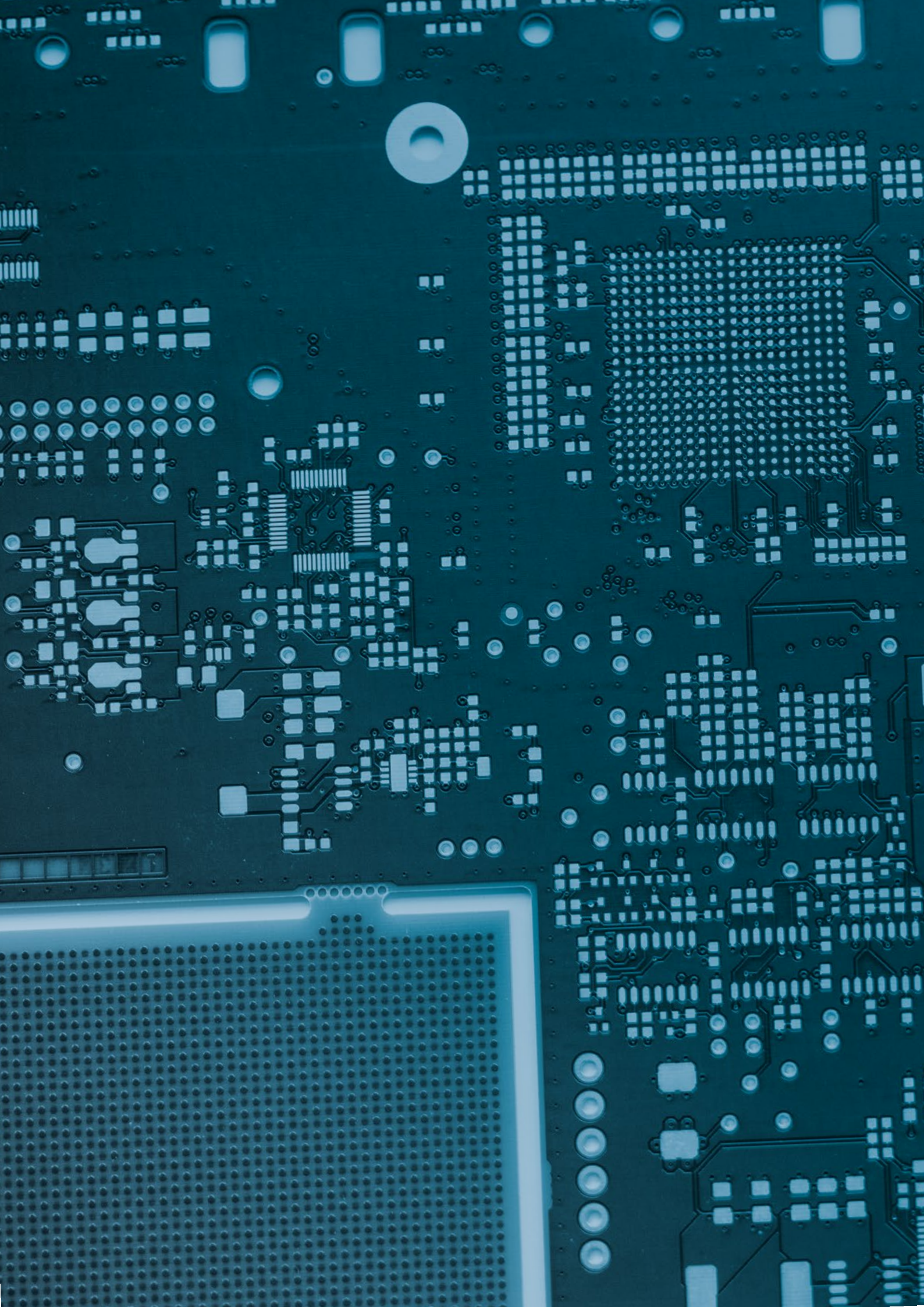


**Smartare  
Elektroniksystem**  
ELECTRONIC COMPONENTS & SYSTEMS

 **SVENSK  
ELEKTRONIK**

# Smartare kraftelektronikhandboken



## Revisionshantering

Detta är första versionen av Smartare Krafftelektronikhandboken (utgiven 2024).

## Styrgrupp:

Anna Wibom, Smartare Elektroniksystem

Carl-Mikael Zetterling, KTH

Maria Månsson, Smartare Elektroniksystem

## Processledare och huvudskribent:

Vidar Wernöe

## Deltagande företag och organisationer:

DELTA – a part of FORCE Technology

EK Power Solutions

ElektronikCentrum

EriPower

Henrik Sennerö

KTH

Micropower

NCAB

OEM Electronics

Powerbox

Transformator-Teknik

Westermo

XP Power

## Upphovsrätt

Denna handbok får användas och spridas fritt i sin helhet. Om bilder eller delar av texterna används i andra sammanhang ska följande referens anges: Smartare Krafftelektronikhandboken utgiven av Smartare Elektroniksystem.

## Disclaimer

Denna handbok är skriven baserad på den samlade kunskap och erfarenhet arbetsgruppen har inhämtat under sina år i branschen. Trots att vi har gått igenom materialet noggrant ett flertal gånger kan vi inte garantera att det inte har smugit sig in felaktigheter och alla som använder sig av innehållet i handboken gör det på eget ansvar. Smartare Elektroniksystem, huvudskribenten eller arbetsgruppen tar inte på sig något ansvar för fel eller skador som uppstår inom de områden den här handboken omfattar.

**Formgivning:** Oh My

**Tryck:** Wefixit

**ISBN:** 978-91-989591-3-0

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Vad är kraftelektronik och var finns den?</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Krav på energieffektivisering</b> .....	<b>9</b>
2.1 Externa nätaggregat .....	10
2.2 Varvtalsreglerare/Frekvensomriktare .....	10
<b>3. Systemering</b> .....	<b>13</b>
<b>4. Konstruktionsval och teknologier</b> .....	<b>15</b>
4.1 Färdig lösning eller konstruera egen omvandlare? .....	15
4.2 Halvledarteknologier .....	16
4.3 Analog eller digital styrning? .....	17
<b>5. Topologier</b> .....	<b>18</b>
5.1 Buck .....	18
5.2 Boost .....	19
5.3 Buck-Boost .....	19
5.4 Flyback .....	20
5.5 Forward .....	20
5.6 Två-transistor Forward .....	21
5.7 Halvbrygga .....	21
5.8 Push-Pull .....	22
5.9 Fullbrygga .....	22
5.10 LLC .....	23
<b>6. Termiska aspekter</b> .....	<b>24</b>
<b>7. Viktiga standarder för kraftelektronik</b> .....	<b>26</b>
7.1 Elsäkerhetsstandarder .....	27
7.2 Elsäkerhetsklass .....	28
7.3 Isolation, föroreningsgrad överspänningskategori och materialklass .....	29
7.4 Transformatorer och strömförsörjning .....	32
7.5 Elsäkerhet och jordning .....	33
7.6 Jordläckström .....	34
7.7 Harmonisk distorsion .....	35
7.8 Flimmer .....	36
7.9 Utstrålade och ledningsbundna emissioner .....	36
7.10 Immunitet .....	39
7.11 Andra EMC krav .....	41
7.12 Övriga tips och rekommendationer .....	42

<b>8. Transformatorer och induktorer.....</b>	<b>43</b>
8.1 Transformatorer .....	43
8.2 Induktorer.....	46
8.3 Övriga tips och rekommendationer .....	47
<b>9. Mönsterkortslayout .....</b>	<b>48</b>
9.1 Konstruktionsregler .....	48
9.2 Kortkontur .....	52
9.3 Kortuppbyggnad .....	52
9.4 Jordning och EMC.....	53
9.5 Komponentplacering, ledningsdragning och EMC .....	53
9.6 Termisk konstruktion och kylning .....	54
9.7 Övriga tips och rekommendationer.....	55
<b>10. Arbeta elsäkert på kraftelektronik.....</b>	<b>56</b>
10.1 Riskhantering och systematiskt arbetsmiljöarbete .....	56
10.2 Elsäkerhetsverkets förordning, ELSÄK-FS 2022:1 .....	59
10.3 Elanläggningar – säkerhet vid arbete, SEK Handbok 446 .....	59
10.4 Uppställning och skötsel av elektrisk provningsutrustning, EN 50191 .....	60
<b>11. Vanligt förekommande brister i kraftelektronik .....</b>	<b>62</b>
11.1 Brister i den tekniska specifikationen .....	62
11.2 Bristfällig EMC-design .....	63
11.3 Bristande överspänningsskydd .....	63
11.4 Avsaknad av eller felaktigt konstruerade ingångsfilter.....	64
11.5 Bristande mönsterkortslayout.....	64
11.6 Bristfällig dimensionering av komponenter .....	65
11.7 Temperaturproblem .....	66
11.8 Mekanikproblem .....	66
11.9 Marginalanalys.....	67
11.10 Livscykel- och tillgänglighetsanalys .....	67
<b>12. Mall för konstruktionsspecifikation .....</b>	<b>68</b>
Konstruktionsspecifikation .....	68
<b>13. Ord och uttryck inom kraftelektronik .....</b>	<b>80</b>

# Förord

**Smartare Elektroniksystem** är ett strategiskt innovationsprogram inom ramen för Vinnova, Formas och Energimyndighetens gemensamma satsning på strategiska innovationsområden. Programmets mål är att stödja den svenska industrin för hållbar utveckling och konkurrenskraft i världsklass. Under arbetet med framtagning av agendan för programmet lyftes tre huvudutmaningar fram som de viktigaste för att klara framtidens krav. Dessa var spetskompetens, kompetensförsörjning och en effektiv värdekedja. För varje utmaning tillsattes ett råd, och det är i Värdekedjarådet som arbetet med handböcker har initierats. Den första handboken "Smartare Elektronikhandboken" togs fram 2017, version 2.0 kom ett par år senare och har fått stor uppskattning och användning inom branschen och i utbildningar. Smartare Elektronikhandboken har följts av ytterligare handböcker varav denna publikation *Smartare Kraftelektronikhandboken* är en.

Krafterelektronik förekommer i nästan alla elektronikprodukter. Det kan vara allt från intern spänningsomvandling, batterirelaterat eller kopplat till extern strömförsörjning. Den är idag även högaktuell på grund av behovet av klimatomställning, sänkt energiförbrukning och fossilfri el. Såväl infrastrukturen för energiförsörjningen som elektrifieringen av till exempel fordonsflottan kräver mer krafterelektronik och större kunskap inom detta teknikområde.

Smartare Krafterelektronikhandboken har tagits fram av huvudskribenten i samarbete med en arbetsgrupp med representanter från företag och organisationer som bidragit med sina kunskaper och erfarenheter. Teknikområdet är stort och komplext och handboken har avgränsats till att ta upp grundläggande kunskaper och krav. Denna handbok i kombination med Smartare

Elektronikhandboken 2.0 och övriga handböcker, underlättar kunskapsöverföring och kommunikation mellan de parter som ska utveckla en energieffektiv och säker elektronikprodukt.

Samtliga handböcker förvaltas efter lansering av Branschorganisationen Svensk Elektronik.

Vi hoppas att du finner handboken användbar i ditt dagliga arbete. Den är skriven av tekniker för tekniker, men kan även vara till hjälp för fler intressenter i värdekedjan.

Sprid gärna denna handbok bland dina leverantörer och kunder!

Handboken finns att ladda ner från:  
[www.smartareelektroniksystem.se](http://www.smartareelektroniksystem.se)  
och [www.svenskelektronik.se](http://www.svenskelektronik.se)

De tidigare handböckerna "Smartare elektronikhandboken" och Cybersäkerhetshandboken finns och används sedan några år och har rönt mycket uppskattning. Dessa handböcker förvaltas av Branschorganisationen Svensk Elektronik.

Med vänliga hälsningar,  
*Arbetsgruppen bakom Smartare  
Krafterelektronikhandboken.*

# 1. Vad är kraftelektronik och var finns den?

**Utan att vi** så ofta är medvetna om det, omger vi oss med produkter och system som innehåller just kraftelektronik. Det enklaste exemplet är mobiltelefonen, som via sin laddare varje dag kopplas till vägguttaget. Laddaren omvandlar spänningen i vägguttaget till 5 Vdc som mobilen kan hantera. Genom sitt breda inspänningsområde på 100-240 Vac, nätfrekvensen 50 eller 60 Hz och med alla certifieringar fungerar laddaren överallt i världen. Vi kan, utan att riskera att komma kontakt med vägguttagets farliga spänning, tryggt ta med den överallt i världen och dagligen få vår mobil laddad.

Kraftelektronik finns i någon form i de flesta produkter och i en mängd olika tillämpningar. Exempel på kraftelektronik är olika typer av strömförsörjning, nätaggregat, batteriladdare och frekvensomriktare för att styra elmotorer. Kraftelektroniken används, i sin tur, i en mängd olika applikationer som motorstyrningar i elbilar, elbilsladdning, solcellssystem, i elektriska skruvdragare och robotar, induktionshällen i köket eller till framdrivningssystemen i tåg. Kraftelektronik finns också som mindre spänningsomvandlare internt i produkterna. Dagens avancerade produkter och processorer kräver ofta många olika matningsspänningar för att fungera. En laptop har exempelvis flera olika interna matningsspänningar för att driva olika komponenter och delsystem. Dessa kan inkludera processorn, minnet, skärmen, kameran och olika trådlösa gränssnitt som Wi-Fi, Bluetooth och mobilnätverk.

För svensk industri är just kraftelektroniken en vital nyckelkomponent och ett kunskapsområde som bolagen behöver ha kompetens kring. Detta har blivit särskilt tydligt i den elektrifieringsvåg som pågår. Fordonstillverkarna satsar stort på att gå ifrån den traditionella förbränningsmotorn till elmotorer. Fabriker för

**Kraftelektronik** är ett teknikområde som hanterar omvandling av elektrisk energi med hjälp av elektronik. Kraftelektronik som beskrivs i denna handbok ska inte blandas ihop med den enklare omvandling av elektricitet som görs exempelvis i fristående transformatorer. Kraftelektronik består av halvledare, som fungerar som elektroniska strömbrytare, också kallade "switchar" och som omvandlar den elektriska energin på ett flexibelt sätt avseende frekvens, ström och spänning. Exempel på halvledande komponenter som används inom kraftelektronik är transistorer, dioder och tyristorer. Kraftelektronik kan också innehålla andra elektroniska komponenter såsom exempelvis transformatorer, induktorer och kondensatorer.

Begrepp som nätaggregat, strömförsörjning, batteriladdning, frekvensomriktare, AC/DC- eller DC/DC-omvandlare används i denna handbok och är alla exempel på kraftelektronik.

storskalig tillverkning av batterier etableras – batterier som behöver laddas med hjälp av kraftelektronik. Även cyklar, motorcyklar och båtar elektrifieras. Nya leverantörer växer fram som levererar laddningslösningar till fordon eller för solcellssystem och hemmabatterier. Redskap som gräsklipparen, häcksaxen och motorsågen har de senaste åren också elektrifierats. Listan på användningsområden och var kraftelektronik finns och behövs kan göras nästan oändligt lång.

Trots detta är kunskapsnivån om kraftelektronik och hur man konstruerar kvalitetsprodukter innehållande just kraftelektronik generellt sett bristande. Men kraftelektronik handlar inte bara om kraftkomponenter och olika switchtopologier utan är ett tvärvetenskapligt område som omfattar flera spännande teknikområden som exempelvis regler teknik, transformator teknik, EMC och elsäkerhet. Denna handbok ger en översiktlig bild över området, men även konkreta konstruktionstips och rekommendationer. Notera att varje produkt- och applikationsområde har sina specifika regler och krav. Alla områden vidareutvecklas också, så vad som gäller idag behöver

inte nödvändigtvis vara rätt imorgon. Det är därför alltid viktigt att ta reda på vad som gäller för just den aktuella produkten och marknaden.



EN MODERN INDUKTIONSHÄLL INNEHÅLLER EN MYCKET STOR ANDEL KRAFTELEKTRONIK.



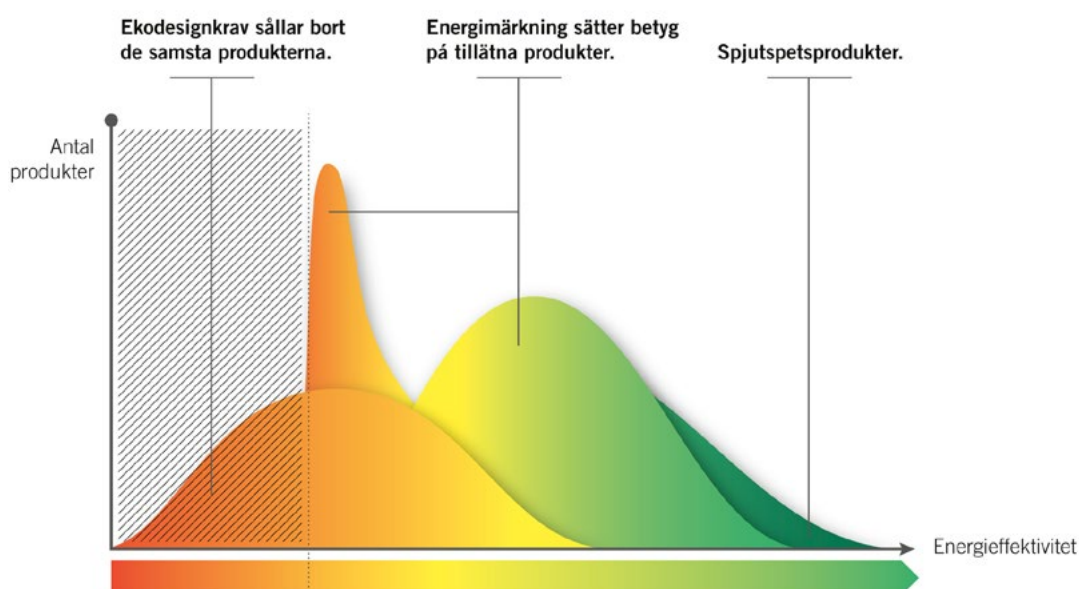
## 2. Krav på energieffektivisering

**Energisystemet står inför** stora förändringar i syfte att uppnå klimat- och energipolitiska mål. Världen genomgår en stor omställning med krav på utfasning av fossila bränslen. Utöver ökad användning av förnybara energikällor kommer energieffektivisering och elektrifiering vara viktiga delar. Enligt Energimyndighetens scenarier kan elanvändningen i Sverige öka från 134 TWh år 2020 till 230-349 TWh år 2050.

EU beslutade 2009 om införande av ett nytt Ekodesigndirektiv, 2009/125/EU. Direktivet är ett så kallat ramdirektiv som olika produkt-direktiv är kopplade till. Produktdirektiven sätter minimikrav på energiprestanda och förbjuder de mest energi- och resurskrävande produkterna på EU-marknaden. Tanken är att Ekodesigndirektivet, med tillhörande produktdirektiv ska förbättra produkters miljöprestanda under hela livscykeln. Genom kraven förbjuds de allra

sämsta produkterna på marknaden, sett ur ett energi- eller livscykelperspektiv.

Ekodesigndirektivet omfattade 31 produktgrupper år 2023. Enligt EU-kommissionen var energibesparingen år 2020, 537 TWh per år inom EU. Många av produktgrupperna innehåller kraftelektronik. Oavsett vilken produkt som utvecklas, tillverkas och levereras till kund behöver man alltid kontrollera vilka produktkrav, inklusive ekodesignkrav som gäller. Ekodesigndirektivet är utformat så att produktkraven hela tiden ska ses över med utgångspunkt i den bästa tillgängliga tekniken på marknaden. Därför behöver man särskilt ta hänsyn till just ekodesignkraven under produktutvecklingsarbetet. En rekommendation är att följa förarbetena till kraven på Energimyndighetens hemsida.



