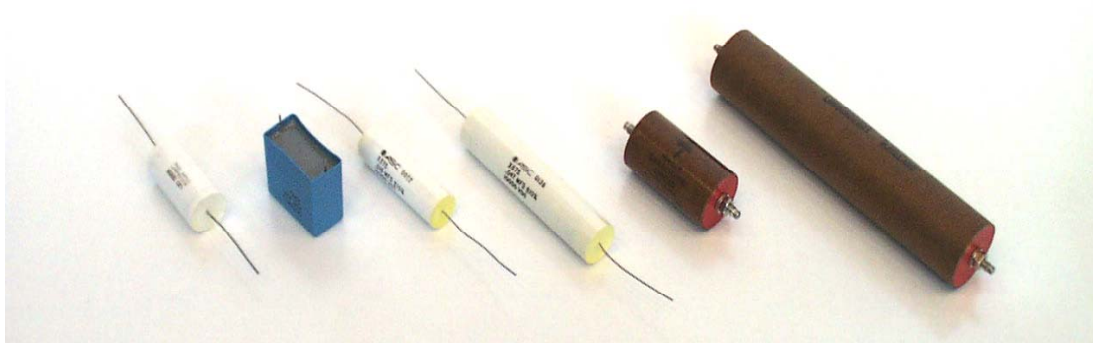


Anders Larsson

Snabbladdning av kondensatorer

– sammanfattning av ett examensarbete vid Uppsala universitet



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Vapen och skydd
147 25 TUMBA

FOI-R--0590--SE

September 2002

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Anders Larsson

Snabbladdning av kondensatorer

– sammanfattning av ett examensarbete vid Uppsala universitet

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 TUMBA	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0590--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år September 2002	Projektnummer E2283, E2013
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
Författare Anders Larsson	Projektledare Anders Larsson, Sten E Nyholm	
	Godkänd av Torgny Carlsson	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Snabbladdning av kondensatorer – sammanfattning av ett examensarbete vid Uppsala universitet		
Sammanfattning Vid snabb upp- och urladdning av kondensatorer kan man överladda dessa till avsevärt högre energidensitet än nominellt. Denna rapport sammanfattar ett examensarbete bedrivet vid avdelningen för elektricitetslära och åskforskning, Uppsala universitet, där kommersiellt tillgängliga kondensatorer snabbt har laddats upp och laddats ur och deras förmåga till överladdning studerats.		
Nyckelord		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 13 sidor	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista Sekretess	

Issuing organisation FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 TUMBA	Report number, ISRN FOI-R--0590--SE	Report type User report
	Research area code 6. Electronic Warfare	
	Month year September 2002	Project no. E2283, E2013
	Customers code 5. Contracted Research	
	Sub area code 61 Electronic Warfare, Electromagnetic Weapons	
Authors Anders Larsson	Project manager Anders Larsson, Sten E Nyholm	
	Approved by Torgny Carlsson	
	Scientifically and technically responsible	
Report title Fast charging of capacitors – a summary of a Master Thesis at Uppsala University		
Abstract At fast charging and discharging of capacitors, it is possible to overcharge these to significantly higher energy density than the nominal value. This report summarise a Master Thesis conducted at the division for electricity and lightning research, Uppsala University, where commercially available capacitors have been fast charged and discharged and their ability to be overcharged has been studied.		
Keywords		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages: 13 pages	
	Price acc. to pricelist Security classification	

Innehåll

1	Inledning	5
2	Marknadsundersökning	6
3	Experimentella förutsättningar	8
3.1	Experimentuppställningen.....	8
3.2	Utvalda kondensatorer.....	9
4	Experimentella resultat	10
4.1	Typiska mätresultat	10
4.2	Kort lagringstid	11
4.3	Lång lagringstid.....	12
5	Avslutande kommentarer	13
6	Referenser	13

1 Inledning

Denna rapport avrapporterar aktiviteterna inom beställningen 230040 – LB571998 från FMV till FOI. Studierna är en samfinansiering mellan FMV och FOIs försvarsmaktsprojekt HPM-vapen (E2013).

