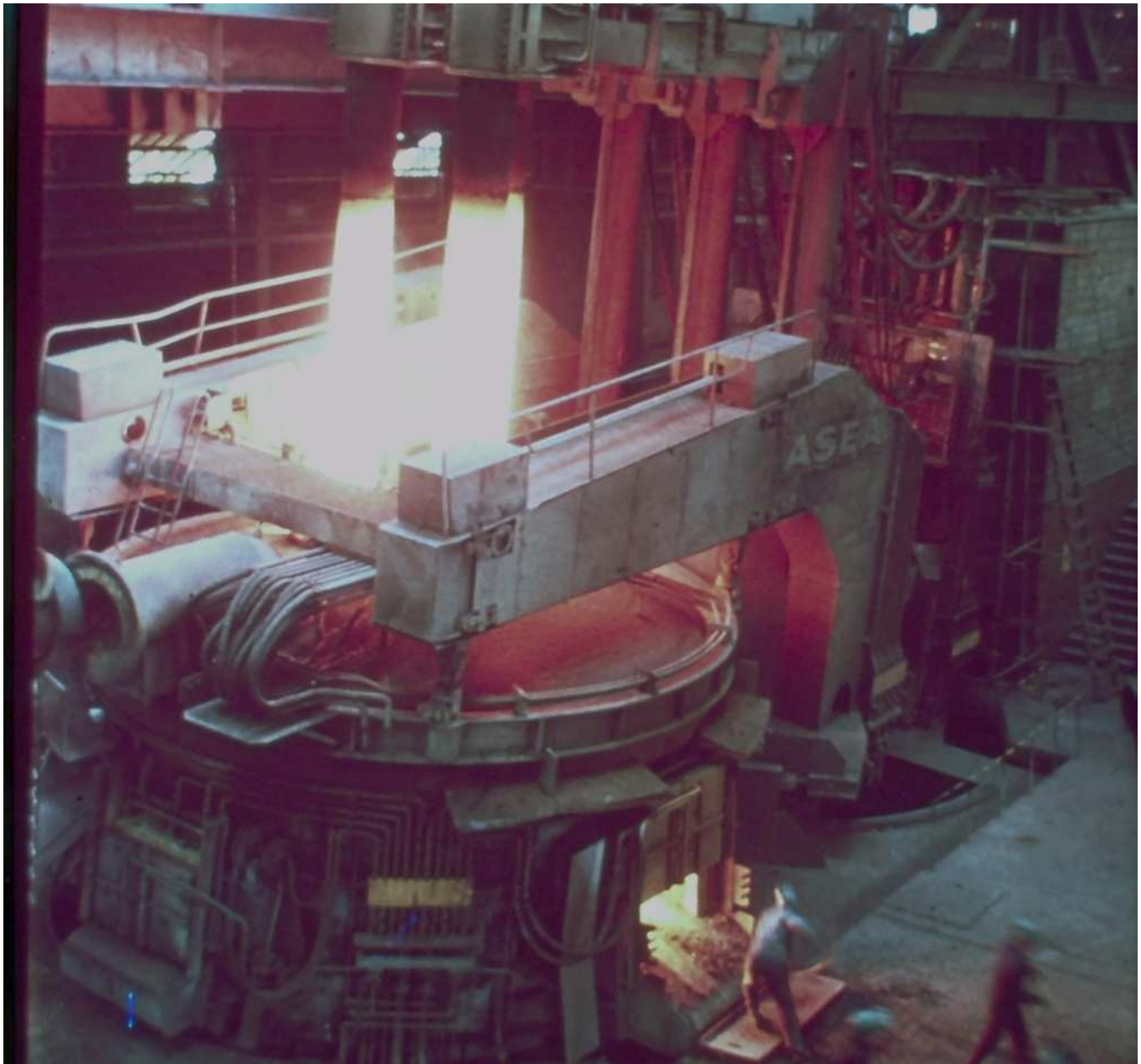


Ljusbågsugn



© ABB- 17

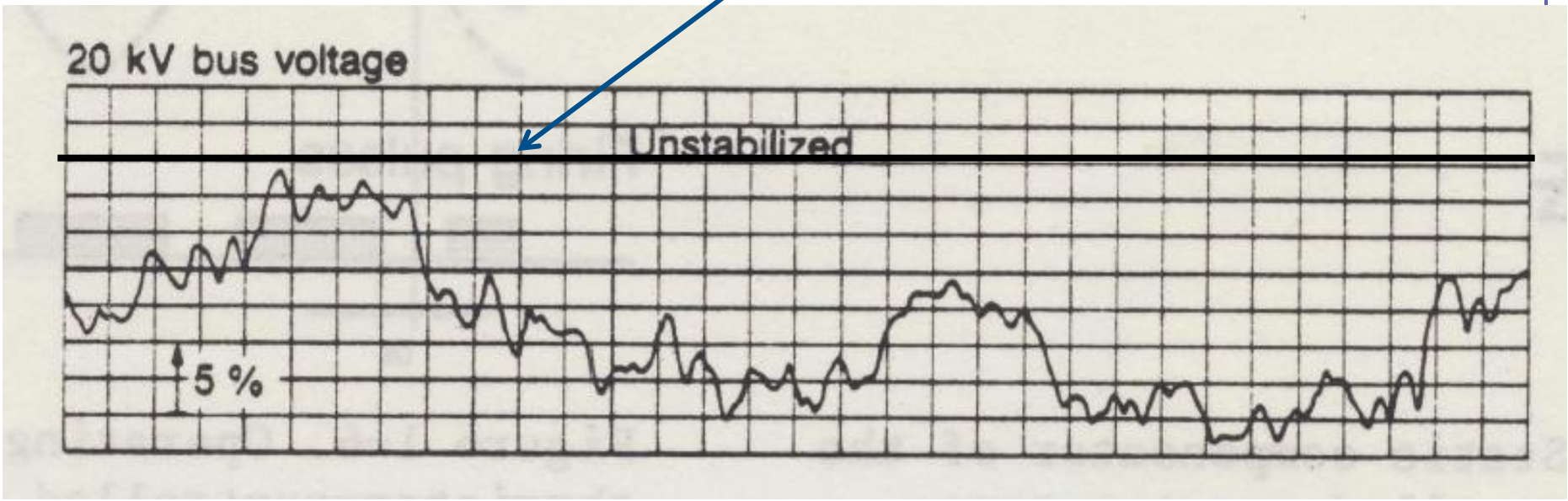
Ljusbågsugnen i Smedjebacken 1974



© ABB- 18

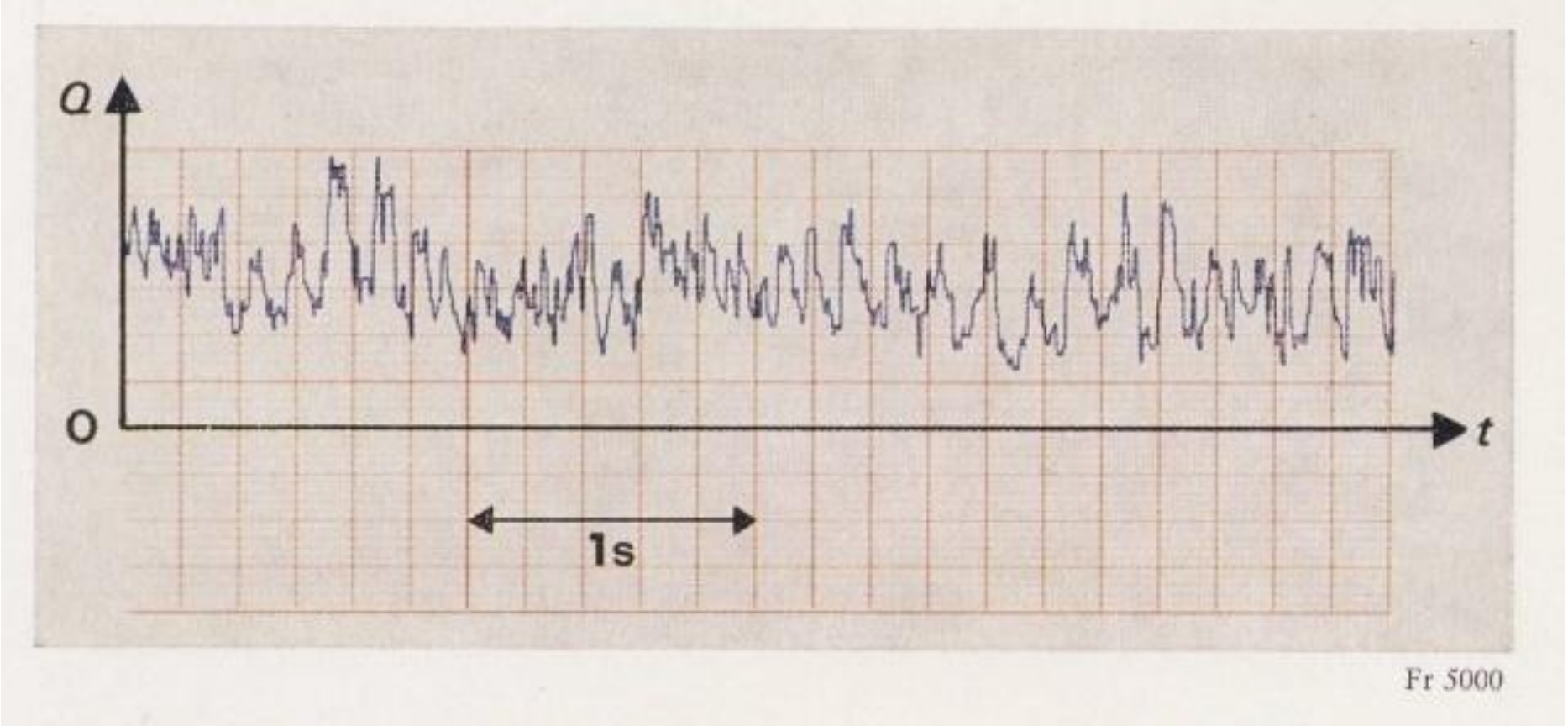
Spänningsfall i ljusbågsugn utan kompensering

Tomgångsspänning



© ABB- 19

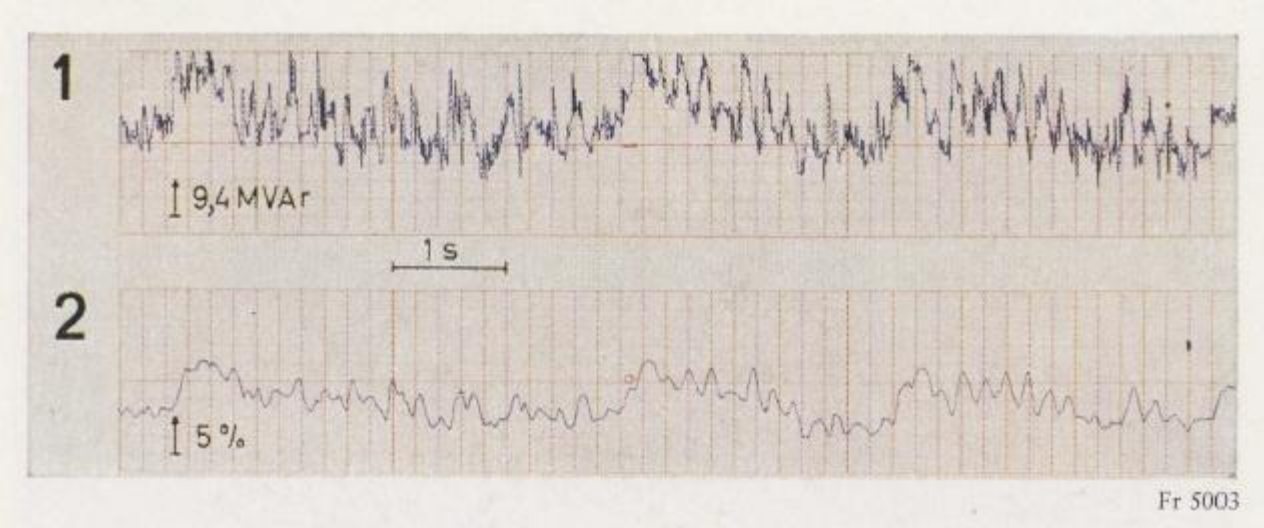
Reaktiva effekten från en ljusbågsugn



© ABB- 20

Registrering från Smedjebackens ljusbågsugn

Samband reaktiv effekt och spänningsfall



1.Reaktiv effekt i ljusbågsugnen

2.Spänningsvariationen 20 kV

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S_k}$$

Spänningsvariationen följer reaktiva effekvariationen

© ABB- 21

Lösning på spänningsvariationen

- Motbacka den induktiva reaktiva effekten från ljusbågsugnen med kapacitiv reaktiv effekt
- En kondensator är ett kapacitivt element
- Kondensatorerna kapacitiva reaktiva effekt måste nu följa den induktiva reaktiva effekten från ljusbågsugnen på millisekunders nivå
- Om detta går att genomföra så kommer man att kunna höja spänningen på ugnen och öka produktionen
- Ett tyristorpar antiparallellkopplade kan åstadkomma detta

