

# Störmiljön i processindustrin

Måste den bästa tekniken ge de värsta störningarna?

---

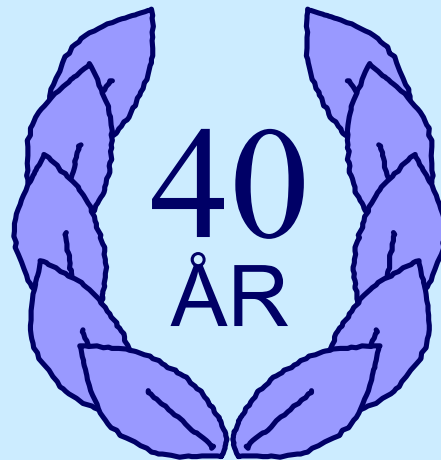
## ITF Automationsdagar 1998

Scandic Crown Hotel, Upplands Väsby

Gunnar Englund, GKE Elektronik AB

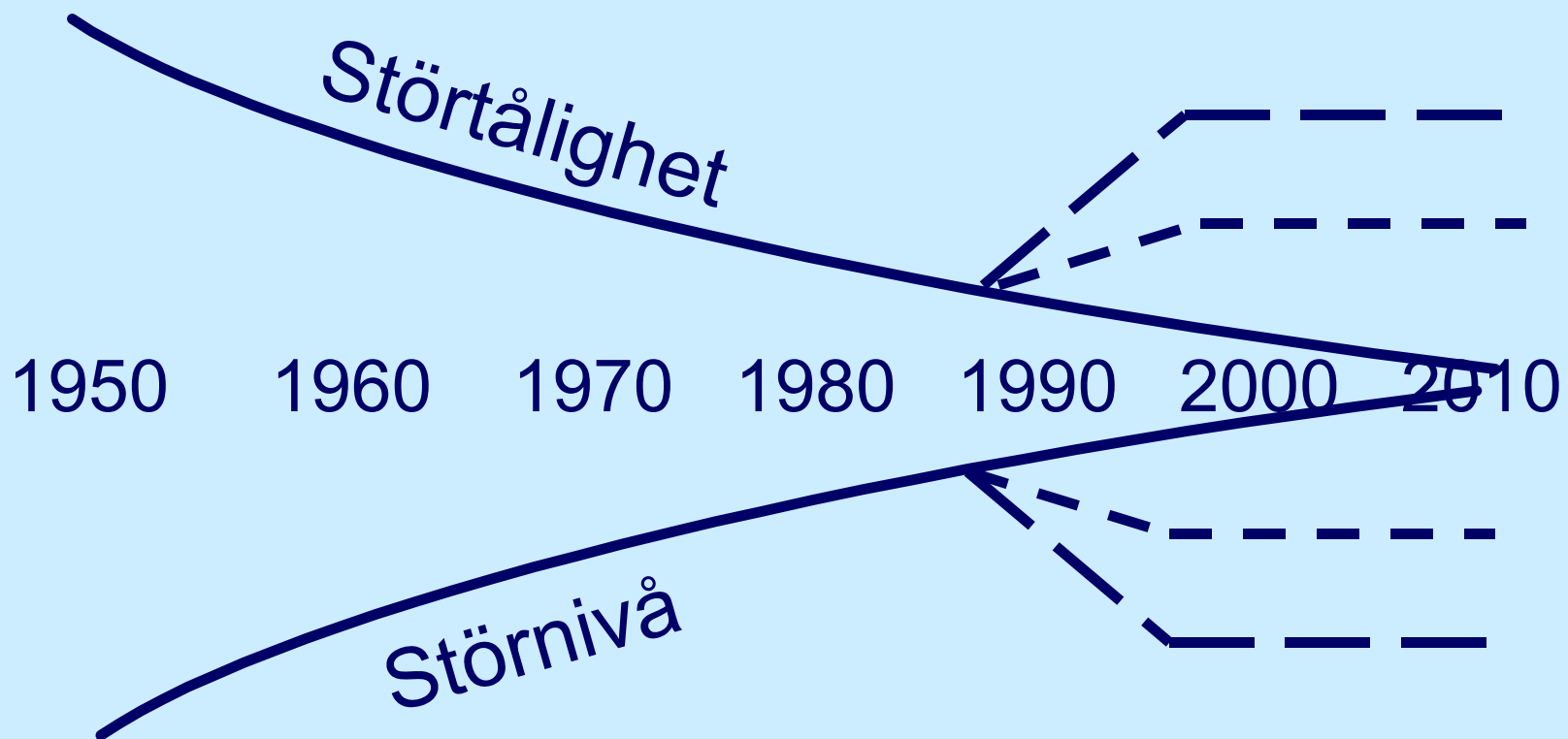
# Störmiljöns utveckling under ITF:s 40 år