EKODESIGNDIREKTIVET SÄTTER MINIMIKRAV PÅ ENERGIPRESTANDA HOS PRODUKTER OCH FÖRBJUDER DE MEST ENERGI- OCH RESURSKRÄVANDE PRODUKTERNA PÅ EU-MARKNADEN. **KÄLLA:** ENERGIMYNDIGHETEN

Förutom produktdirektiven finns ett horisontellt direktiv som omfattar de flesta elektriska och elektroniska hushålls- och kontorsprodukter. Det är direktivet om låga standby- och off-mode krav. De innebär bland annat att produkter endast får använda 0,5 W i standby-läge. Enbart detta ekodesignkrav förväntas spara 32 TWh per år från år 2030.

Under 2024 håller nya produktgrupper med betydande andel kraftelektronik på att få ekodesignkrav. Dessa är solpaneler inklusive växelriktare, laddboxar och snabbbladdare till elbilar. Att ställa krav på energieffektivitet i dessa produkter är mycket viktigt då volymerna beräknas öka kraftigt fram mot 2050.

Nedan beskrivs två produktgrupper med kraftelektronik.

## 2.1 Externa nätaggregat

Externa nätaggregat, ofta kända som strömadapter eller laddare, är en vanlig komponent i många elektriska och elektroniska hushålls- och kontorsprodukter, inklusive bärbara datorer och mobiltelefoner. Dessa enheter omvandlar växelström från vägguttaget till den lägre likström som krävs av apparaten, och fungerar ofta också som laddare för apparatens batteri.

EU har infört specifika ekodesignkrav för externa nätaggregat, EU-förordning 2019/1782, med en uteffekt på upp till 250 W. Dessa krav syftar till att minimera energiförlusterna när enheten är i nollast (när den är ansluten till elnätet men inte till apparaten) och att maximera verkningsgraden när den är i aktivt läge (när den levererar ström till apparaten). Dessa krav förväntas resultera i en årlig energibesparing på 4,3 TWh i EU år 2030.

Enligt de nya kraven som föreslagits 2023, ska ett externt nätaggregat med en uteffekt på mer än 49 W ha en verkningsgrad på minst 89% över lastområdet. Vid 10% last får verkningsgraden sjunka till 84 % och strömförbrukningen vid standby/noll-last får maximalt uppgå till 0,15 W. Dessutom ska den förväntade livs-

längden vara 10 år vid kontinuerlig drift och full effekt. MTBF (Mean Time Between Failures) ska minimum vara 300 000 timmar.

Ett viktigt tillägg till dessa krav är att två år efter att förordningen trätt i kraft ska ett AC/DC externt nätaggregat vara ett USB-nätaggregat, om det inte uppfyller minst ett av vissa villkor. Dessa villkor inkluderar bland annat att uteffekten på märkplåten överstiger 240 W, att nätaggregatet är avsett att användas i en miljö som kräver skydd mot fuktighet (IPX-klass högre än noll); att det måste klara antistatisk urladdning enligt IEC 61000-4-2 på nivåer högre än 4 kV för kontakurladdning och 8 kV för lufturladdning; att det är avsett att användas på otillgängliga platser eller i tuffa miljöer. Vidare undantag gäller om nätaggregatet är avsett att endast användas med leksaker, icke-batteridrivna ljudutrustning, eller icke-batteridrivna produkter med högeffektsbehov.

Detta är ett steg mot standardisering av laddare, vilket kan minska elektroniskt avfall och göra det lättare för konsumenterna.

## 2.2 Varvtalsreglerare/ Frekvensomriktare

En varvtalsreglerare, vidare benämnd som frekvensomriktare, är en elektronisk effektomvandlare som kontinuerligt anpassar den elektriska effekt, spänning och frekvens som tillförs en elmotor i syfte att motorn ska ha korrekt vridmoment och varvtal. Direktivet omfattar all elektronik mellan elnätet och motorn.

Elmotor drivna system beräknas enligt Energimyndigheten stå för runt 65% av elanvändningen inom industrin och nästan 40% av Sveriges totala elanvändning.

Från och med den 1 juli 2021 måste varvtalsreglerare uppfylla energieffektivitetsnivå IE2 enligt EU-förordningen 2019/1781. Det innebär att deras effektförluster inte får överstiga de maximala förluster som anges för denna nivå. Energieffektiviteten för varvtalsreglerare, uttryckt som internationella energieffektivitetsklasser (IE), bestäms på grundval av deras effektförluster.

### Ekodesignförordningen (ESPR)

Den nya förordningen om ekodesign för hållbara produkter (ESPR), som ska ersätta ekodesigndirektivet, utgör, liksom det tidigare direktivet, ett ramverk för utformning av krav på specifika produktgrupper. Syftet i ESPR är att främja en cirkulär användning av resurser längs med hela värdekedjan.

En tydlig skillnad med ESPR är att omfattningen är betydligt större, det vill säga inte längre bara gälla energianvändande produkter. Det äldre ekodesigndirektivet har dock varit en förlaga för ESPR, hur krav ställs och vilken arbetsmetodik som kommissionen ska använda för att ta fram nya kommissionsförordningar etc. I både det äldre direktivet och i ESPR finns möjlighet att ta fram produktspecifika akter och horisontella akter för många olika produktgrupper.

Kraven i ESPR kan avse en rad olika aspekter och har utvidgats jämfört med det äldre direktivet, exempelvis produktens energiprestanda, återanvändbarhet, toxicitet, koldioxid- och miljöavtryck samt andel återvunnet material. Ekodesignkraven kan vara av två slag, antingen prestandakrav eller informationskrav. Förordningen etablerar nyheten om ett digitalt produktpass som är tänkt att innehålla information om produkten som är relevant för köpare eller tillsynsmyndighet, men även aktörer som reparerar, återtillverkar (återställer till brukbart skick efter tidigare användning) eller återvinner produkten. ESPR:en publicerades i maj 2024.

Övergångsbestämmelser har fastställts i ESPR för att säkerställa att det förberedande arbete som gjorts för att bedöma genomförbarheten av kraven på ekodesign, i enlighet med ekodesigndirektivet, inte går förlorat. Dessa bestämmelser syftar till att bevara och underlätta övergången mellan tidigare och nya krav, samt att säkerställa en smidig implementering av nya regler och riktlinjer inom ekodesignområdet.

Det är möjligt att anta ekodesignkrav enligt det äldre direktivet till och med 31 december 2026 för solpaneler, pannor och värmepumpar för rumsuppvärmning respektive med inbyggd tappvarmvattenberedning, varmvattenberedare, rumsvärmare för fastbränsle, luftkonditioneringsapparater, inbegripet luft-luftvärmepumpar och komfortfläktar, värmepannor för fastbränsle, produkter för ventilationsvärme och kylning, ventilationsenheter, dammsugare, köksapparater, vattenpumpar, industrifläktar, cirkulatorer, externa nätaggregat, datorer, servrar och datalagringsprodukter, krafttransformatorer, kylskåp och frysar för professionellt bruk och bildåtergivningsutrustning.

Till den 31 december 2030 kan tekniska anpassningar göras på bestämmelser som antagits med stöd av artikel 15 i 2009/125/EG. Dock gäller vissa artiklar i ESPR parallellt.

Bestämmelser om upphävande och övergångsbestämmelser finns i ESPR artikel 78 och beskrivs i skäl (121).

De maximala effektförlusterna för klass IE2 är 25% lägre än det referensvärde som avses i Tabell 6 i förordningen.

För att bestämma energieffektivitetsklassen ska varvtalsreglerares effektförluster mätas vid 100% nominell momentgenererande ström och 90% nominell frekvens för motorstatorn. Förlusterna kan mätas med hjälp av metoden med ineffekt-uteffekt eller den kalorimetriska metoden.

Tillverkare kan använda beräkningsmetoder baserade på komponenttillverkares data, med typiska värden för effekthalvledare vid varvtalsreglerarens faktiska driftstemperatur eller den maximala driftstemperatur som anges i data-bladet. Om ingen sådana data finns tillgänglig, ska förlusterna fastställas genom mätning. Förluster kan också bestämmas genom en kombination av beräkningar och mätningar, där varje enskild förlust beräknas eller mäts

separat och de totala förlusterna fastställs som summan av alla enskilda förluster.

Tabell 6 i förordningen innehåller referensvärden för effektförluster och fasfaktor vid provbelastning, vilka används för att bestämma IE-klassen för varvtalsreglerare. Den specificerar de maximala tillåtna effektförlusterna för varvtalsreglerare, baserat på deras skenbara uteffekt och motorns märkeffekt.

Idag kan man med fördel konstruera hög-effektiva frekvensomriktare med kiselkarbid (SiC MOFSET) och därmed minska halvledarförlusterna med omkring 50% jämfört med konventionella krafthalvledare i kisel. Man kan också minska den totala elförbrukningen genom att göra frekvensomriktaren regenerativ. Det innebär att när elmotorn bromsar återmatas bromsenergin till elnätet.



FREKVENSONRIKTARE ÄR EN MYCKET VANLIG PRODUKT INOM INDUSTRIEN.

## 3. Systemering

**Kraftelektronik som är** direkt ansluten till elnätet utsätts för allehanda störningar, transienter och spänningsvariationer. Samtidigt ska omvandlaren ge en stabil spänning och ström till övrig elektronik. Produkten kan innehålla många känsliga elektroniska kretsar som behöver en stabil spänning.

En noggrann systemering behövs för att man inte senare under utvecklingsarbetet ska råka ut för problem. Det är vanligt att många produkter inte klarar kraven för certifiering och CE-märkning vid första provningen. Det leder oftast till tidsödande omkonstruktioner. Ofta förekommande problem relaterar till EMC, elsäkerhet eller temperatur.

Kraftelektroniken i en produkt är normalt bara en del av ett större system och en noggrann systemering är därför viktig. Även om kraftelektroniken i sig är korrekt konstruerad kan systemuppbyggnaden av den kompletta produkten skapa stora utmaningar. Ofta är dessa utmaningar relaterade till intern kabeldragning, där kraftkablage och känsligt signalkablage buntas tillsammans för att det ska se snyggt ut.

Att därför inte förstå och planera för systemets alla krav kan resultera i en konstruktion som blir felkonstruerad, inte klarar kraven för certifiering och som i värsta fall blir farlig.

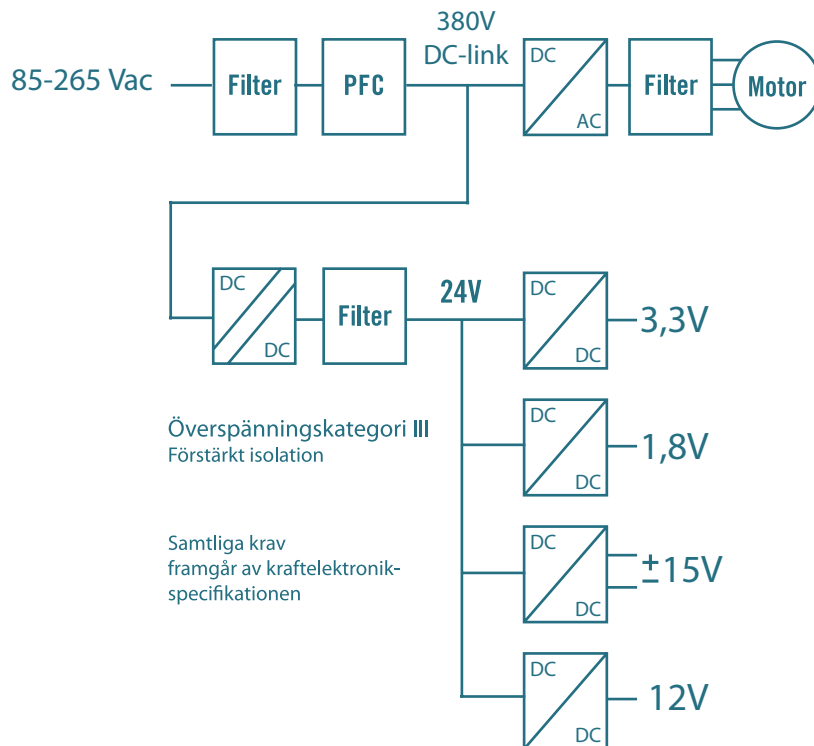
### Tips och rekommendationer för systemeringsarbetet:

- 💡 Gör en förstudie som leder fram till en fullständig teknisk kravspecifikation. Använd gärna mallen för konstruktionsspecifikation på sida 68 och de tips som finns under kapitlet "Bristar i den tekniska specifikationen".
- 💡 Klargör hur kraven på in- och utgångar ser ut. Vilka internomvandlare behövs och med vilka strömmar och spänningar? Vad är det för effekt som ska levereras till lasten?

Hur ser lasten ut och kan det bli stora ändringar i lasten som kräver snabba reglerloopar? Ta fram en lastgraf på hur lasten fungerar – tid, ström, spänning och stegsvar. Ska regleringen göras med mjukvara eller analogt?

- 💡 Klargör hur en effektiv värmeavledning ska implementeras med hänsyn till omgivande temperaturförhållanden och för att säkerställa optimal prestanda och tillförlitlighet.
- 💡 Utred hur verkningsgraden kan optimeras, exempelvis med hjälp av tekniker såsom synkron likriktning, soft switching, avancerade regleralgoritmer eller liknande. Genom att optimera verkningsgraden minskar energiförbrukningen men också de problem som ofta är relaterade till värmeutveckling och optimering av omvandlarens storlek.
- 💡 Klargör vilka EMC- och elsäkerhetsstandarder som gäller för produkten. I vilka länder eller regioner ska den säljas och vilka godkännanden behöver det ha? Klargör om det finns andra branschspecifika certifieringskrav.
- 💡 Bestäm konstruktionens överspänningskategori. Det är avgörande för att bestämma, dels immunitetsnivå (skydd mot överspänning- och åsktransienter), dels luftavstånd (clearance) och krypavstånd (creepage). Att följa relevanta elsäkerhetsstandarder och lagkrav är avgörande för att säkerställa produktsäkerhet och överensstämmelse med juridiska förpliktelser.
- 💡 Fundera på vilka skyddskretsar som behövs. Att integrera robusta skyddskretsar är avgörande för att skydda både kraftelektroniken och det övergripande systemet från överspänning, överström eller kortslutningsförhållanden.

- 💡 Gör en planering av hur EMC-aspekterna ska hanteras på systemnivå. Finns exempelvis tillgång på skyddsjord eller är systemet ojordat? Hur kopplas systemet ihop? Är det långa kablar? Är kablar och boxar skärmade?
- 💡 EMC är en kritisk faktor. Tänk på att systemera och konstruera med EMI/EMC-principerna i åtanke då det blir enklare att klara certifieringen. Interferensproblem upptäcks ofta sent i verifieringen och kan då vara besvärliga att åtgärda.
- 💡 Klargör produktens alla miljökrav så att den klarar långtidsdrift i avsedd miljö. Det kan exempelvis vara krav på mekanisk hållfasthet, som skak och vibration, men också fukt-tålighet och föroreningsnivå.
- 💡 Klargör tillförlitlighets- och kvalitetskrav och hur dessa tas om hand i konstruktionsarbetet. Det kan exempelvis vara krav på livslängd där de termiska aspekterna har avsevärd påverkan.
- 💡 Klargör tillverkningsbarhet och hur en kostnadsoptimering kan göras från start. Balansera komponenttillgänglighet, monteringsprocesser och kostnadsoptimering mot prestandakrav för att uppnå en kostnads-effektiv och skalbar produktion.
- 💡 Fundera även på produktens övriga miljö-påverkan. Finns det EKO-designkrav? Kan man konstruera för ökad hållbarhet, minskad miljöpåverkan och ett förbättrat företagsansvar? Inkludera en planering för hela produktens livscykel, från utveckling till avveckling, för en hållbar produktförvaltning.
- 💡 Klargör vem som är ansvarig för de olika delarna i produktutvecklingen som exempelvis mjukvara, elektronik och mekanik. Se till att det finns tydliga gränssnitt mellan de olika disciplinerna.
- 💡 Ta förslagsvis del av de kunskaper och rekommendationer som finns i Smartare Elektronikhandboken 2.0.



EXEMPEL PÅ EN ÖVERSIKT ÖVER PRODUKTENS HELA KRAFTSYSTEM FRÅN INGÅNG, HUVUDOMVANDLARE OCH ALLA LOKALA SPÄNNINGSOMVANDLARE. KÄLLA: SMARTARE ELEKTRONIKSYSTEM

## 4. Konstruktionsval och teknologier

### 4.1 Färdig lösning eller konstruera egen omvandlare?

När systemets alla krav är klarlagda, kravspecifikationen är komplett och det finns en tydlig systemöversikt, behöver man besluta hur konstruktionen ska realiseras. Ofta består ett kraftelektroniksystem i en produkt av en kombination av omvandlare. Det kan till exempel vara en AC/DC-omvandlare som ger galvanisk isolation och nedströms flera olika Point-of-load-omvandlare som kan vara både isolerade och oisolerade.

En viktig fråga är om man ska använda färdiga moduler, konstruera egna omvandlare eller en kombination av dessa. Det finns flera aspekter på detta, till exempel vilka produktionsvolymerna som planeras, vilket utrymme man har till förfogande i produkten och vilken kunskapsnivå man har som kraftkonstruktör. En annan aspekt för att välja en färdig modul är vilken support man kan vänta sig vid eventuella problem i fält. I en egen konstruktion har man möjlighet att felsöka och förbättra vid eventuella problem. Även om denna handbok ger tips och rekommendationer kring vad man ska tänka på i konstruktionsarbetet kan det vara värt att ta hjälp av en kraftelektronikspecialist.

Vid valet av AC/DC-omvandlare kan det finnas fördelar med att köpa in en färdig lösning. Förutom att spara tid och kostnader för utveckling av ett eget nätaggregat, är CE-märkning och certifieringar redan gjorda. Det är dock viktigt att kontrollera att nätaggregatet verkligen uppfyller de standarder och den användarmiljö som den slutgiltiga produkten ska klara. Exempelvis behöver ett nätaggregat till en medicinteknisk produkt klara de medicinska standarderna och krav på låg jordläckström.

Det finns en mängd isolerade och oisolerade DC/DC-omvandlare att köpa. Det kan finnas fördelar med att välja dessa om volymerna är begränsade och att systemlösningen är anpassad för standardspänningar och effekter. Det är viktigt att notera att färdiga DC/DC-omvandlare och nätaggregat exempelvis kan kräva ytterligare filtrering för att klara EMC-kraven. Orsaken till det är att många färdiga lösningar är konstruerade med små marginaler till EMC-standarderna för att spara kostnader. Väljer man en färdig omvandlare konstruerad för en klass av EMC-krav men använder den för en annan kan konstruktionsarbetet för att klara EMC-kraven bli komplicerat. Det är därför viktigt att redan vid valet av omvandlare förstå hela kravbilderna.



EXEMPEL PÅ DC/DC-MODUL. KÄLLA: XP POWER



EXEMPEL PÅ AC/DC-OMVANDLARE. KÄLLA: POWERBOX

Att själv konstruera den kompletta kraftlösningen innebär ett antal fördelar. Genom att konstruktionen anpassas till både ingångskraven och lasten (förbrukarna) kan prestandan optimeras. Det kan ge en högre verkningsgrad, en bättre reglering av omvandlaren och lägre störnivåer i konstruktionen. Om det behövs flera utspänningar kan dessa ibland skapas i samma transformator. Kraftelektroniken kan också integreras med övrig elektronik, vara måttflexibel och även minska behovet av flera kretskort. Nackdelen är utvecklingstiden och kostnaden för utvecklingsarbetet.

Vilken lösning som i det långa loppet är mest kostnadseffektiv beror på produktvolymerna. Det kan löna sig att räkna på alternativen för att veta när en egenkonstruerad lösning blir billigare än att använda färdiga omvandlare. En rekommendation är att redan i systemeringsarbetet inkludera denna uppgift som del av en förstudie.

## 4.2 Halvledarteknologier

Förutom val av topologi för omvandlaren är valet av halvledare avgörande för vilken systemprestanda produkten kan uppnå. Genom att välja halvledare i så kallad WBG-material (Wide Band Gap) kan effektförlusterna minskas med omkring 50%.