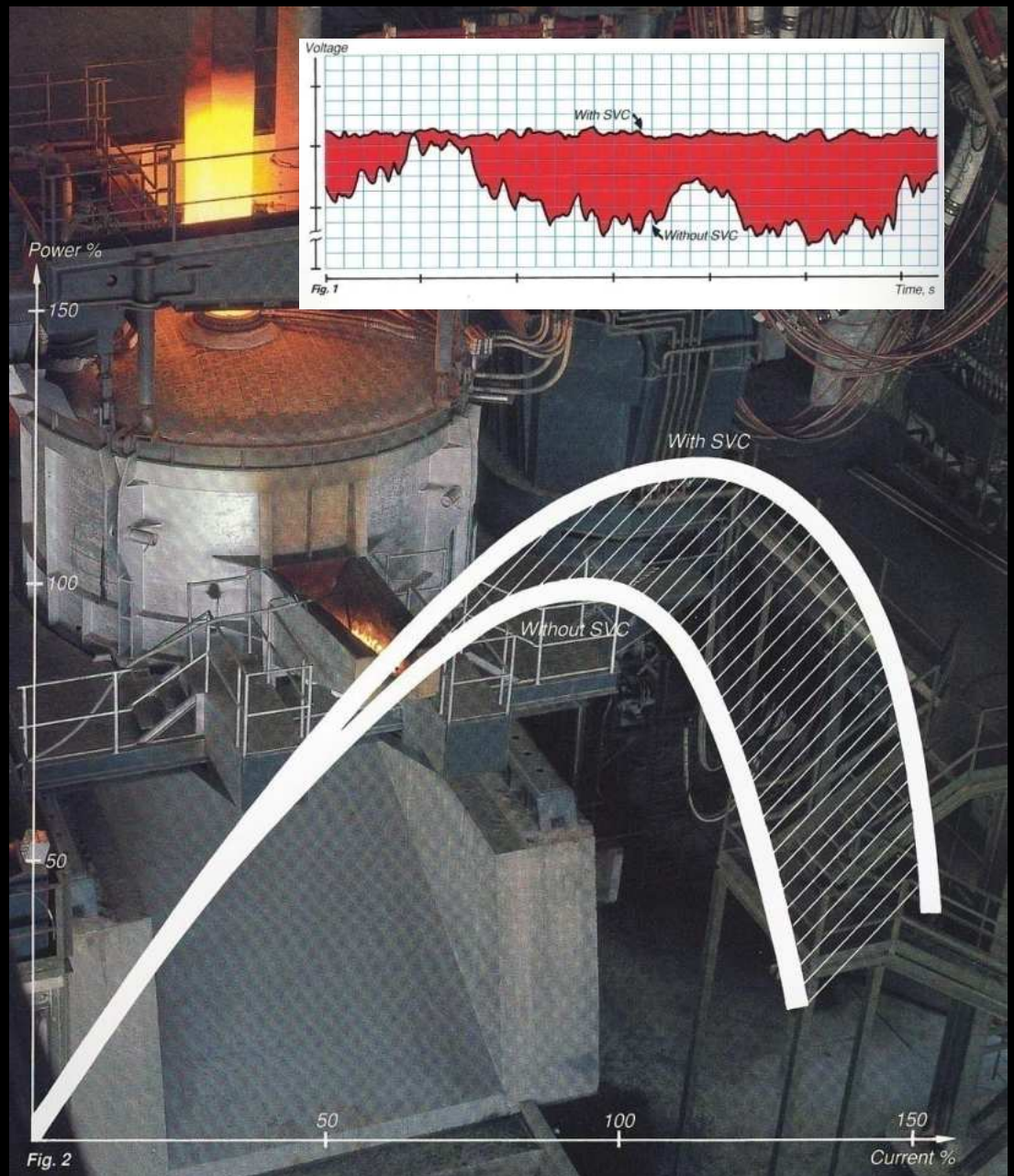
© ABB- 22

Kondensatorburk



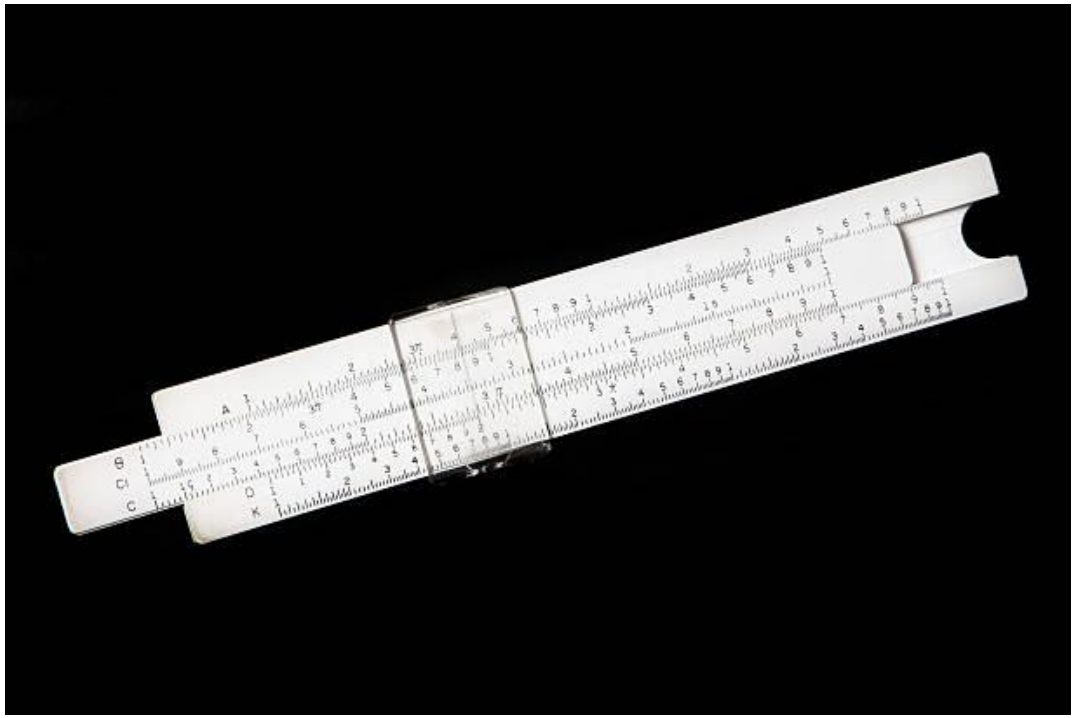
© ABB- 23

Ljusbågsugnskompensering

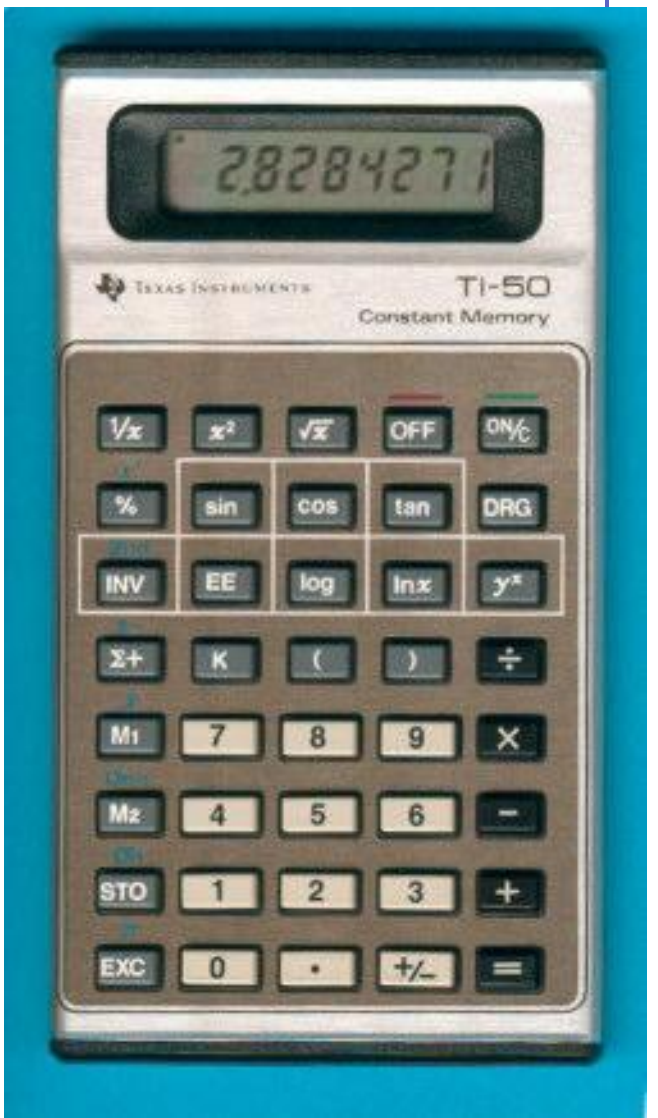


Beräkningsverktyg

Räknestickan

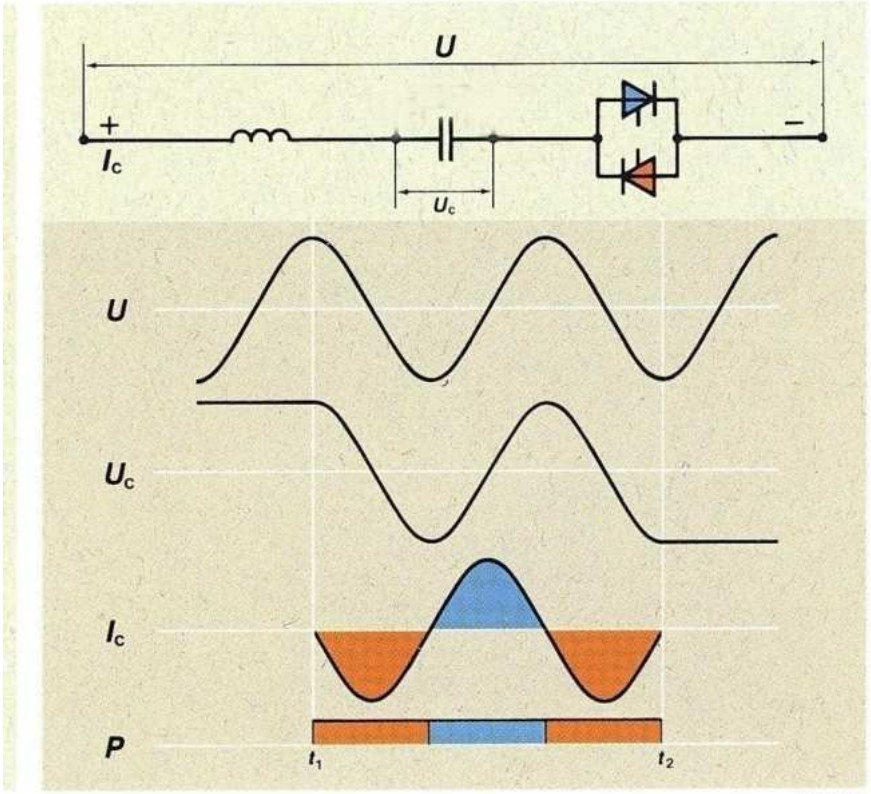


Räknedosa T-50

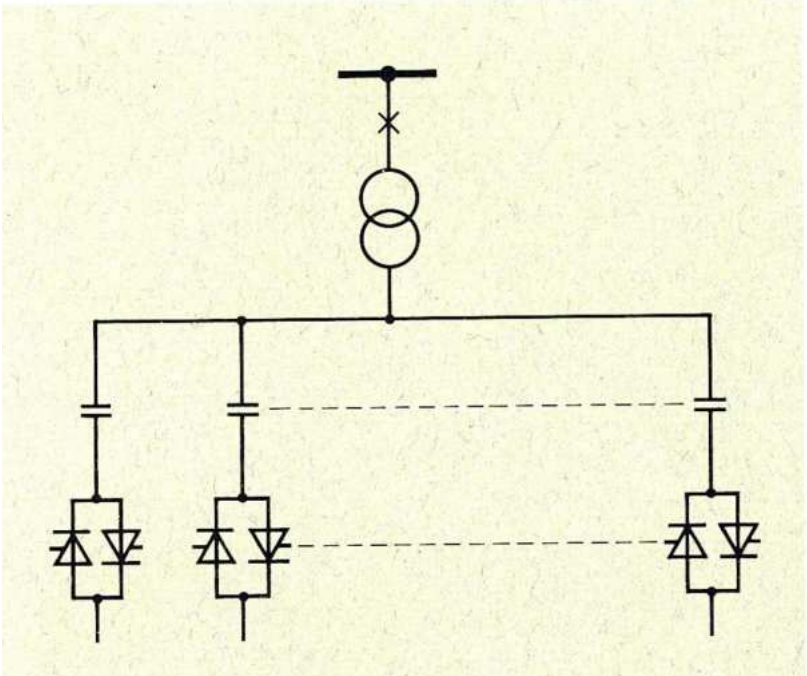


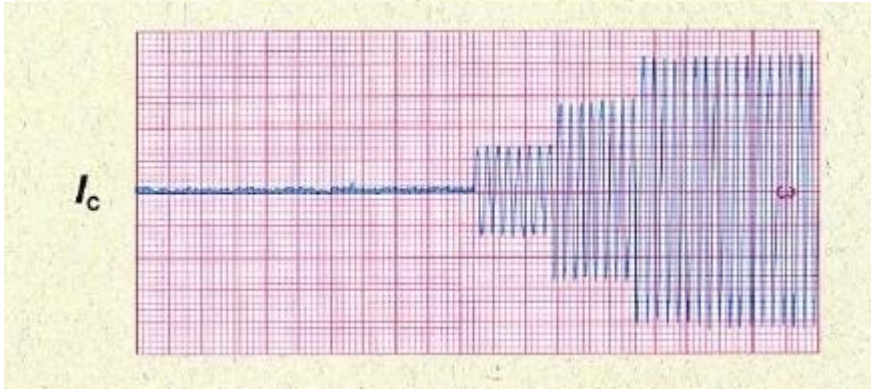
© ABB- 25

Tyristorkopplade kondensatorer = TSC



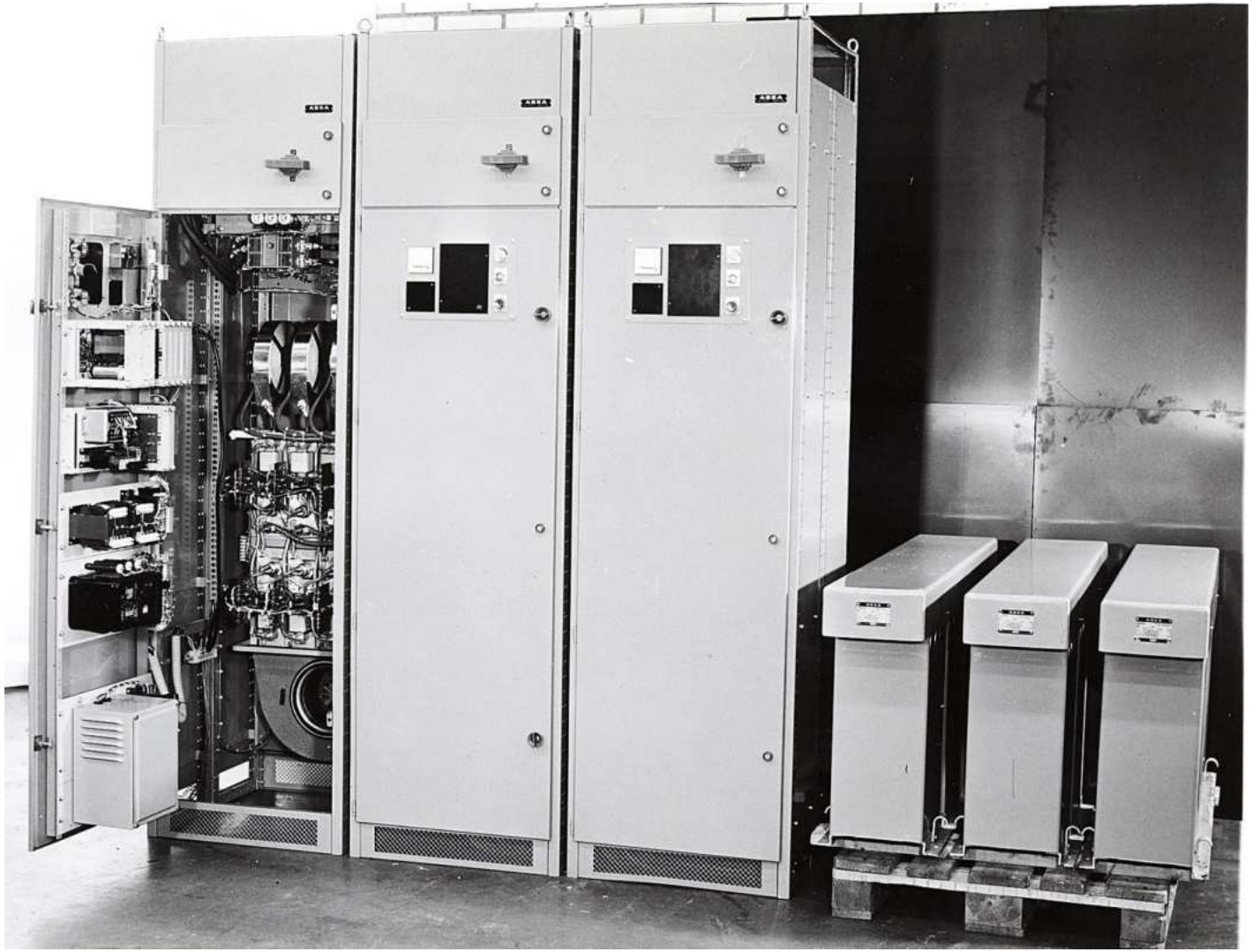
AT 5710





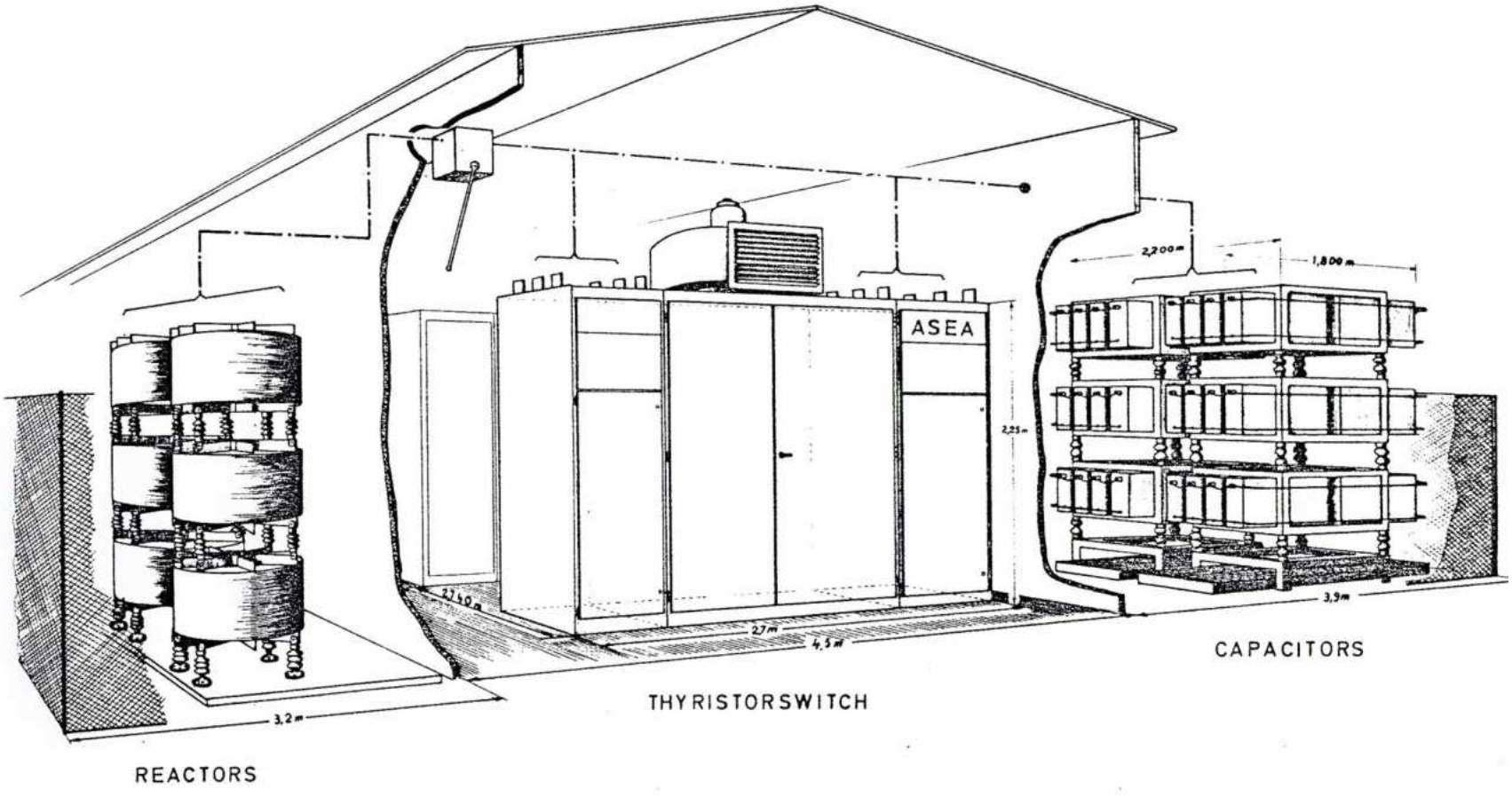
© ABB- 26

Prototype with TSC 1970



© ABB- 27

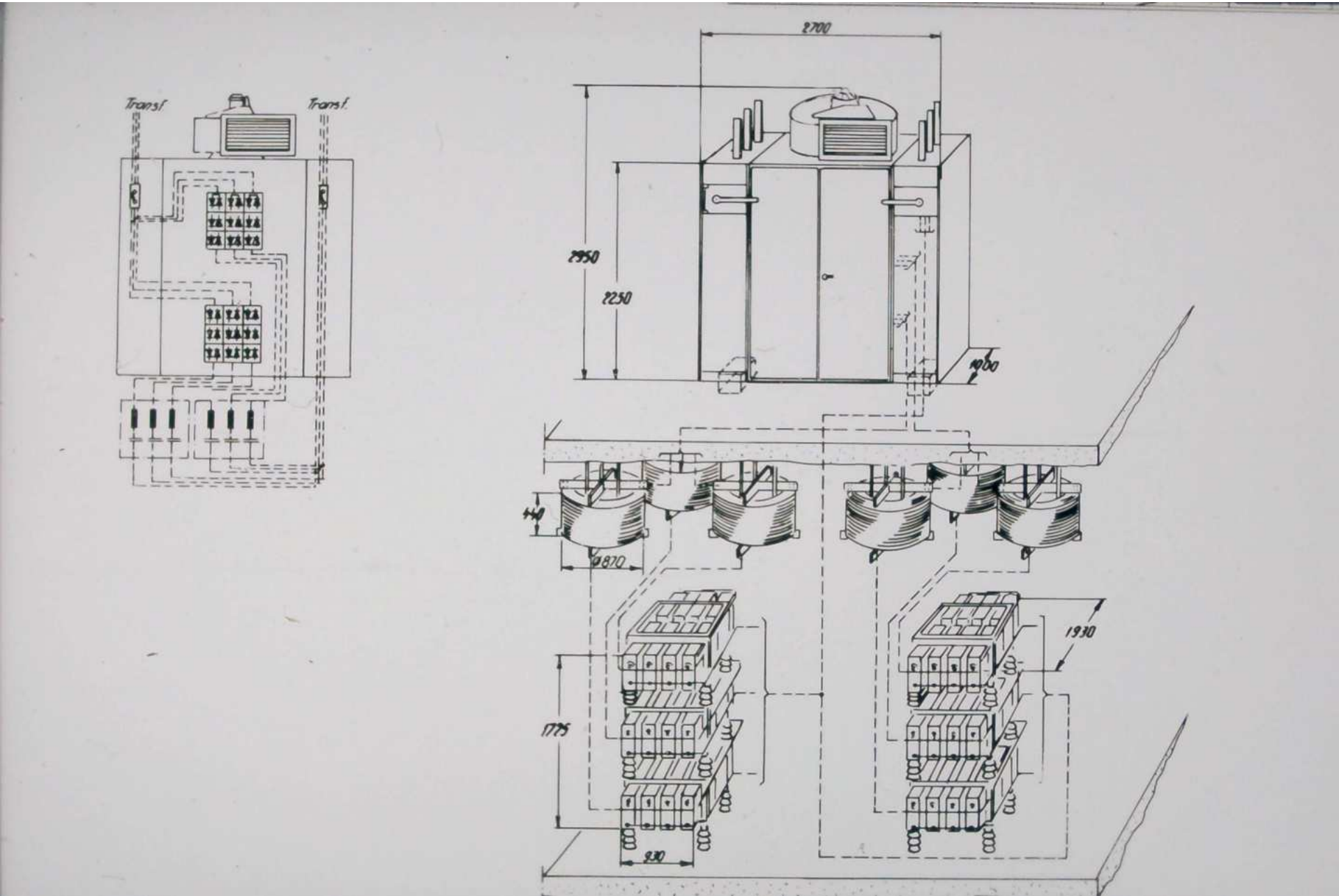
TYCAP med TSC



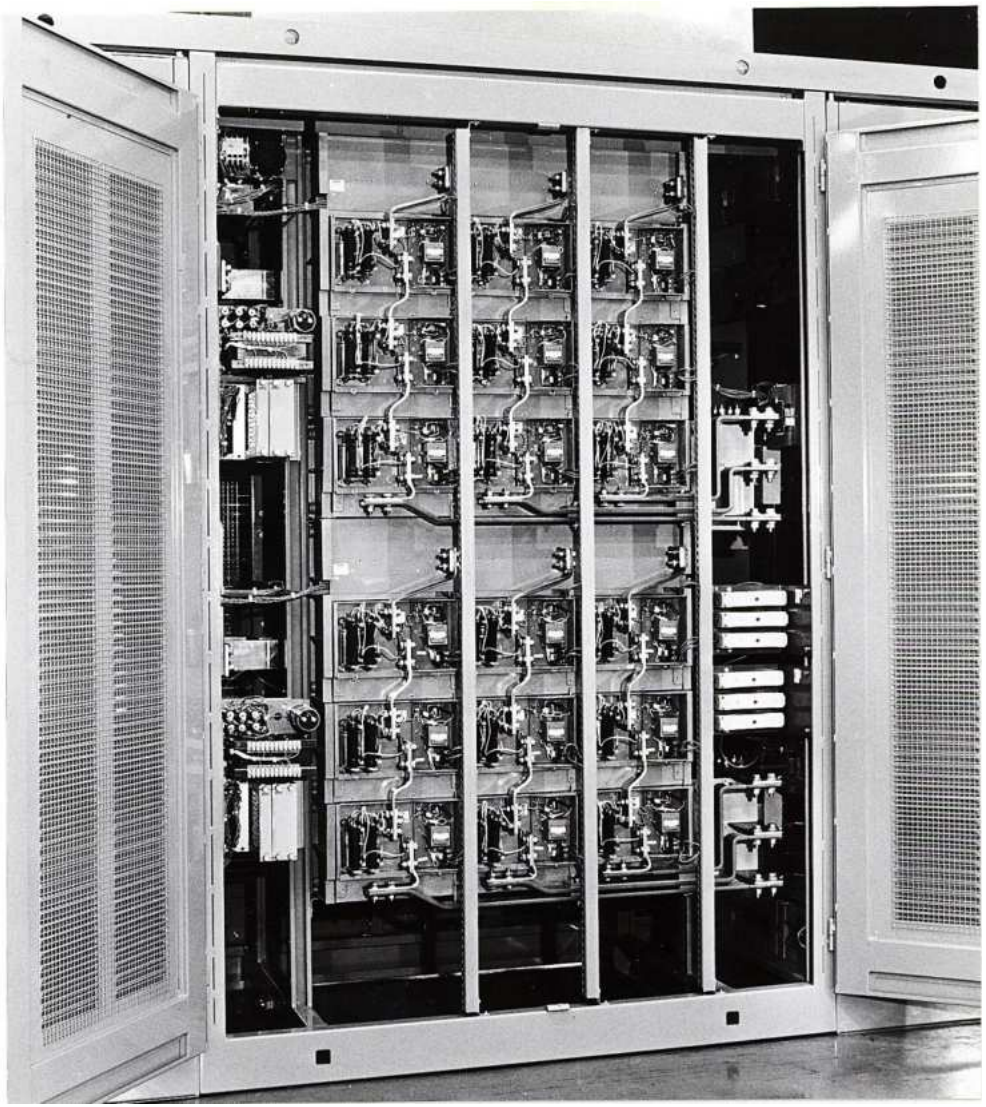
2 x 3,5 Mvar

© ABB- 28

TYCAP 1971

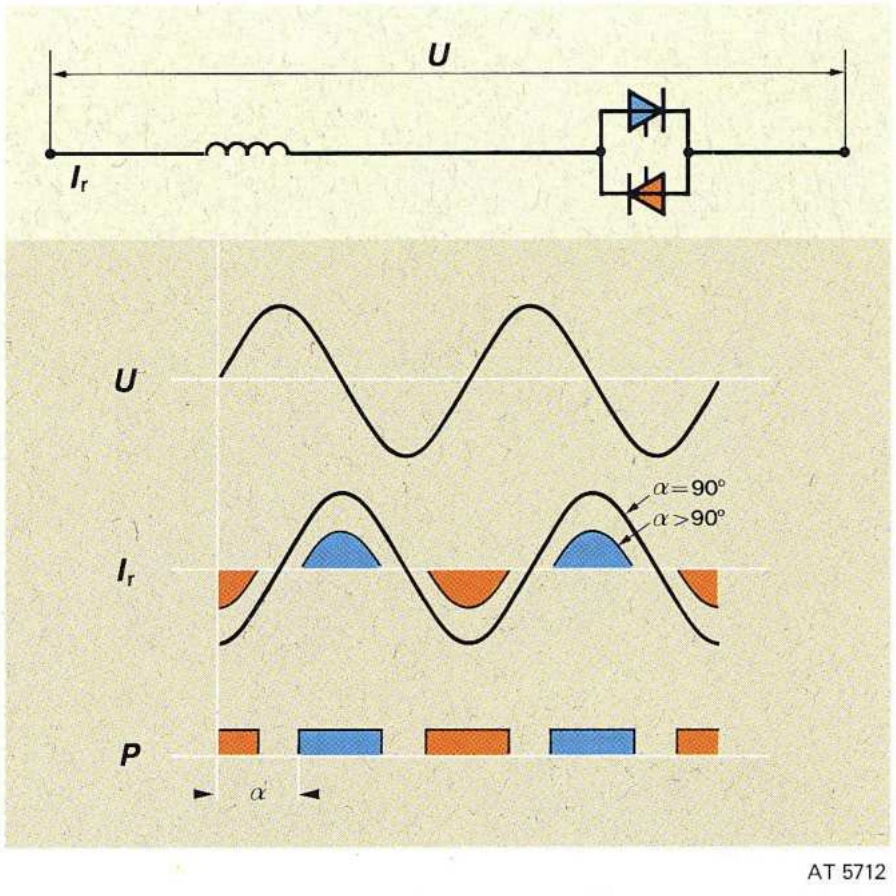


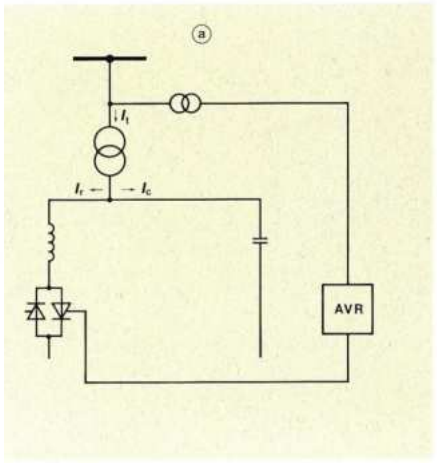
1 kV thyristor valve

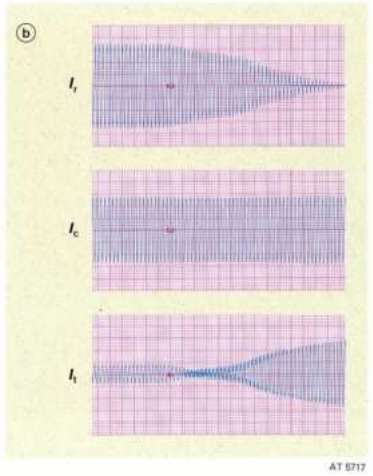


© ABB- 30

Tyristorstyrd reaktor = TCR

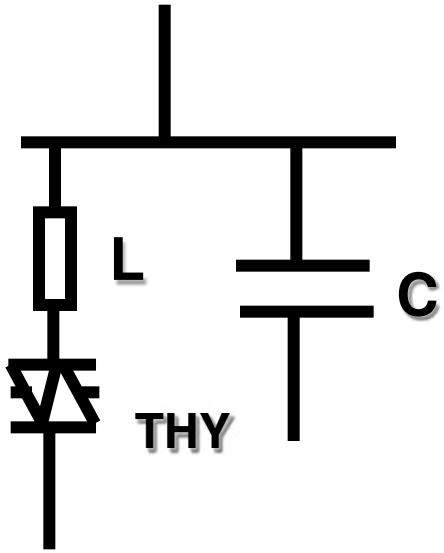




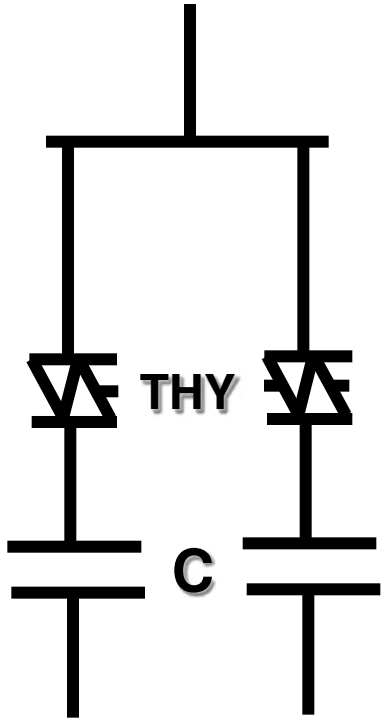


© ABB- 31