---

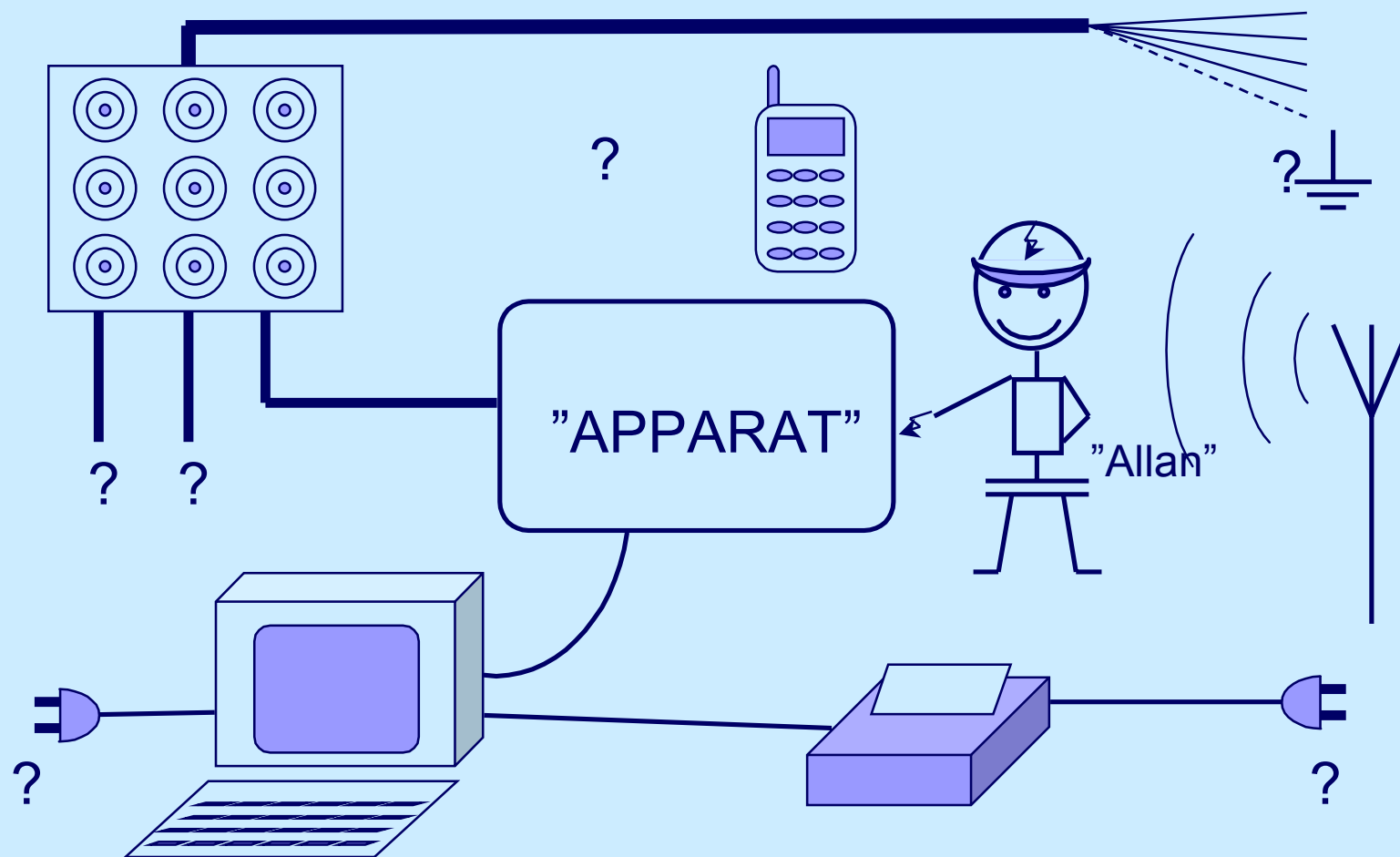


# Marginalerna minskar

---

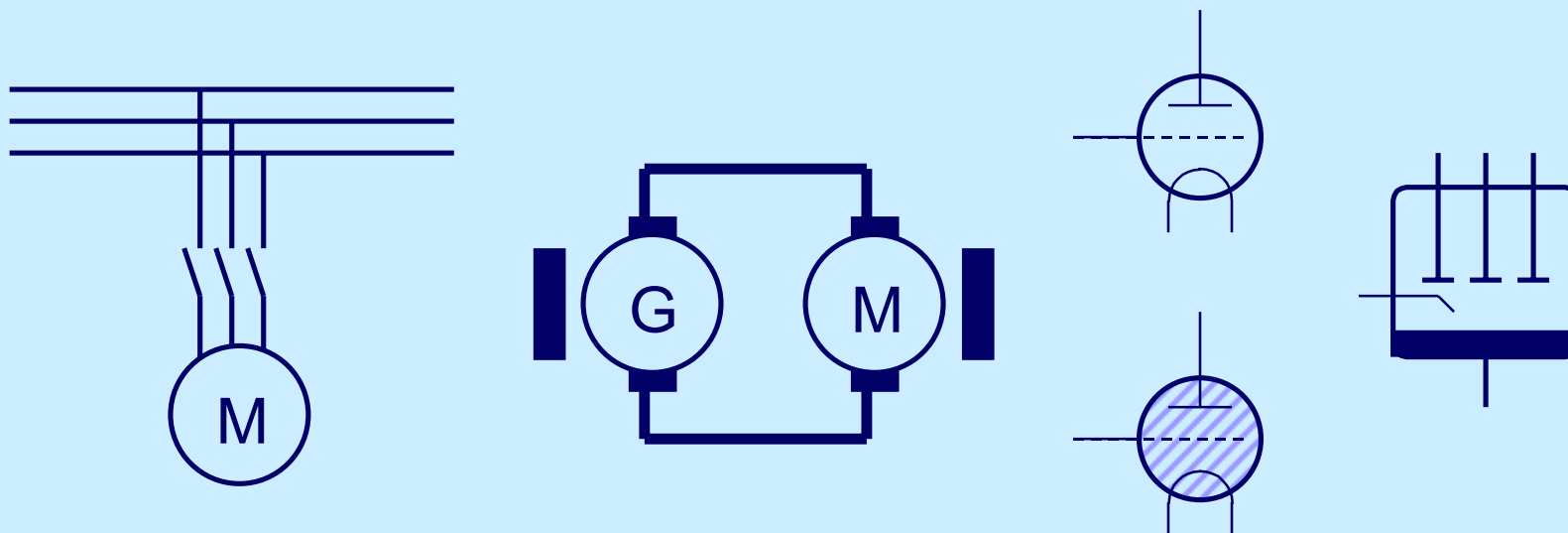


# Störningar angriper på många fronter



# I begynnelsen var störningarna inget problem

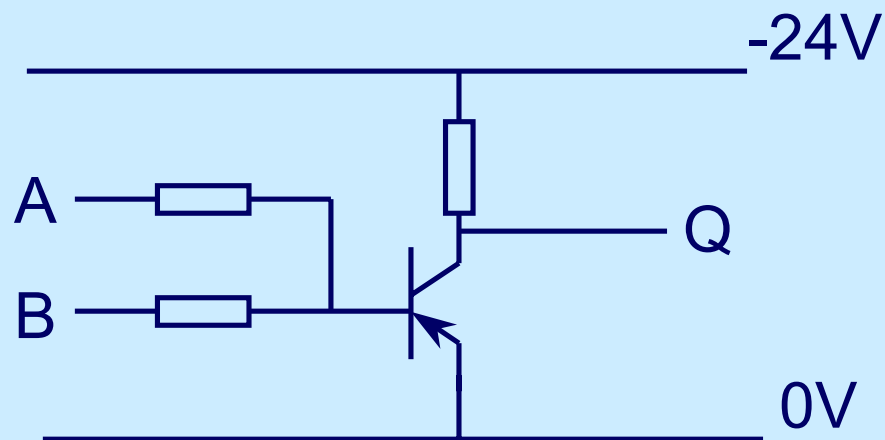
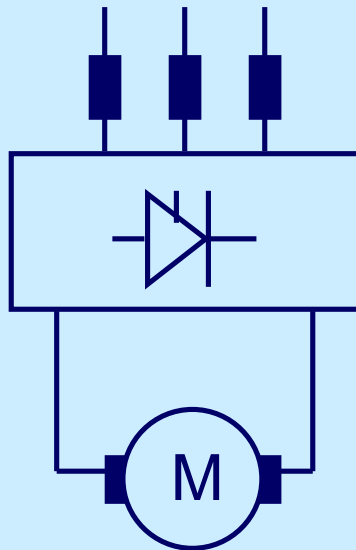
- ◆ Fram till ca 1960 var det lugnt. Direktstyrda trefasmotorer. Roterande omformare. En och annan rörregulator, tyratron eller kvicksilverströmriktare...



Långsamma förlopp och höga styreffekter. Mätning med elektromekaniska mätverk - no problems.

## Nätdistorsion och gniststörningar börjar märkas...

- ◆ Strömriktare började knöla till nätet. Mest störde de sig själva. Logikstyrningar med "gråa celler" började dyka upp. De tyckte inte om oavstörda reläspolar. Nu var det sextioal.

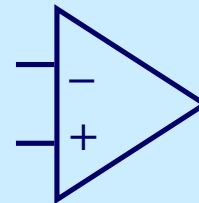
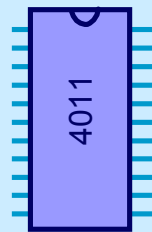
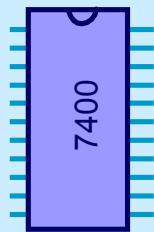


Några av oss började få mycket att göra...

## TTL, CMOS och OP-ampar tålde ingenting...

---

- ◆ Störmarginalerna började räknas i tiondels volt. CMOS verkade inte ens tåla att man tittade på kretsarna. Och snabba var dom; nanosekunder började bli verklighet. Början av sjuttioalet var spännande...

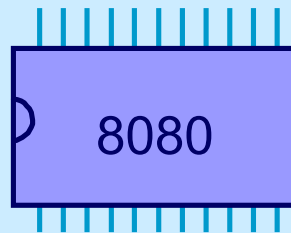


Skärmning, avkoppling, pull-up och jordplan blev begrepp inom branschen. Plötsligt fick många mycket att göra.

# Mikroprocessorerna löste en del problem - och skapade nya...

---

- ◆ Intelligent signalbehandling löste en del störproblem. Men, i stället fick man problem med att klocksignalerna störde radiokommunikation.



Fyrkantvågornas branta flanker gav störningar upp i UKV-området. Utbredda bussystem fungerade som effektiva sändarantennerna. EMI och EMC började dyka upp som vardagsbegrepp. Nu var det mitten av sjuttioalet.

# De var också jobbiga att programmera. Så vi fick PBS...

---

◆ ...eller PLC, som det heter numera.

24/230 V in och 230 V reläutgång.

Optokopplare.

Filter på ingångarna och snubber på utgångarna.

Ett visst lugn inträdde på störningsfronten.

Men...

## Sedan började frekvensomriktarna komma på bred front

---

- ◆ De första omriktarna kom i slutet av sextiotalet. Långsamma, med tyristorer och släckkretsar. De störde mest sig själva. Störning och förstöring började bli synonyma begrepp. Så, ur EMC-synpunkt var de inga problem.
- ◆ Det var först när snabba halvledare började sättas in - Power MOSFET på 80-talet och IGBT på senare tid - som det blev uppenbart att störstrålning från frekvensomriktare var på väg att bli det stora problemet.

- ◆ Frekvensomriktaren -

### The EMI Champion. Alla kategorier

Resten av framställningen kommer att handla om frekvensomriktarproblem

# Problemet (problemen) med frekvensomriktarna

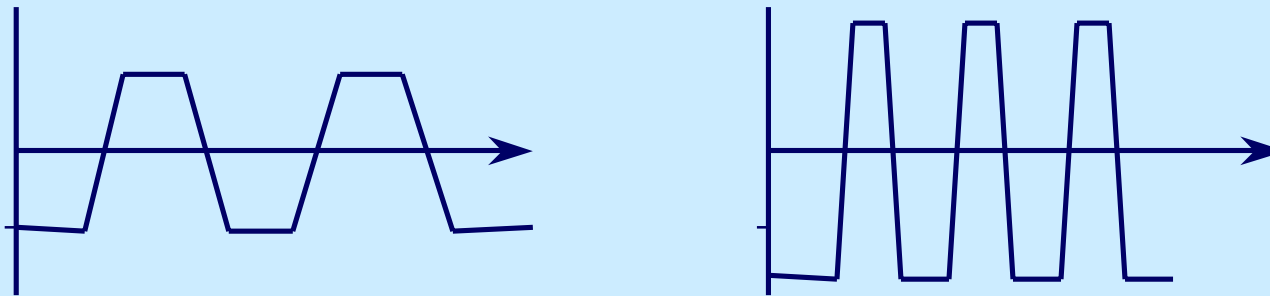
---

- ◆ De börjar bli många
- ◆ De hanterar höga effekter
- ◆ De har höga switchfrekvenser
- ◆ De har korta switchtider
- ◆ De har ofta långa motorkablar som fungerar som sändarantennerna för störningar
- ◆ De kommer in överallt
- ◆ Utöver EMC-problem ger de också problem med nätets effektfaktor ( $\lambda$ ), kablar, motorisolation, lagerskador
- ◆ De är - utan konkurrens - den största enskilda storkällan i dag. Och ökande...