Sedan mitten av 2010-talet har introduktionen av Kiselkarbid (SiC) MOSFET-transistorer inneburit en revolution inom kraftelektroniken. SiC erbjuder en rad fördelar jämfört med traditionella kiselkomponenter som MOSFET- eller IGBT-transistorer (Insulated Gate Bipolar Transistor). Dessa fördelar härstammar från tre centrala fysikaliska egenskaper som distinkt skiljer SiC från kisel.

För det första har SiC en högre elektrisk fältspänning för överslag, vilket resulterar i en minskning av resistansen. För det andra uppvisar SiC en högre termisk konduktivitet, vilket möjliggör en högre strömtäthet. Slutligen har

SiC ett bredare bandgap, vilket leder till en lägre läckström.

Som ett resultat av dessa egenskaper kan SiC blockera spänningar som är tio gånger högre och växla tio gånger snabbare, samtidigt som den har en on-resistans som är betydligt lägre jämfört med kisel - i vissa fall upp till 200 gånger lägre. Dessutom kan SiC hantera betydligt högre driftstemperaturer jämfört med kisel, vilket kan förenkla den termiska konstruktionen.

Kiselkarbid utgör ett utmärkt val för omvandlare som matas med högre spänningar, typiskt upptill 1 500 V, och i applikationer med hög effekttäthet. Dessa system återfinns ofta inom områden som elfordon, växelriktare och andra högeffektillämpningar. Notera att det finns SiC-komponenter som kan hantera betydligt högre spänningar än 1 500 V.

Ett annat WBG-material, Galliumnitrid (GaN), är lämpligt för spänningar mellan 200–1 200 V och kan användas i en mängd olika applikationer. Notera att GaN har sämre värmeledningsförmåga än kisel.

För att fullt ut kunna dra nytta av WBG-komponenternas fördelar är konstruktionen av gatedrivningen avgörande. Det finns färdiga drivkretsar tillgängliga på marknaden men oavsett kräver mönsterkortslayouten noggrann planering och omsorg. Den höga switchfrekvensen i transistorerna kan orsaka ringningar, vilket är ett resultat av komponentens strökapacitans och induktans. Det kan i sin tur leda till utmaningar med elektromagnetisk kompatibilitet (EMC).

Många tillverkare av GaN-transistorer har kretsar med gatedrivaren i samma komponent, det minskar risken och komplexiteten i gatedrivningen. Många WBG-transistorer har en separat Kelvin sense-terminal för source, utöver den vanliga source-terminalen, för att säkerställa att gatedrivningen inte påverkas av induktansen i sourcekopplingen på kretskortet.



### 4.3 Analog eller digital styrning?

Det finns både digitala och analoga styrkretsar för regleringen av kraftomvandlare.

En analog kontroll är oftast enklare att konstruera och implementera jämfört med digital kontroll. Den kräver vanligtvis färre komponenter och kan vara lättare att felsöka och finjustera. Realtidsresponsen på förändringar i systembetingelser gör dem lämpliga för tillämpningar där exakt och omedelbar kontroll krävs, såsom i omvandlare som switchas med hög frekvens. En analog kontroll har normalt en låg latens-tid (lägre fördröjningstid) jämfört med

digital kontroll, vilket kan vara fördelaktigt i tillämpningar där snabba svarstider är kritiska.

Som för den analoga lösningen har en digital kontroll ett antal fördelar. Den ger större flexibilitet, programmerbarhet och kan innehålla komplexa kontrollalgoritmer. Därmed kan den ge en enklare omkonfigurering för att möta förändrade systemkrav. Med en digital lösning kan man uppnå högre precision och noggrannhet jämfört med analog kontroll, särskilt i miljöer med temperaturvariationer och komponentåldring. Med en digital styrning kan man också inkludera fjärrövervakning och öka kontrollmöjligheter vilket möjliggör avancerade diagnostikfunktioner och dataloggning.



SKA KRAFTOMVANDLAREN HA EN ANALOG ELLER DIGITAL STYRNING?

## 5. Topologier

**Alla elektronikprodukter behöver** spänningsförsörjas antingen via en AC- eller DC-strömkälla. I produkterna finns normalt processorer, displayer och kommunikation men också många andra delar som behöver en spänningsmatning, exempelvis en elmotor. Spänningen behöver vara reglerad, ha lågt brus och kunna klara av ändringar i lasten. Strömförsörjningen behöver ha flera olika skydd för feltillstånd, exempelvis överspänningar, transienter, övertemperatur, kortslutning etc.

En produkts strömförsörjning består vanligtvis av en kombination av en nätanslutning (AC/DC) och flera lågspända DC/DC-omvandlare. Dessa kan vara isolerade eller oisolerade beroende på kraven för slutprodukten.

AC/DC-omvandlare är vanligtvis utformade för att kunna användas över hela världen, antingen som en- eller trefas. Typiska inspänningsnivåer är 85–265 Vac vid enfas eller 320–575 Vac (alternativt 380–480 Vac) vid trefasmatning. Notera att det finns olika nivåer på olika marknader, så vilka nivåer som gäller på just de marknaderna produkten ska säljas på behöver alltid kartläggas som en del av produktutvecklingens specifikationsfas.

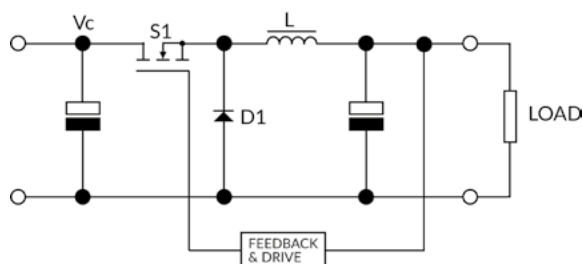
Oisolerade DC-DC-omvandlare har vanligtvis ett 2:1 eller 4:1 förhållande mellan in- och utgångsspänning men förhållandet kan också göras större. Isolerade omvandlare kan göras med betydligt större in- och utspänningsförhållande.

Exakt hur systemkonfigurationen kring produktens totala strömförsörjningslösning ska se ut behöver beslutas tidigt i ett konstruktionsarbete, vilken effekt behövs; vad är kravet på inspänningsområdet; var behövs isolation; krav på verkningsgrad etc. Till hjälp behöver en komplett specifikation tas fram. I kapitel 12 finns en mall för hur en konstruktionsspecifikation kan se ut.

När kraven är tydliga kan man besluta om vilken eller vilka topologier som kan användas för att realisera kretslösningen. Nedan följer en översikt över vanliga topologier och när de används.

### 5.1 Buck

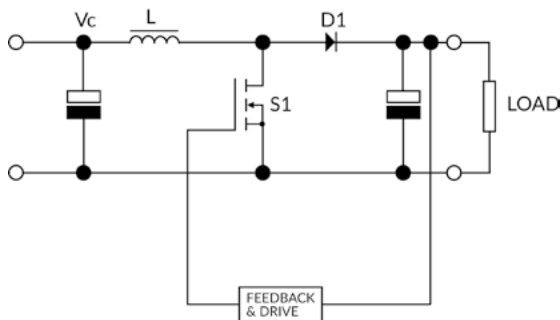
En Buck-omvandlare, ofta kallad en step-down omvandlare, används för att sänka inspänningen och på så sätt skapa en lägre utspänning. Topologin används i stor utsträckning i så kallade Point Of Load (POL) omvandlare. Dessa används för att lokalt ge matning till kretslösningar som behöver en låg spänning. En Buck-omvandlare är oisolerad och kan konstrueras med hög verkningsgrad, jämfört med en vanlig linjärregulator.



BUCK-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

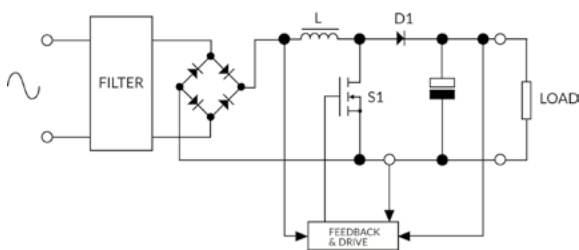
## 5.2 Boost

En Boost-omvandlare är en typ av DC/DC omvandlare som ökar (boostar) utspänningen i förhållande till ingångsspänningen. En Boost-omvandlare används ofta i kombination med AC/DC-omvandlare till exempel i en aktiv Power Factor Correction (PFC) lösning.



BOOST-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

Energi lagras i induktorn när transistorn är på. Spänningen över induktor läggs till inspänningen och överförs till utgångskondensatorn när transistorn är av. Med denna teknik kan man uppnå utgångsspänningar på upp till flera gånger ingångsspänningen.



PFC BOOST-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

I aktiva PFC-konfigurationer styrs pulsbredden för switchströmmen så att den genomsnittliga inströmmen till Boost-omvandlaren är proportionell mot storleken på den inkommande AC-spänningen. Detta tvingar inströmmen att vara sinusformad. Ingångsfiltret tar bort det rippel som uppstår på grund av switchfrekvensen. Läs mer om PFC under kapitel 7.7 Harmonisk distorsion.

## 5.3 Buck-Boost

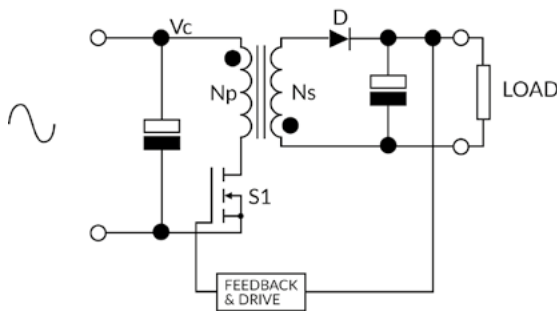
En Buck-Boost-omvandlare används i system där man har en inspänning som kan ligga både under och över utspänningen. Det är en kombination av en Buck- och en Boost-omvandlare.

När Buck-Boost-omvandlaren fungerar i buck-läget är utspänningen lägre än inspänningen. Detta är användbart när man behöver sänka spänningen från ingången till en lägre nivå. Å andra sidan, när Buck-Boost-omvandlaren fungerar i boost-läget, är utspänningen högre än inspänningen. Detta används när du behöver höja spänningen från ingången till en högre nivå.

Omvandlaren kan också dynamiskt arbeta i Buck-Boost-läget. Den kan då sänka eller höja spänningen beroende på systemkraven. Det ger flexibilitet att hantera variationer i ingångsspänningen och när denna kan vara både över och under utspänningen.

## 5.4 Flyback

Denna topologi är ett enkelt och billigt sätt att omvandla likriktad växelspänning till likspänning. Den använder ett fåtal komponenter och används oftast på effekter upp till ett par hundra watt. Effektnivån begränsas av de höga nivåerna av rippelström i utgångskondensatorn och behovet av att lagra hög energi i transformatorn.



FLYBACK. KÄLLA: XP POWER

I en Flyback är det som ser ut som en transformator egentligen två kopplade induktorer. När transistoren leder, stiger strömmen linjärt i transformatorns primärlindning. Transformatorn ska vara konstruerad för att ha en hög induktans så att energi kan lagras när flödet byggs upp. Dioden på utgången ser då till att ingen sekundärström från transformatorn når utgången. När transistoren stängs av minskar flödet i transformatorn och genererar en sekundär ström till lasten och laddar utgångskondensatorn.

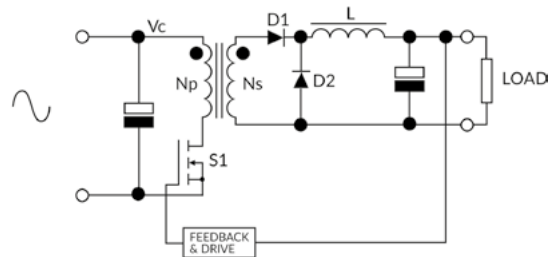
Energi lagras i transformatorn under på-perioden för transistoren och överförs till lasten under av-perioden (Flyback). Kondensatorn fungerar som en reservoar som upprätthåller spänningen över lasten under på-perioden. Reglering av sekundärspänningen uppnås genom att jämföra utspänningen med en referensspänning och att använda skillnaden för att variera på-tiden (tillslagstiden) för transistoren.

Energiöverföringen till sekundärsidan styrs därför för att bibehålla utspänningen oberoende av belastnings- och matningsspänningsförändringar.

Justering av på-tiden för transistoren görs genom en pulsbreddsmodulering (PWM) som drivs av en oscillator med konstant frekvens eller via självoscillation. Laständringar hanteras genom att ändra på-tiden.

## 5.5 Forward

I en Forward-omvandlare ersätts de kopplade induktorerna i Flyback med en transformator. Topologin kan användas både för AC- och DC-matning och är kostnadseffektiv för effektområdet mellan 100 och 250 W.



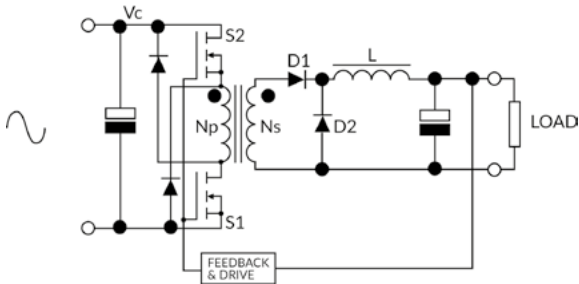
FORWARD-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

När transistoren är på, byggs strömmen upp i både primär- och sekundärlindningarna på transformatorn samtidigt. Effekten för lasten lagras huvudsakligen i induktansen och kapacitansen.

För att avmagnetisera primärlindningen och säkerställa att magnetisk energi inte ackumuleras över tid, används en tredje lindning på transformatorn. Denna lindning, vanligtvis med samma varvtal som primärlindningen, kopplas till en diod och en kondensator och avleder den överskottsmagnetism som annars skulle byggas upp i transformatorn.

Genom att inkludera denna tredje lindning och dess diodavledare kan spänningen över transistoren under dess off-period begränsas till  $V_c$ , vilket förhindrar oönskade effektförluster och förbättrar omvandlarens effektivitet. Detta arrangemang möjliggör också att spänningen mellan drain och source på MOSFET-enheten blir  $2 \times V_c$ .

## 5.6 Två-transistor Forward



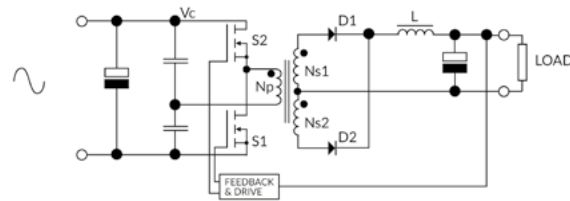
TVÅ-TRANSISTOR FORWARD-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

Om man behöver öka effekten kan en Två-transistor Forward-omvandlare vara ett effektivt alternativ. I denna konstruktion minskar man påfrestningen på enskilda transistorer genom att begränsa spänningen över varje transistor till ingångsspänningen under deras off-lägen. Genom att göra detta blir spänningen över varje transistor  $V_c$ , i stället för den vanliga spänningsdubblingen ( $2 \times V_c$ ) som sker över transistorn i en Forward-omvandlare med endast en transistor.

Denna topologi gör det möjligt att välja transistorer med lägre  $R_{ds(on)}$ -värden utan att kompromissa med kraven på genombrotts-spänning. Som ett resultat minskar lednings-förlusterna och effektiviteten förbättras. Genom att transistorerna switchar samtidigt, halverar man spänningen över dem och möjliggör därmed hantering av högre strömmar och mer effekt.

## 5.7 Halvbrygga

En Halvbrygga används ofta för effekter i storleksordningen 200 till 400 W men kan med forcerad kylning användas för högre effekter upp mot 600 W. I denna topologi används två magnetkomponenter: en transformator och en induktor. Ingen energi lagras dock i transformatorn.

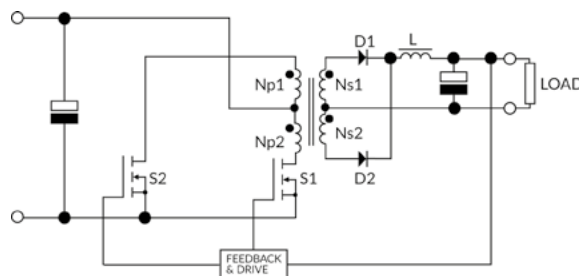


HALVBRYGGA. KÄLLA: XP POWER

I ingångsbryggan är transformatorns primärlindning ansluten mellan mittpunkten på de två seriekopplade reservoarkondensatorerna och mittpunkten på de två seriekopplade switch-transistorerna S1 och S2. Kondensatorerna utjämnar även belastningen på transformatorn om drivningen av switchtransistorerna inte är symmetrisk. Energi överförs till den delade sekundärsidan och lasten genom att växelvis aktivera transistorerna S1 och S2. På detta sätt fördubblas switchfrekvensen på transformatorns sekundärsida, vilket medför att man kan minska storleken på utgångsinduktorn och kondensatorn. Topologin halverar också spänningen över transformatorn.

## 5.8 Push-Pull

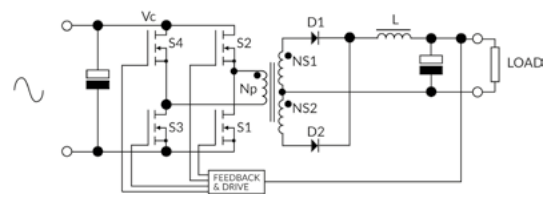
En liknande topologi som Halvbryggan är Push-Pull-omvandlaren, men används för DC/DC-omvandling. En Push-Pull-omvandlare liknar en Två-transistor Forward-omvandlare som drivs i motfas.



PUSH-PULL-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

## 5.9 Fullbrygga

För effekter över 500 W används ofta en Fullbrygga eller H-brygga jämfört med en Halvbrygga. Detta beror på att strömmarna i switchtransistorerna annars kan bli för höga och därmed leda till ökade förluster och ineffektivitet.



FULLBRYGGA. KÄLLA: XP POWER

I en Fullbrygga switchas transistorerna S1/S4 i fas med varandra och S2/S3 i motfas. Varje transistor måste ha en egen isolerad drivning i en Fullbrygga, vilket fördyrar konstruktionen. Man kan med fördel använda MOSFET-transistorer som ger en något enklare drivning, jämfört med bipolära. De ger också fördelen att kunna använda en högre switchfrekvens och därmed minska storleken på transformatorn och filterkomponenter.

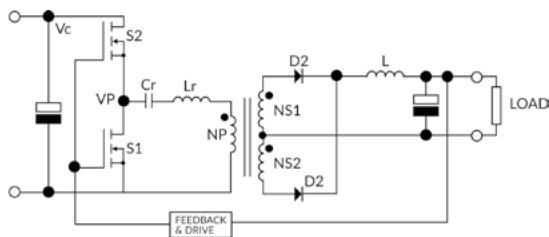
Fullbryggans komplexitet ligger till en del i risken för att transformatorn kan snedbelastas om inte drivningen av transistorerna är balanserad. Det är viktigt att varje transistor har en korrekt balanserad drivning för att undvika asymmetriska strömmar genom transformatorn, vilket kan orsaka ojämn belastning och ökad risk för överhettning. Därför krävs noggrann design och styrning av drivningssystemet för att säkerställa att Fullbryggan fungerar optimalt och att transformatorn inte överbelastas.

En Fullbrygga tillåter också en mer effektiv användning av transformatorn jämfört med en Halvbrygga, eftersom den kan leverera en positiv och en negativ halvcykel av spänningen till lasten. Det resulterar i en jämnare utgångsspänning och minskade störningar på kretsen. Dessutom möjliggör Fullbryggan användning av högre spänningar och strömmar med mindre förluster.

## 5.10 LLC

LLC står för “Inductor-Inductor-Capacitor” och är en typ av resonansomvandlare. Resonanskretsen består av två induktiva komponenter och en kondensator (LLC).

I denna topologi används nollspänningsgenomgång (ZVS, Zero Voltage Switching) för att minimera förluster och maximera effektiviteten.



LLC-OMVANDLARE. KÄLLA: XP POWER

Först omvandlar transistorerna S1 och S2 inspänningen till en högfrekvent fyrkantsvåg. Fyrkantsvågen matas sedan in i kondensatorn (Cr). I LLC-omvandlaren är Cr allmänt känd som resonanskondensatorn. Tillsammans med induktorn (Lr) och transformatorns primärlindning bildar den en resonanskrets som möjliggör soft switching av MOSFET-transistorerna, vilket leder till minskade kopplingsförluster och förbättrad verkningsgrad. Den resulterande sinusvågen överförs till omvandlarens sekundärsida genom en högfrekvent transformator som antingen ökar eller minskar spänningen beroende på tillämpningen. Slutligen omvandlar diodlikriktaren sinusvågen till en stabil likspänning.