Indirect vs Direct compensation



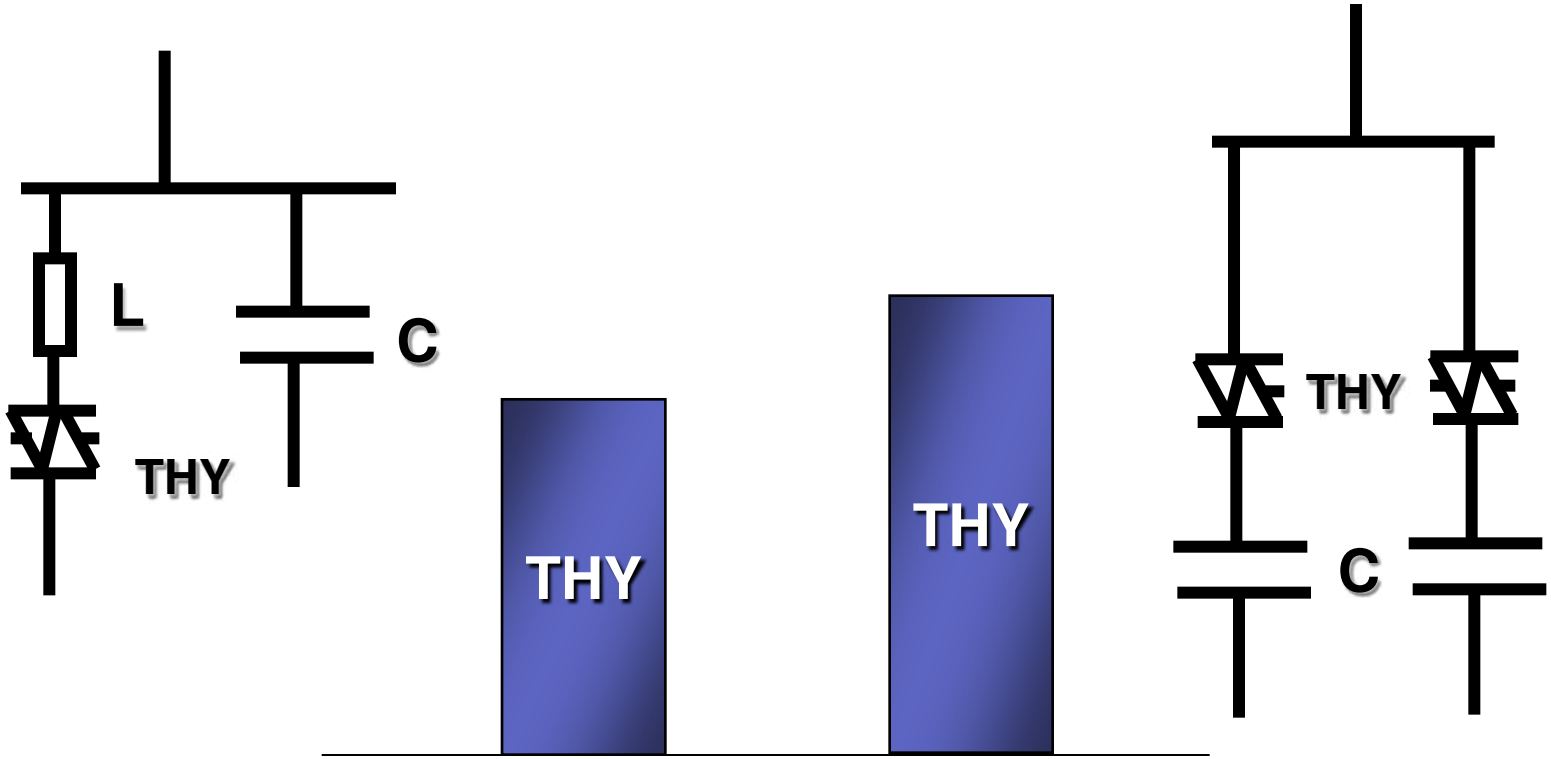
Indirect system



Direct system

© ABB- 32

Indirect vs Direct compensation

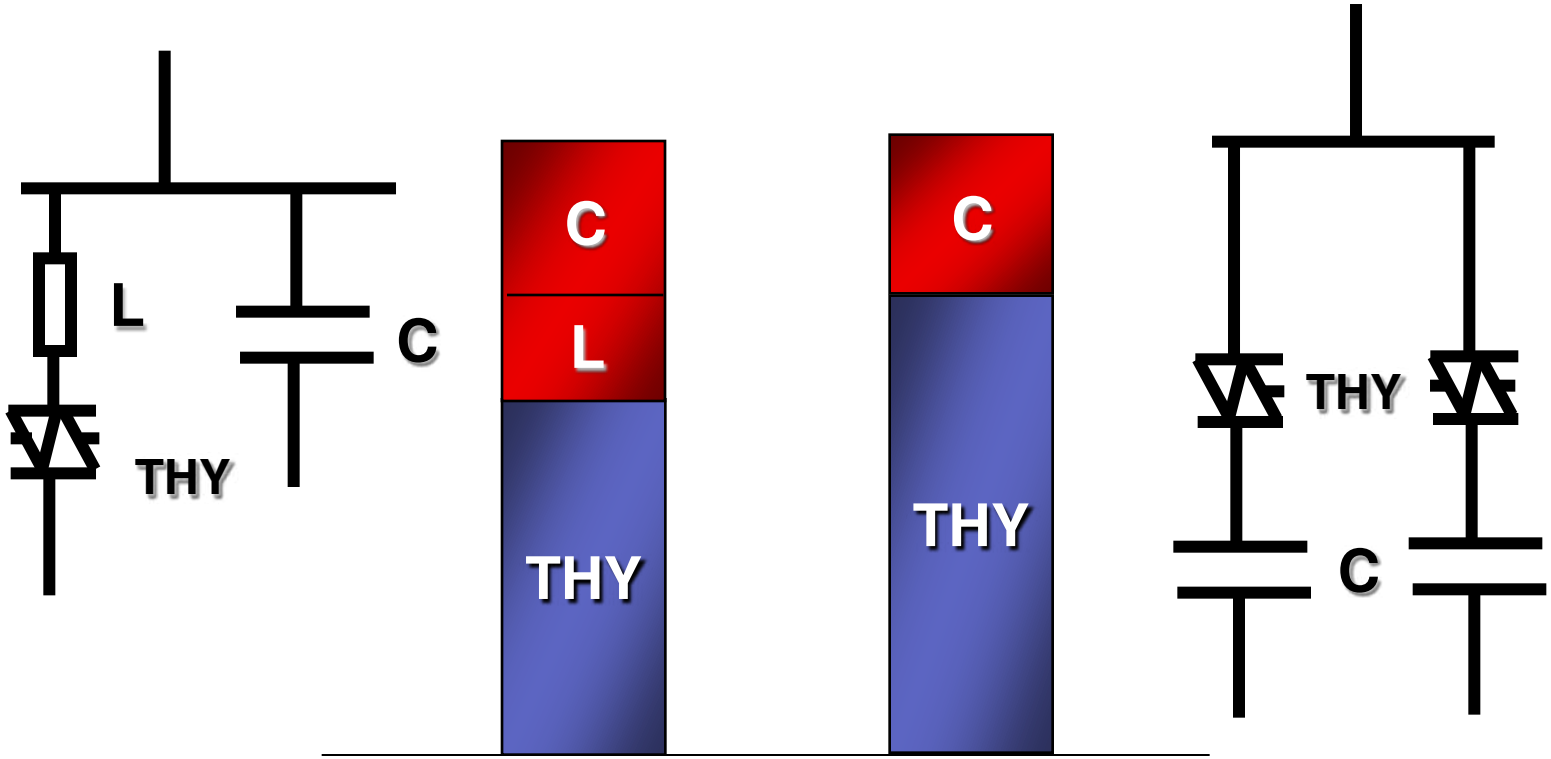


Indirect system

Direct system

© ABB- 33

Indirect vs Direct compensation

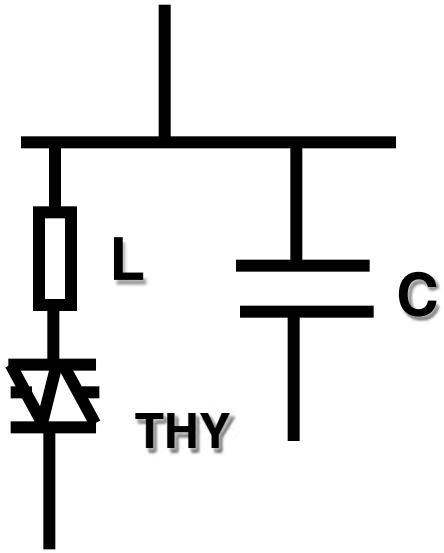


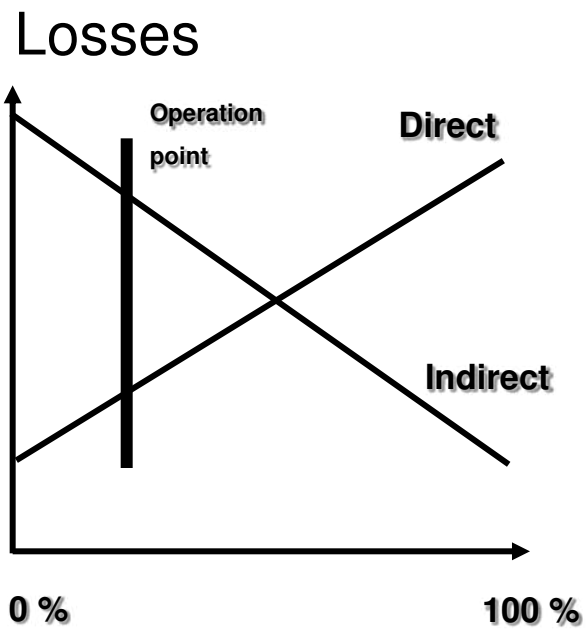
Indirect system

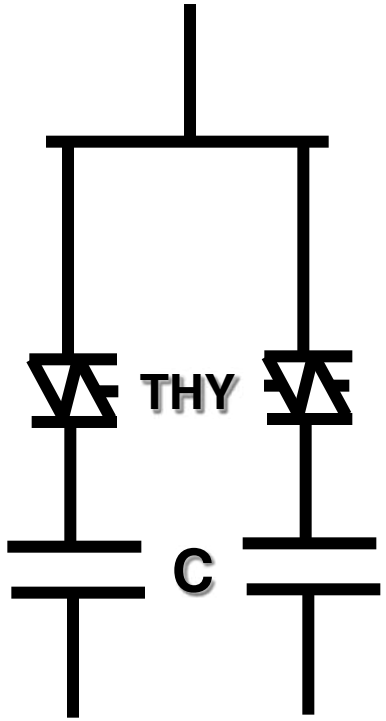
Direct system

© ABB- 34

Indirect vs Direct compensation





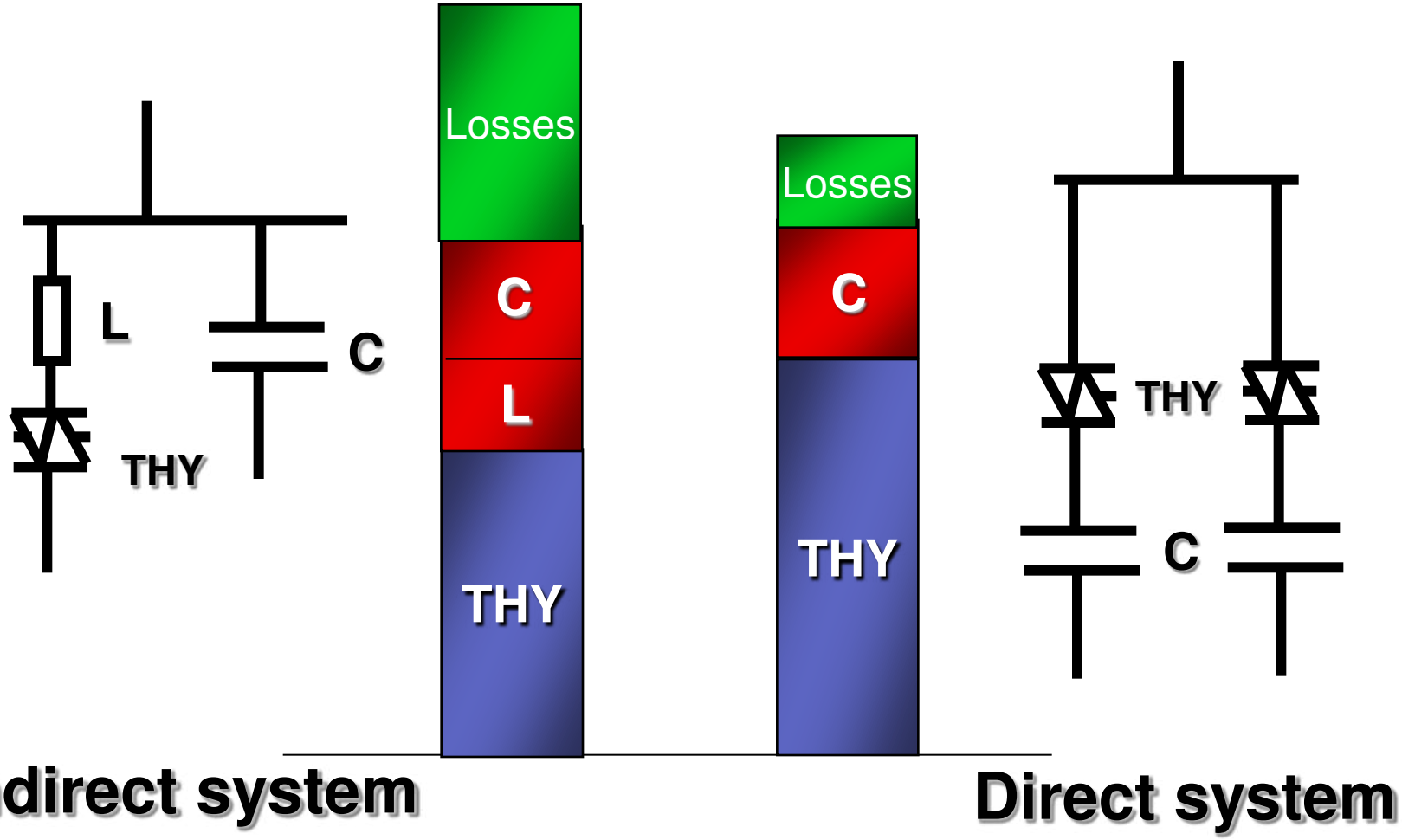


Indirect system

Direct system

© ABB- 35

Indirect vs Direct compensation



Indirect system

Direct system

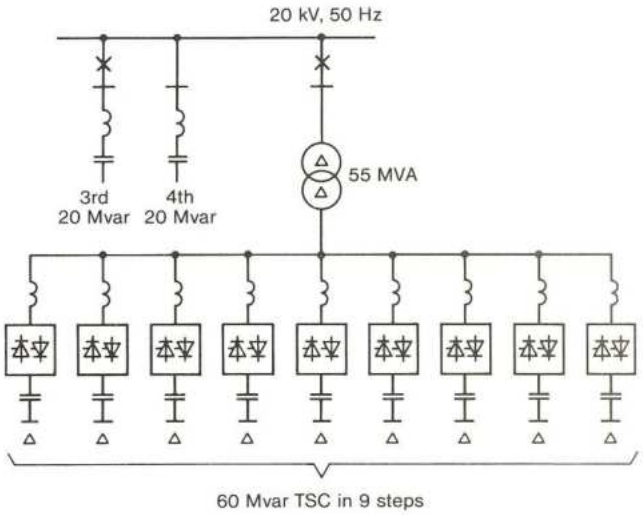
© ABB- 36

Domnarvets Järnverk

Borlänge 60 Mvar TSC 1972







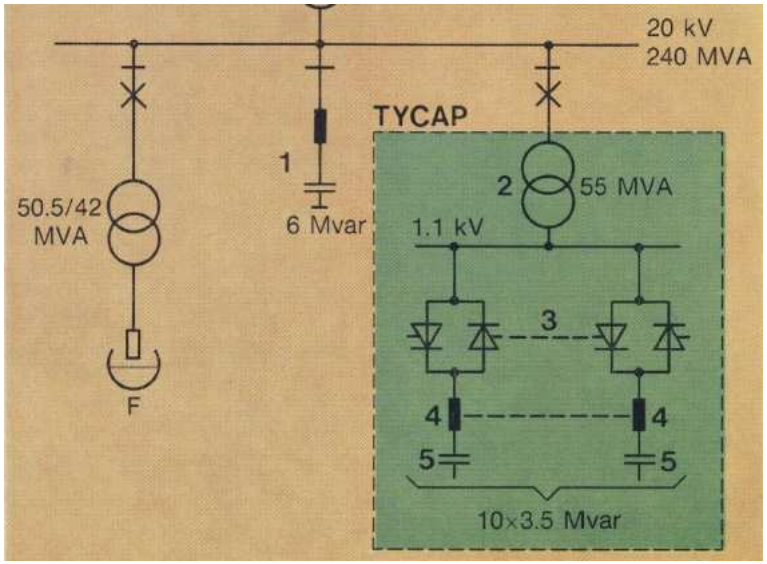
© ABB- 37

Smedjebackens Järnverk

35 Mvar TSC 1974



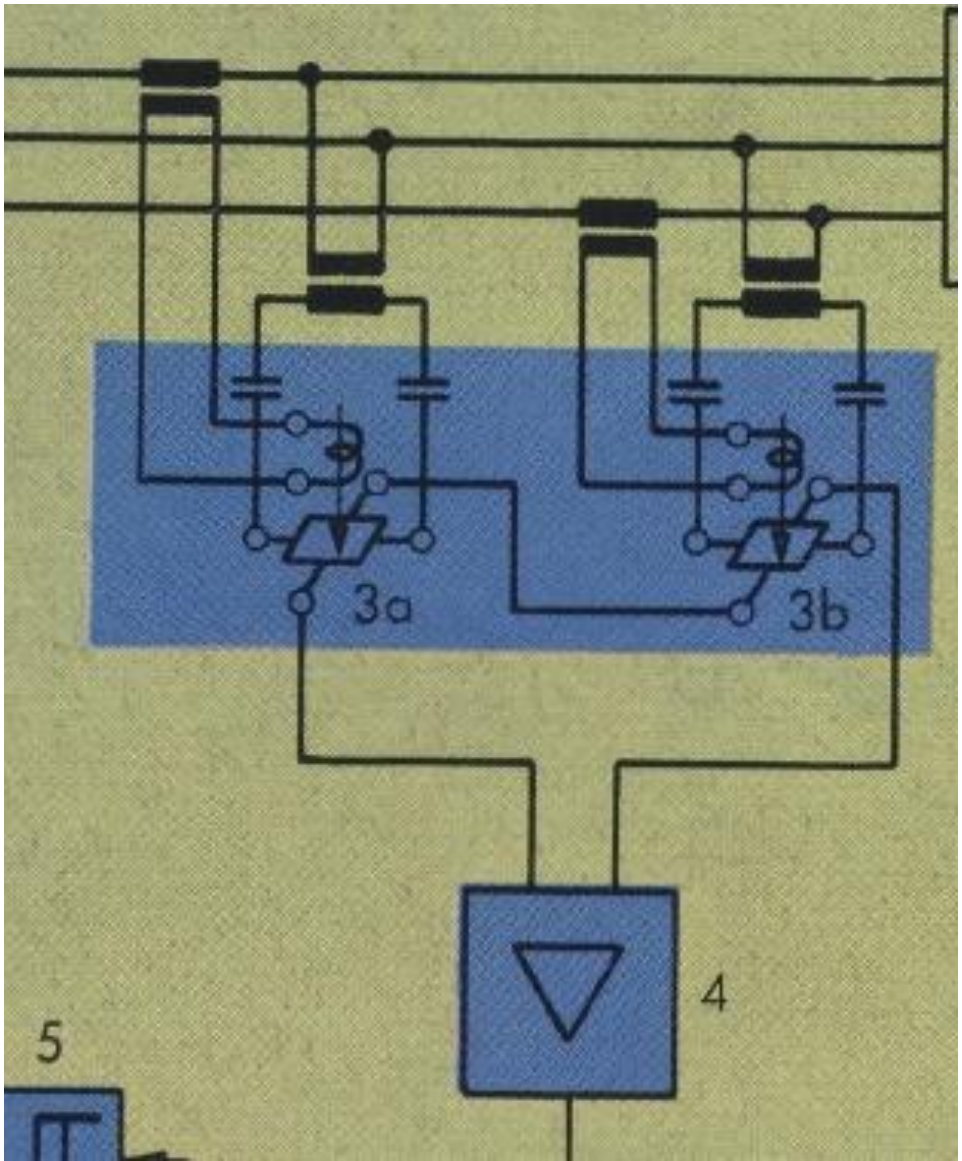




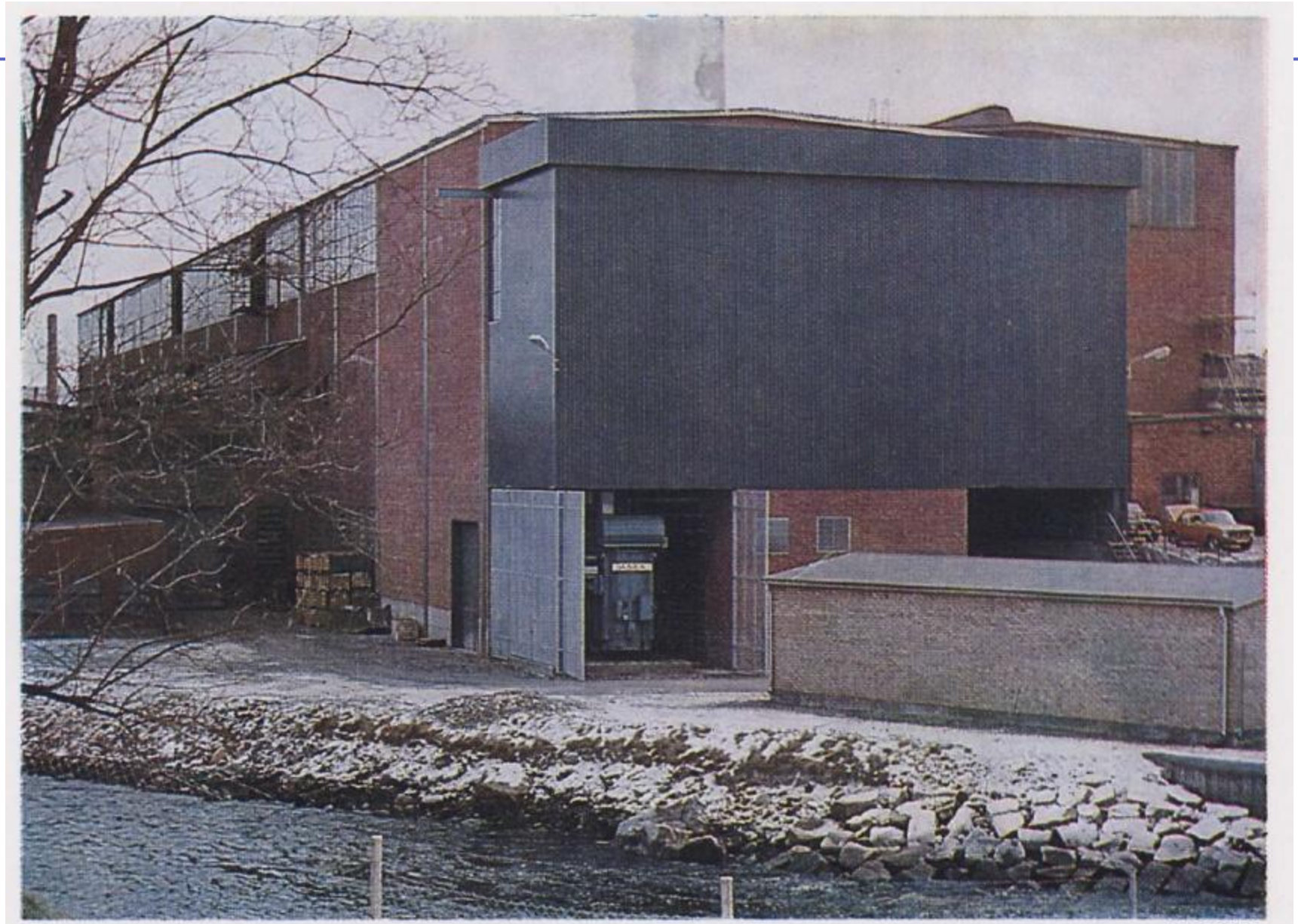
Förberedd för utbyggnad till 49 Mvar

© ABB- 38