## Varför är bättre teknik ”sämre”? (1 av 3)

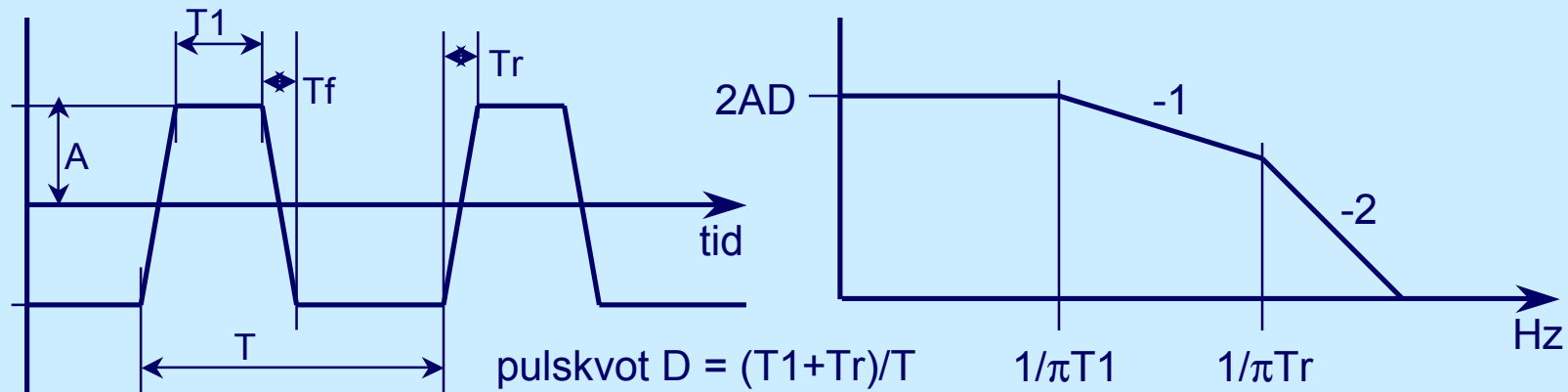
---

- ◆ I motorstyrningssammanhang innebär ”bättre” nästan alltid högre strömtålighet, högre spänningstålighet, högre switchfrekvens och kortare switchtider.



- ◆ För att få en viss kvantitativ uppfattning av vad detta innebär för störnivån måste vi ägna lite tid åt störmatte.

## Varför är bättre teknik ”sämre”? (2 av 3)



Kurvform från omriktare.

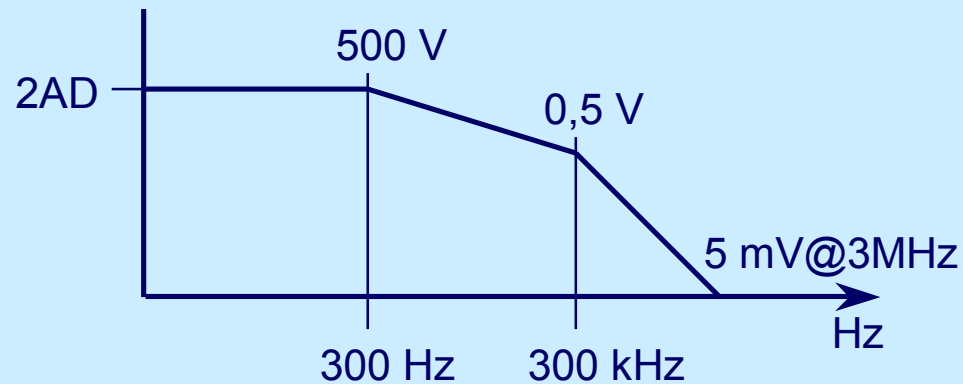
Typv:  $A = 500 \text{ V}$ ,  $T = 100 \mu\text{s}$ ,  
 $T_1 = 50 \mu\text{s}$ ,  $T_r = 100 \text{ ns}$

”Maxkurva” för förekommande frekvenser.

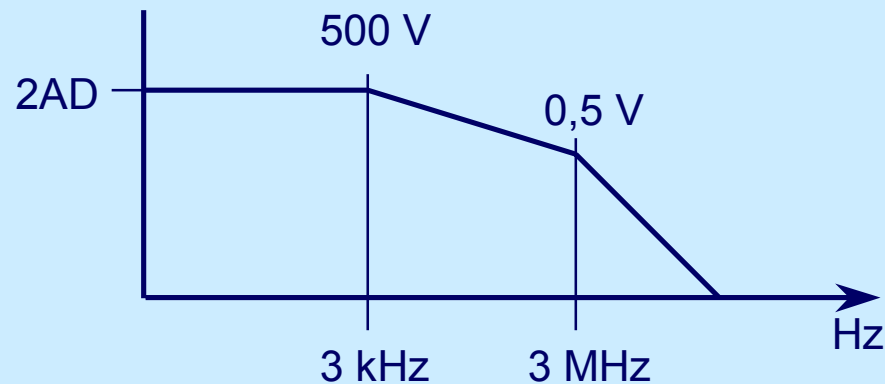
Första brytpunkten ligger vid  $\sim 6 \text{ kHz}$ .  
Andra brytpunkten ligger vid  $\sim 3 \text{ MHz}$ .

Högre switchfrekvenser flyttar den första brytpunkten. Kortare switchtider flyttar den andra brytpunkten. Båda går mot högre frekvenser. Bättre teknik ger alltså mer HF-energi i utsignalen. Mer energi = högre störnivå.

## Varför är bättre teknik ”sämre”? (3 av 3)



Äldre GTO-omriktare.  $T_1=1$  ms,  $T_r=1\mu\text{s}$ ,  $A=500$  V,  $D=0,5$  (worst case)



Modern omriktare.  $T_1=0,1$  ms,  $T_r=0,1\mu\text{s}$ ,  $A=500$  V,  $D=0,5$  (worst case)

Observera att vi nu har 100 gånger mer signal vid 3 MHz och inte 10 gånger, som man lätt kan förledas tro. Anledningen är förstås att man tappar 40 dB/dekad över andra brytpunkten.

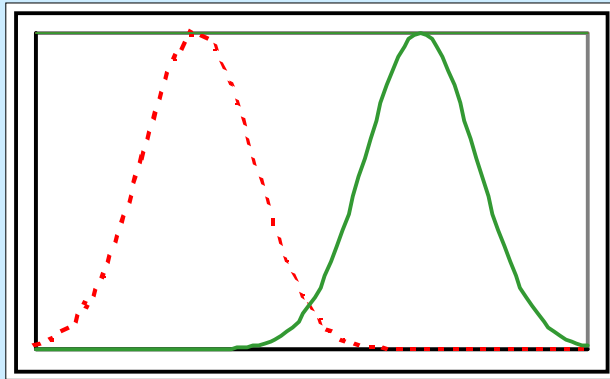
## ”Det var bättre förr” (1 av 3)

---

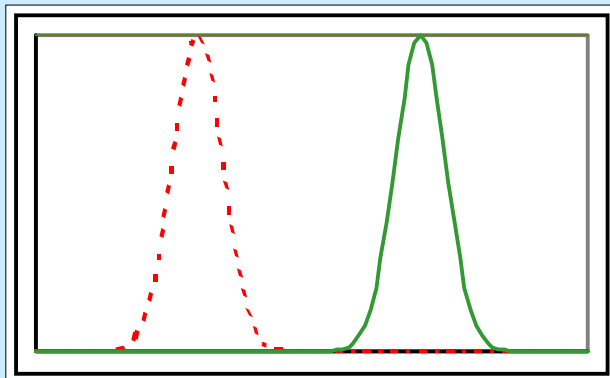
Historiskt sett har utvecklingen gått mot krympande marginaler: Störkällorna har blivit flera. Flankerna kommer tätare och blir brantare. Störoffren har blivit flera. De blir känsligare och reagerar för allt högre frekvenser.

- ◆ - 1950: Relälogik, roterande omformare. 50 Hz. 220 V
- ◆ - 1960: Rörförstärkare, germaniumlogik. 10 kZ. 24 V
- ◆ - 1970: Planarteknik, tyristorer, TTL, CB. MHz. 5 V
- ◆ ~ 1980: GTO,  $\mu$ P, power MOSFET. 10-tals MHz. 5 V
- ◆ ~ 1990: DSP, IGBT, NMT, GSM. 100-tals MHz. 3,3 V
- ◆ 2000 - (dvs framtiden): SiC kommer tveklöst i halvledarswitchar för höga spänningar och strömmar. De kommer att ha mycket korta switchtider ( $f_t \sim$ GHz).

## ”Det var bättre förr” (2 av 3)

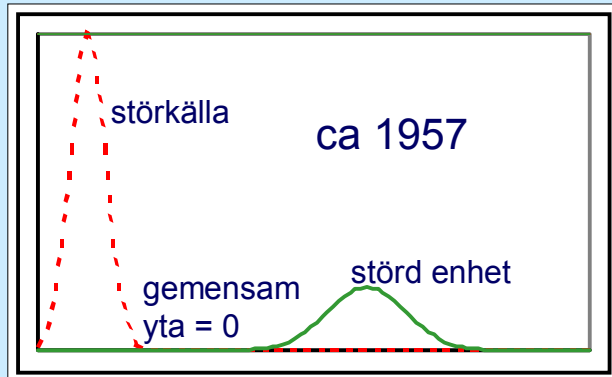


Intuitiv framställning av förhållandet mellan störkälla (streckad) och störoffer (heldragen). Frekvens ökar åt höger. För störkällan anges energitäthet och för offret anges känslighet dvs ungefär  $1/\text{störtröskel}$ .