LLC-omvandlaren används vanligtvis tillsammans med en föromvandlare (PFC) eftersom den har begränsad förmåga att kompensera för variationer i inspänningen.

## 6. Termiska aspekter

Effektomvandlingen i en strömförsörjning innebär alltid effektförluster. Det är därför viktigt att de termiska aspekterna noggrant beaktas i konstruktionsarbetet. Hur stor förlusteffekt avger elektroniken och hur blir man av med värmen? Trots att nya halvledarmaterial, som SiC och GaN, har medfört avsevärt lägre förluster är kylning av kraftelektroniken avgörande för att undvika att elektroniken tar skada eller att livslängden förkortas.

När kraftelektroniken finns i en låda med bristfällig eller obefintlig ventilation kan effektutvecklingen i lådan snabbt leda till att elektronikens maximala temperaturgränser överskrids. Om det behövs en fläkt kan den kräva visst underhåll i form av luftfilterbyte, alternativt att fläktens livslängd gör att den behöver bytas ut efter en tid.

Om elektronikens krafthalvledare kyls via en kylfläns gäller det att ha kontroll på att den inte blir för varm. Kylflänsar som är beröringsbara får i vanliga fall inte överstiga 60–70°C för att undvika brännskador. Ta i beaktande kravspecifikationens maximala temperaturområde.

Elektrolytkondensatorer som är vanligt förekommande i kraftelektronik får kraftigt förkortad livslängd vid höga temperaturer. En tumregel är att livslängden enligt databladet halveras vid varje temperaturökning på +10°C.

Även lodet på kretskortet påverkas negativt om temperaturerna blir höga. Helst ska man undvika långvariga temperaturer över 100°C för att lödfogen inte ska degraderas.

Det kan vara svårt att fastställa vilka temperaturer det blir kring kraftelektroniken. Därför bör riktiga temperaturtester göras i den kompletta produkten och med värsta tänkbara omgivningstemperatur och laster.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Kontrollera varje komponents temperaturspecifikation och att alla komponenter klarar den maximala omgivningstemperaturen. Ta hänsyn till lastavvikelser och se till att ha marginaler. Normalt ska en halvledare inte överstiga 105°C och en induktor 110°C, men det är viktigt att ta reda på vad som gäller för den specifika slutprodukten. Exempelvis kan ett isolationssystem i en induktor eller en transformator medföra särskilda temperaturgränser.
- 💡 Var extra noga med val av elektrolytkondensatorer och gör livslängdsberäkningar utifrån riktiga driftsfall.
- 💡 För våta elektrolytkondensatorer, var extra noga med att kontrollera rippelströmmar och den maximala temperaturen dessa får i omgivningen.
- 💡 Vid val av transistorer, räkna på förlusteffekten. En tumregel är att temperaturen i halvledaren inte får överskrida 125°C. Monteras halvledaren mot en kylare, kontrollera att krypavstånden enligt elsäkerhetsstandarderna upprätthålls. Använd gärna clips för fastsättning och var noggrann med att monteringen görs med rätt moment. Använd en momentnyckel och kontrollera tillverkarens rekommendationer för fastsättningsmoment. Här kan en särskild instruktion behövas för montören i samband med serietillverkningen.
- 💡 Integrera temperatursensorer i kritiska komponenter för övervakning i realtid och att automatiskt kunna anpassa driftförhållanden för att förhindra överhettning.
- 💡 Om kraftelektroniken byggs in i en tät låda, testa lådans värmeavledningsförmåga genom att sätta in ett effektmotstånd motsvarande beräknade förluster. Mät vilken temperaturskillnad det blir mot omgivningen. Kan lådan hantera förlusteffekten vid maximal omgivningstemperatur?



- 💡 Använd gärna ett termiskt simuleringsverktyg under konstruktionsfasen för att förutse värmeproblem och optimera kylningen.
- 💡 Använd en värmekamera under verifieringen för att kontrollera alla komponenter och kylare. Då kan man lätt se om det finns några hot-spots, om någon komponent är överhettad eller om det är ett felaktigt komponentval. Kontrollera hur stor skillnaden är mot omgivningstemperaturen. Säkerställ att konstruktionen överlever eller klara livslängdskravet om den konstant arbetar vid en omgivningstemperatur på 70°C.
- 💡 Ta fram en testspecifikation som beskriver hur och under vilka förhållanden konstruktionen ska testas för att säkerställa att den uppfyller kravspecifikationen.
- 💡 Verifiera konstruktionen i både värme och kyla. Använd en klimatkammare.
- 💡 Om systemet har en fläkt, se till att den och filtret enkelt kan bytas av användaren.
- 💡 Använd termiskt ledande material i form av tillskurna paddar eller flytande material som dispensereras (såsom GapPad eller GapFiller) mellan varma komponenter och de kylflänsar eller chassi som de är monterade mot. Det för att förbättra värmeöverföringen så att omgivningstemperaturen eller livslängden kan ökas, eller storleken på kylflänsen minskas.
- 💡 Termiskt ledande material kan även vara användbart för att öka livslängd eller prestanda på både induktiva komponenter och kondensatorer.
- 💡 Är det riktigt trångt och svårkylt där värmen uppkommer kan man använda "heat pipes" för att flytta värmen till en plats där det lättare går att kyla bort den. Finns det möjligheter till vätskekylning?



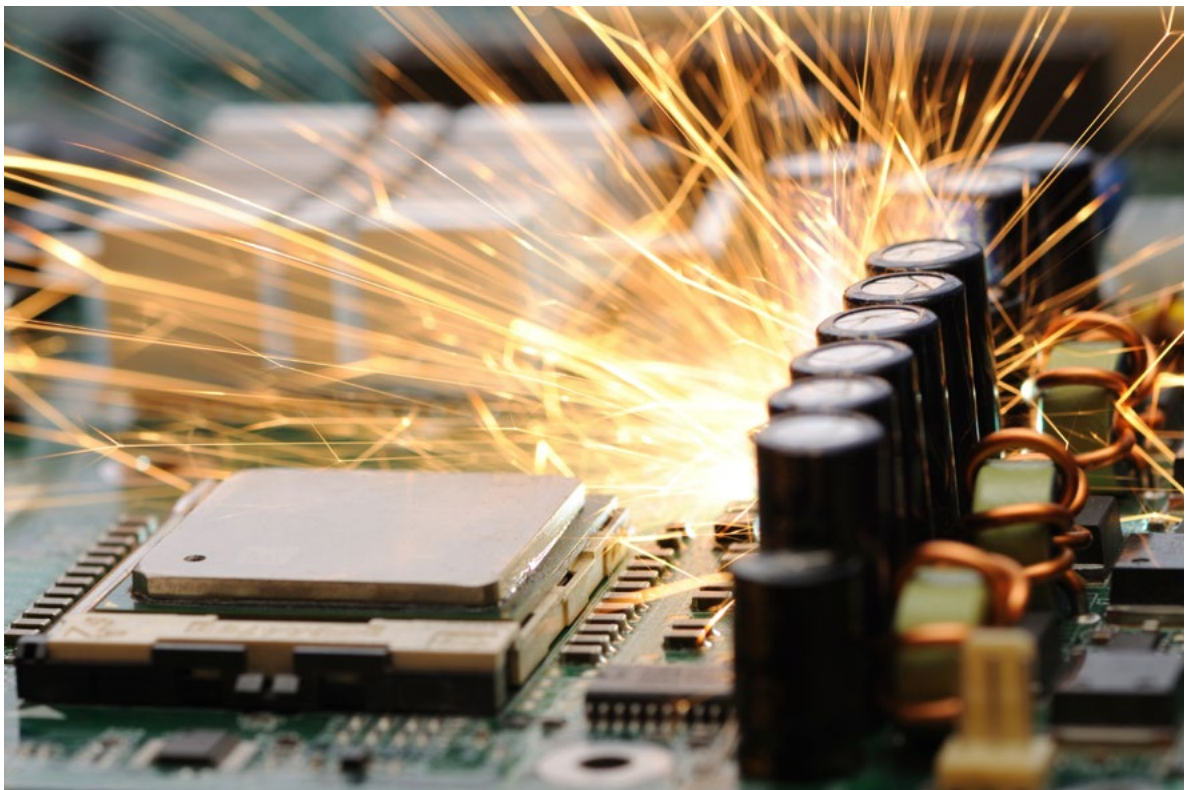
ANALYS AV HOT-SPOTS. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

## 7. Viktiga standarder för kraftelektronik

**I det här kapitlet** sammanfattas några viktiga standarder som berör kraftelektronik och specifika standardkrav som man måste ta hänsyn till. Vilka krav som gäller för en specifik produkt behöver redas ut redan när kravspecifikationen tas fram. Det är helt avgörande att veta var produkten ska säljas annars finns en risk att produkten exempelvis inte uppfyller kraven för aktuella produktlagstiftningar. Genom att förstå och inkludera standardkraven i kravspecifikationen säkerställs att elsäkerhets-, emissions- och immunitetskraven tas om hand i utvecklingsarbetet.

Inom Europa ska produkterna uppfylla kraven för CE-märkning, bland annat Lågspänningsdirektivet (LVD), Maskindirektivet, EMC-direktivet, Ekodesigndirektivet och RoHS-direktivet. Genom att uppfylla de standarder som står listade under varje direktiv, uppfyller man också själva direktiven. Dessa så kallade harmoniserade standarder publiceras i 'Official Journal of the European Union' (OJEU). Detta kallas 'Presumption of Conformity'

Direktiven har kopplingar till flera hundra olika standarder som styr kraven på produkter som innehåller elektronik. Beroende på var produkten ska säljas behövs olika godkännanden.



FELAKTIGT KONSTRUERAD KRAFTELEKTRONIK KAN LEDA TILL BRAND.

UL gäller i Nordamerika, CSA i Kanada, UKCA i Storbritannien och i övriga världen finns ofta lokala certifieringar. I Europa finns många testhus som provar produkter inför CE-märkningen. Nationella godkännande kan man få genom ett så kallat CB-certifikat som är överenskomna testprotokoll baserade på IEC-standarderna. För enkelhetens skull benämns standarderna i denna handbok med Europa-beteckningen, EN. En "EN-standard" (European Norm, utgiven av CENELEC) är ofta, men inte alltid, en IEC-standard med en europeisk avvikelserbilaga. Om produkterna ska säljas globalt behöver man ange IEC och UL versionerna. Notera att det kan finnas geografiska avvikelser.

Att konstruera kraftelektronik kräver därför specifika kunskaper om standarder. Standarderna syftar till att produkterna konstrueras, tillverkas och testas för att minimera de risker och faror som kan uppstå. Sådana faror kan till exempel vara elektrisk stöt/elchock, EMC, brand, höga temperaturer eller farliga ämnen.

För att säkerställa att alla standarder kommer med i specifikationen är en rekommendation att redan under specifikationsarbetet kontakta ett av testhusen som genomför certifierande provning. Köp sedan hem de standarder som produkten ska uppfylla, extrahera de exakta kraven och skriv in dessa i kravspecifikationen under relevant rubrik. Vad är det till exempel för nivåer på åskpulser som produkten ska klara? Vilka EMC-nivåer? Vad är det för isolationskrav? Ställer standarden krav på produkten som gör att du behöver en föromvandlare, så kallad PFC?

Tänk på att standarder ändras över tid. Det kan vara mycket värdefullt och vunnen tid att ta reda på vad kraven är i kommande standarder. En produktutveckling tar tid och det som var giltigt när specifikationen skrevs behöver inte vara gällande framöver.

Standarderna köps från Svenska Institutet för Standarder, SIS. [www.sis.se](http://www.sis.se).

Nedan finns en sammanställning av några viktiga standarder och områden som berör kraftelektronik.

## 7.1 Elsäkerhetsstandarder

Inom kraftelektronik är efterlevnaden av säkerhetsstandarder helt avgörande för att säkerställa elsäkerheten för produkterna. Flera etablerade standarder riktar sig specifikt till olika sektorer och deras unika behov. Dessa är bland annat:

- **EN 60335-1** Hushållsapparater och liknande elektriska apparater
- **EN 62477-1** Säkerhetsfordringar på utrustning och system med halvledarströmräktare
- **EN 62368-1** Audio/video och informations-teknisk utrustning
- **EN 60601-1** Medicinsk elektronik
- **EN 61010-1** Mät-, kontroll- och laboratorieutrustning

**EN 60335-1** behandlar säkerheten för elektriska apparater för hushåll och liknande bruksföremål. Den gäller för produkter med en nominell spänning på högst 250 V enfas och 480 V trefas. Del 1 av standarden ställer allmänna krav för elektrisk säkerhet, inklusive skydd mot elchock, brandrisk och andra faror som kan uppstå vid användning av dessa produkter. I del 2 av standarden finns fler än 100 olika specifika produktstandarder beroende på vilken produkt det handlar om. Dessa har företräde framför de generella riktlinjerna i del 1.

**EN 62477-1** gäller främst för professionella och semi-professionella produkter med nominella systemspänningar som inte överstiger 1 000 Vac eller 1 500 Vdc. Den är specifikt utformad för Power Electronic Converter Systems (PECS) och deras komponenter.

**EN 62368-1** behandlar elsäkerhet för utrustning inom audio, video och informations-teknik. Den ersätter de tidigare standarderna EN 60950-1 och EN 60065. I stället för att fokusera på specifika produkter är säkerhetsaspekterna fokuserade på de energikällor som finns inuti produkten. Genom att förstå och adressera vilka faror som kan uppstå kan man utforma säkrare produkter och system.

Standarden fastställer kraven för elektrisk säkerhet, material, konstruktion och installation av dessa produkter. Produkterna i EN 62368-1 delas in i kategorierna ES1, ES2 och ES3. ES, eller Energy Source, används för att klassificera olika nivåer av energi som en användare kan utsättas för. Gränsvärdena för ES1 är maximalt 60 Vdc/42.4 Vac peak, vilket motsvarar SELV (Safety Extra Low Voltage eller klenspänning).

**EN 61010-1** gäller för elektrisk utrustning för mätning, styrning och laboratorieanvändning. Den specificerar säkerhetskrav för olika typer av elektrisk utrustning och deras tillbehör, inklusive test- och mätutrustning, industriell processkontrollutrustning och laboratorieprodukter. Precis som för de övriga standarderna ställer den allmänna krav för elektrisk säkerhet, inklusive skydd mot elchock, brandrisk och andra faror som kan uppstå vid användning av dessa produkter.

Säkerhetsaspekter avseende medicinsk teknik omfattas av särskilda regler och ska uppfylla standarden **EN 60601-1**. Det är ett omfattande regelverk och behandlas därför separat i "Handbok för effektivare framtagning av medicintekniska produkter". Ska man utveckla kraftelektronik för medicintekniska produkter är det mycket viktigt att ordentligt sätta sig in i hela regelverket kring dessa produkter, vilka säkerhetsåtgärder som behövs och hur de ska implementeras. För kraftelektronik handlar sådana krav om isolation, läckström etc. Man behöver också ha ett ledningssystem enligt ISO 13485.

#### **Tips och rekommendationer:**

- 💡 Det är viktigt att tidigt i utvecklingen definiera vilket standardiseringsområde som produkten ska tillhöra då det kan vara svårt att i efterhand anpassa en konstruktion till en annan standard.
- 💡 Rådfråga ett testhus tidigt under konstruktionsarbetet. De kan erbjuda en konstruktionsgenomgång som kan ge värdefull information om vad konstruktionen behöver ta hänsyn till utifrån ett säkerhets- och riskperspektiv.

## 7.2 Elsäkerhetsklass

Det finns tre övergripande områden som tillsammans bildar en elektriskt säker systemkonfiguration: Isolation, jordning och hantering av läckströmmar. Produkter delas ofta upp i tre klasser:

**Klass I:** Produkter som faller inom klass I har grundläggande isolering och kräver jordning för att skydda användaren från farliga spänningar. De har en enda isolationsbarriär (grundisolering) mellan de strömförande delarna och chassit (höljet). Jordningen används som en säkerhetsåtgärd för att leda bort eventuella felströmmar och minimera risken för elektriska stötar. Det krävs därför en bra jordanslutning för att säkerställa säker drift.

**Klass II:** Produkter som tillhör klass II är dubbel-isolerande vilket betyder att de har två skilda isolationsbarriärer (grundisolering + tilläggs-isolering) eller en förstärkt isolationbarriär (förstärkt isolering). Enligt relevant standard är det inte tillåtet att ansluta en skyddsjord (PE) till en klass II-apparat.

Om man ändå gör detta betraktas produkten som en klass I-apparat. En klass II-apparat uppfyller kraven på skydd mot elektriska stötar och är vanligtvis lämpliga för produkter och miljöer där jordning inte är praktiskt möjligt.

**Klass III:** Dessa produkter arbetar med klenspänning (SELV/ES1) och ingen farlig spänning får vara berörbar i produkten.

## 7.3 Isolation, föroreningsgrad överspänningskategori och materialklass

Vilken nivå av isolering som krävs för produkten bestäms av flera faktorer, inklusive tillämpliga säkerhetsstandarder, användningsmiljön för produkten och den potentiella risken för elektriska stötar eller kortslutningar. Olika typer av produkter och applikationer kan kräva olika nivåer av isolering beroende på branschstandarder och säkerhetsregler. Till exempel har medicinsk utrustning strängare krav än hushållsapparater. Högre spänningar och strömnivåer kräver mer robust isolering för att säkerställa att riskerna för elektriska stötar och kortslutningar minimeras. Finns det möjlighet för användaren att komma i direkt kontakt med produktens ledande delar, påverkar detta val av isolering.

**EN 60664-1** är en basstandard och behandlar principer, förordningar och provning av isolationsnivå för elektriska anläggningsdelar och utrustningar i lågspänningssystem, med fokus på principer, krav och tester för luftavstånd, krypavstånd och fast isolering. Den gäller för utrustning med nominell spänning upp till 1000 Vac eller 1500 Vdc.

Kraven på isolationen delas upp i fem nivåer:

### **Funktionsisolation (Functional Insulation):**

Isolering mellan ledande delar som endast är nödvändig för utrustningens korrekta funktion. Denna typ av isolering ger inget skydd mot elektrisk stöt och är inte avsedd att användas för säkerhetsändamål. Dess främsta uppgift är att säkerställa att utrustningen fungerar som den ska under normala förhållanden.

**Grundisolation (Basic Insulation):** Isolering av farliga spänningsförande delar som ger grundläggande skydd. Det är den första försvarslinjen för att förhindra direktkontakt med spänningsförande delar. Denna isoleringsnivå är avgörande för att säkerställa användarens

säkerhet genom att förhindra oavsiktlig elektrisk stöt under normala driftförhållanden.

### **Tilläggsisolation (Supplementary Insulation):**

Oberoende isolering som appliceras utöver grundisoleringen för felskydd. Syftet är att ge felskydd vilket säkerställer säkerheten om grundisoleringen skulle falla. Denna dubbel-lagersmetod ökar utrustningens totala säkerhet och tillförlitlighet genom att erbjuda en extra skyddsåtgärd.

### **Dubbelisolation (Double Insulation):**

Isolering som består av både grundisolering och tilläggsisolering. Denna typ av isolering är utformad för att skydda mot elektrisk stöt utan att förlita sig på en jordanslutning. Det ger ett extra lager av säkerhet, vilket gör den lämplig för apparater och utrustning som används i miljöer där jordning kanske inte är genomförbar.

### **Förstärkt isolation (Reinforced Insulation):**

Isolering av farliga spänningsförande delar som ger ett skydd mot elektrisk stöt motsvarande dubbel isolering. Den är utformad för att skydda mot elektrisk stöt genom att kombinera egenskaperna hos både grundisolering och tilläggsisolering i ett enda robust lager. Denna typ av isolering säkerställer en hög grad av säkerhet och används vanligtvis i tillämpningar där maximalt skydd krävs.