Mätning av reaktiv effekt med en Hallgenerator



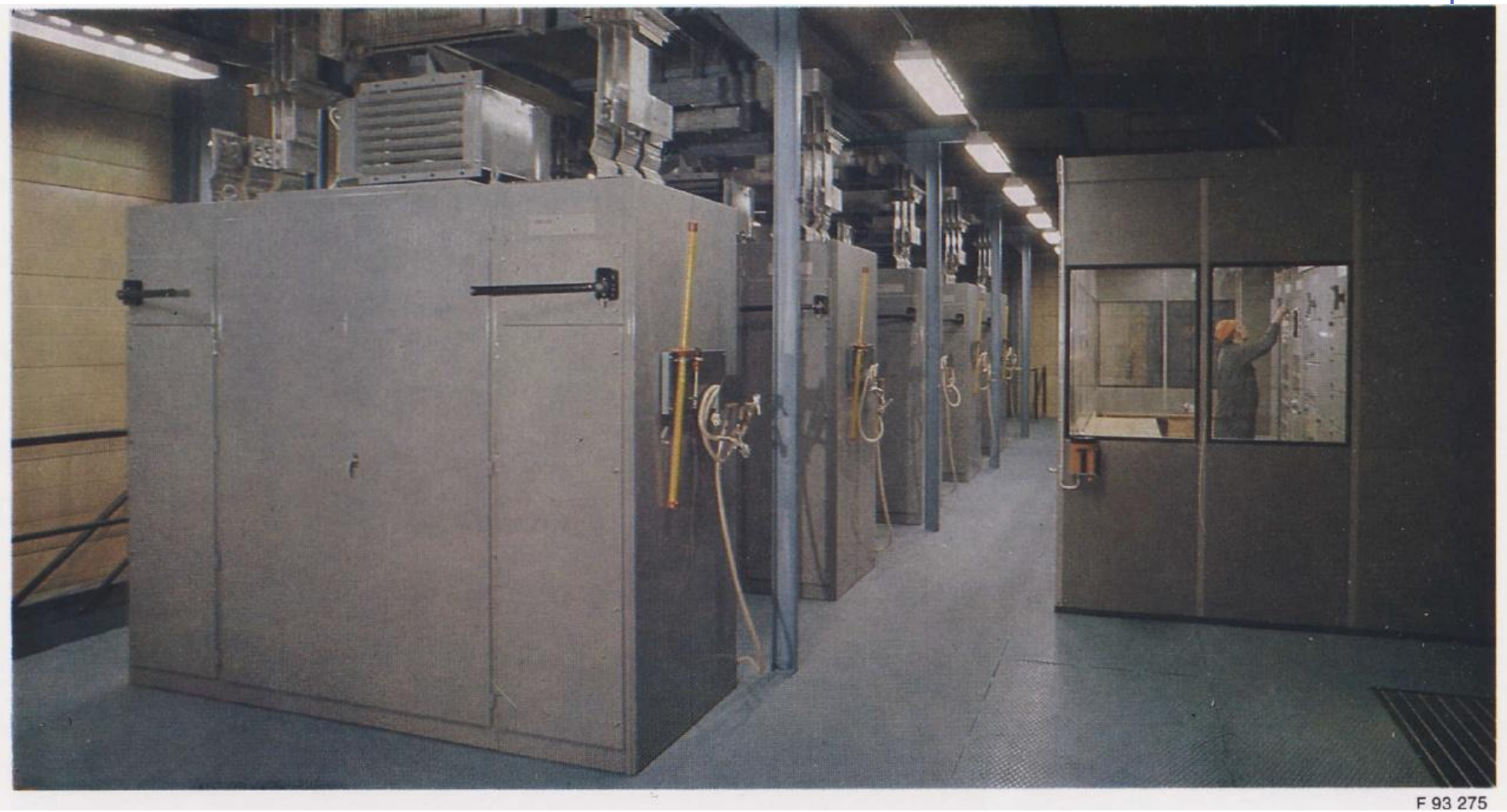
© ABB- 39



F 93 280

© ABB- 40

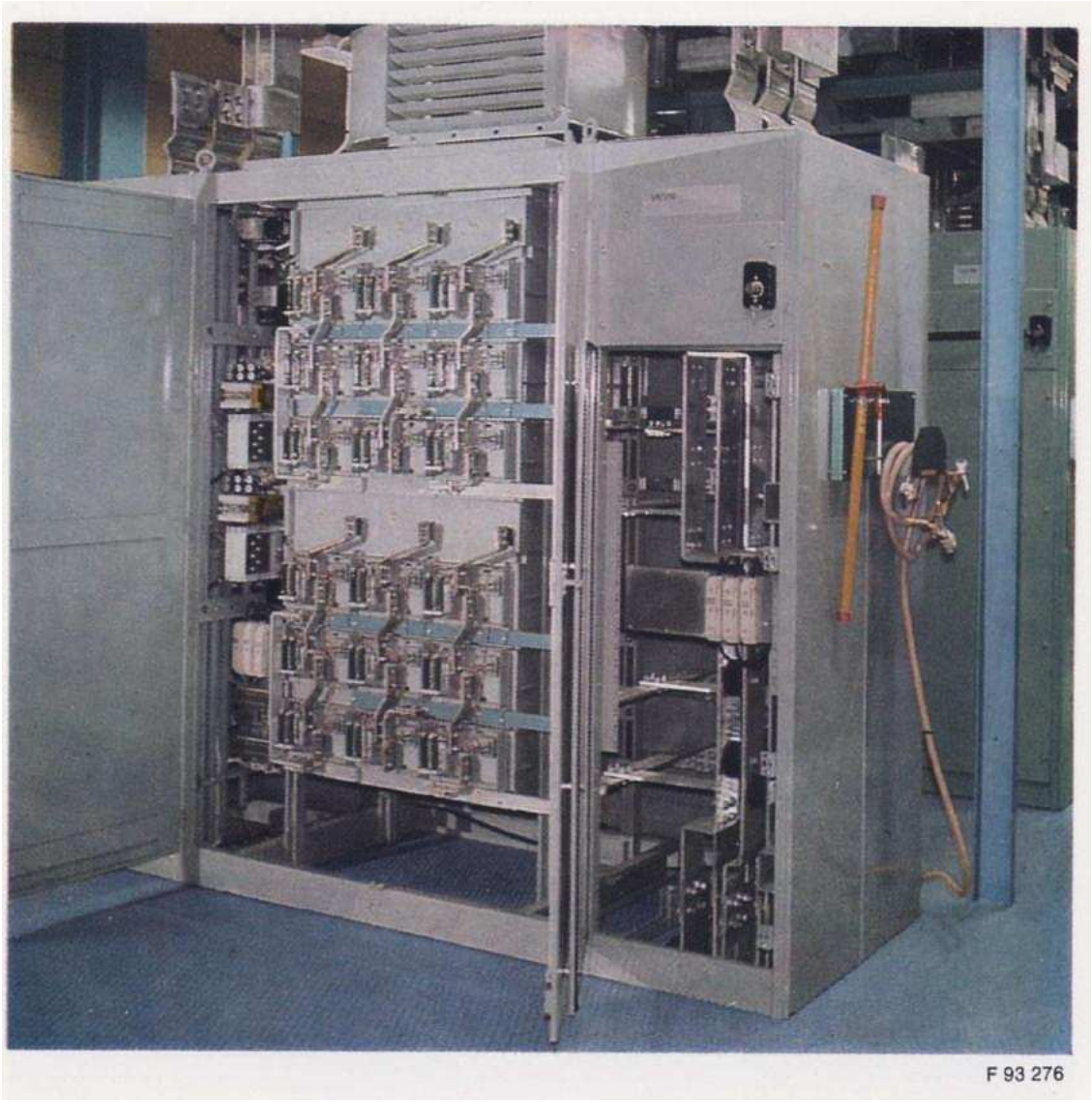
Tyristorventilen och styrsystemet



F 93 275

© ABB-

Ett tyristorskåp av 10 st öppen



© ABB- 42

Kondensatorstegen med tillhörande reaktor



© ABB- 43

Kondensatorstegen med tillhörande reaktor



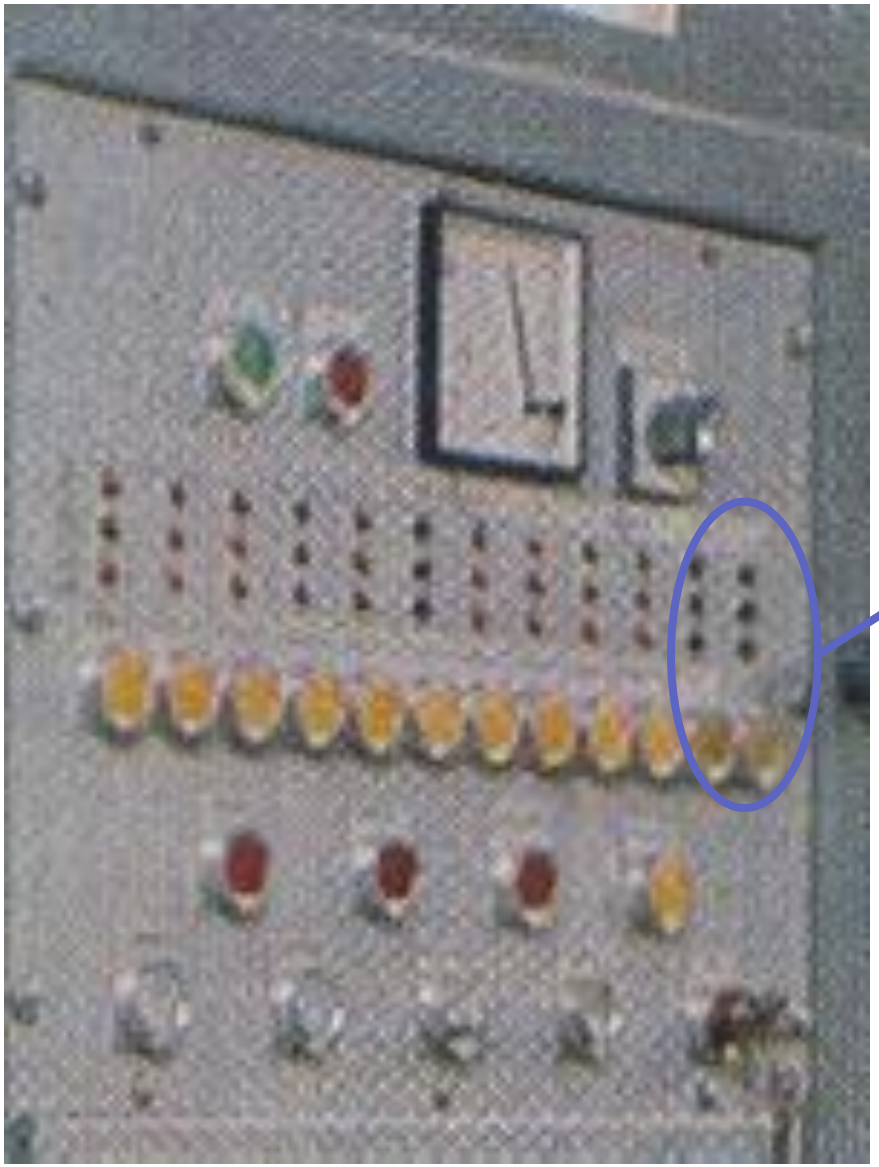
© ABB- 44

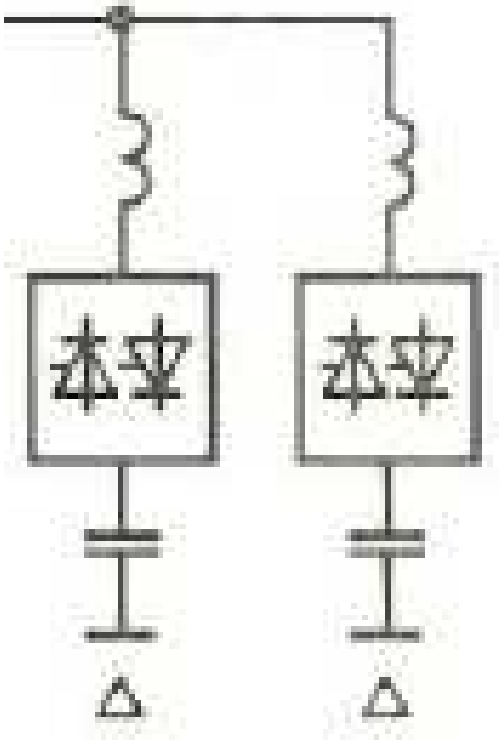
Styr-och kontrollskåp



© ABB- 45

Utökade med två tyristorkopplade steg 1988





2 x 3,5 Mvar

© ABB- 46


KT 2
Manöverskåp
ASEA

©

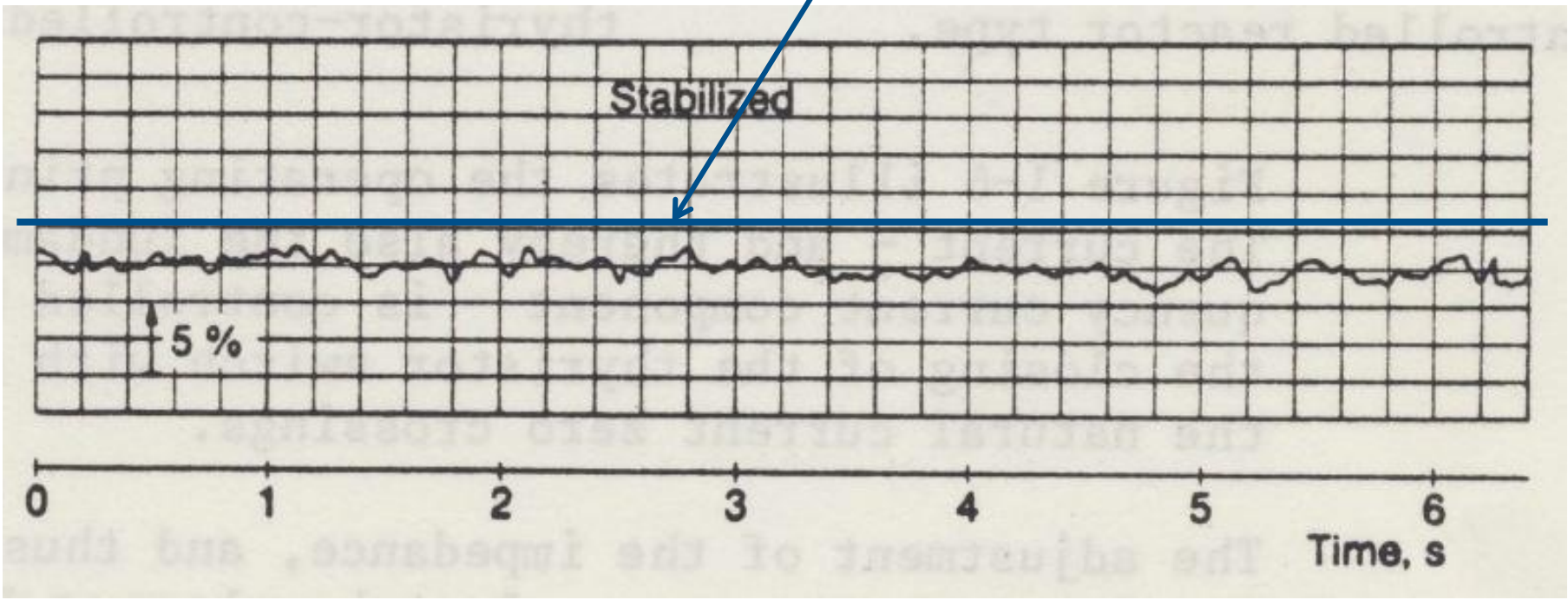
Produktionsvinst med TYCAP

	Fixed bank 6 Mvar	
	Without TYCAP	With TYCAP
U_0, kV	21.4	21.4
U_d, kV	18.2	20.1
P, MW	29	35.5
P.F.	0.73	0.99

	Without TYCAP		With TYCAP	
	Melt-down time min	Average power MW	Melt-down time min	Average power MW
Basket 1	56	24.4	49	28.0
Basket 2	34	26.4	30	30.0
Basket 3	28	27.6	23	33.6
Total baskets 1 to 3	118	25.7	102	29.8
'Gain'	–	–	16	4.1