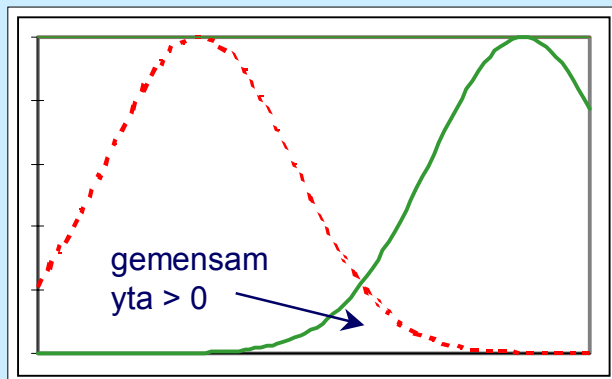


I den övre bilden täcker källan en del av offret. Störningar gör drift omöjlig. I den undre bilden är drift troligen möjlig. Men kom ihåg att nivåerna inte är noll bara för att grafen ligger nära noll!

## ”Det var bättre förr” (3 av 3)



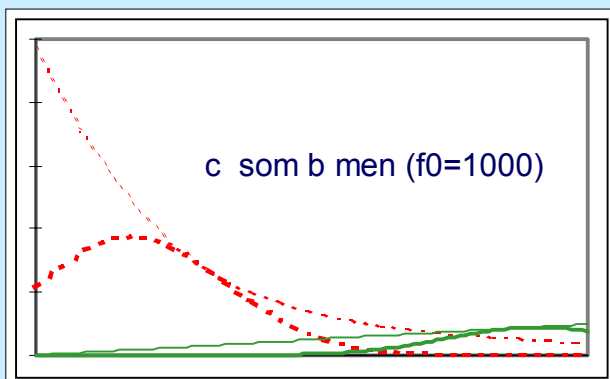
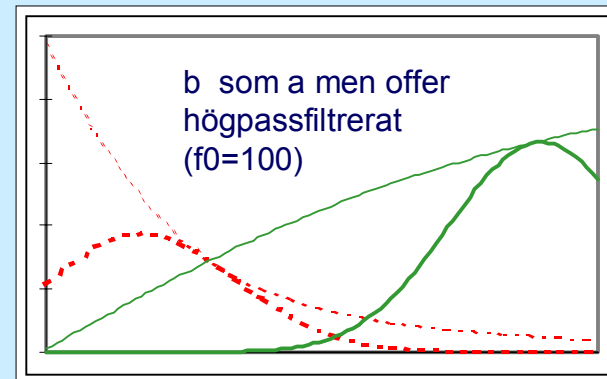
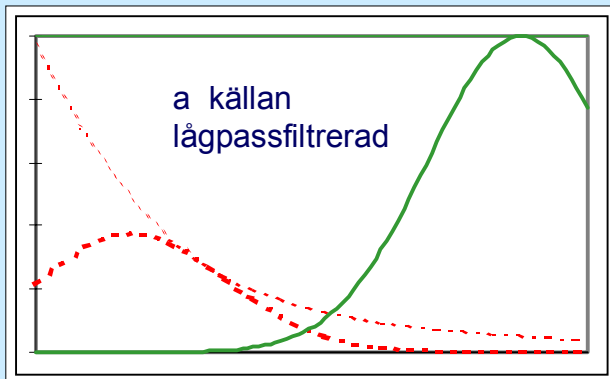
Gamla strömriktare och transduktorlikriktare störde inte över stor bandbredd. Och tillhörande relästyrningar var inte störkänsliga. Drift utan problem.



Frekvensomriktare utan filter stör över stor bandbredd. Naken elektronik är störkänslig.

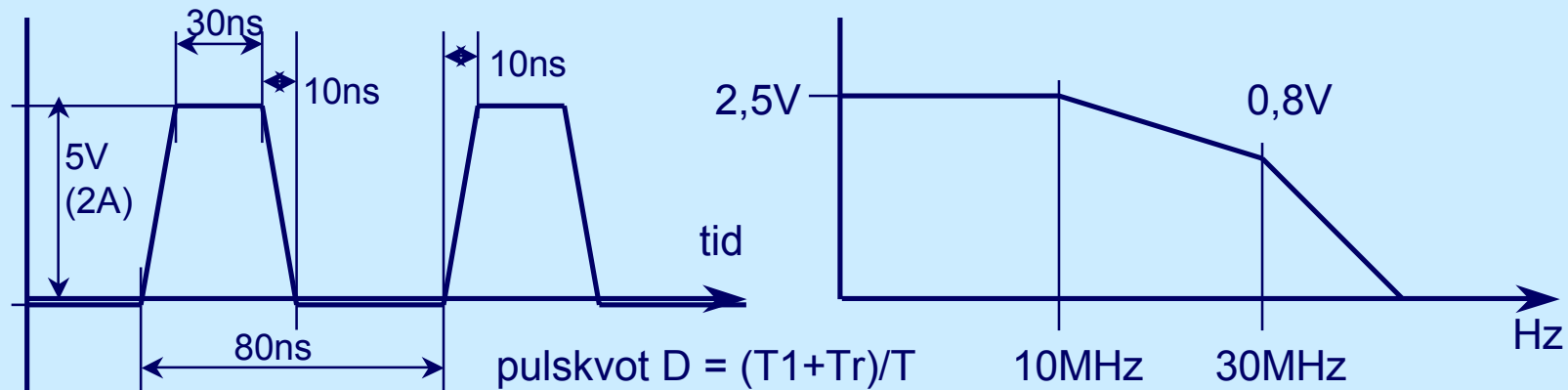
Kurvorna täcker varandra. Störningsfri drift inte möjlig.

# Filtrera källan. Filtrera offret. Det går, men se upp!



Skär bort oönskade signalkomponenter genom att lågpasfiltrera storkällan och högpassfiltrera offret. Ofta är det svårt att skära effektivt. I c har vi fortfarande gemensam yta trots att högpassfiltret gjorts tio gånger bättre än i b.

## Frekvensomriktare jämförd med CPU



Typisk klocka i CPU-kort  
80C196KC med 12 MHz klocka

”Maxkurva” för förekommande frekvenser.  
Första brytpunkten ligger vid ~10 MHz.  
Andra brytpunkten ligger vid ~30 MHz

Detta var oväntat! Den ”hemskt dåliga” frekvensomriktaren hade 0,5 V vid 3 MHz. Och här har vi 2,5 V vid 10 MHz och 0,8 V vid 30 MHz. Orsaken är förstås att switchfrekvensen är så mycket högre. Första brytpunkten på 10 MHz i st f 3 kHz. Nästa bild handlar om antenneffektivitet. Och förklarar varför CPU-kortet ändå klarar EMC-kraven ganska bra.

# Störningarna är inte bara en fråga om switchfrekvens och amplitud

---

- ◆ HF utan antenn tar sig ingenstans. Men - det är skillnad på antenner
  - **Korta barr: dåliga antenner - långa barr: bra antenner**
- ◆ Motorkablar är långa - 3 MHz har en våglängd på ca 60 meter. Kvarts våglängd (15 m kabel) = jättebra antenn.
- ◆ Bussledningar på processorkort är sällan mer än några dm. 30 MHz motsvarar ca 6 m ledare. 0,2 dm (trettondels våglängd) = dålig antenn.

Nu är det bra mycket mera komplicerat än så här. Det handlar om närfält/fjärrfält, H-fält/E-fält och mycket annat. Men i grunden strålar en lång kabel alltid mycket mera än en kort kabel. I många fall kan man till och med påstå att dubbel längd strålar dubbelt så mycket.

# Metoder att reducera störningar från motorkablar

---

- ◆ Alternativen är fler än man tror:
  - motordrosslar
  - $dV/dt$ -filter
  - sinusfilter
  - inga kablar
  - störningsfria omriktare

Följande bilder innehåller citat från produktblad och pressreleaser. I den mån källan finns på nätet är URL angiven. Det finns en viss spännvidd i uppfattningar, om man säger...

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

[http://www.schaffner.com/sch\\_fn5x.html](http://www.schaffner.com/sch_fn5x.html)

Schaffner AC Motor Filter Series

Schaffner har bra hemsida

<Bild: Smoking Motor>

every silver lining has a cloud

Most modern inverters employ high speed semiconductor switches and pulse width modulation (PWM) techniques to generate very fast rise-time pulses of the appropriate duration and polarity. Unfortunately this quest for ultra-compact, efficient power conversion also has its downside. Today's inverters create a considerable number of problems for OEMs and system integrators, including motor overheating, high levels of electromagnetic and acoustic noise, and the need to use expensive shielded connecting cables and over-specified drives.

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

### PCIM rapporterar från Drives & Controls Exhibition:

<http://www.pcim.com/news/news040296.html>

In product terms, the European influence was strongly expressed through conformity to the European Directive on electromagnetic compatibility, EMC. This is a major concern for British and Continental European manufacturers alike, stimulating the production of many solutions. Thus, Schaffner showed a new state-of-the-art EMC filtering solution for 3-phase industrial frequency inverters with a universal high-voltage rating of 480V.