Pulsad elektrisk kraft är en nyckelteknologi inom området HPM-vapen. I pulssade kraftsystem ingår ofta temporär mellanlagring av elektrisk energi. Exempelvis så används induktiv mellanlagring i FOIs TTHPM-system [1]. Ett alternativ till induktiv lagring är kapacitiv lagring. För att utnyttja befintliga kondensatorer effektivt och göra de pulssade kraftsystemen mer kompakta vill man ha så hög energitäthet som möjligt i kondensatorerna. Om man endast lagrar den elektriska energin en kort tid i en kondensator så kan man ladda den till en avsevärt högre energitäthet än den specificerade DC-nivån. Detta görs genom att mycket snabbt ladda upp kondensatorerna, lagra energin under en kortare tidsrymd och därefter snabbt ladda ur dem. Två tidsskalor på lagringstiden är av intresse. Huvuduppgiften är således att söka den maximala kondensatorspänningen för följande uppladdnings-, lagrings- och urladdnings-sekvenser:

$$\begin{aligned} 2 \mu\text{s} - 2 \mu\text{s} - 1 \mu\text{s} \\ 2 \mu\text{s} - 20 \text{ms} - 1 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Utgångspunkten för val av kondensatorer var följande prestanda:

Kapacitans: 0,1 μF
Nominell spänning: 10 kV

Studien hade tre mål

- Göra en marknadsundersökning av existerande kondensatortillverkare
- Bygga upp en experimentuppställning för snabburladdningsstudier
- Genomföra snabburladdningsexperiment

Arbetet genomfördes som ett examensarbete vid avdelningen för elektricitetslära och åskforskning, Uppsala universitet [2].Handledare vid FOI var Anders Larsson. Denna rapport är en sammanfattning av examensarbetet. Mer detaljerad beskrivning återfinns i examensarbetsrapporten.

2 Marknadsundersökning

En marknadsundersökning genomfördes för att se vilka kommersiella aktörer som finns inom kondensatorbranschen. Syftet var att finna leverantörer av kondensatorer med en nominell spänning av 10 kV DC och en kapacitans på 0,1 μ F. Detta visade sig svårare än väntat, då med denna hög spänning och låg kapacitans inte är vanlig bland kommersiella kondensatorer. De tillverkare av kondensatorer som har produkter i relevant parameterområde finns listade i tabell 1. Övriga tillverkare av kondensatorer finns upptagna i tabell 2.

Tabell 1. Kondensatortillverkare vars produkter överensstämmer med de specificerade kraven på nominell spänning och kapacitans.

Företag	Webadress
Hivolt Capacitors Limited	www.hivoltcapacitors.com
Evox-Rifa	www.evox-rifa.com
Seacor Inc	www.seacorinc.com
Dielectric Laboratories	www.dilabs.com
Icel	www.icel.it
Cornell Dubilier Electronics Inc	www.cornell-dubilier.com
Custom Electronics Inc	www.customelec.com
Eurofarad	www.eurofarad.com
Electrocube Inc	www.electrocube.com
Electronic Film Capacitors Inc	www.filmcapacitors.com
Electronic Concepts Inc	www.eci-capacitors.com
ASC Capacitors	www.ascapacitor.com
Tecate Industries	www.tecategroup.com

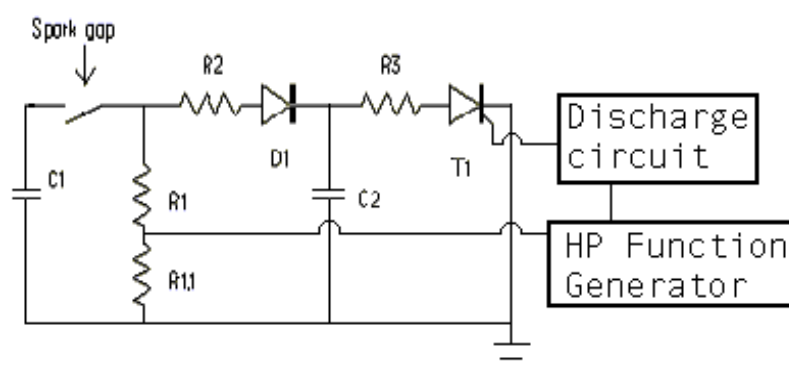
Tabell 2. Kondensatortillverkare vars produkter inte överensstämmer med de specificerade kraven på nominell spänning och kapacitans.