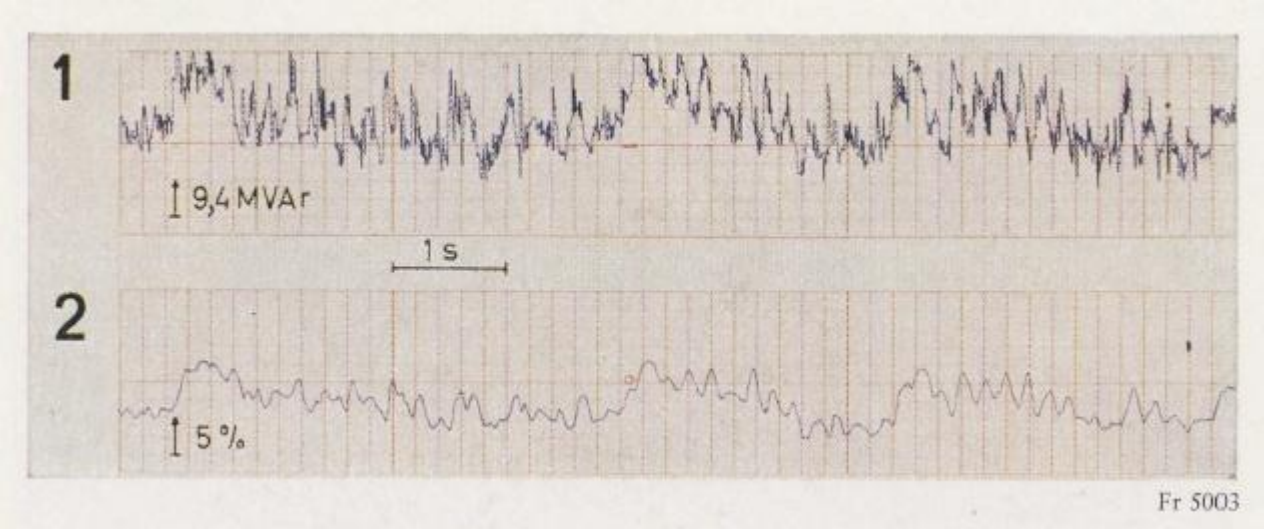
© ABB- 48

Tomgångsspänning



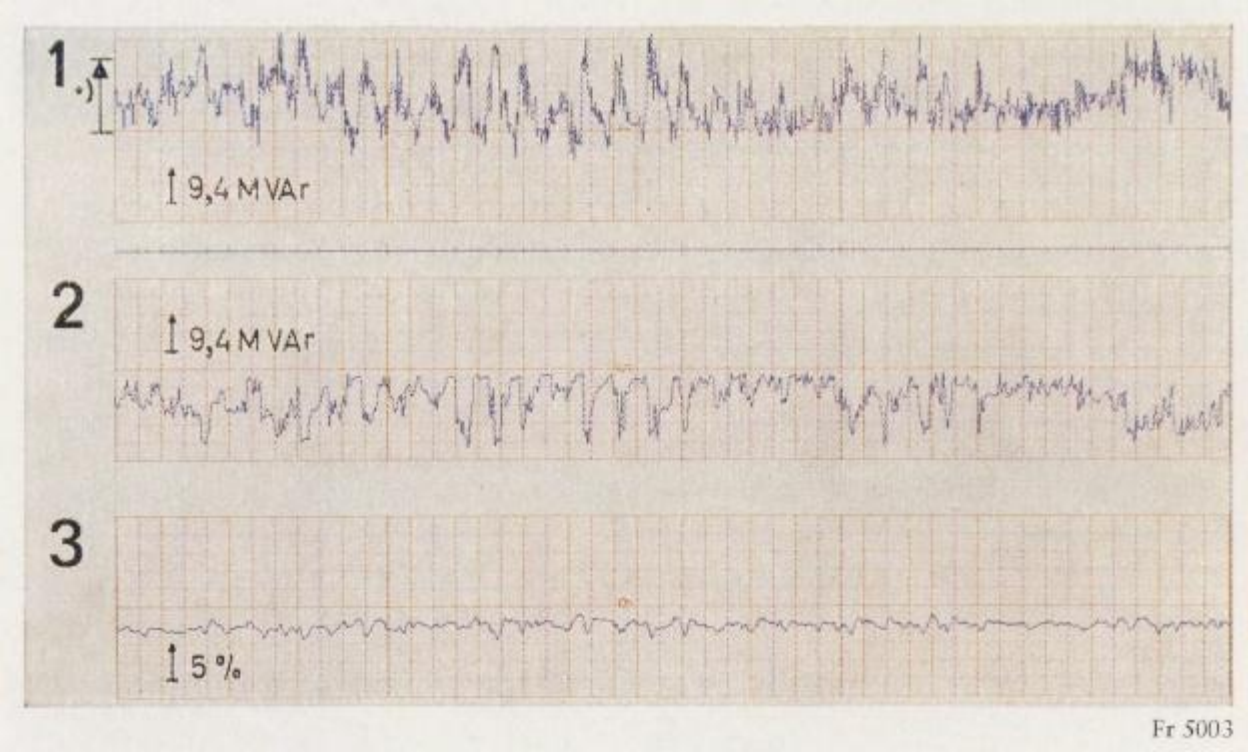
© ABB- 49

Registrering från Smedjebackens ljusbågsugn



1.Reaktiv effekt i ljusbågsugnen

2.Spänningsvariationen 20 kV

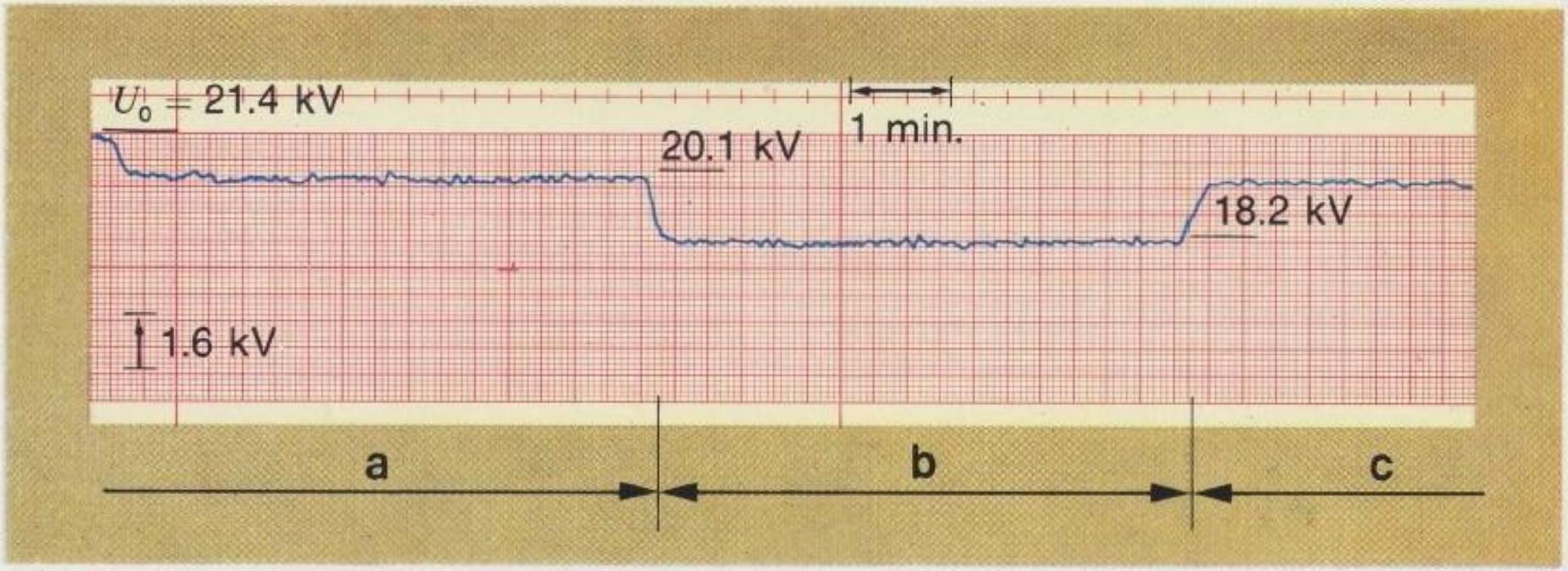


1.Reaktiv effekt i ljusbågsugnen

2.Reaktiv effektgenerering från TYCAP

3.Spänningsvariationen 20 kV

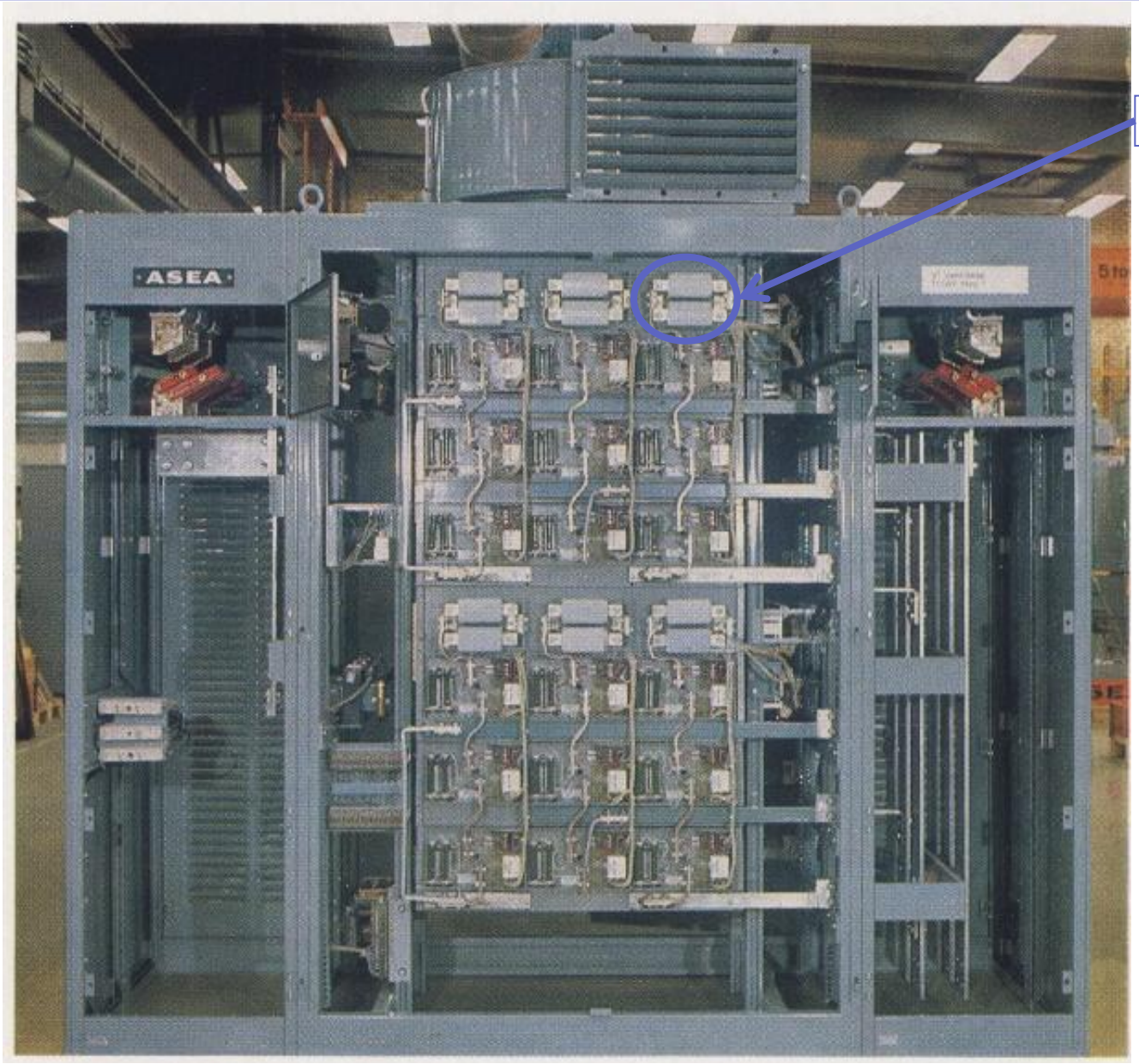
© ABB- 50



a, c TYCAP switched in, P=36 MW b TYCAP switched out, P=29 MW

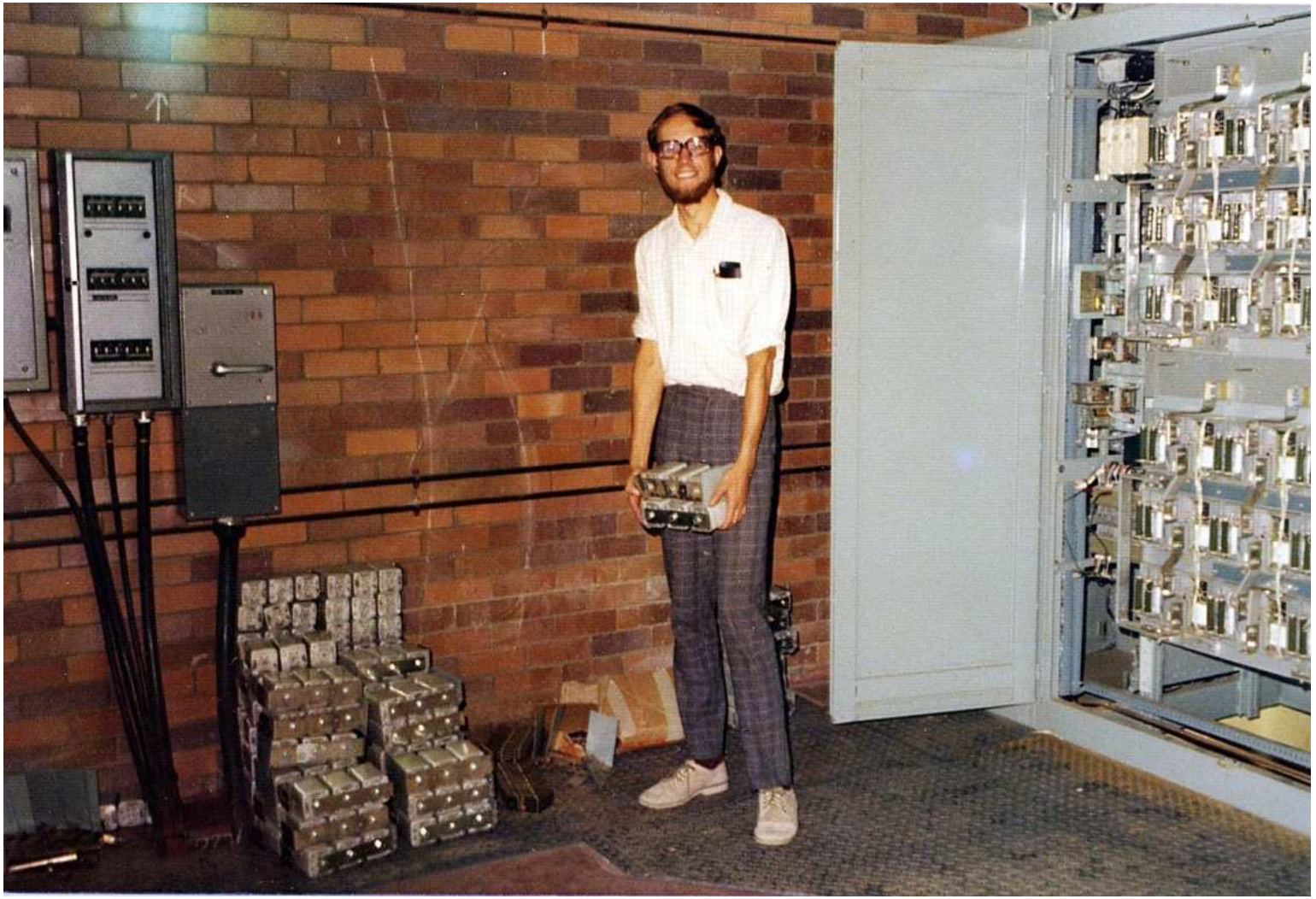
© ABB- 51

Tyristorventil 1,1 kV



© ABB- 52

Säkringshaveri – Säkringsexplosion



© ABB- 53

Busbar flashover protection



© ABB- 54

1980 NR är född



© ABB- 55



13 februari 1981

vi aseater

Ut i vida världen

Nya hårdsatsningar

Ut i vida världen — dammsug vartenda hörn på jordklotet för att få tag i nya kunder. Den målsättningen har spikats på NR, Avdelningen för reaktiv effektkompensering, där man nu efter omorganisationens genomförande är inne i en hård säljsatsning. Shunt- och seriekompensering utgör projekt som har stora marknader i alla delar av världen och ASEA är marknadsledande.

Harry Frank (bilden), NR, tar hela världen i sin famn och tillsammans med sina medarbetare siktar han på årliga omsättningshöjningar. Se vidare sidorna 2 och 3.

VD i Sydostasien

I början på året gjorde VD Percy Barnevik en resa i Sydostasien och besökte då tre av de fem Asean-länderna. Det blev en resa som gav upphov till en mängd kontakter med framstående representanter för näringslivet i Singapore, Thailand och Malaysia. Dessutom hann han med en rad kundbesök förutom företagsgenomgångar.

På sidorna 4 och 5 redogör VD för det aktuella ASEA-läget i denna del av världen, där marknaderna är lika intressanta som expansiva.

3

Starten på erövringen av hela världen med tyristorstyrda shuntkondensatorer

VD-kommentar

Kompensering av reaktiv effekt är en av våra "spjutspetsprodukter" inom kraftområdet.

Det är sällan man träffar på affärsområden där man själv i så hög grad kan skapa efterfrågan genom missionärsarbete både inom industri och gentemot kraftbolagen, framhåller Percy Barnevik.

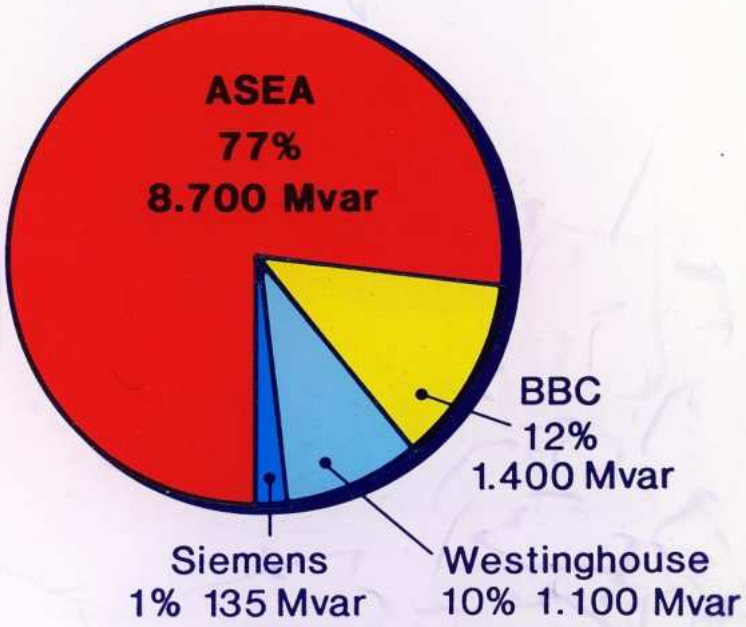
© ABB- 57

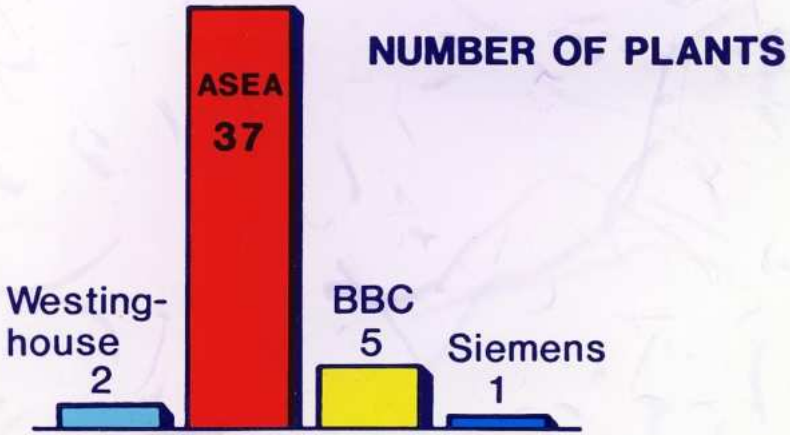
Smedjebackens tyristorkopplade kondensatorer banade vägen till att den tekniken accepterades även för kraftbolagen. 1978 kom den första hos AEP i USA. Redan 1982 var 800 kV inmutad hos Hydro Quebec!