<http://www.mtecorp.com/rfiemi1.html>

MTE Corporation "CE" series filters offer an economical solution to many facility interference problems caused by high frequency emissions which are common in variable speed drive installations. They offer significant reduction of both common mode and differential mode noise.

Do not install these filters on the load side (motor side) of a variable speed motor drive, as equipment malfunction may occur.

**Det är inte alltid man får vad man tror...**

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

MTE har motorfilter också. Men det finns problem..

<http://www.mtecorp.com/solving.html>

Of course these filters are "low pass shunt type filters" tuned for some specific frequency, often in the range of 1 kHz to 2Khz. Because these filters have essentially zero impedance at there resonant frequency, it is very important that the inverter switching frequency not be set too low. The threat exists that someone may vary the carrier frequency (at a later date) without consideration for the existence of a low pass filter resulting in damage to the inverter or filter.

<http://www.manufacturing.net/magazine/dn/archives/1997/dn1117.97/22f5351.htm>

### **Danfoss VLT 5000**

To address Europe's strict EMC requirements, designers typically develop a separate bolt-on or stand-alone RFI filter module. This is an inelegant solution, but agreeable to U.S. customers who usually don't need nor want to pay for the devices. On the 5000 series, however, engineers found a way to incorporate the RFI filters into the chassis as an option. "I believe we are the only manufacturer to include RFI filters into our drives," says Duncan.

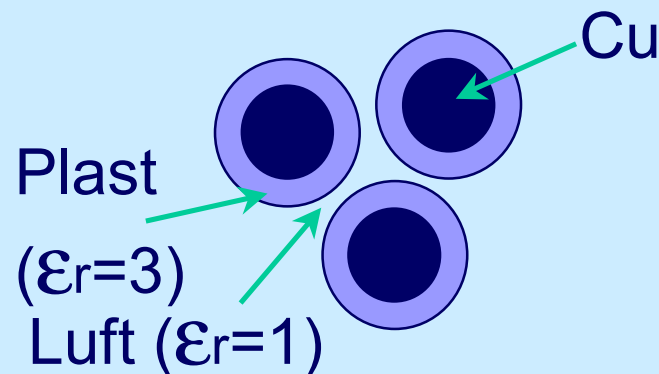
Det finns några till, Duncan. Men bra gjort ändå.

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

Observera att denna kabel inte gör något åt emissionen. Men den håller bättre än en standardkabel.

Flexible VFD Cable is an inverter-grade flexible motor supply cable for variable-frequency drives (VFDs) that withstands severe voltage spikes generated by power distortions. This new 1,000/3,000 V peak electrical cable is versatile and interconnects VFDs with an ac variable-frequency motor. The cable is rated for use in both indoor and outdoor applications and features a bend radius of 12x cable diameter, 90 °C dry/60 °C wet or oily operating environment, VW-1 flame resistance, and UL approval.

Olflex Wire & Cable



Jo, det är problem med kablarna - också. De branta flankerna innehåller MHz. Vilket innebär att spänningen fördelar sig omvänt proportionellt mot kapacitansen. HF tas alltså upp av luftspalten. Eftersom den är smal blir det höga fältstyrkor dvs ozonbildning och kabelförsprödning. (ge)

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

Kabellängd 0 är också ett sätt. Man har då en så kallad integralmotor. Baldor anser att de var först. Hur funkar deras market research?

The Baldor SmartMotor™ is the first product to integrate an adjustable speed inverter control with an industrial motor in one package. This innovative design represents a standard in Matched Performance™ for the drive (motor + control) industry.

TB Wood's gör också integralmotorer. Men de har tänkt till lite:

The solution is simple: move the inverter out of the cabinet and onto the motor it drives. But this remedy presents its own challenges. Under the guidelines of NEMA (MG1) specification and the IEC, motor profiles must meet standard dimensions. Mounting the inverter on top of the motor housing, as some manufacturers do, may render the assembly non-compliant. Yet the MG1 specification does offer some flexibility, as it does not define the length of the motor.

Man behåller alltså ytterdimensionerna, men gör motorn längre.

## Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

Telemekanik (ursäkta, Schneider) har också byggt in filter.

Altivar 18 is a ready-to-use frequency converter for 0.37 to 15 kW asynchronous motors. With integrated EMC filters across the range, it reduces the number of add-ons required and the time taken to set up a control system.

Klöckner har också byggt in filter.

The new D4 frequency inverter system is a complete automation module which can be used for a wide range of tasks. The power range is from 0.37 to 90 kW. DC braking is a standard feature. Filters keep electromagnetic interference to within European EMC limits.

Och Reliance.

Jupiter's benefits cited by Reliance Electric include a "true performance- matched drive and motor" and elimination of the panel space needed for a separate drive and of the wiring between motor and drive. The latter usually means long cables and costly filters when PWM waveforms must be distributed over some distance. The product will meet European CE 96 RFI/EMI standards, states Reliance.

# Vad kända och okända tillverkare tänker och gör

---

Siemens satsar på integrerade filter på de små omriktarna..

<http://www.siemens.com.au/spd/news/master.html>

MICRO MASTER / MIDI MASTER

AC Inverters up to 37kW

The successful Siemens SIMOVERT© MICRO MASTER© and MIDI MASTER© AC drives cover applications for motors from 0.25 - 37kW (1/3HP to 50HP).

- Integrated radio interference suppression filter for MICRO MASTER©

..men har också ett program med integralmotorer

[http://www.asi.siemens.de/asi/1/standard/e\\_combi1-0.html](http://www.asi.siemens.de/asi/1/standard/e_combi1-0.html)

Reduced system cost by elimination of:

- cables between inverter and •motorcubicle housings

COMBIMASTER has the highest reliability by

- Maintaining the most important international quality standards, for example, VDE, DIN or DIN ISO 9001, CE certified;

Built in EMC filter - Class A and Class B options

# Alla arbetar tydligen med filter. Men det finns många sätt att få en katt..

---

## **NFO Sinus. En intressant svensk lösning**

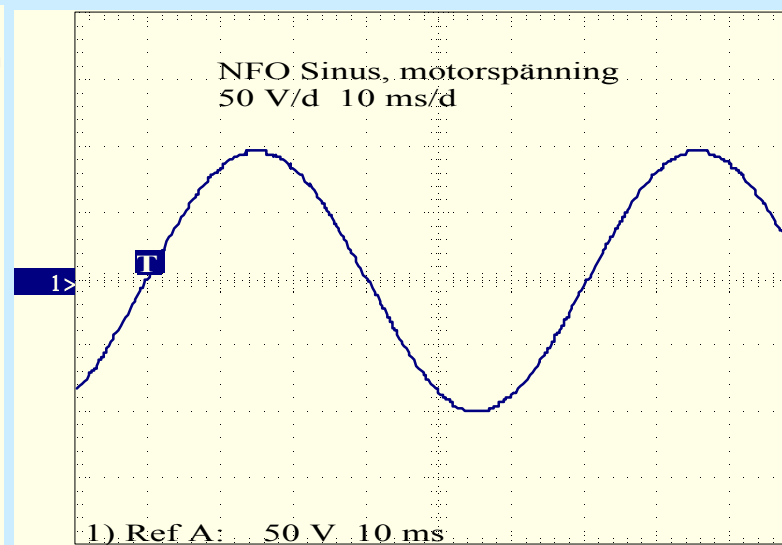
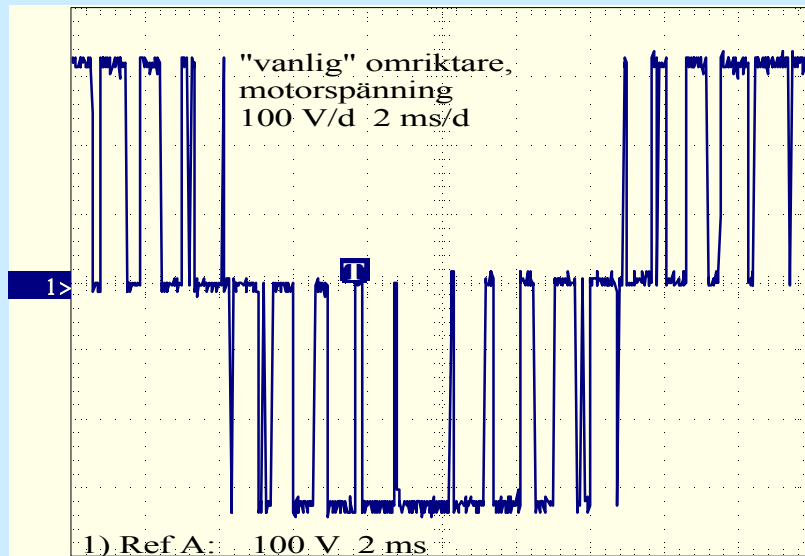
Kort sagt: alla arbetar med integralmotorer eller integrerade filter. Åtminstone för de mindre modellerna - och framför allt för de enfasmatade typerna.