Företag	Webadress
ABB Capacitors AB	www.abb.com
American Capacitor Corporation	www.americancapacitor.com
North American Capacitor Company	www.nacc-mallory.com
Richey Capacitor Inc	www.richeycap.com
Southern Electronics	www.southernelectronics.com
Wesco Electrical Company	www.wescocap.com
Component Research Company	www.crcfilm.com
LCR Electronics Inc	www.lcr-inc.com
Season Industrial Co	www.seasonshk.com
Susco Electronics Inc	www.susco.com
RTI Electronics Inc	www.rtie.com
ITW Paktron	www.paktron.com
SB Electronics Inc	www.sbelectronics.com
TDL Inc	www.tdlinc.com
Prestige Electronic Corporation	www.prestige.com.tw
Sheng Ye Electrical Company	www.shengye.com
Skeleton Technologies Inc	www.skeleton-technologies.com
Maxwell Technologies	www.maxwell.com
Dearborn Electronics Inc	www.dei2000.com
Suntan Technology Company	www.suntan.com.hk
Aerovox Inc	www.aerovox.com
Evans Capacitor Company	www.evanscap.com
Reynolds Industries Inc	www.reynoldsindustries.com

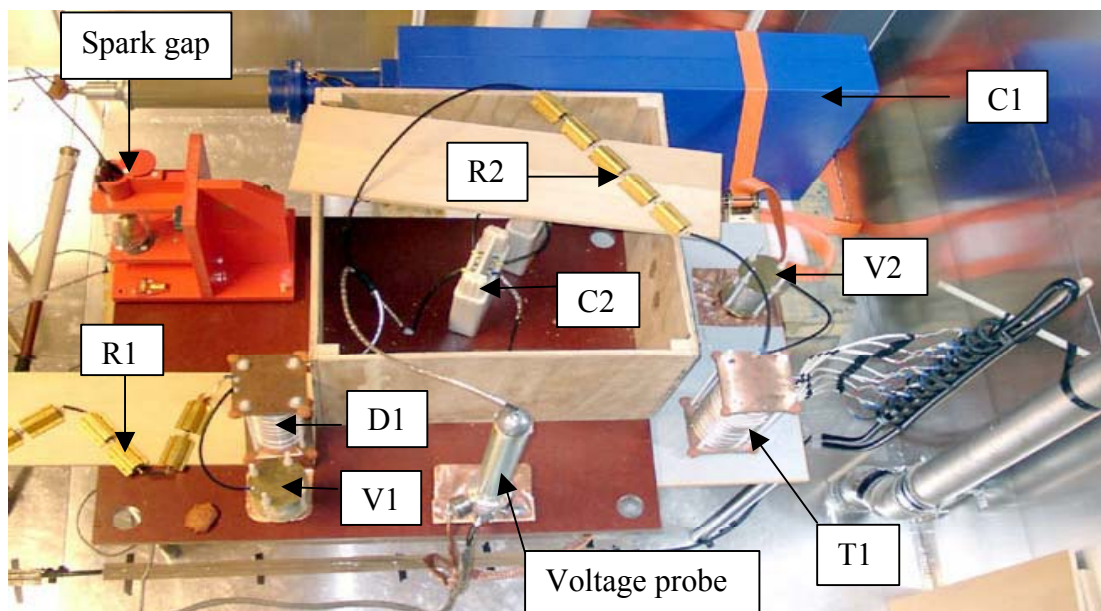
3 Experimentella förutsättningar

3.1 Experimentuppställningen

En principskiss över experimentuppställningen presenteras i figur 1 och ett fotografi av den i figur 2. C2 är kondensatorn som ska provas. Primärkällan C1 är en stor kondensator som laddas av ett DC-aggregat (ej i bild). När gnistgapet ("spark gap") sluts, laddas C1 ur och C2 upp genom resistorbryggan R2 och diodstapeln D1. När önskad lagringstid förlupet ges en signal till tyristorstapeln T1 som då sluts och laddar ur C2 genom resistorbryggan R3. Överbliven energi i primärkällan C1 laddas ur genom R1 och R1.1. Signalen som tas ut vid R1.1 används för att bestämma när tyristorerna ska slutas. Syftet med dioden D1 är att undvika energiflöde tillbaks till primärkällan. På fotografiet ser man även två ventilavledare V1 och V2 kopplade parallellt med respektive C1 och C2 för att minska risken för överspänningar i systemet.



Figur 1. Principskiss över experimentuppställningen.