© ABB- 58

1986

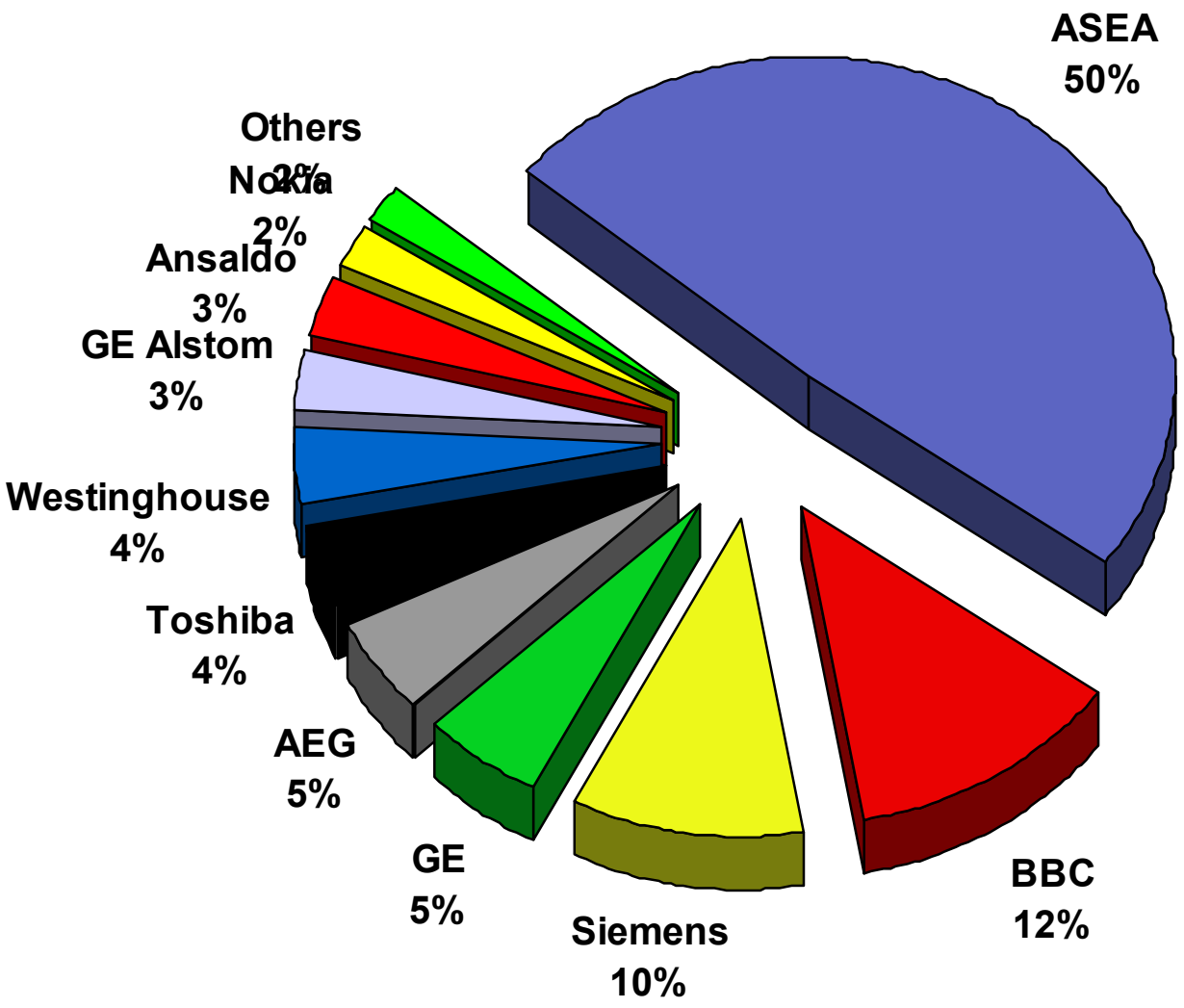
MARKET SHARES ON SVC : COMBINED TCR/TSC



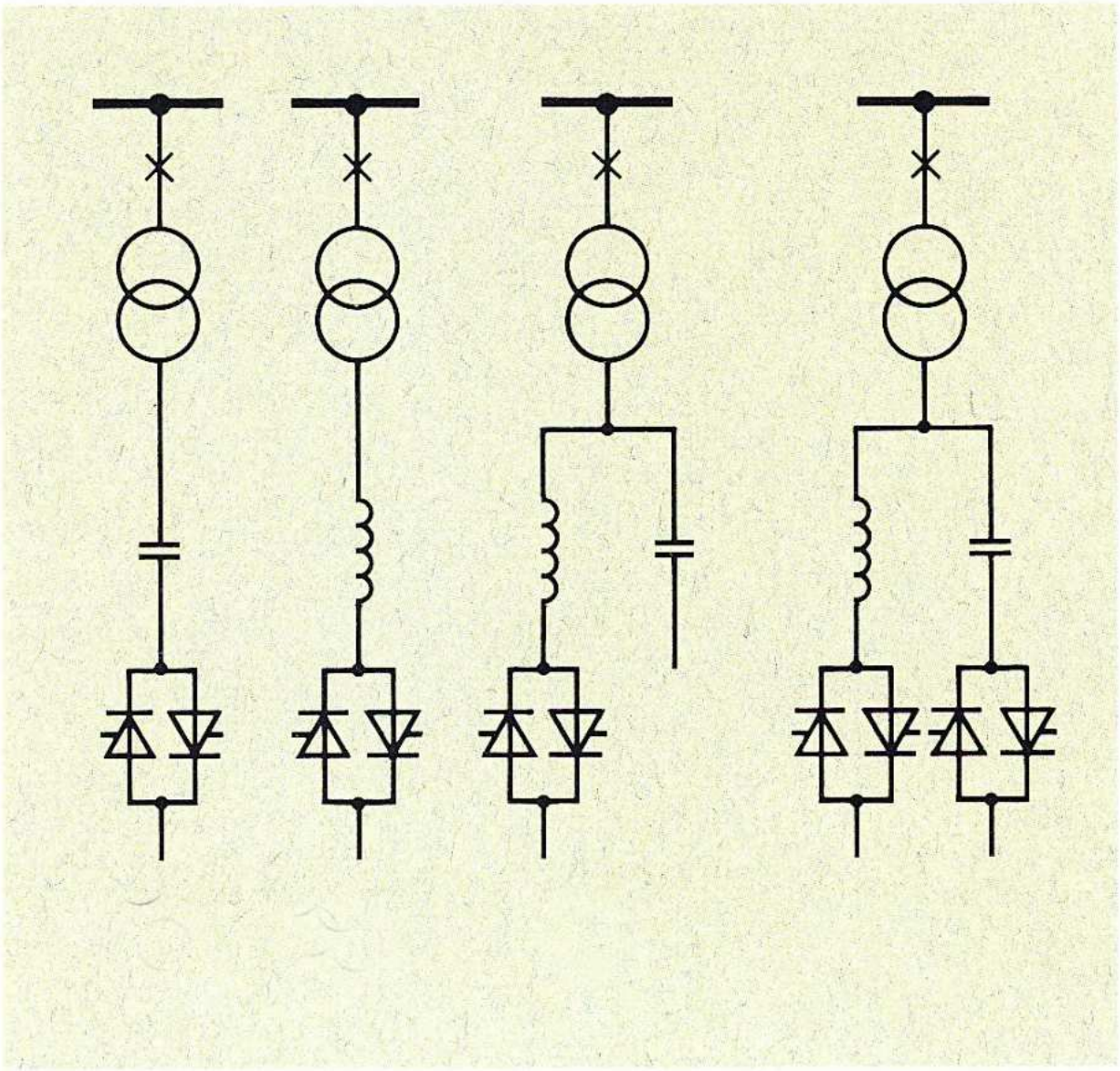


© ABB- 59

Market share SVC 1990



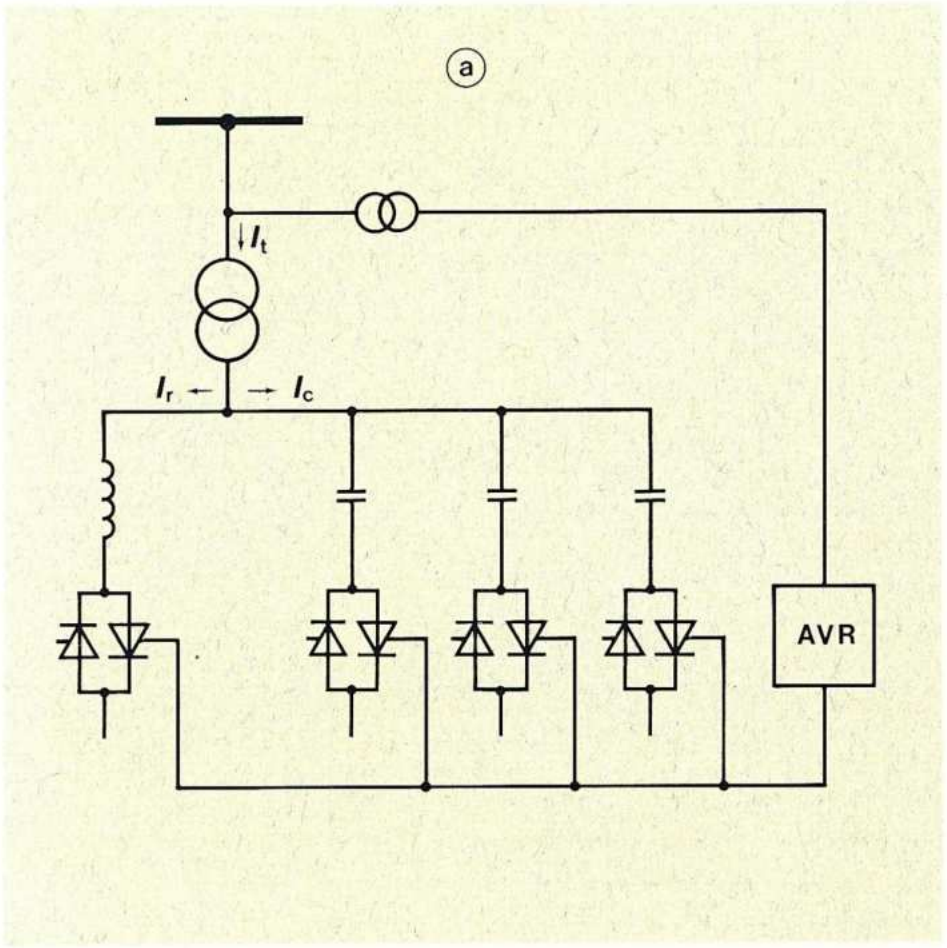
© ABB- 60

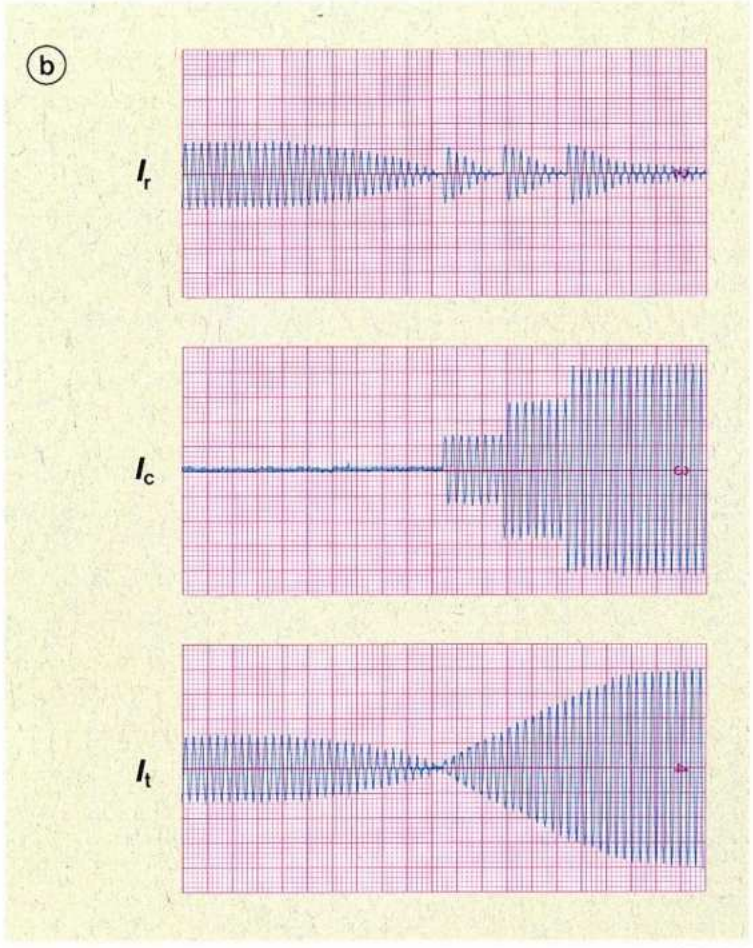


AT 5709

© ABB- 61

Kombination TSC/TCR

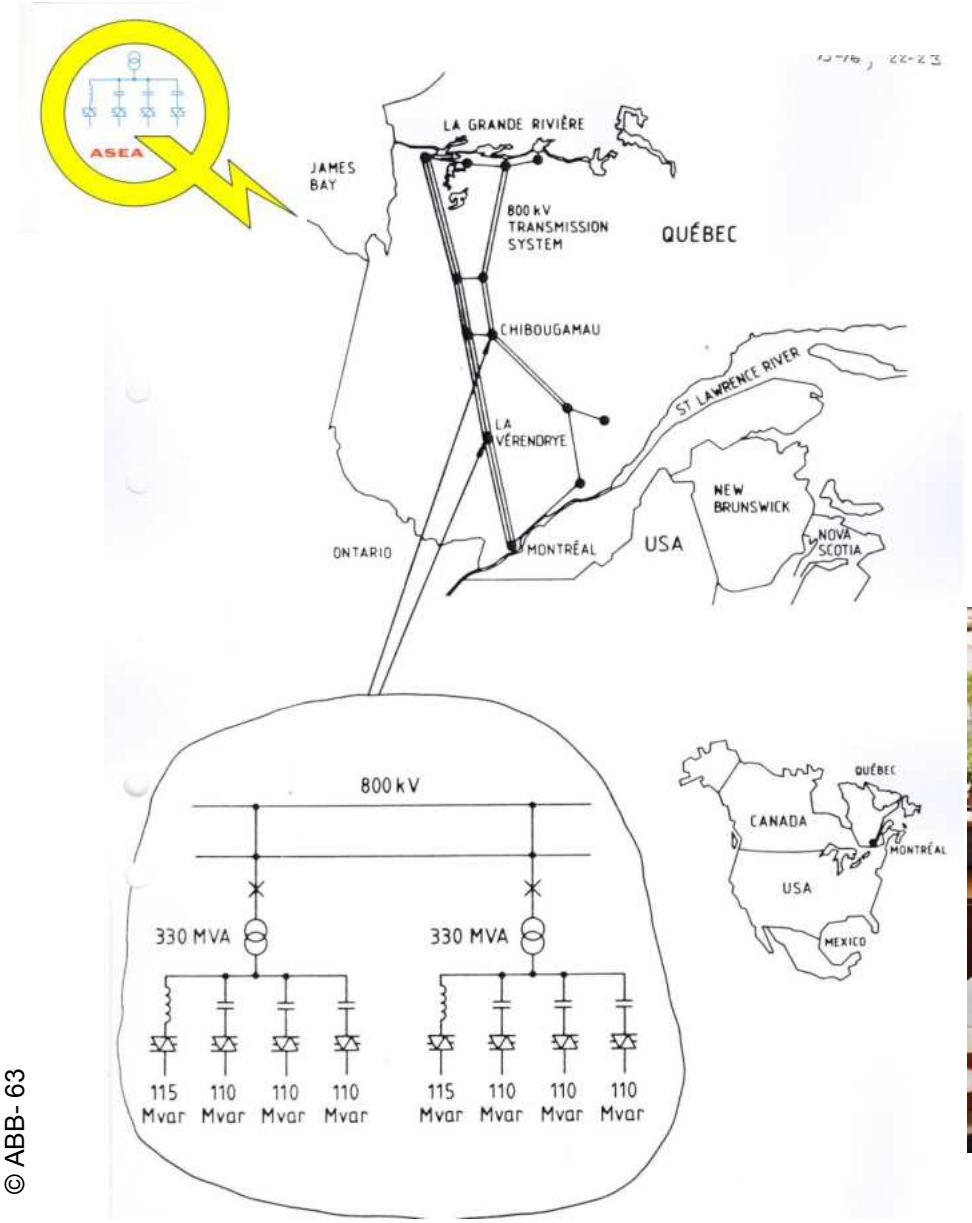




AT 5716

© ABB-

HQ – SVC -115/+330 Mvar each 1982







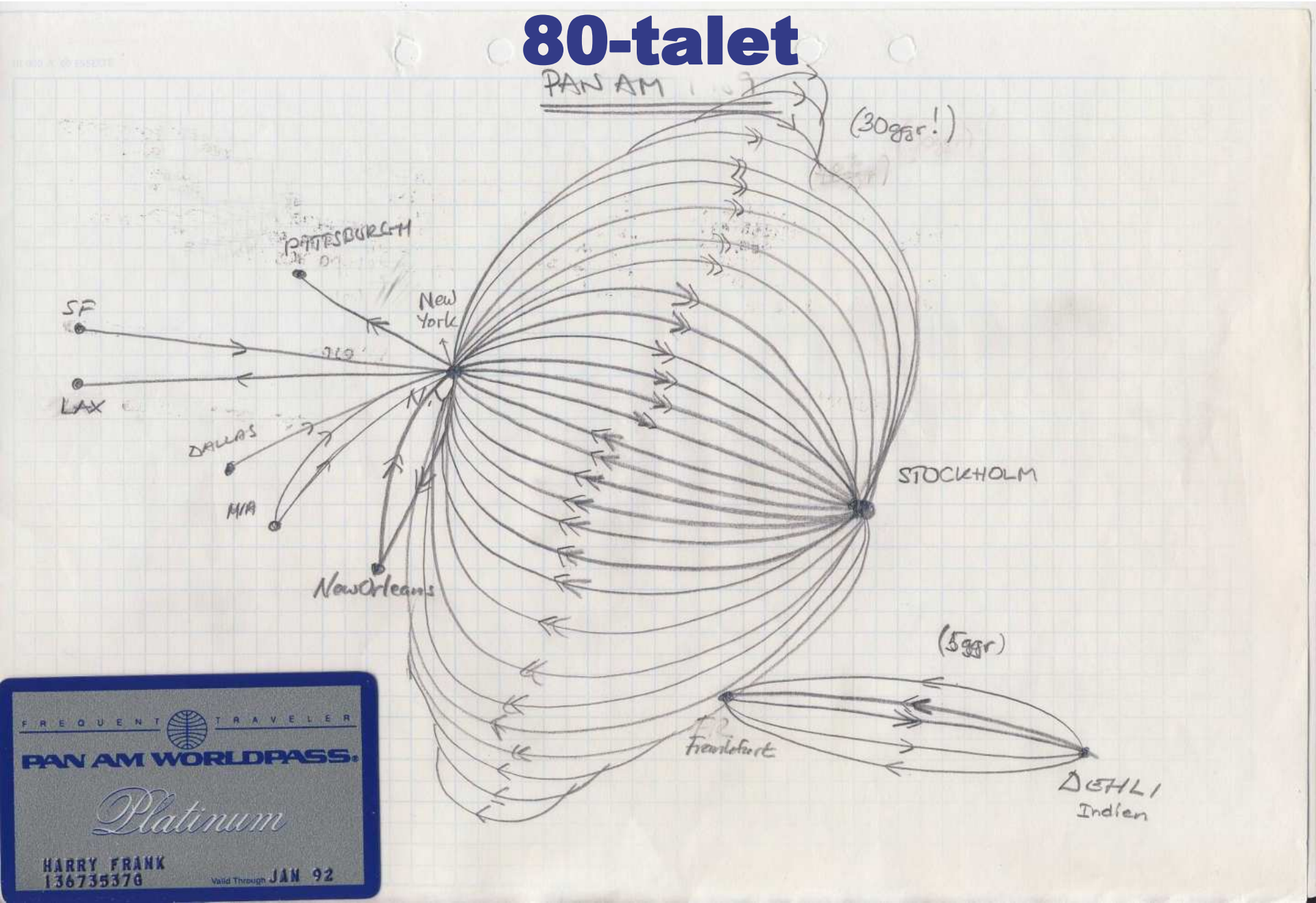
© ABB- 63

Juni 1981 Finnslätten – TSC/TCR Thyristor valves



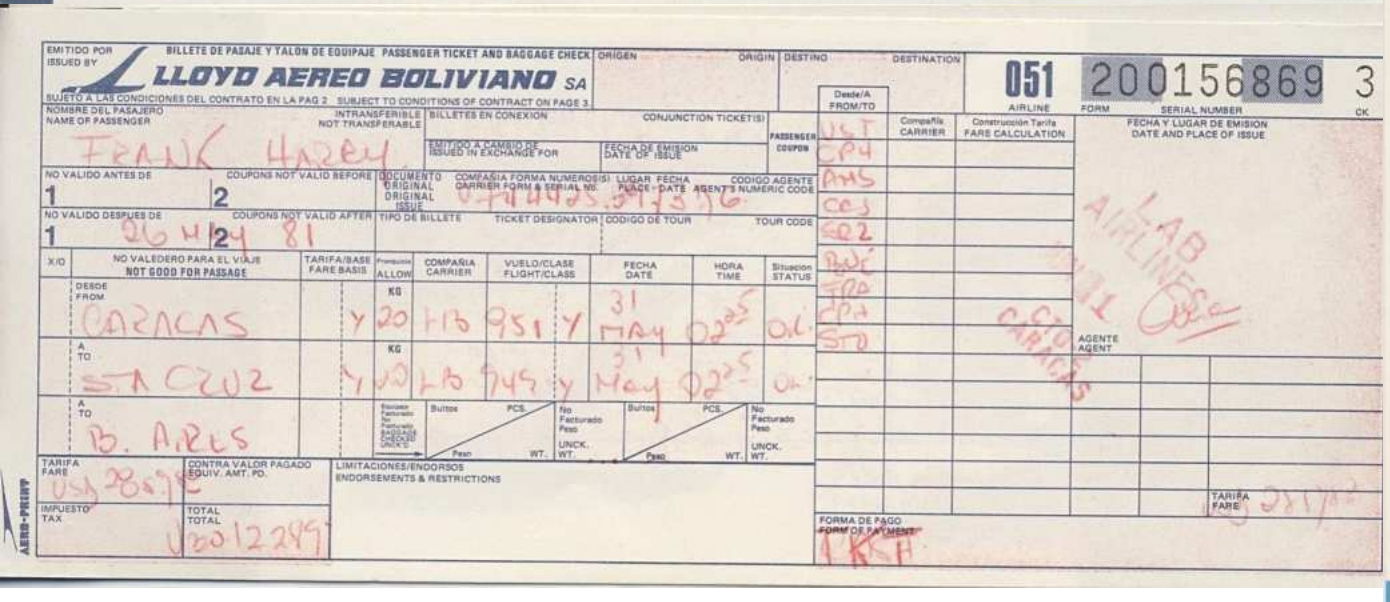
© ABB- 64

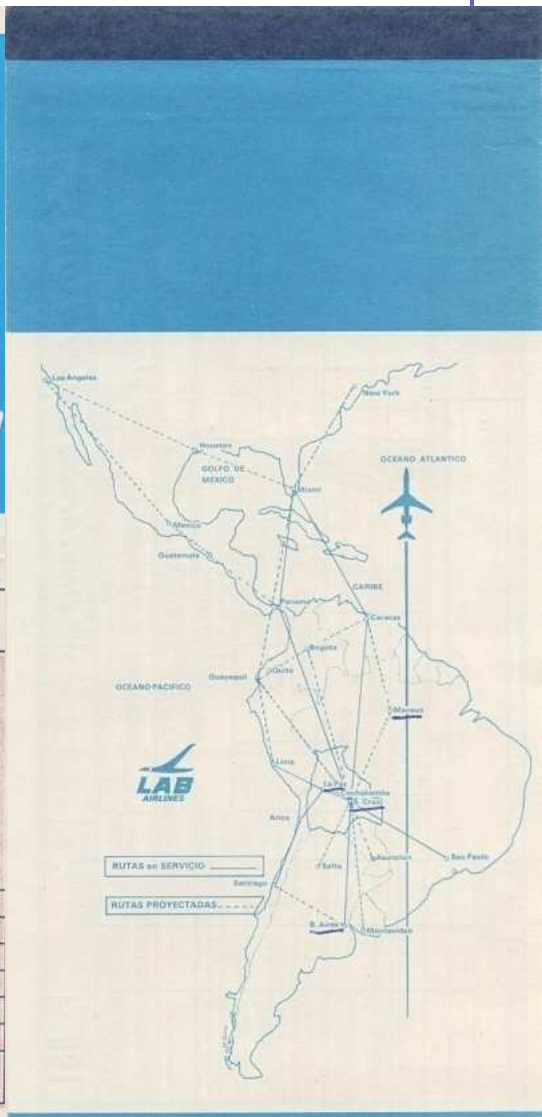
Mina tjänsteresor ett år 80-talet



LAB-Lloyd Aereo Boliviano 1981





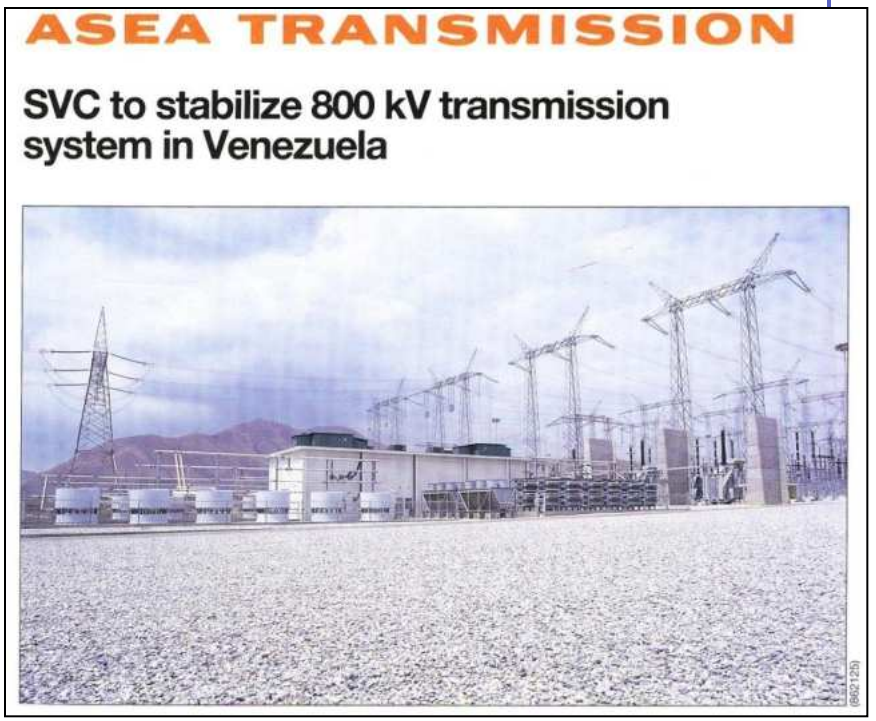


Two SVC 1981

SEK **1 $ = 4.50 SEK** **$**



SEGBA



EDELCA

© ABB- 67

TCS/TCR solution for NYPA

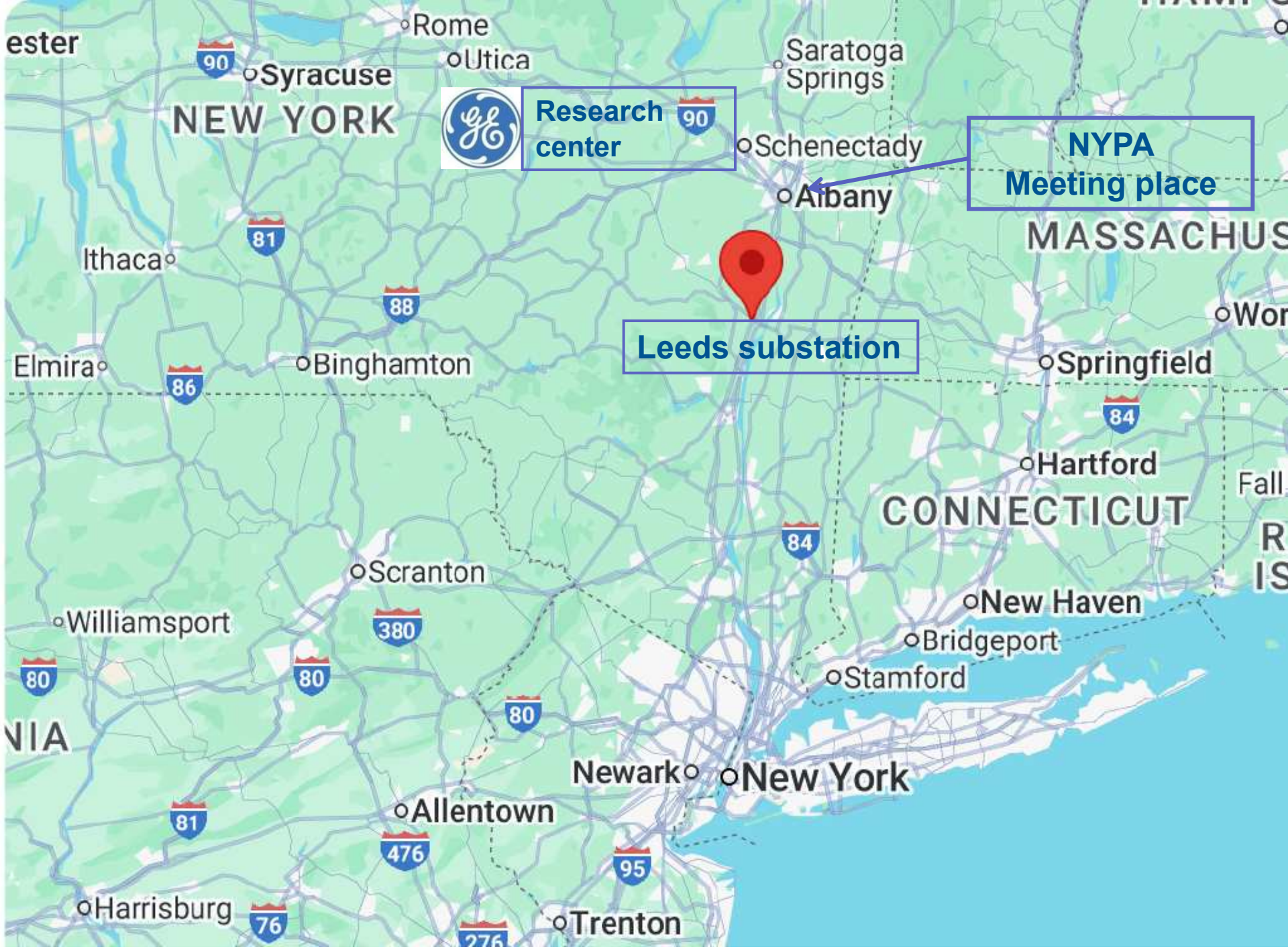
NYPA = New York Power Authority

Optimum solution cost-losses based on the spec for

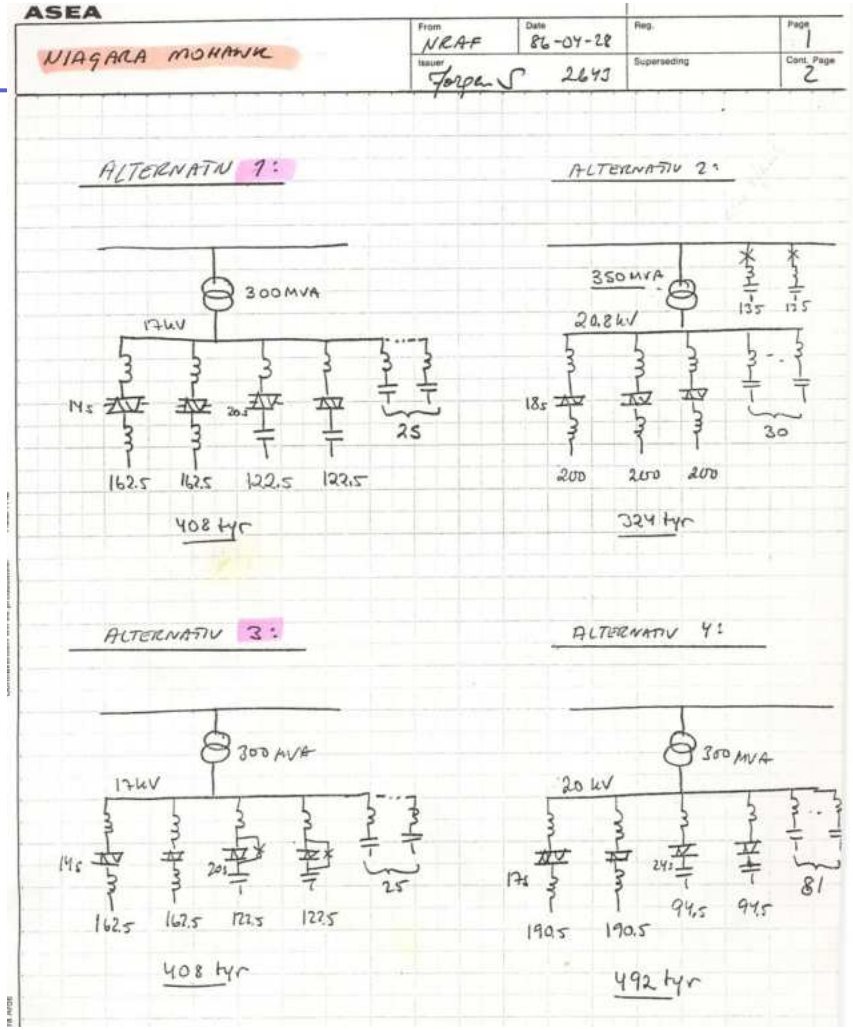
Niagara Mohawk USA

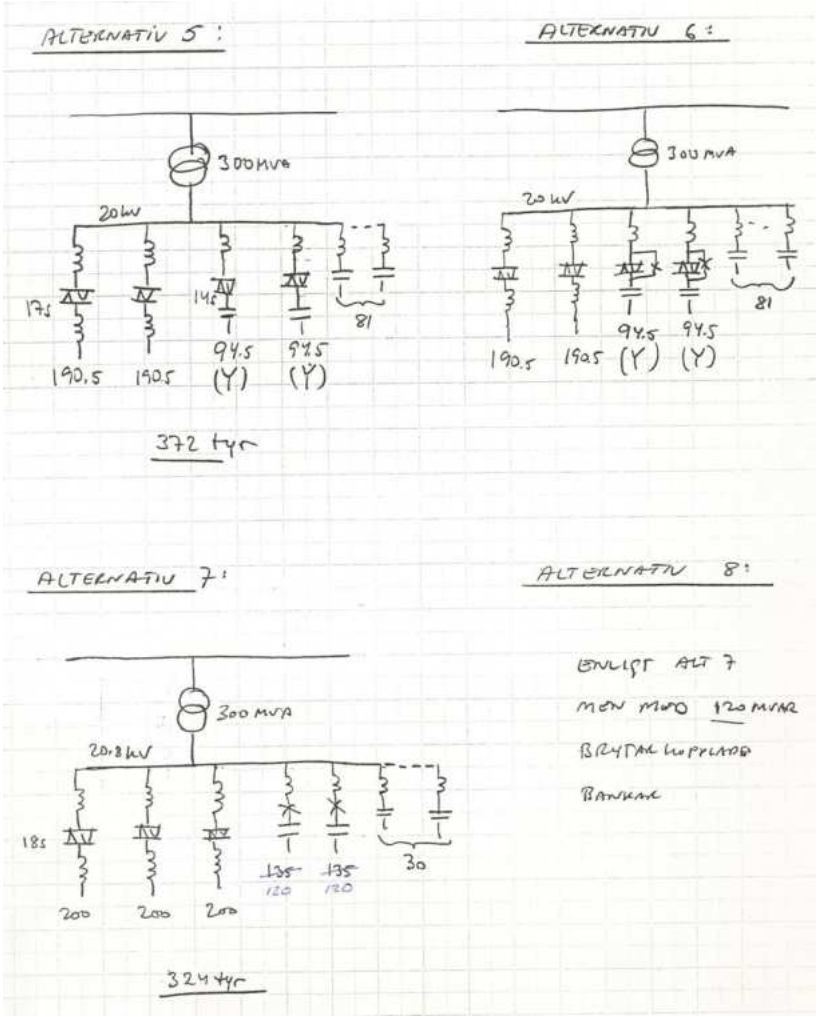
Leeds substation

© ABB- 68


Research center
NYPA
Meeting place
Leeds substation
Rome
Utica
Syracuse
NEW YORK
Saratoga Springs
Schenectady
Albany
MASSACHUS
Ithaca
Elmira
Binghamton
Springfield
Hartford
CONNECTICUT
Scranton
Williamsport
New Haven
Bridgeport
Stamford
Newark
New York
Allentown
Harrisburg
Trenton
90
81
88
86
84
380
80
476
95
76
276

Optimering av Leeds substation 1986

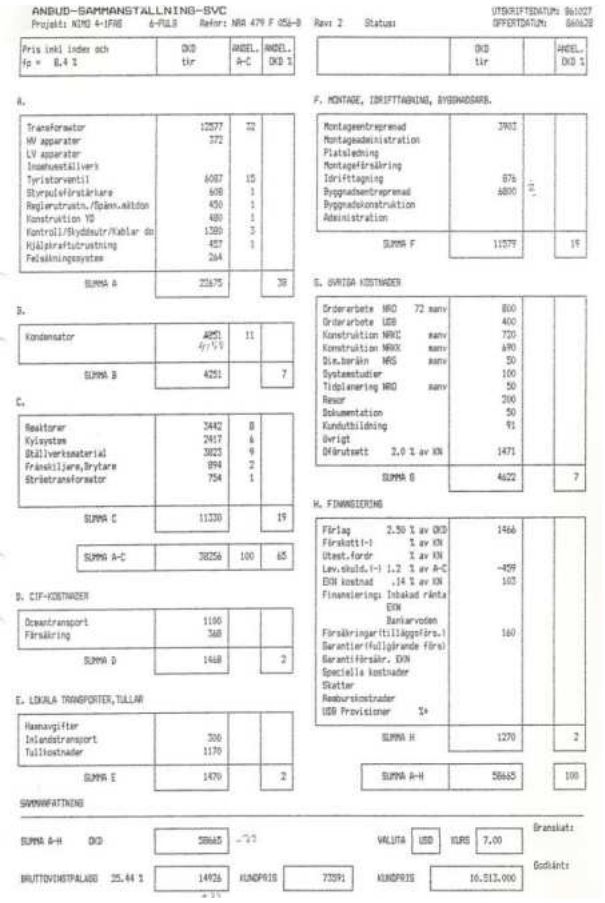




© ABB- 70

Niagara Mohawk USA (NIMO)

-300/+270 Mvar



ANBUD-SAMMANSTÄLLNING-SVC

Projekt: NIMO 4-1FAS 6-PULS Refnr: NRA 479 F 056-0 Rev: 2 Status:

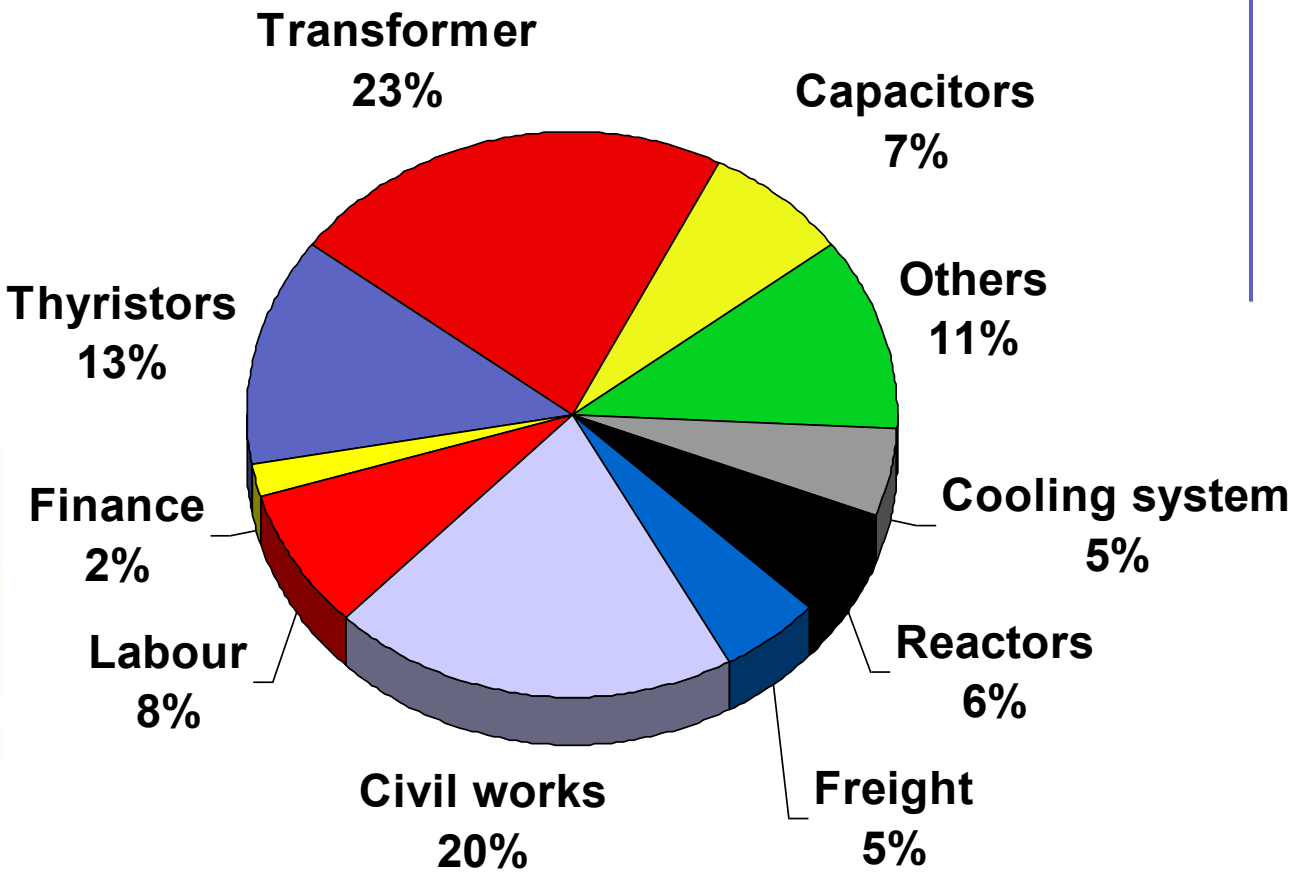
UTSKRIFTSDATUM: 861027
OFFERTDATUM: 860628

Pris inkl index och fp = 8.4 %	OKD tkr	ANDEL. A-C	ANDEL. OKD %
A.			
Transformator	12577	32	
HV apparater	372		
LV apparater			
Inomhusställverk			
Tyristorventil	6087	15	
Styrpulsförstärkare	608	1	
Reglerutrustn./Spänn.mätdon	450	1	
Konstruktion YD	480	1	
Kontroll/Skyddsutr/Kablar do	1380	3	
Hjälpkraftutrustning	457	1	
Felsäkningssystem	264		
SUMMA A	22675		38
B.			
Kondensator	4851	11	
SUMMA B	4251		7
C.			
Reaktorer	3442	8	
Kylsystem	2417	6	
Ställverksmaterial	3823	9	
Fränskiljare,Brytare	894	2	
Strömtransformator	754	1	
SUMMA C	11330		19
SUMMA A-C	38256	100	65
D. CIF-KOSTNADER			
Oceantransport	1100		
Försäkring	368		
SUMMA D	1468		2
E. LOKALA TRANSPORTER,TULLAR			
Hamnavgifter			
Inlandstransport	300		
Tullkostnader	1170		
SUMMA E	1470		2

	OKD tkr		ANDEL. OKD %
F. MONTAGE, IDRIFTTAGNING, BYGGNADSARB.			
Montageentreprenad	3903		
Montageadministration			
Platsledning			
Montageförsäkring			
Idrifttagning	876		
Byggnadsentreprenad	6800		
Byggnadskonstruktion			
Administration			
SUMMA F	11579		19
G. ÖVRIGA KOSTNADER			
Orderarbete NRO 72 manv	800		
Orderarbete USB	400		
Konstruktion NRKC manv	720		
Konstruktion NRKK manv	690		
Dim.beräkn NRS manv	50		
Systemstudier	100		
Tidplanering NRO manv	50		
Resor	200		
Dokumentation	50		
Kundutbildning	91		
Övrigt			
Oförutsett 2.0 % av KN	1471		
SUMMA G	4622		7
H. FINANSIERING			
Förlag 2.50 % av OKD	1466		
Förskott(-) % av KN			
Utest.fordr % av KN			
Lev.skuld.(-) 1.2 % av A-C	-459		
EKN kostnad .14 % av KN	103		
Finansiering: Inbakad ränta			
EKN			
Bankarvoden			
Försäkringar(tilläggsförs.)	160		
Garantier(fullgörande förs)			
Garantiförsäkr. EKN			
Speciella kostnader			
Skatter			
Reaburskostnader			
USB Provisioner %			
SUMMA H	1270		2
SUMMA A-H	58665		100

SAMMANFATTNING

SUMMA A-H OKD	58665			VALUTA USD	KURS 7.00	Granskat:
BRUTTOVINSTPÅLAGG 25.44 %	14926	KUNDPRIS	73591	KUNDPRIS	16.513.000	Godkänt:

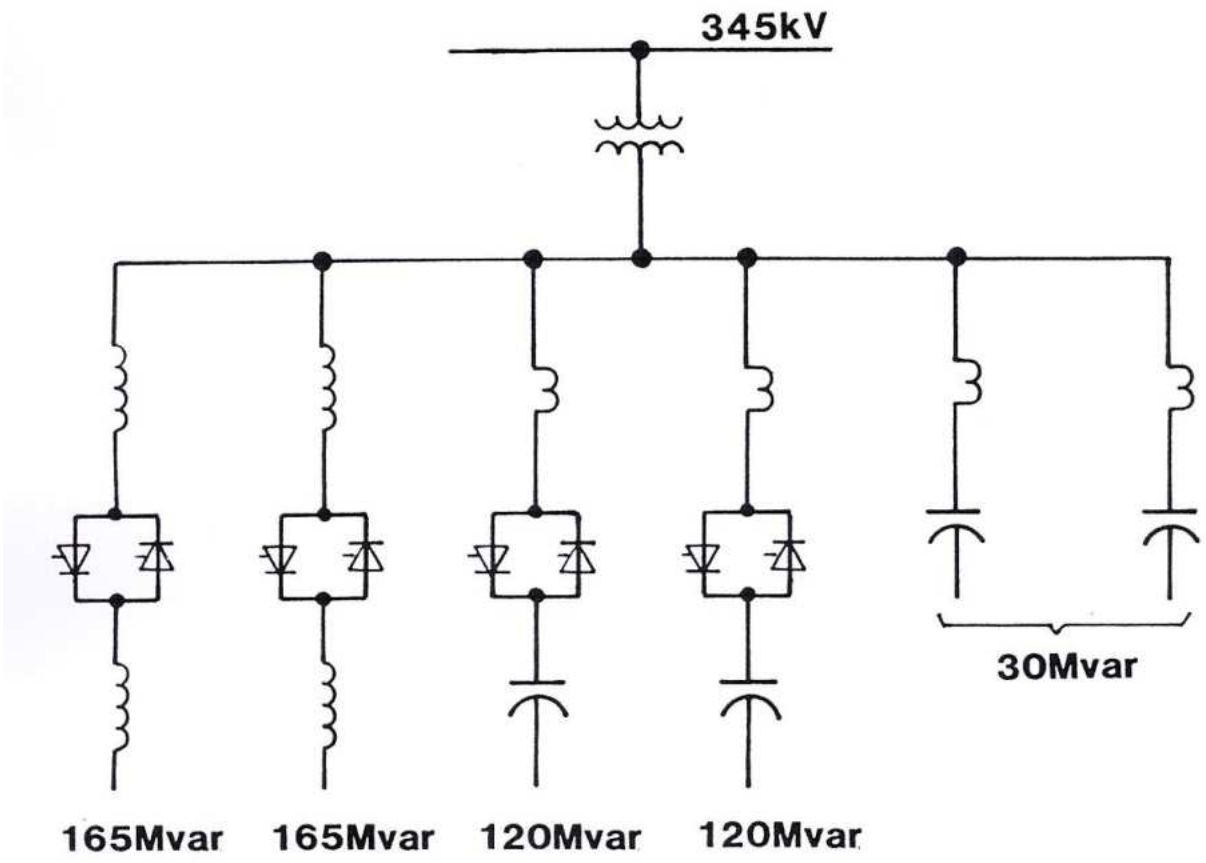


© ABB- 71

NIAGARA MOHAWK POWER CORP.

LEEDS S/S , N.Y.

345kV , -300/+270Mvar SVC



© ABB- 72

HITACHI

Hitachi Energy

A static var compensator (SVC) rated at 300 Mvar inductive to 270 Mvar capacitive supplied by Hitachi Energy was commissioned in 1988 in the Leeds 345 kV substation of Niagara Mohawk Power Company near Catskill, N.Y. The compensator, which was installed on a turn-key basis, performs the dual task of providing dynamic voltage control as well as power oscillation damping for a double circuit 345 kV transmission system stretching some 300 kilometers (185 miles) from the Marcy substation near Utica, N.Y. to East Fishkill, where power is fed into Con Edison's New York City cable network. With this investment, the power transfer capability from the north into the New York area has been boosted bv a considerable amount.



© ABB- 73

Firande 50 % marknadsandel



© ABB- 74

NR – människorna i Västerås



© ABB- 75

Hur få personer kunde få så mycket gjort

NR 1986

AVDELNINGEN FÖR REAKTIV EFFEKTKOMPENSERING OCH FREKVENSOMRIKTARE NR
Reactive Power Compensation Department
2843 Frank, Harry
4776 Asplund, Lillebil

Ekonomi NRE
1932 Strandberg, Thomas
3062 Hjort, Anders

Försäljningsbyrån NRA
6272 Carlstedt, Roger
4943 Barkström, Siv

Marknadsutveckling NRAA
6272 Carlstedt, Roger
1236 Grünbaum, Rolf
2238 Paneda, Isidro
1918 Åberg, Lars

Försäljning NRAF
1883 Lundmark, Tord
4943 Barkström, Siv
5785 Jönsson, Jörgen
2211 Kollberg, Sten
3556 Nilsson, Leif
4193 Silva, Antonio Carmo
2298 Storsten, Mats
2643 Svensson, Jörgen
5854 Åberg, Ulf
5038 Elev

Konstruktionskontoret NRK
5566 Dafgård, Anders
4776 Asplund, Lillebil (NR)

Kontrollutrustningar för filter, industri och kraft NRKC
3662 Nilsson, Sven-Olof
4548 Högbom, Katrin
3529 Johansson, Tony
2433 Järvi, Paula
4548 Levrinus, Kjell
4138 Myrberg, Monika
5411 Persson, Anders
3529 Vlasak, Jitka
5411 Elev
2433 Konsult
4138 Konsult

Kontrollutr. för serie- och stora kraftkompensatorer samt frekvensomriktare NRKD
5349 Karlsson, Jan
3512 Antonsson, Per
2243 Berens, Anna
2243 Erixon, Mats
5634 Lundgren, Thomas
5517 Stannerfjord, Jan
5349 Åkesson, Ingrid
5634 Öhlund, Peter
3512 Konsult
1312 Konsult

Elektromekanisk konstruktion NRKK
1387 Wilander, Magnus
4821 Bergström, Tommy
5103 Brunman, Kenneth
5103 Ekström, Katarina
4821 Fahlén, Magnus
4346 Forslund, Gunnar
6249 Hagelin, Rolf
2908 Ingvarsson, Carl-Gustav
4346 Johansson, Siv
2064 Karlsson, Jan
1160 Leander, Jan
3383 Massaro, Clemente
2908 Németh, Eva
3383 Nylén, Margareta

Orderbyrån NRO
5094 Engberg, Kaj
2663 Lagerholm, Mia

6251 Beitlich, Sonja
1317 Nilsson, Birgitta

Inköp
1192 Andersson, Sven-Olof
3233 Hagman, Wilhelm
2647 Carlsson, Gunilla

Planering
2519 Lindholm, Börje
2812 Sund, George

Montage
2613 Ullhed, Lennart

Övriga länder
2792 Fahlberg, Arne
1459 Hermansson, Lars
2104 Lindwall, Bengt
5513 Pettersson, Eva-Lena

Sektionen för ASEAN, Australien NROA
5972 Sjöholm, Håkan
4003 Calderon, Carlos
2215 Johansson, Inger
1664 Larsen, Jörgen
2248 Larsson, Lars-Olof
5104 Nicklasson, Kenneth
5543 Rosell, Örjan
1172 Westerfors, Anders

Sektionen för Europa NROE
5377 Wilk-Wilczynski, Aleksander
3322 Brattvik, Sune
4625 Leisdal, Bertil
1559 Polfjärd, Sven-Åke

Kvalitetssäkring- idrifttagning NRQ
1111 Zinck-Petersen, Jörgen
2311 Löfstrand, Annica

Kvalitetssäkring
5045 Malmlöf, Rolf

Teknisk konsultation
2980 Creutzer, Bengt
2380 Jonsson, Sören

Idrifttagning
2380 Johansson, Bo
2380 Alerman, Henrik
2380 Kolmodin, Hans
2380 Nilsson, Bengt-Rune
2380 Hemmavarande idrifttagare