Det finns dock en del problem med filter. Framför allt har man inte riktigt kontroll över vad som sker när kabelkapacitansen kommer till - eller om man ställer om switchfrekvensen. Det är också oklart hur spänningsfall i filtret påverkar motormomentet ( $M = k \cdot U^2$ ). Vissa filterkonfigurationer gör också att switchtransistorerna får arbeta onödigt hårt.

NFO Drives har med sin NFO Sinus angett en alternativ väg: De reaktiva komponenter, som behövs för att hålla ström- och spänningsderivator i schack, har flyttats in i - och utgör en väsentlig del av - kraftelektroniken. Resultat: en perfekt sinusform, mycket låg emission, inga problem med motorisolation eller kabelskador, full kontroll över motorspänningen (inget okontrollerat spänningsfall i filtret).

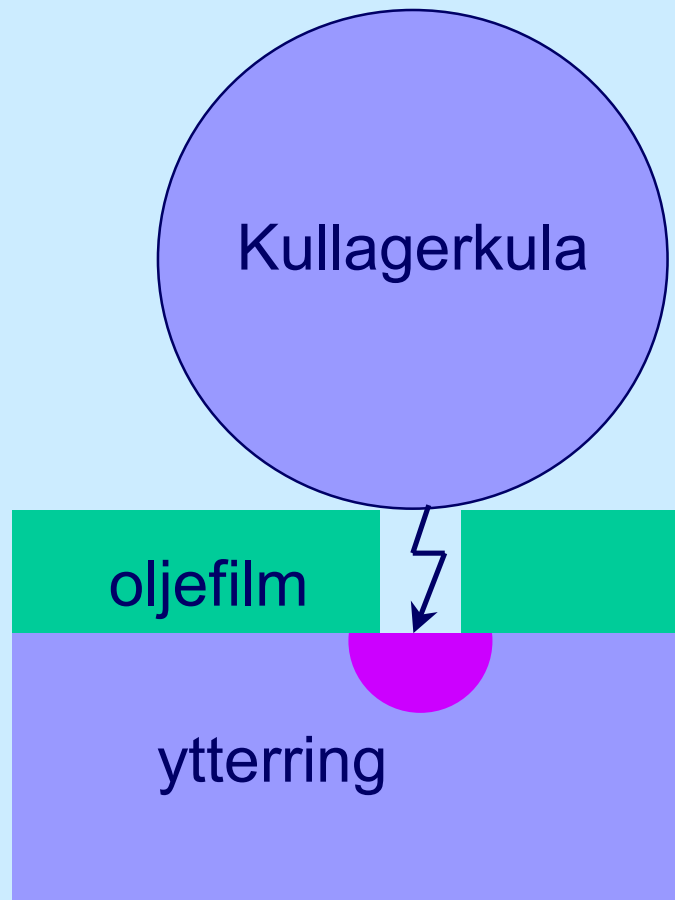
<http://www.nfo.se>

# Mätningar på "vanlig" frekvensomriktare och NFO Sinus



Båda omriktarna arbetar från enfasnät och är på 1,5 kW. Begreppet fast switchfrekvens är knappast tillämpligt. NFO Sinus ger ren sinusspänning till motorn på grund av att induktans och kapacitans ingår i - och är en aktiv beståndsdel av - slutstegen.

# Frekvensomriktare stör även mekanik. Kullager i detta fall.



Om rotorn i en asynkronmotor har spänning i förhållande till jord så strävar den att ladda ur sig så fort som möjligt. Urladdningen sker ofta genom "hål" eller via föroreningar i oljefilmen.

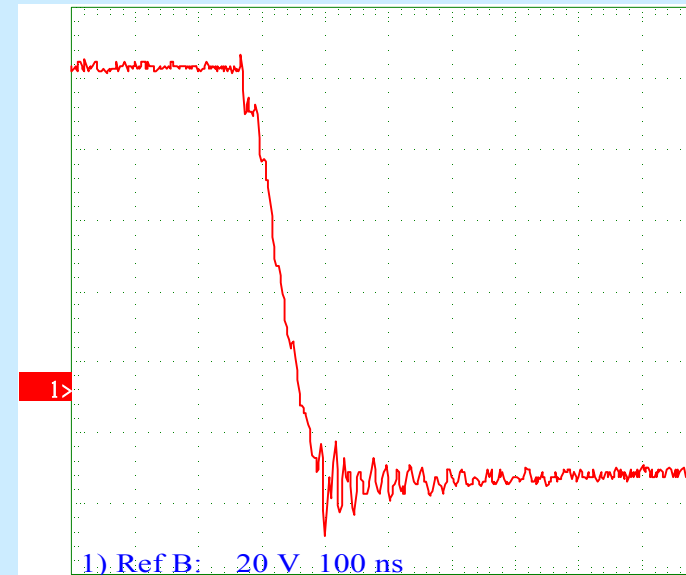
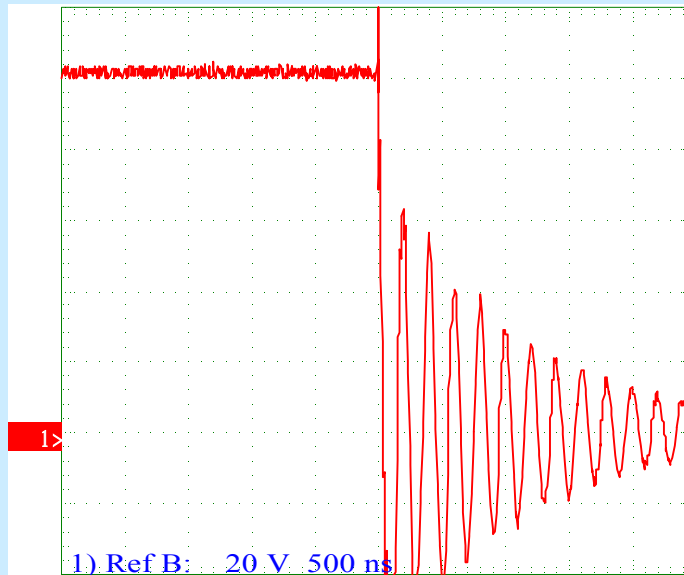
Under rotationen växlar isolationstillståndet mellan isolation, överledning och ren kortslutning.

PWM-spänningen i statorn kopplas kapacitivt till rotorn. Kopplingsfaktorn är i storleksordningen 10 %. Varje flank (säg 700 V) blir därför till ett ca 70 V språng i rotorn.

Om rotorn befinner sig i isolerat tillstånd händer ingenting. Det är först när isolationen blir dålig som urladdning sker.

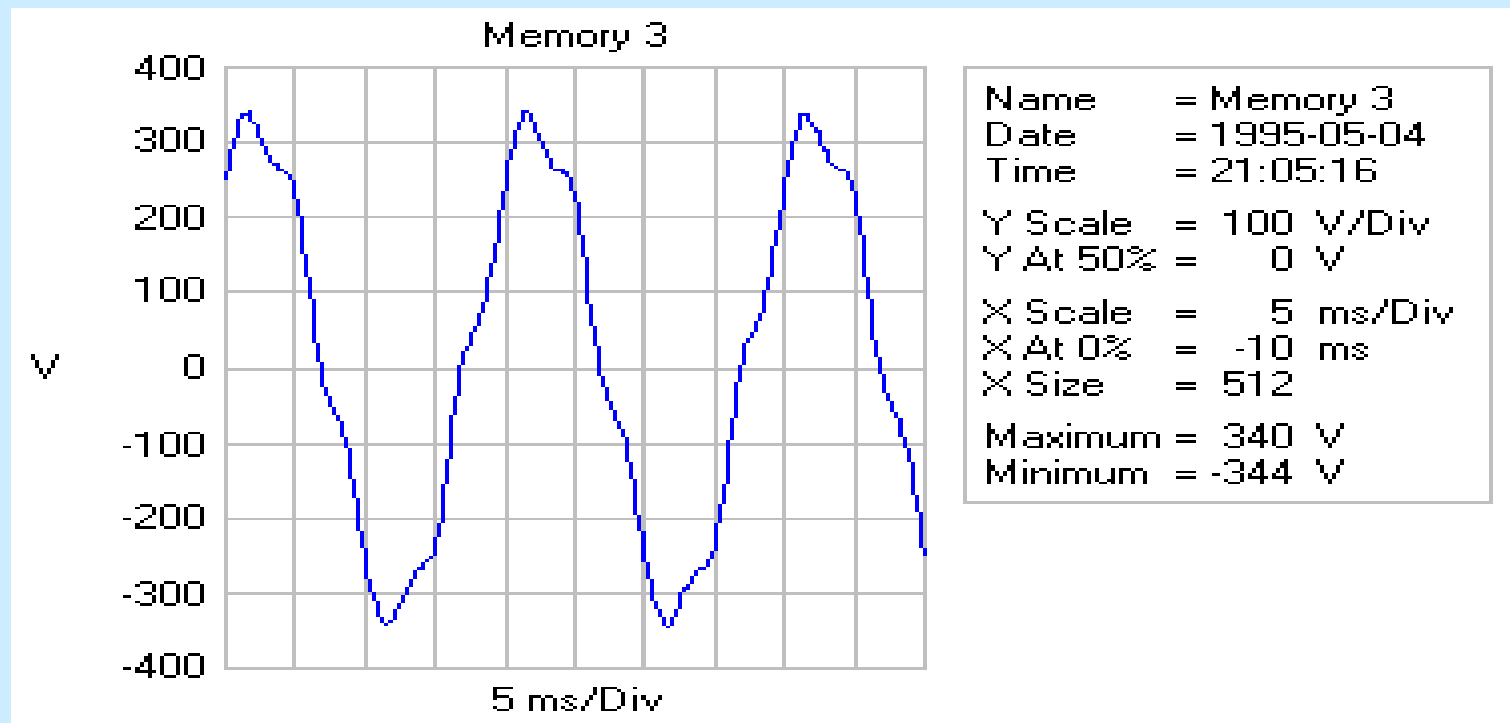
Ofta sker urladdning snabbt, med hög lokal energiutveckling så att en liten skada (halvcirkeln) uppstår.