Vilken isolationsklass man behöver bestäms inte bara av punkterna ovan utan också av graden av förorening eller kontaminering i den omgivande miljön där produkten används. Förorening betyder här ackumuleringen av främmande material, såsom damm, fukt, kemikalier eller andra föroreningar, som kan påverka isolationen och funktionen. Graden av förorening, som i standarden kallas **Pollution Degree**, delas upp i fyra nivåer:

**Pollution Degree 1:** Ingen förorening eller endast torr, icke-ledande förorening förekommer. Föroreningen har ingen inverkan.

**Pollution Degree 2:** Endast icke-ledande förorening förekommer, förutom att tillfällig ledningsförmåga orsakad av kondens kan förväntas. Denna kondens kan uppstå under perioder av av- och på-cykler för utrustningen.

**Pollution Degree 3:** Ledande förorening förekommer, eller torr icke-ledande förorening förekommer som blir ledande på grund av kondens som kan förväntas.

**Pollution Degree 4:** Kontinuerlig ledningsförmåga förekommer på grund av ledande damm, regn eller andra våta förhållanden.

Valet av föroreningsnivå för en viss applikation är viktigt för att bestämma isolationsklass och skyddsåtgärder som krävs för att säkerställa en säker och tillförlitlig drift. Både föroreningsnivå och isolationsklass är en viktig del av konstruktionsarbetet och ska därför finnas med i kravspecifikationen. Det finns annars stor risk att produkten inte konstrueras mot rätt kravnivå i standarden, vilket med stor sannolikhet kan kräva en omkonstruktion.

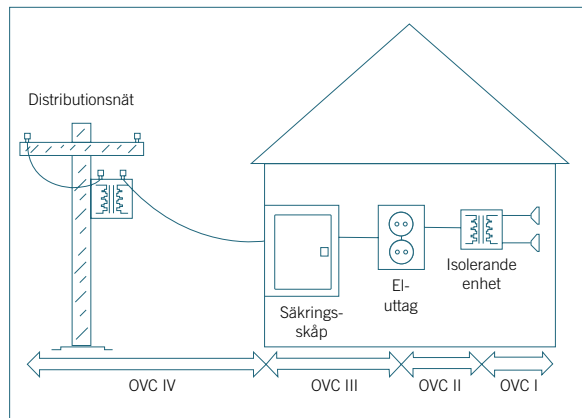
Standarden EN 60664-1 tar också upp olika överspänningskategorier (OVC) för produkter som har en anslutning till elnätet. Kategorierna används för att klassificera den typ av överspänningar som en produkt kan förväntas utsättas för och därmed bestämma vilken typ av isolationsnivå som krävs för att säkerställa tillförlitlig drift och skydd mot skador.

**Överspänningskategori I (OVC I):** Produkten ska inte ha en direkt anslutning till en nätspänning. Åtgärder ska vidtas för att säkerställa att tillfälliga överspänningar som kan förekomma begränsas tillräckligt så att deras toppvärde inte överstiger den transienta överspänningen enligt standardens tabell F.1 (se standard).

**Överspänningskategori II (OVC II):** Produkter som ska försörjas från fasta installation. Om sådana produkter utsätts för särskilda krav beträffande tillförlitlighet och tillgänglighet, gäller överspänningskategori III. Exempel på produkter inkluderar bärbara verktyg och andra hushålls- och liknande produkter.

**Överspänningskategori III (OVC III):** Produkter med fast installation och för fall där produktens tillförlitlighet och tillgänglighet är föremål för särskilda krav. Exempel på sådan utrustning inkluderar strömbrytare i den fasta installationen och produkter för industriellt bruk med permanent anslutning (fast installation).

**Överspänningskategori IV (OVC IV):** Produkter avsedda att användas vid elinstallationens anslutningspunkt till elnätet. Exempel på sådan utrustning inkluderar elmätare, primära överströmsskydd och rippelkontrollprodukter. Dessa produkter är mest exponerade för högintensiva överspänningar och kräver därför den högsta nivån av isolationskydd.



ÖVERSPÄNNINGSKATEGORIER.

I EN 60664-1, används även termen "Materialgrupp" för att klassificera material baserat på deras "Comparative Tracking Index" (CTI). CTI är ett mått på materialets motståndskraft mot genombrott i en isolerande yta.

Isolationsnivå	Luftavstånd	Krypavstånd	Testspänning*
Funktion	2,0 mm	3,2 mm	
Grundisolation/tillägg (B/S)	2,0 mm	3,2 mm	2 500 V
Dubbel/förstärkt (R)	4,0 mm	6,4 mm	4 000 V

\* (peak eller DC)



Materialgrupperna (MG) definieras enligt följande:

**MG I:** Material med CTI-värde större än 600.

**MG II:** Material med CTI-värde mellan 400 och 600.

**MG IIIa:** Material med CTI-värde mellan 175 och 400.

**MG IIIb:** Material med CTI-värde mindre än 175.

Ju högre CTI, desto bättre är materialet och kan därför ha kortare avståndskrav.

Vilka avståndskrav man behöver för att klara kraven på isolation bestäms sammanfattningsvis av följande faktorer:

- **Ingångsspänning:** Högre spänningar kräver större kryp- och luftavstånd för att förhindra elektriska urladdningar.
- **Isolering:** Typ av isolation (grundläggande, dubbel, förstärkt).
- **Materialgrupp:** Materialets CTI.
- **Pollution Degree:** Förväntad nivå av föroreningar (dammpartiklar, fukt etc.) i den miljö där produkten används.
- **Överspänningskategori:** Den maximala överspänning, orsakad av transienter eller överspänningar, som produkten kan utsättas för.
- **Höjd över havet:** På högre höjder, där luften är tunnare, kan elektriska urladdningar inträffa vid lägre spänningar, vilket ställer krav på större kryp- och luftavstånd.

Exempelvis kan kraven på isolation se ut enligt tabellen ovan. Den ger en uppfattning om vilka kryp- och lyftavstånd som behövs.

Tabellen gäller enligt följande förutsättningar:

1. Standard referens: EN 62368-1: Annex X (normativ) för luftavstånd, Table 17 för krypavstånd och tabell 25 för testspänning.
2. Upptill en nätspänning på 300 Vrms (420 Vpeak)
3. En arbetsspänning som ej överstiger nätspänningen
4. Pollution Degrees II
5. Materialgrupp III
6. Upptill 2 000 meter över havet
7. Upptill överspänningskategori OVC II (2500 V)

Notera att tabellens värden enbart gäller under förutsättningarna ovan. Därför är det mycket viktigt att läsa standarderna noga och extrahera ut samtliga relevanta krav. Notera också att om produkten ska användas över 2 000 meter över havet behöver luftavstånden öka enligt följande: För 3 000 meter över havet ska luftavståndet multipliceras med en faktor 1,14 och vid 4 000 meter över havet med 1,29.

För att säkerställa att isolationskravet är uppfyllt och att produkterna är producerade enligt dokumentationen, kräver standarderna att produkterna testas i samband med tillverkningen. Beroende på vilken nivå av isolation produkten har finns risk för att den skadas vid sådana tester. Detta kan ske om produkten har förstärkt isolation. I dessa fall ska exempelvis transformatorer testas innan de monteras.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Kontrollera med leverantören vilket CTI som materialet har. Erfarenhetsmässigt är det ofta högre än vad som gäller för MG III, och därmed kan man använda isolationskraven enligt MG II och få kortare avstånd. Kan man sänka kraven från MG III till MG II, med samma förutsättningar som i tabellen ovan, blir krypavstånden 2,2 mm vid B/S och 4,4 mm vid R.
- 💡 Kontrollera om man kan sänka över-spänningskyddet från OVC III till OVC II. Ett nätaggregat konstruerad för installation i OVC II (2 500 V-miljö), kan placeras i OVC III (4 000 V) eller OVC IV (6 000 V) om lämpliga överspänningskydd används för att ta ner transienta överspänningar till OVC II. Om inte måste produkten konstrueras om med större isolationsavstånd som matchar OVC III alternativt OVC IV.
- 💡 Se också kapitlet om Mönsterkortslayout för isolationsavstånd.
- 💡 Vanliga åtgärder för att klara höga krav på föroreningar är lackning, ingjutning eller att kretskortet placeras i en skyddad miljö, exempelvis i en tät låda.
- 💡 Vid tillverkningen, testa med den kravställda höga spänningen under så kort tid som möjligt.

## 7.4 Transformatorer och strömförsörjning

Standarden **EN 61558-1** behandlar generella säkerhetsaspekter av transformatorer, reaktorer, strömförsörjningsenheter och kombinationer av dessa. Standarden omfattar utrustning med inspänning upptill 1 000 Vac och utspänning upptill 1 000 Vac alternativt 1 500 Vdc. Olika produktstandarder refererar till EN 61558-1 som en del av produktsäkerheten, exempelvis EN 60335-1 som beskrivits under "Elsäkerhetsstandarder". Standarden EN 61558-1 har flera

understandarder beroende på transformator typ eller produkt.

Transformatorerna delas upp i fyra typer beroende på isolationssystemet mellan ingång och utgång. Dessa är:

1. Separationstransformator där in- och utgångar är separerade med grundläggande isolering.
2. Isolationstransformator med dubbel eller förstärkt isolation.
3. Säkerhetsisolerad transformator som är konstruerade för att leverera en ES1-spänning.
4. Auto transformator som är utan isolering.

Standarden hänvisar till tre transformatorklasser när det gäller skydd:

**Klass I-transformator:** grundisolering med tilllägg av en jordningsterminal för anslutning till skyddsjordledaren för att förhindra att tillgängliga ledande delar blir strömförande om grundisoleringen misslyckas.

**Klass II-transformator:** grundläggande isolering med ytterligare säkerhetsåtgärder som dubbelisolering eller förstärkt isolering. En jordningsterminal kan finnas, men isolerad från tillgängliga ytor.

**Klass III-transformator:** skydd mot elektriska stötar är beroende av att spänningarna är under ES1. Inga spänningar som är högre än ES1 skapas.

Dessutom tillåter standarden felsäkra, icke-kortslutningssäkra och kortslutningssäkra transformatorer.

Understandarden EN 61558-2-16 omfattar switchade nätaggregat. Fristående nätaggregat som innehåller en transformator ska därför certifieras mot denna standard.



## 7.5 Elsäkerhet och jordning

En mycket viktig skyddsåtgärd är jordning. I elektronik används två olika typer av jordningssystem, skyddsjord (PE, Protective Earth) och funktionsjord (FE, Functional Earth). Deras syften och funktioner skiljer sig åt.

- **Skyddsjord** används främst för att skydda användare och utrustning mot farliga spänningar och för att säkerställa en snabb och säker avledning av felströmmar till jord. Det är vanligtvis kopplat till produktens metalliska delar och chassin för att minimera risken för elektrisk stöt. Vid en felström, till exempel en kortslutning, strävar skyddsjordsystemet efter att skapa en lågimpedansväg för strömmen att flöda till jord, vilket utlöser skyddsanordningar som säkringar eller brytare och därigenom förhindrar farliga situationer.
- **Funktionsjord** används för att säkerställa att elektronikkomponenterna har en gemensam jordpunkt för sina funktioner. Den separeras normalt från skyddsjord för att undvika att felströmmar från skyddsjord påverkar övrig elektronik. Notera att funktionsjord inte ger något skydd mot elektrisk stöt.

Ofta används termen "jord" som ett övergripande begrepp som inkluderar både skyddsjord och funktionsjord. Det är dock viktigt att förstå deras respektive roller och att separera dem när det är nödvändigt för att undvika potentiella problem med felströmmar som kan påverka elektroniken.

För att produkten ska vara säker och uppfylla standardkraven måste den ha ett tillräckligt skydd mot farlig spänning.

Standarden kräver två skydds nivåer mot elchock och där produkten fortfarande ska vara säker om den första nivån sätts ur spel. För klass I-apparater finns "Grundisolering" (Basic) och "Skyddsjord" (PE). Vid ett överslag eller kraftig degradering av "Grundisoleringen" (Basic) leds felströmmen tillbaka till strömkällan via PE och kortslutningsskyddet respektive jordfelsbrytaren (om sådan finns) löser ut. För klass II-apparater finns Basic och "Tilläggsisolering" (Supplementary) där tillräckligt skydd mot elchock fortfarande finns vid ett överslag eller kraftig degradering av Basic. En klass II-apparat kan alternativt förses med "Förstärkt isolering" (Reinforced), som motsvarar Grundläggande- plus Tilläggsisolering (B+S).

### Tips och rekommendationer:

💡 I en nätansluten AC/DC-omvandlare med exempelvis en ES1 utspänning (SELV-nivå), vilket definitionsmässigt är tillåten att beröras, krävs en isolationsbarriär mellan primär- och sekundärsida för att skydda användaren mot den farliga nätspänningen. Om produkten har en metallkapsling eller andra, av användaren, berörbara metalldelar ska dessa anslutas till skyddsjord för möta kravet på en klass I-apparat. Alternativt kan konstruktionen utföras med förstärkt eller dubbelisolering (grund- och tilläggsisolering) mellan den farliga spänningen och berörbara metalldelar.

## 7.6 Jordläckström

Jordläckström (Touch Current) är den ström som vid ett felfall, såsom en dålig (högimpediv) eller oavsiktligt bortkopplad PE, potentiellt kan vara farlig för människor som berör metallkapslingen på en klass II-apparat. I kraftelektronik är det EMC-filtrets Y-kondensatorer som till största delen bidrar med denna typ av läckström. För klass I-apparater med skyddsjord är kravet i olika standarder 3,5 mA RMS upp till 5 mA RMS enligt EN 62368-1. Om produkten är handhållen gäller det tuffare kravet på 0,75 mA RMS.

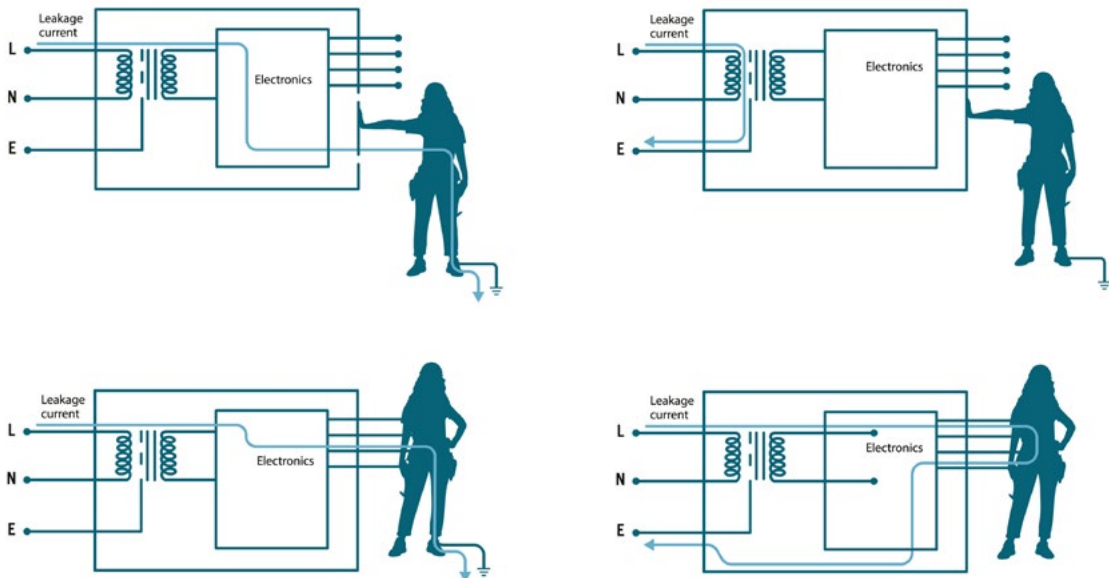
Noteras kan att det även kan finnas läckströmmar som passerar genom isolationsgränssnittet i nätaggregatet och som gör att DC-utgången har en spänningspotential relativt jord. För klass II-produkter, med dubbelisolation, är kravet normalt en maximal jordläckström på 0,25 mA RMS enligt EN 60990.

Skyddsjordsström (Protective conductor current) mäts med en amperemeter i PE som är ansluten på normalt sätt. Jordläckströmmen

mäts under en bortkopplad PE (felfall) med en särskild krets som ska efterlikna kroppens impedans hos en människa. Det är denna ström som i vissa standarder begränsas till 3,5 mA RMS, medan till exempel EN 62368-1 tillåter upp till 5 mA RMS för klass I-apparater. För klass II-apparater gäller precis som tidigare nämnt en maximal jordläckström på 0,25 mA RMS. Det är dock viktigt att konsultera den specifika standarden för exakta värden och krav. Vissa medicintekniska produkter har exempelvis ännu striktare krav på jordläckströmmar för att säkerställa patientens säkerhet.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Kontrollera att avstörningskondensatorer har rätt X och Y klassning som matchar den tänkta applikationen.
- 💡 För att klara läckströmmar och EMC, framför allt i medicinska applikationer, kan man vara tvungen att lägga in en skärm internt i transformatorn.



LÄCKSTRÖMMENS KAN TA OLIKA VÄGAR GENOM EN MÄNNISKA. DE TVÅ NEDERSTA AVSER NÄR EN PATIENT ÄR ANSLUTEN TILL APPARATEN. **KÄLLA:** SMARTARE ELEKTRONIKSYSTEM

## 7.7 Harmonisk distorsion

I en ideal sinusformad växelström eller växelspanning skulle alla ström- eller spänningskomponenter bestå av grundfrekvensen utan övertoner. Harmonisk distorsion innebär närvaron av ovälkomna frekvenskomponenter. Dessa komponenter är heltalsmultiplar av den grundläggande frekvensen.

Hög harmonisk distorsion kan avsevärt påverka kraftsystemets prestanda och tillförlitlighet. Att hålla THD (Total Harmonic Distortion) lågt är avgörande eftersom det leder till högre effektfaktor, lägre toppströmmar och förbättrad effektivitet.

När nätspänningen likriktas i en strömförsörjning genereras dessa övertoner. De oönskade frekvenskomponenterna skapar i sin tur ökad ström i nollledaren, ökade förluster i elektriska maskiner och har en negativ påverkan på elsystemet etc. Därför har begränsningar införts i standarderna:

- **EN 61000-3-2** Gränsvärden för övertoner förorsakade av apparater med en matningsström på högst 16 A per fas.
- **EN 61000-3-12** Gränsvärden för övertoner förorsakade av apparater med en matningsström på större än 16 A men högst 75 A per fas.

Standarderna delar in apparaterna i fyra klasser: A, B, C och D. Varje klass har olika gränsvärden för övertoner beroende på produktens karaktäristik och användning. Exempel på produkter som ingår i de olika klasserna är:

**Klass A:** Balanserade trefasapparater, hushållsapparater, verktyg och andra apparater som inte ingår i någon annan klass.

**Klass B:** Bärbara verktyg och belysningsutrustning med en matningsström högre än 32 A.

**Klass C:** Belysningsutrustning med dimmerfunktion, lysrör med högfrekvensdrift, LED-lampor och andra apparater med liknande egenskaper.

**Klass D:** Persondatorer, bildskärmar, tv-apparater, skrivare, kopiatorer, skanners, ljud- och videoapparater och andra apparater med liknande egenskaper med effektförbrukning under 600 W.

Gränsvärdena som anges i standarden skiljer sig åt beroende på klass. Klass A och B har absoluta nivåer i Ampere, klass C är en procentandel av 50 Hz och i klass D är den proportionerlig mot effektförbrukningen (mA/W). Notera att för produkter i klass D som drar över 600 W gäller gränsvärdena i klass A. Det är därför alltid viktigt att studera standarden för vad som gäller just den aktuella produkten.

För att minska problemen med övertoner är det vanligt att man använder en så kallad PFC (Power Factor Correction). Det är en teknik för att minska den reaktiva effekten och förbättra dess effektfaktor. Effektfaktorn är förhållandet mellan aktiv effekt och skenbar/reaktiv effekt i en växelströmskrets. En hög effektfaktor innebär att elsystemet är mer effektivt och har mindre förluster. Är den nära 1 innebär det att det mesta av energin omvandlas till nyttig effekt, medan nära 0 går det mesta av energin åt till reaktiv effekt. Enligt standarden måste apparater i klass C och D ha en effektfaktor högre än 0,9.