Experimentlab
2706 Löfgren, Bengt

Systemteknik NRS
5951 Chamia, Michel
Vakant

Systemfrågor
Teknisk konsultation
1524 Petersson, Tore

2153 Edris, Abdel-Aty
1876 Thorvaldsson, Björn

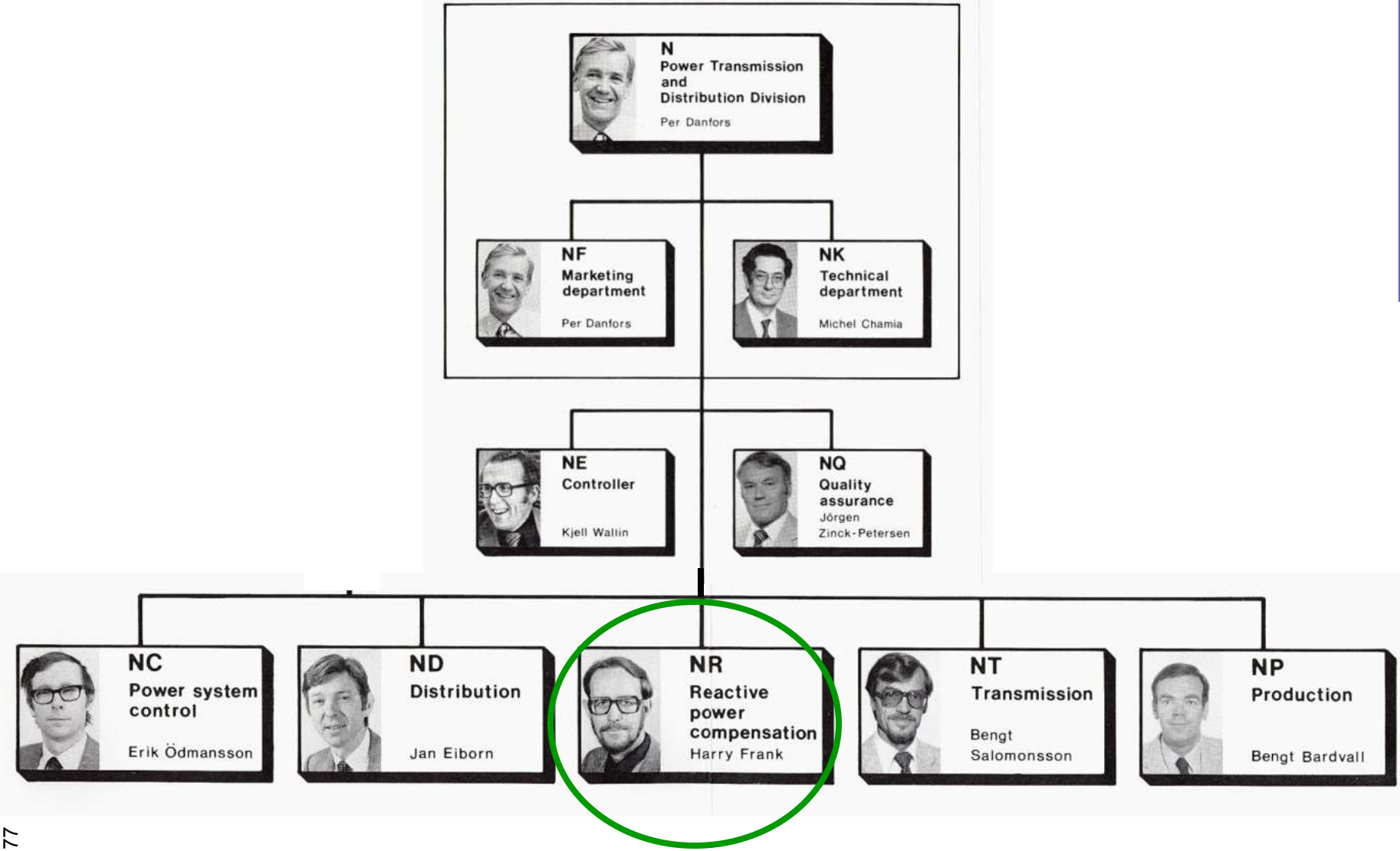
Shuntkompensering
4538 Klerfors, Bertil
4254 Bergström, Mikael
5363 Elvin, Sten
4634 Pettersson, Åke

Seriekompensering
5649 Lindberg, Per
5485 Samuelsson, Jan

Utveckling
5366 Paulsson, Lars
4538 Klerfors, Bertil

© ABB- 76

N – divisionen tidigt 1980



© ABB- 77

Celebration orders

POW

Februari 90

för oss på ABB Power Systems

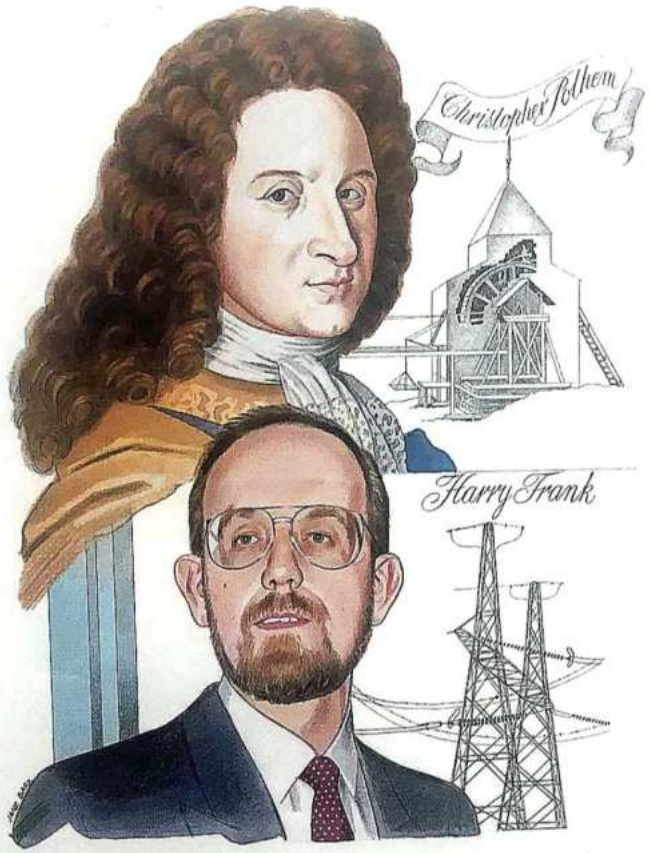
R-divisionens försäljningsavdelning, RAF, lämnar över beställningar värda 1,1 miljarder till projektavdelningen.



RAF stående fr v: Ulf Åberg, Mikael Eklund, Roger Carlstedt, RA, Jörgen Jönsson, Leif Nilsson och Kaj Engberg, RO. Framför dem fr v: Antonio Silva, Siv Barkström och Jörgen Svensson.

© ABB- 78

Annons i dagstidningar 1991



Männen som gick mot strömmen.

Christopher Polhem var nytänkaren som med sina egensinniga uppfinningar lade grunden till svensk ingenjörskonst redan på sextonhundratalet.

Till hans minne delas sedan 1878 Polhemspriset ut till ingenjörer som verkar i Polhems anda. Bland tidigare pristagare märks namn som Baltzar von Platen, Carl Munters och Hannes Alfvén.

I år ger Civilingenjörsförbundet priset till Harry Frank, verksam inom ABB, för hans metod att stabilisera överföringen av elenergi från kraftverk till konsument och samtidigt göra det möjligt att bättre utnyttja befintliga elsystem.

Han har envetet, i över tjugo år, utvecklat tekniken med tyristorstyrda shuntkompensatorer.

Konkurrenterna valde andra vägar, men Harry Frank gick mot strömmen och idag är hans lönsamma och resursbesparande metod accepterad över hela världen.

Vill du veta mer om ABB är du välkommen att ringa vår informationsavdelning, telefon 021-32 50 00.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

Christopher Polhem var nytänkaren som med sina egensinniga uppfinningar lade grunden till svensk ingenjörskonst redan på sextonhundratalet.

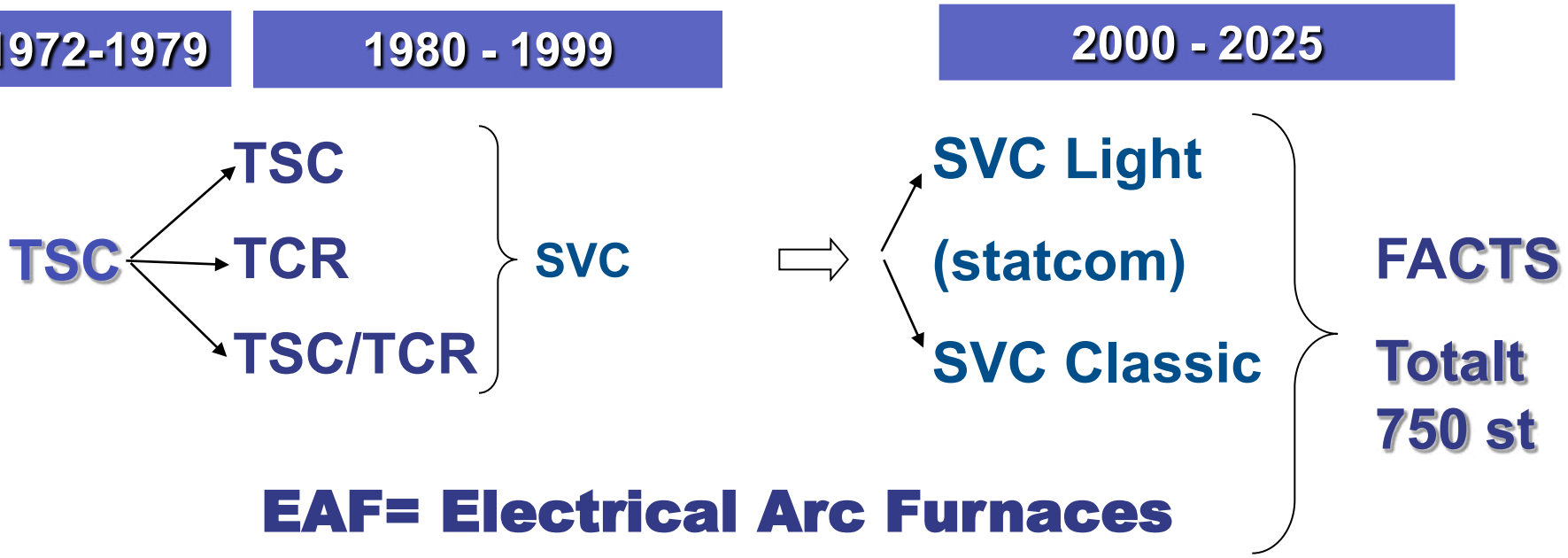
Till hans minne delas sedan 1878 Polhemspriset ut till ingenjörer som verkar i Polhems anda. Bland tidigare pristagare märks namn som Baltzar von Platen, Carl Munters och Hannes Alfvén.

I år ger Civilingenjörsförbundet priset till Harry Frank, verksam inom ABB, för hans metod att stabilisera överföringen av elenergi från kraftverk till konsument och samtidigt göra det möjligt att bättre utnyttja befintliga elsystem.

Han har envetet, i över tjugo år, utvecklat tekniken med tyristorstyrda shuntkompensatorer.

Konkurrenterna valde andra vägar, men Harry Frank gick mot strömmen och idag är hans lönsamma och resursbesparande metod accepterad över hela världen.

FACTS family tree



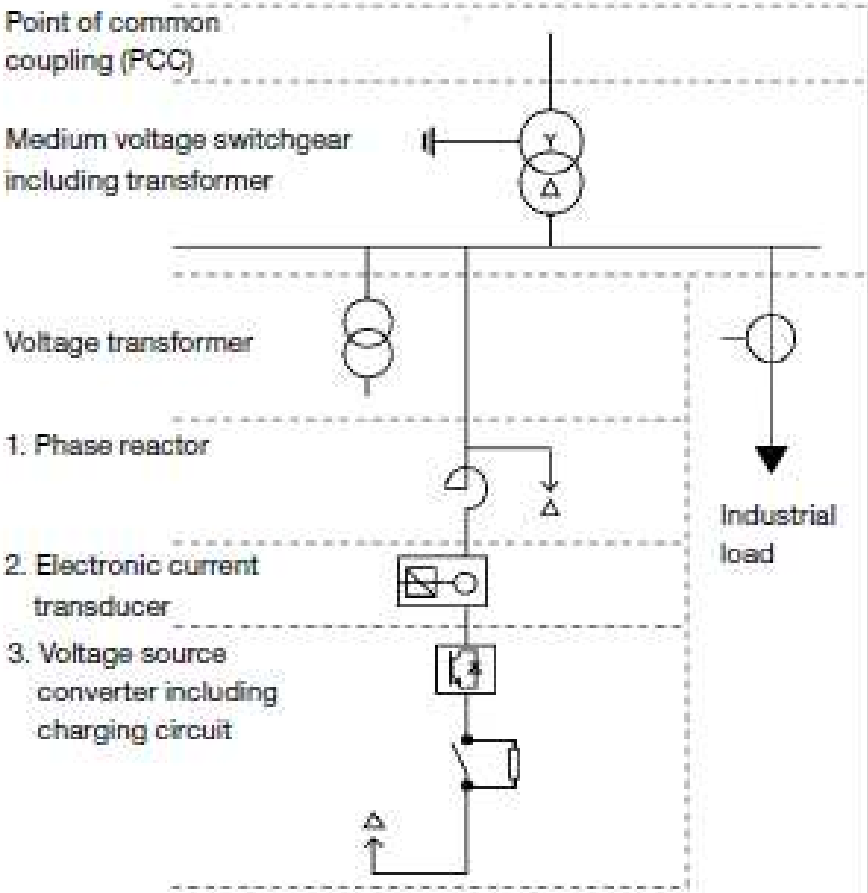
EAF= Electrical Arc Furnaces

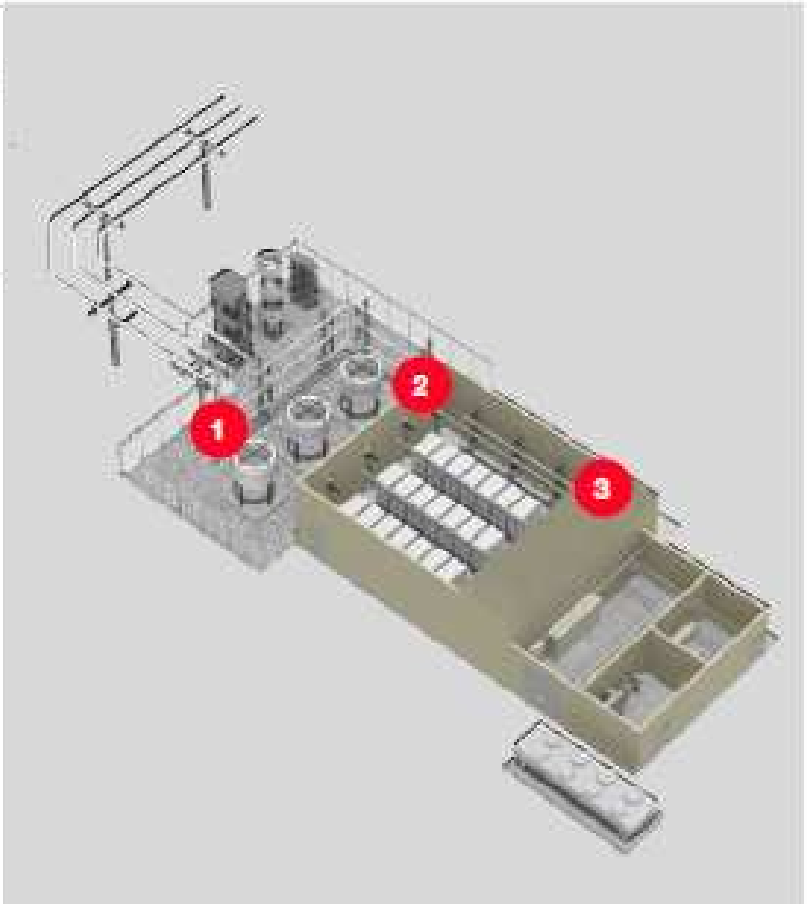
SVC Classic = 210 st
SVC Light = 35 st

FACTS = Flexible AC Transmission System

© ABB- 80

STATCOM design and building blocks





© ABB- 81

Pst-flimmermätare

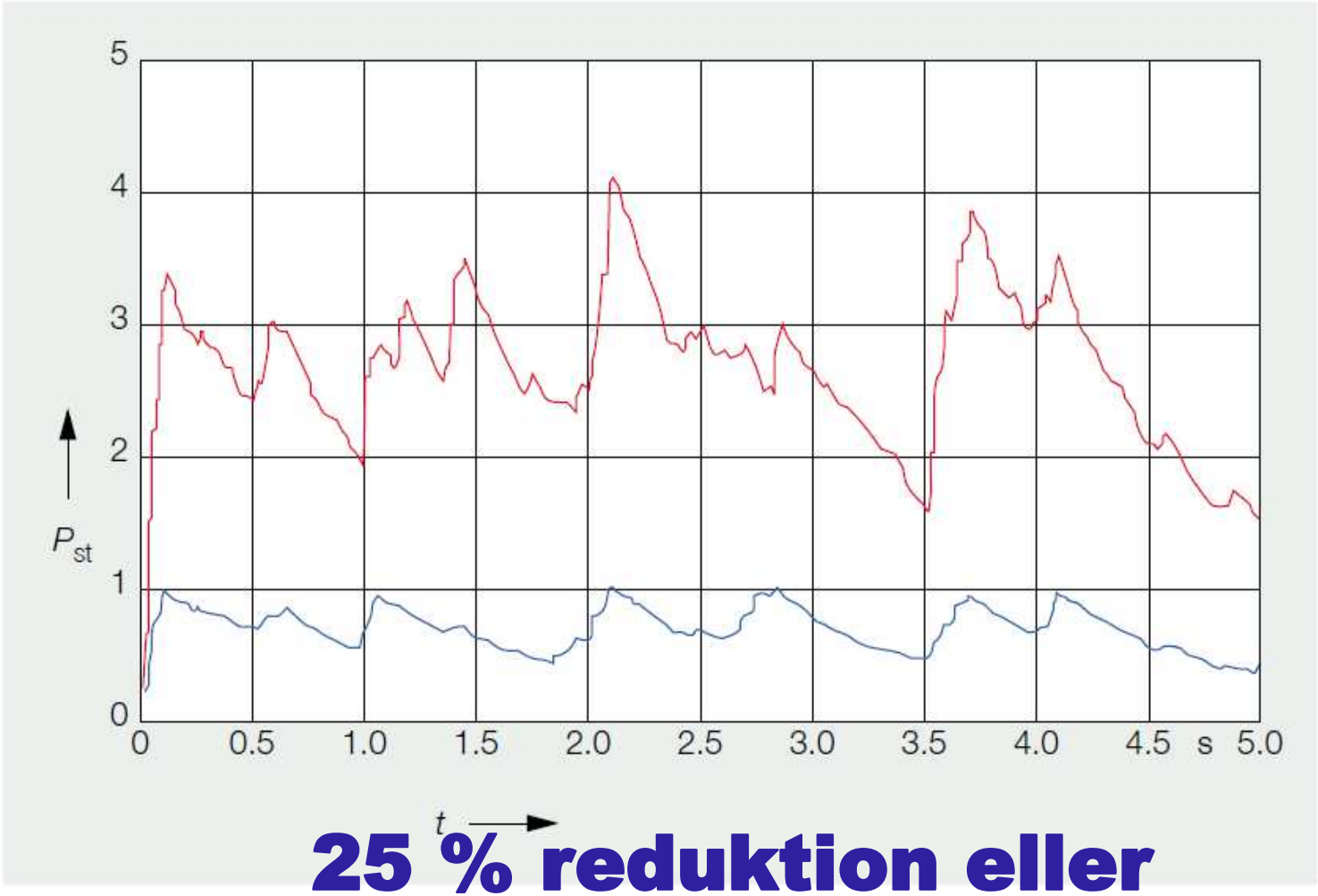
- PST-flicker är ett mått på kortsiktigt flimmer, beräknat över ett 10-minutersintervall med hjälp av en standard definierad av IEC 61000-4-15.
- PST-värdet indikerar hur märkbart och irriterande flimmer är, där ett PST-värde på 1,0 representerar en nivå där 50 % av människorna uppfattar flimmeret som märkbart.
- Ett PST-värde är en viktig indikator på elkvalitet, där lägre värden indikerar mindre flimmer och bättre elkvalitet.

© ABB- 82

Pst-flimmermätning SVC Light

P_{st} *Grad av flimmer*
t *Tid*

Röd *Okompenserat*
Blå *Med SVC Light*



25 % reduktion eller en faktor 4

© ABB- 83

SVC Light vs SVC classic

- Statiska synkronkompensatorer (SVC Light) STATCOM började användas på 2000-talen. Det är en shuntanordning som kan leverera variabler till kraftsystemet snabbare än en SVC.
- STATCOM:s svarstid är i storleksordningen 1 millisekund jämfört med 10 ms för en SVC. Eftersom den är i storleksordningen 10 gånger snabbare har den också potential att kontrollera flimmer bättre.
- Den tros kunna minska flimmer med en faktor 4-5 (20-25%) jämfört med 2 (50% för en SVC)

© ABB- 84

Flimmermätning i Hagfors

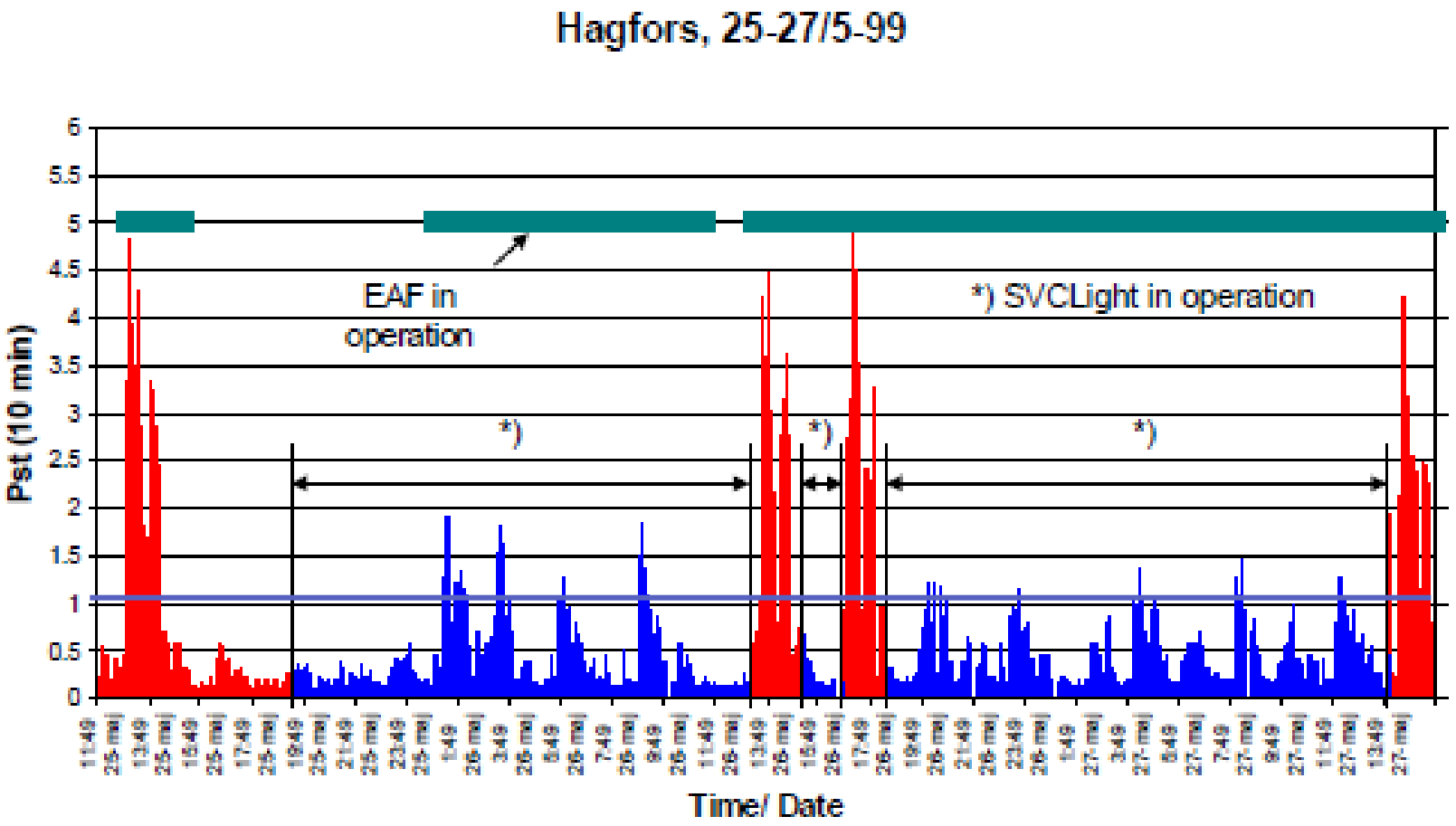


Figure 10:Flicker generation with/without SVC Light.

© ABB- 85

Tack för uppmärksamheten !