# Frekvensomriktare stör även mekanik. Kullager i detta fall.



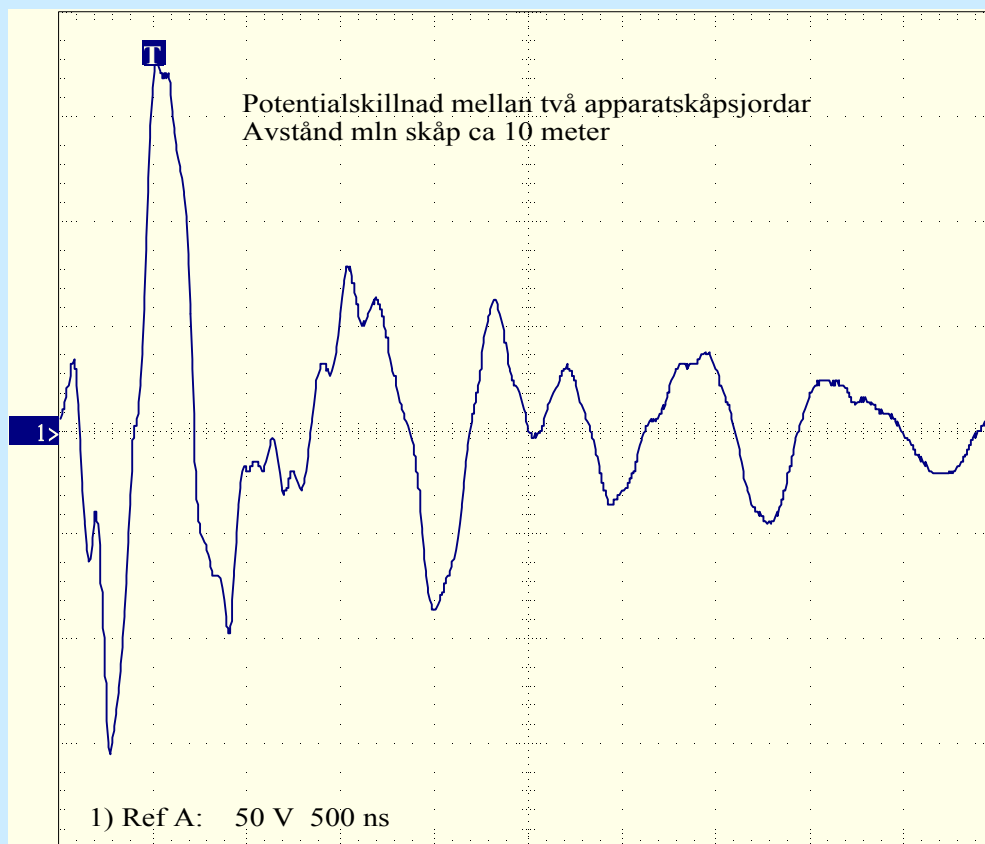
Registreringar från överslag i kullager. I den vänstra bilden visas ren kortslutning. Förlusterna är små och värmeutvecklingen - skadan - liten. I den högra registreringen är resistansen i överslagsstället högre. All energi förbrukas i överslaget. Rotorkapacitans i detta fall ca 1 nF.

# Praktikfall. Elmiljö



Spänning i lågspänningsnät för processindustri. THD ca 10 %, mest 5. delton. Drift utan påtagliga störningar. Datorer, motorer, belysning.

# Praktikfall. Elmiljö

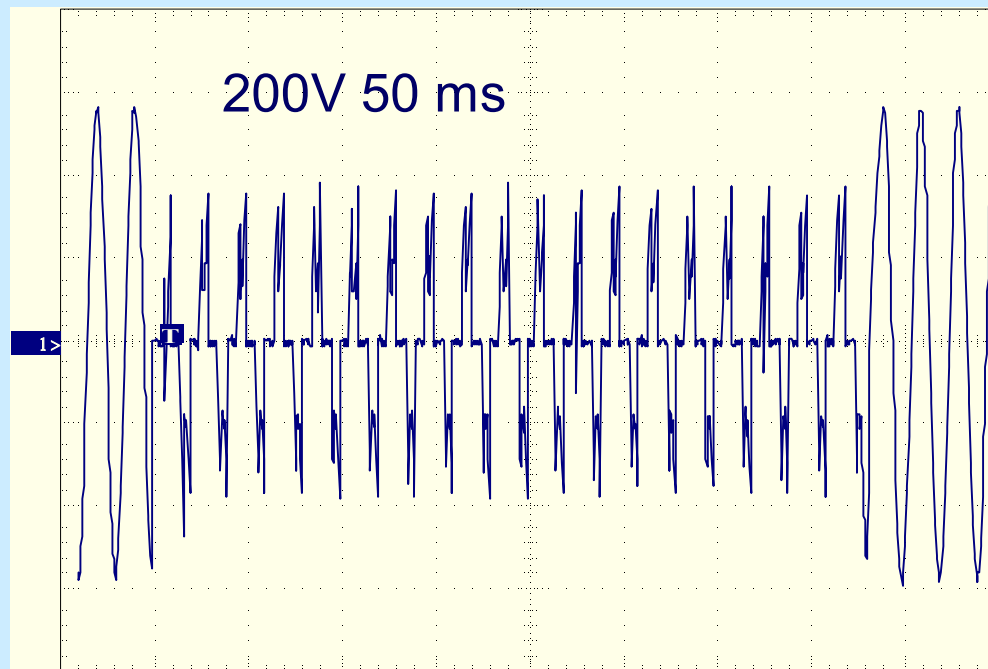


Ca 150 V potentialskillnad mellan två förbundna skåp på mindre än 10 meters avstånd.

Flanker med GV/s gör att kapacitansen i en optokopplare släpper igenom ca 10 mA dvs långt mer än tillräckligt för att rycka i efterföljande schmittrigger. Fiber är enda chansen.

Störkälla: 10 MeV linjäraccelerator för sterilisering.

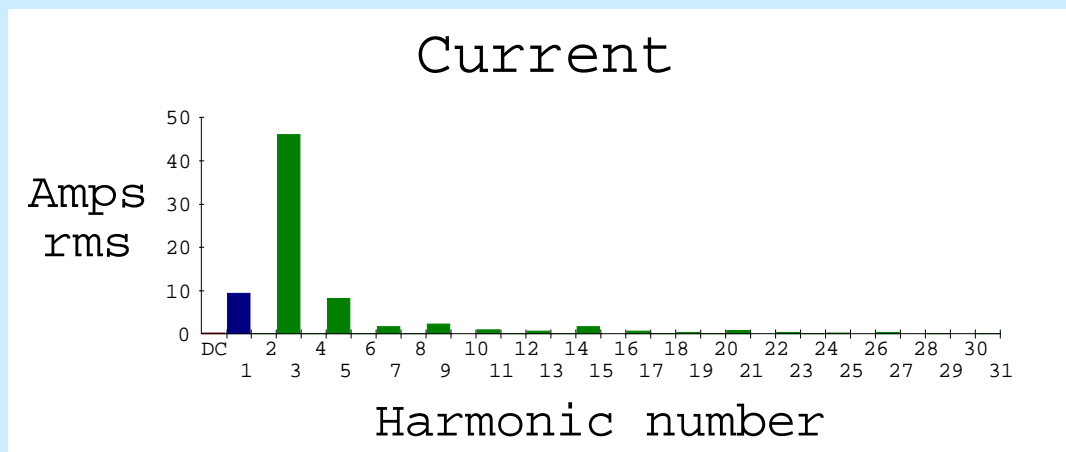
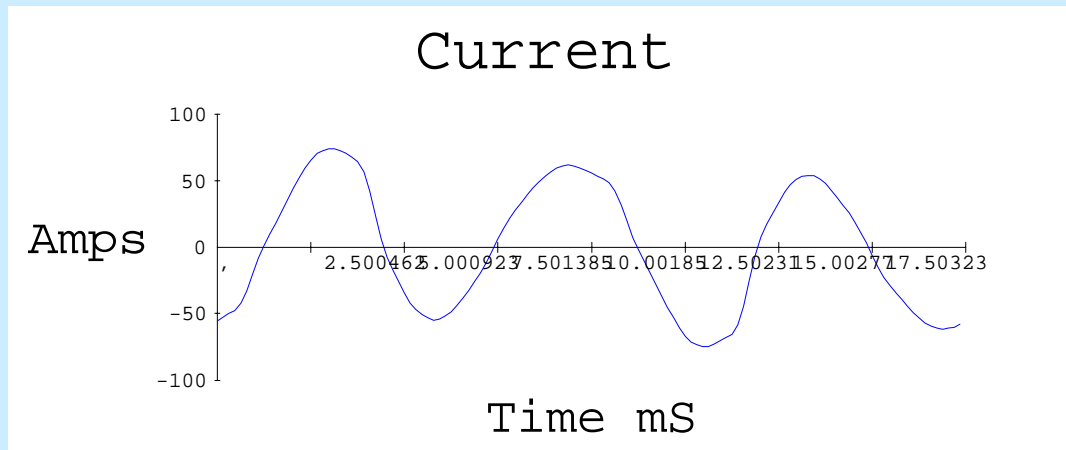
# Praktikfall. Elmiljö



Mätmaskinerna på denna mätplats fungerade inte bra på detta nät. Kraftfull punktsvetsmaskin hos grannfirma lastade ner nätet ca 350 ms med oregelbundna mellanrum.