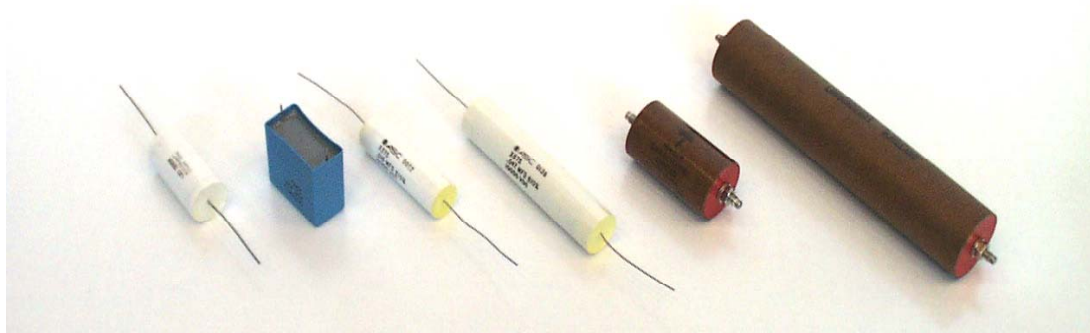
Figur 2. Fotografi över experimentuppställningen.

3.2 Utvalda kondensatorer

Sex olika kondensatorer från fyra olika tillverkare provades. De tekniska data för de utvalda kondensatorerna återfinns i tabell 3 och ett fotografi av dem visas i figur 3.

Tabell 3. Tekniska data på de utvalda kondensatorerna

Manufacturer	Type	Nominal Voltage [kV]	Capacitance [μF]
Cornell-Dubilier	940C	3	0,1
Evox-Rifa	PHE428	2,5	0,12
ASC Capacitors	X375	10	0,015
ASC Capacitors	X675	10	0,047
Hivoltcapacitors	TPM	3	0,1
Hivoltcapacitors	TPM	10	0,1

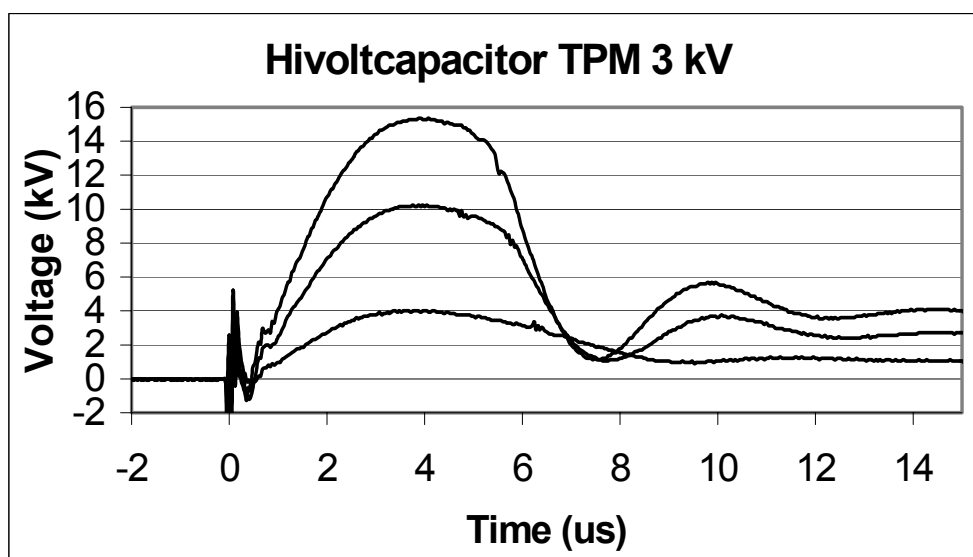


Figur 3. De utvalda kondensatorerna. Från vänster: Cornell-Dubilier, Evox-Rifa, ASC X375, ASC X675, TPM 3 kV, TPM 10 kV.