En PFC kan vara antingen passiv eller aktiv. En passiv PFC består av fasta eller omkopplingsbara kondensatorer som ansluts parallellt med lasten eller drosslar som ansluts i serie. En passiv PFC kan förbättra effektfaktorn för en viss last, men kan inte anpassa sig till förändringar i lasten eller nätspänningen. En aktiv PFC består av en omvandlare som styr strömmen till lasten så att den är i fas med spänningen. En aktiv PFC kan förbättra effektfaktorn för olika laster och nätspänningar, men är mer komplex och dyrare än en passiv PFC.

## 7.8 Flimmar

Flicker eller flimmar som det heter på svenska, är variationer i ljusstyrka som beror på små spänningsvariationer på nätet. Dessa variationer orsakas av exempelvis motorer, svetsar, switchade nätaggregat eller frekvensomriktare som är kopplade på nätet. Det kan få lampor att blinka och regleras i **EN 61000-3-3**, "Begränsning av spänningsfluktuationer och flimmar i lågspänningsdistributionssystem förorsakade av apparater med märkström högst 16 A per fas utan särskilda anslutningsvillkor" samt i EN 61000-3-11 för apparater med en märkström upp till 75 A som har särskilda anslutningskrav. Särskilda anslutningskrav innebär att nätimpedansen ska vara känd och tillräckligt låg för att inte förstärka spänningsfluktuationerna som orsakas av tidsvarierande strömmar från apparater.

## 7.9 Utstrålade och ledningsbundna emissioner

All elektronik måste konstrueras för att klara kraven till elektromagnetisk kompatibilitet (EMC). Switchade omvandlare skickar alltid ut radio-störningar och det måste minimeras för att inte störa annan utrustning. Störningar kommer också ut genom kablar.

I kraftelektronik är konstruktörens förståelse av utstrålad och ledningsbunden emission avgörande för att produkten ska uppfylla kraven och undvika störningar. Enligt ledande testhus klarar färre än 50% av produkterna certifieringskraven vid första provningen.

Emissionerna kan stråla ut från kablagen, chassit eller direkt från kretskortet. Dessa störningar uppstår på grund av switchflanker från halvledarna, switchfrekvensen eller exempelvis klockor. Alla dessa källor skapar också övertoner som behöver filtreras.

Genom ledningarna sprids också störningar som kan påverka annan utrustning. Dessa störningar kommer antingen i form av "Common mode" som avser störningar som

refererar till jord, eller "Differential mode" som avser störningar mellan ledare med olika potential, exempelvis mellan fas och nolla. Differential mode uppstår primärt vid snabba strömförändringar, exempelvis i samband med switchning av en MOSFET då strömmen ändras momentant från noll till maximal under en mycket kort tid. Med X-kondensatorer kan differentialstörningarna dämpas.

Common mode-störningarna uppstår primärt på grund av snabba spänningsförändringar. Sådana förändringar skapar kapacitiva strömmar till exempelvis kylare via parasitkapacitanser. Man kan dock dämpa dessa störningar med Y-kondensatorer kopplade till jord. Strömmarna uppstår även i transformatorn där primärlindningens snabba spänningsderivata kapacitivt kopplar till sekundärlindningen.

Precis som för övriga produktlagkrav finns det olika produktspecifika standarder för EMC. I **EN 55032 (CISPR 32)**, som avser emissioner från multimediautrustning, delas produkterna upp i två kategorier:

**Klass A** avser produkter som primärt används i företags- och industrimiljöer. Dessa tillåts generera mer elektromagnetisk störning (EMI).

**Klass B** avser produkter som primärt är avsedda för bostadsmiljöer, kontorsmiljöer och liknande miljöer, vilka har striktare EMI-gränser.

Det är viktigt att notera att valet mellan Klass A och B inte alltid är självklart. Det beror på flera faktorer, inklusive utrustningens specifika användning och i vilken miljö den kommer att användas.

Andra standarder har andra kategorier. Exempelvis **EN 55011** som behandlar EMC-krav för industriella, vetenskapliga och medicinska (ISM) radiofrekvensutrustningar. Den klassificerar utrustning i olika grupper och klasser beroende på deras användningsmiljö och potentiella EMI. Den hänvisar till radiofrekvensband som är reserverade internationellt för användning inom dessa områden utan krav på licensiering.

Dessa frekvensband används för icke-telekommunikationsändamål, såsom uppvärmning, torkning och olika typer av medicinsk utrustning.

En annan viktig standard är **EN 61800-3** avsedd för varvtalsstyrda elektriska drivsystem. Den specificerar EMC-krav för dessa system, beroende på deras användningsområde och installationsmiljö. Produkterna delas här in i fyra kategorier, C1-C4, delvis med olika gränsvärden för emissionsnivåer.

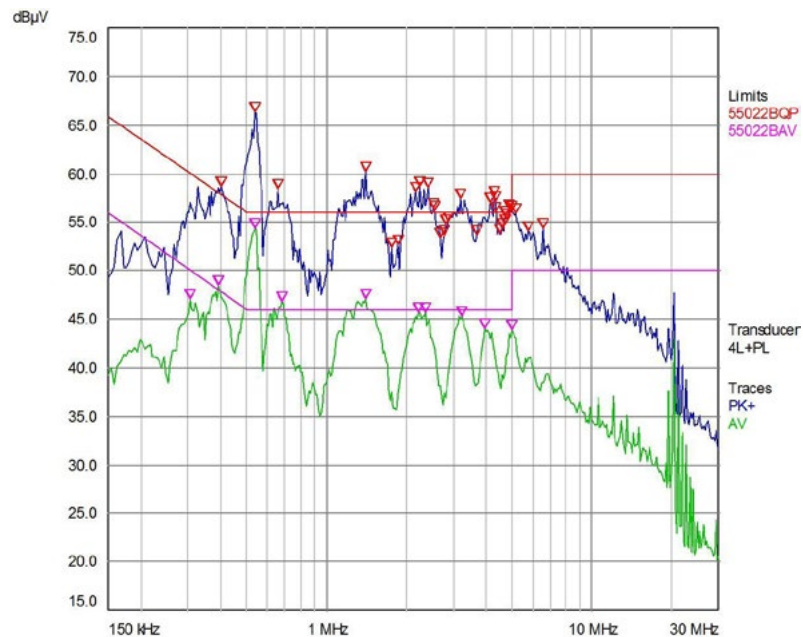
Vilka gränsvärden och mätmetoder som gäller framgår av aktuell standard. För switchade strömförsörjningar gäller exempelvis **EN 61204-3**. Om strömförsörjningen ska användas i eller tillsammans med en apparat som i sin tur omfattas av en produktstandard är det viktigt att strömförsörjningen även klarar kraven i den standarden. Tänk också på eventuella marginaler till gränsvärdet för emission så att inte strömförsörjningen ensamt ligger nära gränsvärdet.

Om ingen produktstandard existerar för den slutliga produkten som strömförsörjningen används med refererar man vanligen till generiska EMC standarder. Generiska EMC standarder är EN 61000-6-x (x = 1-8 i dagsläget) Exempelvis är **EN 61000-6-4** en generisk emissionsstandard för apparater i industrimiljö och **EN 61000-6-2** är motsvarande immunitetsstandard.

Ledningsbunden emission mäts med en LISN, Line Impedance Stabilization Network, som har en mätport med en impedans på 50 ohm där spektrumanalysatorn kopplas. När spektrumanalysatorn inte är ansluten, ska mätporten termineras med 50 ohm. Störnivån ska mätas i frekvensområdet 150 kHz till 30 MHz och avser både quasi-peak och medelvärde. Det finns ibland även kravgränser för ledningsbunden emission under 150 kHz, till exempel för marin elektronik som specificerar test från 9 kHz.



MÄTNING AV LEDNINGSBUNDNA EMISSIONER HOS EK POWER SOLUTIONS. KÄLLA: POWER SOLUTIONS



MÄTEXEMPEL PÅ EN UTRUSTNING SOM INTE KLARAR EMC-KRAVEN. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

För mätningar av utstrålad emission behöver man tillgång till en mätbänk där mätresultaten är fria från yttre störningar. Frekvensområdet är här vanligen 30 MHz till 1 GHz för kraftelektronik. Mer högfrekvent elektronik har emissionskrav upp till 6 GHz i Europa, och upp till 40 GHz i USA och Kanada. Elektronik för exempelvis marina applikationer har även krav på att mäta utstrålad emission ända från 150 kHz.

Ett kraftaggregat för marin användning ska mätas för utstrålad emission hela vägen från 150 kHz upp till 6 GHz.

Då ledningsbundna och utstrålade emissioner är en stor orsak till att produkter inte klarar certifieringen på ackrediterade labb är en stark rekommendation att genomföra förtester, så kallad pre-compliance mätningar. Notera att specifika krav och standarder varierar beroende på produkttyp och geografisk plats. Det är alltid bäst att konsultera med ett testhus för att säkerställa att alla relevanta krav uppfylls.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 För att undvika för många omtester i certifieringshall kan man genomföra jämförande mätningar där man jämför en redan uppmätt enhet och en modifierad enhet i det egna labbet. Det kan man göra med en spektrumanalysator för att se om de modifieringar man gör ger ett förbättrat resultat. Sådana mätningar ger inte absoluta värden men man kan se om man lyckats dämpa den frekvensen som var över gränsen med marginal. Därmed kan man med större förtroende testa igen på certifierat labb.



MÄTNING AV UTSTRÅLADE EMISSIONER HOS DELTA (FORCE TECHNOLOGY) I VÄSTERÅS. KÄLLA: DELTA I VÄSTERÅS

## 7.10 Immunitet

En produkt ska inte bara hålla sig inom gränsvärdena för de egna emissionerna utan också vara immun mot elektriska eller magnetiska störningar. Det kan till exempel handla om elektriska urladdningar (ESD), överspänningar eller radiofrekventa elektromagnetiska fält.

För dessa störningar finns det tre olika acceptanskriterier vid certifieringstesterna:

**Kriterium A:** Ingen ändring av produktens funktion. Den fortsätter fungera som vanligt utan påverkan under testet.

**Kriterium B:** Produkten kan förlora sin funktion under testet men kommer därefter tillbaka till normal funktion utan manuell inblandning. För en strömförsörjning kan detta innebära att regleringen av utgången inte fungerar under testet. En förutsättning är dock att lasten inte förstörs.

**Kriterium C:** Produkten förlorar sin funktion och behöver startas om manuellt.

Vilket kriterium som gäller framgår av standarden. Även om vissa produkter kan acceptera kriterium C är det normalt inte önskvärt att ha en produkt som kräver en åtgärd från användaren för att starta om.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Tänk igenom vilka toleranser som gäller för produkten och vilka avvikelser som kan och inte kan accepteras samt hur dessa ska övervakas vid test. Diskutera gärna med testhuset i förväg vilka förutsättningar som finns för övervakning och inkoppling av signaler, laster och strömförsörjning.
- 💡 Tänk på att den kringutrustning som behövs för övervakningen av acceptanskriterierna också kommer att utsättas för en del av de störningar som läggs på testobjektet. Det betyder att kringutrustningen också behöver vara immun mot störningar för att inte ge felaktiga mätvärden och resultat.

### 7.10.1 ESD

Standarden **EN 61000-4-2** anger hur ett ESD-test ska genomföras och ger förslag på testnivåer. Vilken testnivå man använder beror på vilken nivå produkten behöver tåla. Det specificeras i produktstandarden eller i generisk standard. En typisk nivå är 4 kV kontakturladdning och 8 kV lufturladdning. Det gäller i både industri och bostadsmiljö. Vilken typ av urladdning som ska göras beror på materialet i åtkomliga delar, kontakturladdning för metalltytor och lufturladdning för isolerade ytor.

### 7.10.2 Påstrålade och ledningsbundna elektromagnetiska fält

Enligt **EN 61000-4-3** ska produkten klara immunitet mot påstrålade radiofrekventa elektromagnetiska fält. Sådana fält kan exempelvis vara från en mobiltelefon. Det finns fyra nivåer av påstrålade fält. Dessa går från 1 V/m till 30 V/m. Den högsta nivån representerar höga nivåer av elektromagnetisk strålning och produkten är sålunda mycket robust om det klarar detta krav. Återigen är det produktstandarden eller en generisk standard som anger vilken nivå produkten ska testas mot.

Immunitet mot ledningsbundna RF störningar refererar till förmågan hos produkten att motstå en extern elektromagnetisk störning som kopplas genom dess externa ledningar och kablar.

De oönskade störningarna kan störa produktens funktioner och är reglerat i standarden

**EN 61000-4-6**. Störningssignalen definieras i standarden och är normalt mellan 1 och 10 Vrms och i spannet från 150 kHz till 80 MHz.

Magnetiska fält som uppkommer på grund av nätfrekventa strömmar, till exempel 50 Hz, 60 Hz eller 16 2/3 Hz, beskrivs i **EN 61000-4-8**. Standarden ger förslag på testnivåer och det är produktstandarden eller en generisk standard som bestämmer nivåerna. Exempelvis ska industriprodukter klara magnetiska fältstyrkor på 30 A/m.

### 7.10.3 Transienter

Alla nätanslutna produkter utsätts för olika störningar på elnätet. Detta kan vara spikar, överspänningar eller skurar av transientstörningar. Detta kan komma från andra laster som exempelvis motorer eller överspänningar orsakade av åska. Produkter ska klara olika nivåer av dessa nätstörningar och kraven framgår bland annat av följande standarder:

- **EN 61000-4-4** Provnings av immunitet mot snabba transienter och pulsskurar
- **EN 61000-4-5** Provnings av immunitet mot stötpulser

Vilket nivåer på transienter (Electrical Fast Transients, EFT) en produkt ska klara, framgår av följande lista:

**Nivå 1:** 0,5 kV, upprepningsfrekvens 5 kHz eller 100 kHz.

**Nivå 2:** 1 kV, upprepningsfrekvens 5 kHz eller 100 kHz.

**Nivå 3:** 2 kV, upprepningsfrekvens 5 kHz eller 100 kHz.

**Nivå 4:** 4 kV, upprepningsfrekvens 5 kHz eller 100 kHz.

**Specialnivå:** Kan vara vilken nivå som helst som specificeras i produktspecifika standarder.

De flesta nätanslutna kraftaggregaten ska normalt uppfylla kraven enligt nivå 3.

I standarden EN 61000-4-5 specificeras immunitet mot stötpulser. Den krävda över-spännings- och strömimpulsens vågform vid laborietester är vanligast 1,2/50-8/20 µs. Dessa nivåer simulerar sekundära effekter av ett åsknedslag eller omkopplingar i matningsnätet. Normalt ska ett kraftaggregat klara över 2 kV "common mode" och 1 kV i "differential mode".



**Tips och rekommendationer:**

- 💡 För att skydda sig mot dessa överspänningar används normalt en transorb/TVS, MOV eller gasurladdningsrör. En Transorb, även känd som en transient-spänningsundertryckningsdiod (TVS, Transient Voltage Suppressor), är en komponent som används för att skydda elektronik från spänningspikar som induceras på anslutna ledningar. TVS-dioder är snabb och kan hantera höga strömmar, men de måste dimensioneras för att kunna hantera energin i stötpulsen. Vid prov i differential mode har stötgeneratoren en källimpedans på 2 ohm. En 1 kV provspänning kan alltså ge uppemot 500 A i stötström genom en skyddskomponent. MOV står för Metal Oxide Varistor. Det är en komponent som vanligtvis används för att begränsa spänningen mellan ledare och mellan ledare och skal, och i vissa fall även mellan in- och utgångar så att spänningen inte blir för hög mellan delar av produkten. Att avleda transienterna mot jord kräver att jorden har låg impedans vilket inte alltid är fallet. Dessutom är MOV:er generellt sett långsammare än TVS-dioder, men de kan hantera mer energi. Det är viktigt att komma ihåg att den snabbaste skyddskomponenten kommer ta hela energin. Därför, om både en TVS och en MOV används tillsammans, kommer TVS-dioden sannolikt att reagera först och därmed ta hela energin. Detta bör beaktas vid utformningen av skyddssystemet.
- 💡 Tänk på att alla skydd inte tar hand om hela överspänningen. Det är viktigt att se till att den restspänning som uppstår inte förstör övriga komponenter i systemet.
- 💡 Systemets maximala driftspänning ska vara lägre än överspänningsskyddets maximala kontinuerliga driftspänning ( $U_c$ ), det vill säga utan att skyddet aktiveras.
- 💡 Den maximala skyddsnivån/restspänningen ( $U_p$ ) hos det aktiverade överspänningsskyddet vid en uppskattad maximal åsk-/transientström ska alltid vara lägre än maximal impuls-spänning ( $U_w$ ) som den utrustning som ska skyddas tål, ( $U_p < U_w$ ).

**7.10.4 Kortvariga spännings-sänkningar, spänningsavbrott och spänningsvariationer**

Spänningsdippar och korta nätavbrott är naturliga variationer i elnätet. Det finns stora laster på nätet och det görs även omkopplingar som genererar spänningsvariationer. Sverige har ett relativt bra elnät, men i andra länder är den problematik mer omfattande. Det är därför viktigt att produkterna kan klara av dessa variationer. **EN 61000-4-11** definierar testmetoder för produkter som har en matningsspänning på högst 16 A per fas och är anslutet till 50 Hz nätet.

**7.11 Andra EMC krav**

Beroende på vilken slutanvändning kraftförsörjningen kommer få kan det tillkomma ytterligare EMC krav som man behöver ta hänsyn till. Exempel på applikationer där det finns krav utöver de som behandlats ovan är:

- Marin (immunitet mot rippel och spänningsvariationer, mätning av magnetfält)
- Kraftgenerering och ställverk (immunitet mot dämpade oscillerade svängningar och låg-frekventa Common-mode störningar)
- Medicinteknik (immunitet mot radiofrekventa magnetfält)
- Fordon (immunitet mot "load dump")

## 7.12 Övriga tips och rekommendationer

För att undvika att produkten inte lever upp till alla standardkrav och kan CE-märkas, kan följande tips och rekommendationer vara till hjälp:

- 💡 Klargör tidigt vilka standarder som gäller för produkten. Rådgör med ett testhus.
- 💡 Läs alla aktuella standarder, extrahera alla krav och skriv in dessa i kravspezifikationen.
- 💡 Bevaka kontinuerligt förändringar i standarder eftersom de uppdateras regelbundet. Detta kan göras genom att prenumerera på uppdateringar från standardiseringsorgan som IEC och CENELEC.
- 💡 Stäm av att ingående komponenter uppfyller de standarder som är aktuella.
- 💡 Se till att alla kryp- och luftavstånd blir korrekta i mönsterkortslayouten och till omgivande mekanik.
- 💡 Ha en tydlig strategi för jordning, skärmning och EMC-åtgärder.
- 💡 Konstruera filter som skydd och andra skydd som behövs för att klara emission och immunitetskrav.
- 💡 Lämna gärna visst utrymme på mönsterkortslayouten för att kunna addera filterkomponenter om det vid EMC proven visar sig finnas behov.
- 💡 Se till att transformatorer har godkänt material som ger tillräcklig isolation och tål temperaturkraven.

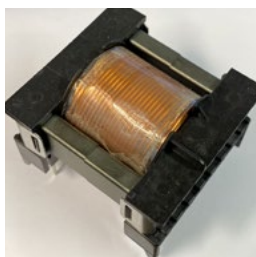
## 8. Transformatorer och induktorer

**Transformatorer och induktorer** (ibland även kallade drosslar) är nyckelkomponenter i all kraftelektronik. Dessa komponenter kallas gemensamt ofta för magnetkomponenter.