Lyckligtvis höll inte grannfirmans säkringar så länge, så nu går det att mäta igen.

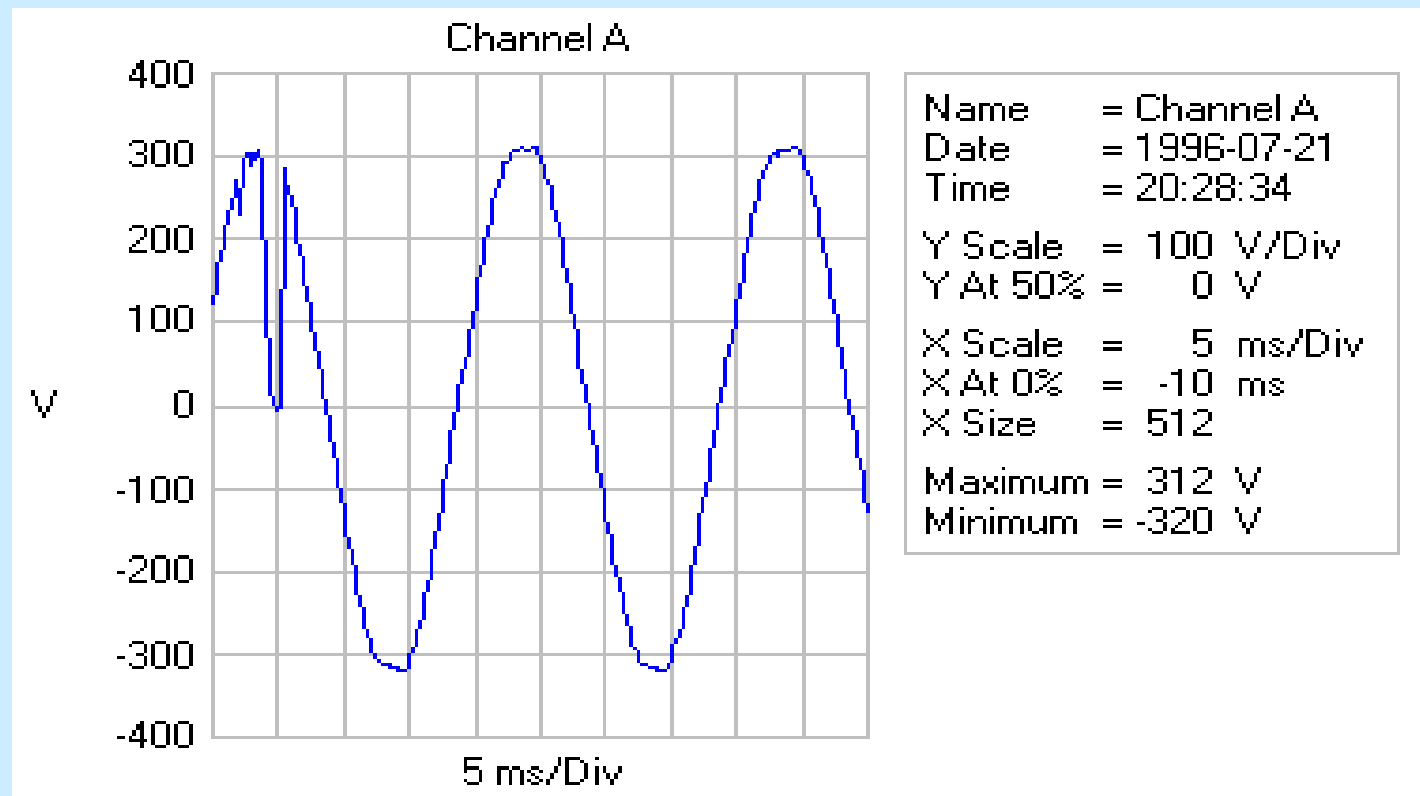
# Praktikfall. Elmiljö



Ström i N-ledare. Tredjeton är inte bara ett resultat av enfass frekvensomriktare. Datorer, lågenergilampor och andra laster med lågt lambda hjälper också till att öka strömmen i nollan.

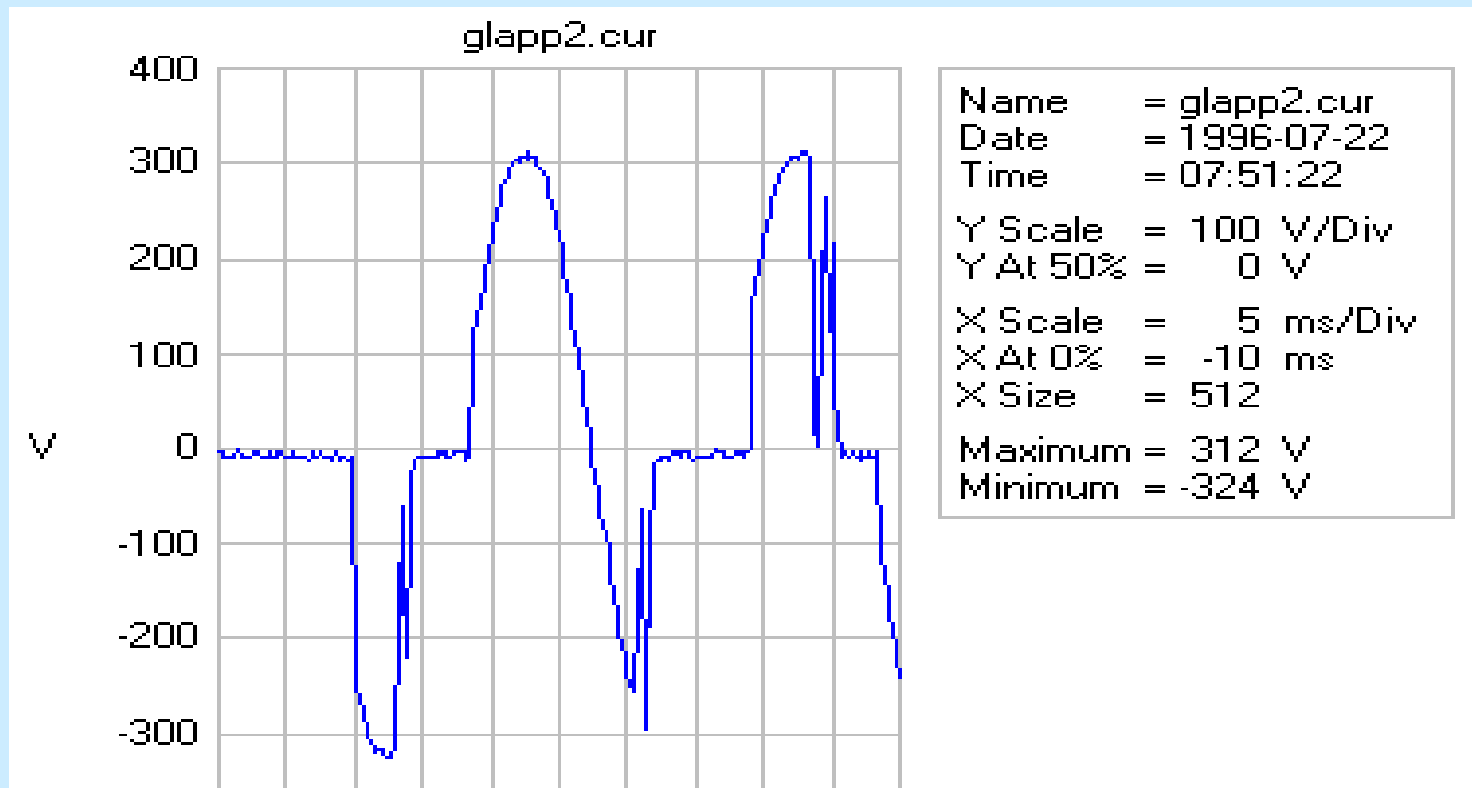
ABB har introducerat ett filter att placera i nollan för att reducera tredjetonen. Det är effektivt men fenomenet i form av ökad spänningsskillnad PE - N och fall av överlastade switchaggregat har rapporterats.

# Praktikfall. Elmiljö



Slutligen: Tänk efter innan du slår larm om elmiljö. Vad är detta, egentligen?

# Praktikfall. Elmiljö



Föregående bild var en mild variant av den här störningen. Nu syns det väl vad det är?