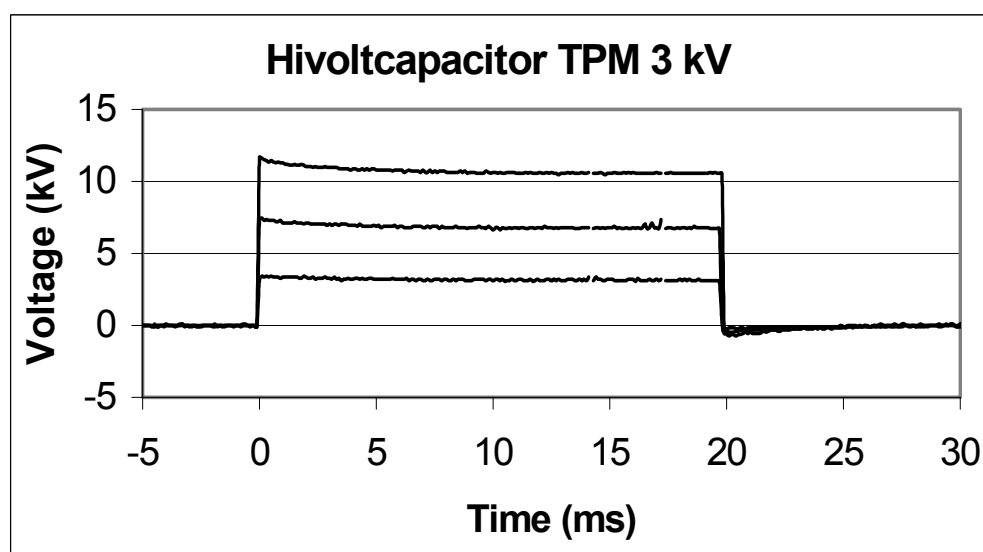
4 Experimentella resultat

4.1 Typiska mätresultat

Mätningarna gick till enligt följande. Först laddades primärkondensatorn C1 till den nominella spänningen av kondensatorn C2 som ska undersökas. Detta första prov var till för att undersöka om C2 var oskadad. Därefter ökades uppladdningsspänningen med ett par kilovolt stegvis tills kondensatorerna gick sönder. Typiska mätresultat från både kort och lång lagringstid visas i figurerna 4 och 5 för TPM 3 kV- kondensatorn.



Figur 4. Typiska mätresultat för kort lagringstid, här exemplifierat med kondensatorn TPM 3 kV.



Figur 5. Typiska mätresultat för lång lagringstid, här exemplifierat med kondensatorn TPM 3 kV.

4.2 Kort lagringstid

Resultaten för den korta lagringstiden presenteras i Tabell 4. Maximal erhållen överspänning är 5 och maximal erhållen energidensitetsförstärkning är 26,3 för kondensatorn TPM 3 kV.

Tabell 4. Resultaten av försöken med kort lagringstid.

Kondensator	940	PHE 428	X375	X675	TPM 3 kV	TPM 10 kV
Nominell spänning (kV)	3	2,5	10	10	3	10
Maximal spänning (kV)	12,8	11	36	34	15	38
Nominell energidensitet (kJ/m ³)	13	12	15	69	6	6
Maximal energidensitet (kJ/m ³)	245	228	198	792	158	92
Spänningsfaktor	4,3	4,4	3,6	3,4	5	3,8
Energidensitetsfaktor	18,8	19,0	13,2	11,5	26,3	15,3

4.3 Lång lagringstid

Resultaten för den långa lagringstiden presenteras i tabell 5. Resultaten för den korta lagringstiden presenteras i Tabell 4. Maximal erhållen överspänning är 3,7 och maximal erhållen energidensitetsförstärkning är 14,2 för kondensatorn TPM 3 kV.

Tabell 5. Resultatet av försöken med lång lagringstid.

Kondensator	940	PHE 428	X375	X675	TPM 3kV	TPM 10kV
Nominell spänning (kV)	3	2,5	10	10	3	10
Maximal spänning (kV)	5,2	2,5	23	15	11	26
Nominell energidensitet (kJ/m ³)	13	12	15	69	6	6
Maximal energidensitet (kJ/m ³)	40	12	81	154	85	43
Spänningsfaktor	1,7	1,0	2,3	1,5	3,7	2,6
Energidensitetsfaktor	3,0	1,0	5,4	2,2	14,2	7,2

5 Avslutande kommentarer

Försöken visar att man kan överladda kommersiellt tillgängliga kondensatorer till mer än tio gånger den nominella energidensiteten. För den korta lagringstiden var det ingen stor skillnad mellan de olika kondensatorerna. Dock var skillnaden stor för den långa lagringstiden. Noteras bör dock att både den nominella och erhållna energidensiteten i absoluta tal är låga för dessa kondensatorer.

6 Referenser

-
- [1] P Appelgren, G Bjarnholt, T Hultman, T Hurtig and S E Nyholm, “High voltage generation and power condition with TTHPM”, FOA Report No FOA-R—00—01760-612—SE, December 2000
 - [2] A Heljestrand, “Fast charging of capacitors”, Examensarbete, Uppsala universitet, UPTEC Q02 014 (2002)