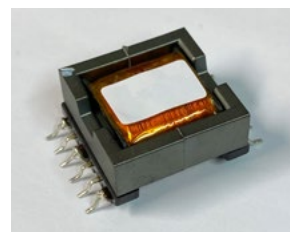
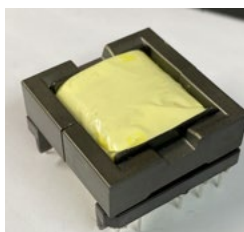
### 8.1 Transformatorer

En av transformatorns vanligaste uppgifter är att omvandla och överföra elektrisk energi via elektromagnetisk induktion, och samtidigt ofta också upprätthålla en elektrisk isolation. Den kan utformas på många olika sätt och det finns en uppsjö av varianter. För kretskortsmonterade transformatorer som används i switchade omvandlare finns det några vanliga modeller som ofta används:

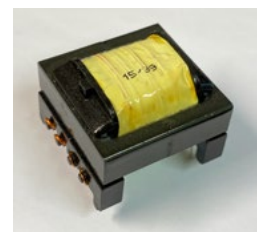
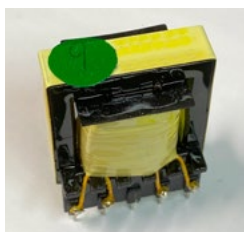
**ETD transformatorer** (Economical Transformer Design) används ofta i Forward, Push-Pull eller Flyback topologier. Det är en kostnadseffektiv kärna och brett storleksutbud som fungerar till många ändamål. Med kärnans runda mitt-ben är den lättlindad och passar upptill medel effekttäthet. De vanligaste storlekarna är ETD29-ETD59. De finns både i horisontellt och vertikalt utförande.



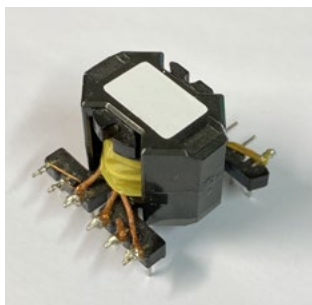
**EFD transformatorer** (Economic Flat Design) har en lågprofil-kärna. Passar där man vill spara utrymme på höjden. Värt att tänka på är att den ofta har begränsningar i isolationsavstånd då kärnans avstånd till bobinens anslutningspinnar är kort och kärnan 'brygger' avståndet mellan pinraderna. De vanligaste storlekarna är EFD10-EFD30. Finns både i hålmonterat och för ytmontering.



**EE transformatorer** (Standard E Core) består av två E-formade ferritkärnor som sätts samman. Traditionell kärnform som också passar till många applikationer, från små EE5.3 (ryggmått 5.3 mm) till stora EE100 (ryggmått 100mm). Det finns gott om bobinalternativ och fördelen med EE transformatorer är att de kan stackas lätt om man önskar öka volymen/effektuttaget. För det ändamålet finns en del special-bobiner. En annan fördel är att transformatorn kan kylas genom att klämmas mellan kylplåtar. Finns i både sående och liggande utförande.



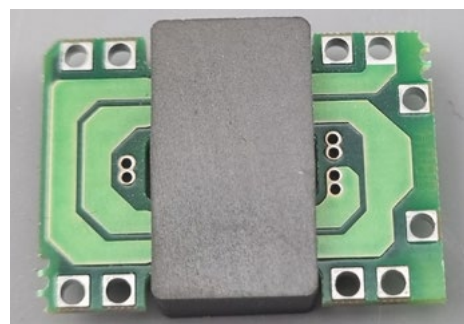
**RM transformatorer** (Rectangular Modular) används ofta när mindre transformatorer behövs, exempelvis som signaltransformator, RM4 – RM14. Dessa kärnor är designade för att minimera läckflöde och magnetisk strålning, vilket gör dem idealiska för applikationer som kräver hög prestanda och låg elektromagnetisk störning (EMI).



**PQ transformatorer** (Pot Core Quality) används där det behövs hög effekttäthet. Dessa använder mindre koppartråd och formen gör att lindningarna till viss del skärmas vilket bidrar till bättre EMI/EMC egenskaper. Med sin platta på under- och översidan är de relativt lätta att kyla och har därför bättre temperaturegenskaper. PQ-kärnor används ofta i högpresterande strömförsörjningar.



**Planartransformatorer** är en typ av transformator som använder plana, laminerade kärnor och kopparbanor i stället för traditionella lindningar av koppartråd. Dessa transformatorer är vanligtvis monterade på ett kretskort och utnyttjar plana spolar som är etsade på ett tryckt kretskort (PCB) eller på laminerade skikt. De är idealiska för applikationer där utrymme, effektivitet och termisk hantering är kritiska faktorer, såsom i modern högfrequenselektronik och integrerade kretskortslösningar.



### 8.1.1 Specifiering av transformatorn

Det finns flera aspekter som är viktigt att tänka på vid konstruktion av transformatorn, såsom effektivitetskrav för att minska förlusterna; avståndskrav mellan primär och sekundär för att klara isolationsavstånden; vilken ström den ska hantera; strömförsörjningens frekvens; och slutligen hur den ska konstrueras för att klara temperaturkraven.

I många fall blir transformatorn unik för applikationen. Då kan följande punkter vara till hjälp när man kontaktar tillverkaren:

- Topologi
- Inspänning
- Utspänning(ar)
- Överförd nominell effekt (per utspänning)
- Överförd maximal effekt
- Switchfrekvens
- Kontinuerlig/Intervall drift

- Omgivningstemperatur/Kylning
- Maximal temperaturstegring/arbetstemperatur
- Isolationsklass/Temperaturklass  
– (Ex: Klass F 155 °C/Klass H 180 °C)
- Isolationskrav – Kryp- och luftavstånd
- Isolationskrav – Överspänningskategori/Arbetspänning
- Isolationssystemkrav
- Omgivningsmiljö/Föroreningsgrad
- Säkerhetskrav: Höjd över havet, Ex-klass (explosionsrisk)
- Storlekskrav – max storlek/tillgängligt utrymme

Det kan vara en stor fördel att tidigt i konstruktionsarbetet av omvandlaren diskutera frågor om val av bobin, kärna och tråd med tillverkaren. Erfarenhetsmässigt finns det många områden som brukar generera problem. Inte sällan är det brist på utrymme i transformatorn. Generellt är det ofta också ont om plats i och runt transformatorer och induktorer, vilket lätt skapar problem när man kommer till mönsterkortslayouten.

Att konstruera en effektiv transformator kräver ofta att man behöver prova sig fram. Då kan inspel från tillverkaren vara mycket värdefullt. Var beredd på att det många gånger krävs flera iterationer för att nå en väl designad transformator. Exempelvis kan man behöva gå upp eller ner i dimension på kärnan för att nå sina krav eller justera antalet lindningsvarv. Man kan också behöva byta till annat material för att kunna gå ner i dimension. Det finns också avancerad programvara för att simulera det magnetiska flödet i en transformator.

Nedan finns några vanliga frågeställningar, problem samt tips och rekommendationer för att magnetkomponenterna ska bli så bra som möjligt, och för att tillverkaren ska kunna leverera en komponent med kvalitet.

### 8.1.2 Val av bobin

Vid val av bobin finns det några grundläggande frågor som styr:

- Behövs någon bobin alls?
- Finns det isolationskrav som kräver viss typ/tjocklek på bobinen?
- Hur många varv behövs, och hur ska den lindas?

### 8.1.3 Val av tråd

En av de viktigaste parametrarna brukar vara resistansen i transformatorns lindningar, Direct Current Resistance (DCR). Det styr vilken tråddiameter som krävs, vilket påverkar fyllfaktor, storlek, temperatur och pris. Man kan behöva lägga till eller dra ifrån något varv för att möta kraven på induktans, DCR eller för att ens få plats med tråden på den valda kärnan.

Glöm inte att räkna på strömtätheten i lindningstråden. Ett vanligt förekommande problem är att man räknar på vad kärnan klarar magnetiskt, men glömmer bort att dimensionera tråden på ett korrekt sätt. Vid höga frekvenser behöver man ta hänsyn till skinneffekten och inte använda för stor diameter, eller alternativt använda mångledare/litz-tråd för att bibehålla effektiv area.

- Vad är det för isolationskrav?
- Behövs trippeliserad tråd?
- Krävs extra yttre isolerande hölje?

### 8.1.4 Val av kärna

Det är många olika parametrar som påverkar valet av kärna. Några av dessa är utrymme/ formfaktor, effekt, switchfrekvens, antal lindningar och varvtal på lindningarna.

Det finns också en mängd olika kärnmaterial. Vid beslutet behöver man överväga vilka de viktigaste parametrarna för applikationen är, exempelvis permeabilitet, flödestäthet, frekvens, kärnförluster, DC bias, temperaturstabilitet, åldring eller liknande. Inte minst pris brukar vara en stor fråga eftersom det skiljer sig kraftigt mellan olika material.

Dessa parametrar påverkar även vilken storlek kärnan behöver ha, vilket ofta är en viktig faktor i sig.

### 8.1.5 Lindningskonfiguration

Vid konstruktion av transformers spelar valet av lindningskonfiguration en avgörande roll för att optimera verkningsgrad och minimera förlusterna till följd av skinneffekt och virvelströmmar (eddy currents). Interfolierade (Interleaved) lindningar är en vanlig teknik för detta ändamål.

”Interleaved windings” innebär att både primär- och sekundärlindningar delas upp i flera segment eller lager, där varje lager av primärlindningen är inflikad mellan de olika lagren av sekundärlindningen.

### 8.1.6 Temperaturaspekter

Ett vanligt misstag vid val av material, som exempelvis bobin, tråd och lack, är att man utgår ifrån att komponenten ska klara en viss temperaturklass. Man missar dock att monteringsprocessen riskerar att överskrida materialens temperaturklass och att den därmed skadas.

Ett illustrerande exempel är ytmonterade transformatorer som ska klara en lödprofil om 260°C under 10 sekunder, men tråden är vald till klass B130°C eller F155°C som är kravet i applikationen. Vald tråd har dock en temperaturchockresistans på 230–250°C. Därmed kan lacken skadas i lödprocessen med risk för kortslutning i lindningen.

### 8.1.7 Isolationssystem

Ska slutprodukten säljas i USA krävs det att den klarar kraven från Underwriters Laboratories (så kallat UL-godkännande). För det behövs att allt material, som ingår i magnetkomponenten, ingår i ett isolationssystem.

Ett isolationssystem är fördefinierade material som säkerställer att en transformator är säker och pålitlig i drift. Det innebär bland annat att materialet ska ha hög dielektrisk styrka och klara hög isolation, vara termiskt stabilt och klara höga temperaturer utan att försämrats, samt klara mekaniska och miljömässiga påfrestningar.

Det innebär att samtliga ingående detaljer som exempelvis bobinmaterial (grundisolation mellan kärna och lindning), tape/sheet (tilläggsisolation, lager isolation, kantisolation med mera), lack etc behöver noggrant väljas och specificeras på tillverkningsritningen. Här gäller det att ha koll på vilka godkända isolations-system som tillverkaren har. Därmed undviker man en separat certifiering då transformatorn kommer täckas av ett redan harmoniserat och godkänt isolationssystem.

Notera att transformatorn ska uppfylla standarden EN 61558-1 ”Transformatorer, strömförsörjningsdon och liknande samt kombinationer av dessa”. För ytterligare information se kapitel 7.4 Transformatorer och strömförsörjning.

För att söka efter isolationssystem har UL en sökmotor som man registrerar sig och söker med.

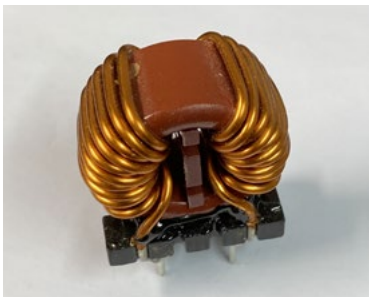
## 8.2 Induktorer

En induktor är en spole av isolerad tråd, ofta lindad runt en magnetisk kärna. Den blockerar högfrekvent växelström (AC) i en elektrisk krets men släpper fram signaler med lägre frekvens och likström. Induktorer har flera användningsområden:

- Common mode-typ (CMD) består av två spolar som är lindade på en kärna, vilket egentligen är en transformator men i denna applikation benämns den som en induktor. De är användbara för att förhindra att

elektromagnetisk interferens (EMI) och radiofrekvensstörningar (RFI) från kraftelektroniken letar sig ut på kraft-/matarledningar, men också för att hindra att kraftelektroniken störs ut av störningar utifrån.

- Chipinduktanser förhindrar EMI-störningar mellan elektriska kretsar.
- Glättningsdrosseln används främst för att minska rippelspanningen på likströmssidan, tillsammans med en kondensator, i ett LC-filter.



Ifall induktorn är unik för applikationen kan följande punkter vara till hjälp när man kontaktar tillverkaren:

- Vilken typ: Exempelvis PFC, CM, DM, Line reactor
- Ström och spänning
- Bas-/arbetsfrekvens
- Switchfrekvens/Rippel
- Övertoner/Filtreringsfrekvenser

## 8.3 Övriga tips och rekommendationer

☛ Vid konstruktionen av magnetkomponenten är det viktigt att leverantören får all information och exempelvis inte bara ström, spänning och induktans i en induktor. Utöver det behövs rippelnivå, övertoner och frekvenser på rippel. Dessa parametrar är avgörande för val av kärnmaterial, storlek, luftgapsplacering och fördelning.

☛ Det är inte ovanligt att magnetkomponenttillverkare blir tillfrågade om vad det finns för termineringsalternativ till en konstruktion man själv tagit fram. Man har inte funderat över hur sin design praktiskt ska koppla in. Det kan leda till att magnetkomponenten blir produktionsmässigt dålig med kostnadsökningar som följd. Notera att det kan vara mycket svårt att terminera stora tvärsnittsareor på ett bra sätt om man inte haft med det i sin konstruktion från start. Termineringen tar ofta större plats än man tror då uttagslängder måste anpassas till valet av terminering.

☛ Ofta blir transformatorn större än man räknat med. Även om en vald kärnstorlek klarar den önskade effektöverföringen behövs det plats för lindningar, isolationsmaterial och anslutningar. Detta missas ofta. Start- och stopptrådar behöver ibland korsas andra trådar/lindningar. Kantavstånd kan behövas för att klara krypavstånden och tar en stor del av lindningsutrymmet. Uttag som måste ledas in/ut med slang för att inte bryta ett kantavstånd, tar också plats.

☛ Vad som teoretiskt ser ut att få plats tar allt som oftast större plats dels ligger inte trådar så perfekt som man vill, dels tar korsande trådar och isolationsmaterial plats man inte räknat med.

☛ Tänk på att ta hänsyn till kryp- och isolationsavstånd till omkringliggande komponenter, anslutningar, kontakter och ledningsbanor.

☛ Det behövs plats runt magnetkomponenterna. Induktorer som monterats på hållare eller bas-platta ställer krav på utrymme för vätningen under plattan vid lödning för att klara IPC-krav.

☛ Kom ihåg att räkna på rätt krypavstånd. Det är lätt att kärnan glöms bort som elektriskt ledande. I EFD transformatorer finns risk för att det blir för dåliga krypavstånd för att de har en låg profil och ofta sitter pinnar/stift nära kärnan. Kärnan brygger över från den ena pin-raden till den andra och man tappar krypavstånd även om man separerar primär och sekundär till var sin sida/pin-rad.

## 9. Mönsterkortslayout

**De flesta kretskort** har någon form av ström-försörjningslösning, därför är kunskapen om hur man konstruerar mönsterkortet för switchade omvandlare viktigt. Även om man som konstruktör har gjort ett fullgott schema finns risken att layouten ändå blir bristfällig. Resultatet kan bli att produkten inte klarar EMC-kraven eller att exempelvis switchkretsar stör ut delar av konstruktionen med haverier som följd.

En noggrann och väl utförd konstruktion av mönsterkortet är kanske det viktigaste för att få till en fungerande produkt. Att konstruera mönsterkortslayouter för kraftelektronik kräver särskilda kunskaper. Denna handbok fokuserar inte på layoutarbetet i allmänhet utan behandlar några områden som är särskilt viktiga ur ett kraftelektronikperspektiv.

Att göra en layout för kraftelektronik är en uppgift där kompromisser och jämkningar behövs mellan en optimal lösning och vad som är praktiskt möjligt på den yta och volym man har. För kraftelektronik är det tre övergripande problem som behöver hanteras – störningar och EMC, kylning och termisk design samt elsäkerhet.

Switchade omvandlare har potentialen att generera betydande elektromagnetiskt brus som konstruktören behöver hantera. Bruset kan påverka andra delar direkt på kortet men också nå närliggande utrustning i form av utstrålad emission. Det kan också ledas ut via kablarna och då påverka annan utrustning på samma ledare.

Ett annat potentiellt störproblem är att switchade omvandlare genererar rippelströmmar. Om de inte hanteras korrekt kan störningar induceras på kretskortet genom induktiv eller kapacitiv koppling. Ett annat problem är risken att switchningen orsakar en ändring i jordpotentialen. Det kan i sin tur påverka andra delar av konstruktionen som kan trigga på skillnaden i potential.

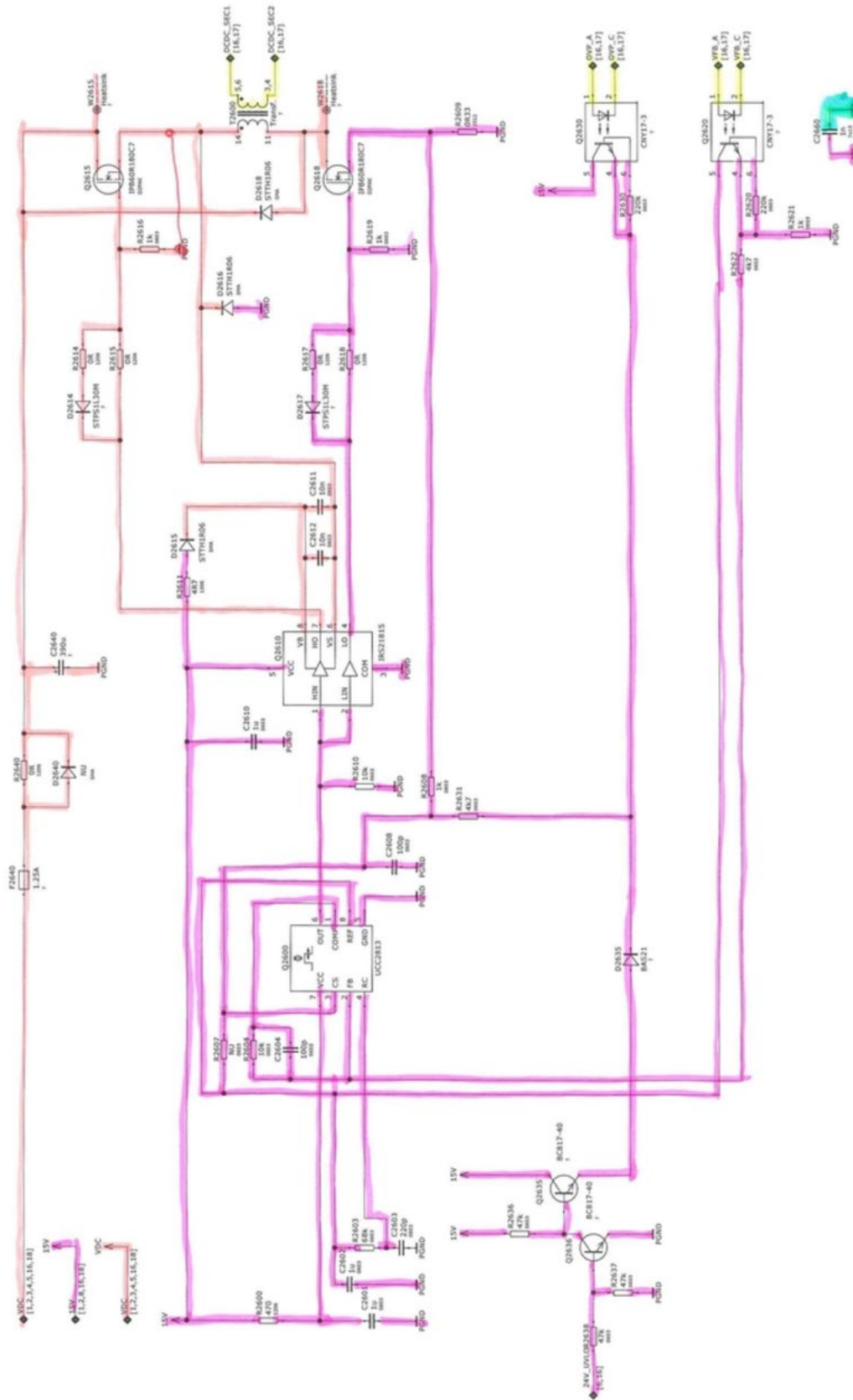
Nedan är några punkter, principer och tumregler för att lyckas med layoutarbetet.

### 9.1 Konstruktionsregler

Dagens kraftfulla CAD-program ger gott stöd för layoutarbetet. Innan arbetet startas behöver alla elektriska nät vara definierade i förhållande till varandra i en så kallad isolationstabell (se tabell på sida 50). Beroende på vilken standard man ska uppfylla finns krav på isolationsavstånd mellan de olika näten. Sätt upp alla avståndskrav i schema och layout. Genomför också en så kallad avståndskontroll på layouten. Ta hand om dessa fel kontinuerligt under arbetet med mönsterkortet.

Rätt uppsatt ger programmen stöd så att komponenter inte kommer för nära varandra och att kraven för elsäkerhetsnormen uppfylls. Tänk på att eventuell mekanik, hölje eller liknande läggs in i schemat så att avståndskravet till dessa också kan uppfyllas.





EXEMPEL PÅ HUR MAN I KRETSSCHEMAT INFÖR LAYOUTARBETE GRAFISKT KAN VISA DE OLIKA NÄTKLASSERNA. DETTA ARBETSSÅTT UNDERLÄTTAR FÖR DEN SOM GÖR LAYOUTARBETET. **KÄLLA:** EK POWER SOLUTIONS

**Isolationstabeller för kraftprodukt**

**Tabellens förutsättningar:**

Standard: EN 60335-1  
 Överspänningskategori: II ger transientnivå 2.5 kV  
 Arbetsspänning på nätmattningssidan är max nominell enfassspänning: 240Vac, 60Hz  
 Maximal spänning över DC-bussen: 450Vdc  
 Maximal nominell spänning till skyddsjord: 450V  
 Luftavstånd och krypavstånd antas här samma värde på mönsterkort (material grupp med CTI >175).  
 Grund- (Ba) och förstärkt isolation (Re) är färgmarkerade då de är viktigast och nödvändiga för elsäkerhet.

**Krypavstånd:**

		Mains (L,N)				Output phase (U,V,W)	
Mains	L	N	PRIM_POT_LOW_VOLT	U	V	W	SEC_ELV
	2/0.4 (Fu)	2/0.4 mm (Fu)	0.15 mm	0.15 mm (Fu)	0.15 mm (Fu)	0.15 mm (Fu)	0.15 mm (Fu)
PRIM POT LOW VOLT	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)
Output phase (U,V,W)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)
	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)	2 mm (Fu)
+DC	5 mm (Re)	5 mm (Re)	5 mm (Re)	5 mm (Re)	5 mm (Re)	5 mm (Re)	5 mm (Re)
SEC_ELV	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)	4 mm (Ba)
CHASSI_GND							

**Solid isolation (t.ex. inne i mönsterkortet):**

		Mains phase (L,N)				Output phase (U,V,W)	
Mains (L,N)	L	N	PRIM_POT_LOW_VOLT	U	V	W	SEC_SELV
	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)
PRIM_POT_LOW_VOLT	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)
Output phase (U,V,W)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)	0.4 mm (Fu)
SEC_ELV	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)	0.4 mm (Re)
CHASSI_GND	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)	0.4 mm (Ba)

Det är en fördel om förstärkt isolationsbarriär är väl synlig genom hela kortet. Detta är också den allra viktigaste barriären då andra sidans spänning (SEC\_SELV) är att betrakta som berörbar.

**Förklaring:**

- PRIM POT HIGH VOLT** Enfas nätslutning, fasledare och nätfiler fram till PFC. 2 mm mellan L-L och N-N gäller fram till säkring
- Output phase (U,V,W)** Fasledare från inverter med speciell kurvform. 2 mm (Fu) är ett ingångsvärde och kan minskas eftersom utrustningen är avsåkrad
- PRIM POT LOW VOLT** Signalkretsar (låg arbetsspänning) på primärsidans potential, typiskt DC-. Hit hör även Primary GND.
- SEC\_ELV** Spänningar som är isolerade från primärsidan (Extra Low Voltage) som är lägre än 60Vdc.
- CHASSI\_GND** Chassijord, skruvar eller metalldelar med galvanisk kontakt till skyddsjordat hölje.
- (Ba)** betyder Basic insulation eller grundisolation
- (Re)** betyder Reinforced insulation eller förstärkt/dubbel isolation
- (Fu)** betyder Functional insulation eller funktionsisolation.

EXEMPEL PÅ ISOLATIONSTABELL **KÄLLA:** EK POWER SOLUTIONS

**Kommentarer till tabellen:**

- 💡 Distribuerade krypsträckor tillåts, till exempel i spänningsdelare med flera motstånd i serie med funktionsisolation ( $F_u$ ).
- 💡 För distribuerade krypsträckor med grundisolation ( $B_a$ ) eller förstärkt isolation ( $R_e$ ) ska varje delsträcka vara minst 1 mm. Detta kan vara aktuellt i till exempel kontaktdon, komponenter eller om till exempel chassijord eller mekanik dras in emellan två nät.
- 💡 Om ett krypavstånd inte kan åstadkommas kan ett hål fräsas i kortet. Spalten/hålet måste vara minst 1 mm för att i stället räknas som ett luftavstånd. Det förutsätter dock att isolationsberäkningarna ger kortare luftavstånd än krypavstånd vilket inte alltid är fallet.
- 💡 I de fall där beräkningarna ger ett längre luftavstånd än krypavstånd blir det luftavståndet som bestämmer krypavståndet. Detta har det tagits hänsyn till i tabellen ovan. Det ställer då krav på att ledande delar på komponenter ska ha samma luftavstånd som krypavståndet på kortet.
- 💡 Längre luftavstånd än krypavstånd uppstår där toppspänningen är mycket högre än spänningens effektivvärde.
- 💡 Om produkten placeras i en OVC III eller OVC IV miljö istället för OVC II krävs större luftavstånd, och därmed indirekt större krypavstånd, eftersom detta aldrig får var mindre än luftavståndet.
- 💡 Minsta tillåtna lagertjocklek för solid grund-/förstärkt isolation är 0,4 mm (till exempel mellan lager inne i mönsterkortet eller mellan ledarbanor i samma lager). Detta avstånd kan också vara större beroende på spänningen eller materialtyp.



CAD AV MÖNSTERKORT. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

## 9.2 Kortkontur

En väldefinierad kortkontur med alla måttbegränsningar (x, y, z) behövs för ett effektivt layoutarbete. I de flesta CAD-system kan mekaniken läsas in. Då vet man att alla toleranser och begränsningar blir korrekta. Om CAD-systemet har stöd för 3D-step modeller underlättar det avstämningen mot mekaniken när den första komponentplaceringen är gjord.

- 💡 Vid högre strömmar bör man överväga om det inte behövs 70 um koppar eller mer. Tabellerna 3–14 och 3–15 i IPC-6012 bör studeras så att man är medveten om vilken koppartjocklek det i sämsta fall kan bli på ett färdigt kort.
- 💡 Storlek på viahål: Diameter 0,4 mm och kragdiameter 0,8 mm.
- 💡 För kraftlayouter är det svårt att få till goda EMC-egenskaper på mindre än fyra lager.

## 9.3 Kortuppbyggnad

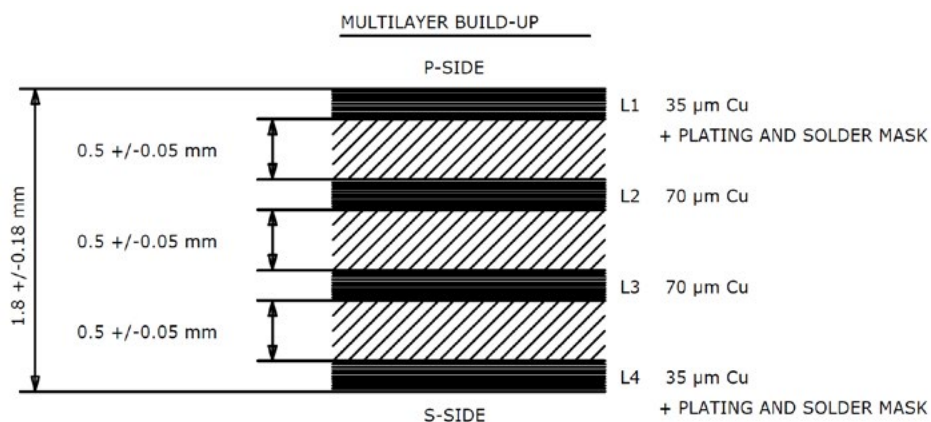
En väl avvägd kortuppbyggnad är en grundförutsättning för en bra kraftelektronik-layout. Det är viktigt att både kortkonturen och uppbyggnaden är klara innan layoutarbetet startas. Vilken koppartjocklek behövs för att klara strömmarna? Ska mönsterkortet ha UL-klass, exempelvis UL 94V-1?

Baserad på vilken konstruktion man ska göra behöver konstruktören ta beslut om antal lager, vilken typ av lager (jord, spänning, signal mix) som ska användas, ordningsföljd och avstånd. För kraftlayouter kan följande tumregler rekommenderas:

- 💡 Innerlager ska ha en minsta ledarbredd och isolationsavstånd på 0,4 mm.

## 9.4 Jordning och EMC

Utan ett solitt jordplan är det svårt att få till en layout som klarar EMC-kraven och som kan ge elektromagnetisk skärmning till störande delar. Med ett helt jordlager innesluts common-mode störningarna. Skilj mellan signaljord och den gemensamma jordpotentialen, vilket är den enhetliga referenspunkten för alla elektriska signaler inom systemet. Anslutning till produktens jord, som är referenspunkten för interna kretsar, ska enbart göras i en punkt för att undvika jordloopar. Detta är särskilt viktigt för att förhindra att olika delar av kretsen får olika referensspänningar som kan orsaka störningar. Om det av layouttekniska orsaker behövs ett splittrat jordplan, koppla ihop jordplanen där det störs som minst.



KORTUPPBYGGNAD FÖR ETT 4 LAGERS KRAFTKORT. MATERIAL: FR4. ISOLATION: L1, L4: >0,2 MM. L2, L3: >0,4 MM. ELSÄKERHETSSTANDARD: EN 62368-1. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

Fyll ut hela jordlagret med koppar och täck helst hela kortytan om det är möjligt. Det förenklar även för mönsterkortleverantören att kunna producera ett kort som uppfyller kraven på planhet. Kontrollera att inte jordlagret får en fristående gren som kan fungera som antenn.

Notera att produktens jord och skyddsjord inte nödvändigtvis är samma sak, även om de ibland kan kopplas samman beroende på konstruktionen.

## 9.5 Komponentplacering, ledningsdragning och EMC

Vid komponentplaceringen kan EMC-riskerna enklare hanteras om inte ingången och utgången ligger precis bredvid varandra. Det minskar exempelvis risken att störningar från ingången och elnätet induktivt eller kapacitivt kopplas över till utgången.

Komponenter som funktionsmässigt hör ihop ska placeras så nära varandra som möjligt och med korta ledarlängder. Det minskar ledförluster och problem med elektromagnetiskt brus. En grundregel i kraftelektronik är att filtrera bort störningarna där de uppstår så att det inte sprids till andra delar av kretskortet. Ofta kan det därför vara bra att börja layoutarbetet med huvudkretsen, ingångs- och utgångsfilter eftersom det där finns högfrekventa switchströmmar.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Minimera alla switchloopar. Signalvägen ska vara låginduktiv, det vill säga kort och bred.
- 💡 Avkopplingskondensatorer kan behövas i större eller mindre utsträckning än vad schemat anger. Layoutens utförande avgör detta.
- 💡 Använd snubberkondensatorer. Dessa bidrar till att minska det högfrekventa bruset och förbättrar utstrålad emission.
- 💡 Gatedrivningen är känslig. Långa ledare kan avsevärt påverka stig- och falltider för switchningen. Störningar på gatesignalen kan medföra felfunktion och att omvandlaren går sönder. Signalvägen ska därför vara låginduktiv.
- 💡 Tänk igenom signalvägar och strömmens returväg.
- 💡 Ledare med högfrekvent brus kan kapacitivt och induktivt ge överhörning till närliggande ledare och komponenter. Undvik känsliga ledare under eller nära switchande delar.
- 💡 Separera signaler med låg hastighet från exempelvis klockor. Det gäller också digitala signaler från analoga.
- 💡 Ledare ska ha tillräcklig bredd med avseende på ström. Om ledare går på innerlager eller P-sidan och är ansluten till en hålmonterad komponent ska den hålmonterade komponentens pad kompletteras med vior.
- 💡 Undvik 90 gradershörn på ledare. Skarpa hörn fungerar som radioantennor. Använd 45 grader i stället.

## 9.6 Termisk konstruktion och kylning

All kraftelektronik genererar värme. Effektkomponenter behöver ha tillräcklig kylning och värmeavledning, antingen via kylflänsar eller kretskortet. Vid komponentplaceringen kan det om möjligt vara bra att separera värmealstrande från värmekänsliga komponenter samtidigt som korta ledarlängder bibehålls. Det kan exempelvis vara elektrolyter som livslängdsmässigt påverkas av hög temperatur. Utför termiska analyser för att säkerställa att värmebehandlingen är adekvat och för att identifiera varma punkter på kortet. Se eget kapitel om termiska aspekter.

Ska kraftelektroniken kylas via kylflänsar eller genom kretskortet till en kylare? Ska kylningen vara passiv via självkonvektion eller aktiv med fläkt?

Använd termiska vior. Bäst verkan får man om viorna finns direkt under kåpan. En kompromiss på storlek är 0,25 mm hål med 0,5 mm krage. Avståndet mellan viorna kan typiskt vara 1 till 1,5 mm. Tänk på att lodet kan flyta ut på undersidan under lödprocessen. För att undvika detta kan man plugga viorna, vilket innebär att de fylls med epoxy. Det går åt ett produktionssteg per viastorlek så bestäm en viastorlek för termiska vior. Ytterligare steg är att sedan plätera över viorna med koppar.

Tänk på att vior också fungerar som induktiva kopplingar. Denna egenskap minskar när flera vior kopplas parallellt.

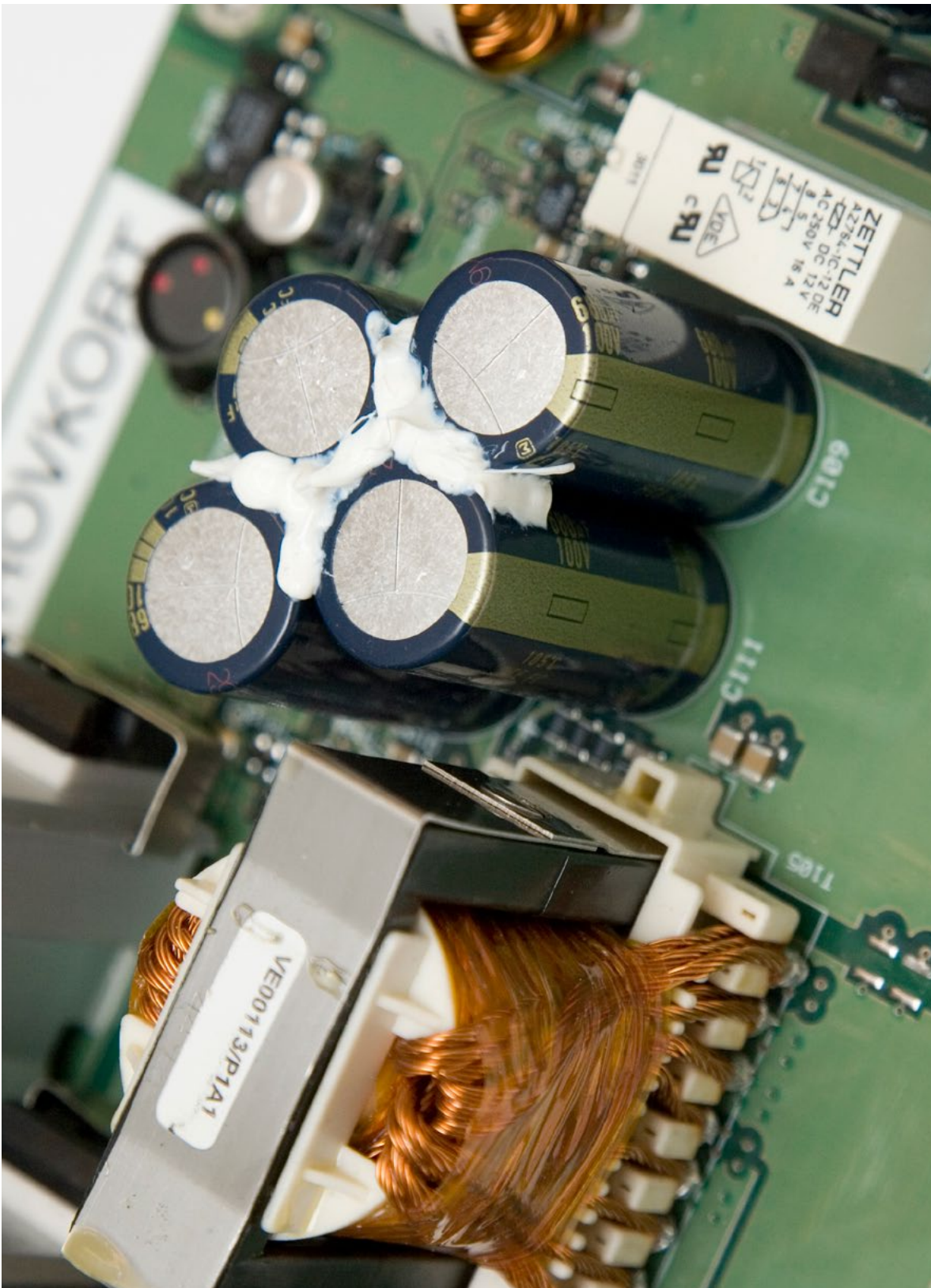
## 9.7 Övriga tips och rekommendationer

⚡ Fyll, om möjligt, ut med koppar på ytor som inte har ledare. På kraftkort kan man med fördel göra ledarna så breda att dessa agerar utfyllnadskoppar. Undermålig kopparbalans mellan ytterlagren resulterar lätt i en ojämn plätering och skeva kort. Har man ojämn kopparbalans på innerlager som ligger på samma ställe får man också ojämnt tryck vid pressningen, med risk för delaminering.

- ⚡ Fästhål och liknande ska vara opläterade för att inte lödas igen vid våglödning.
- ⚡ Komponenthål som ansluts till stora folieytor ska "värmeisoleras" med så kallad heat relief, det vill säga anslutas med en medelgrov ledare rakt igenom ön, rekommendationer för termisk avlastning finns i IPC-2222 avsnitt 9.1.2. Vior behöver inte värmeisoleras.
- ⚡ Maximal ström genom 0,4 och 0,6 mm viahål är 1 A. Vid större strömmar dubblas viahålen. Värmeavledningen är i stort sett likvärdig mellan 0,4 och 0,6 mm.
- ⚡ På kort med stående hålmonterade kondensatorer får inte vior placeras under kanten på kåpan. När kortet våglöds kan lödtennet smälta isoleringen och kortsluta till kåpan.
- ⚡ Det kan behövas en monteringsinstruktion för sammanställning av den kompletta kraftelektroniken. Det kan till exempel röra halvledare som ska monteras mot kylare. Om dessa ska fästas med clips ska monteringsmomentet/kraften anges. Tänk på att det behövs säkerhetsisolation mellan kylare och halvledare. Ett tips är att använda 3 mm aluminiumoxid brickor ( $Al_2O_3$ ) som isolation. Dessa förbättrar också produktens EMC-prestanda.
- ⚡ Kapacitansen i en switchnod kan ge oönskade ringningar och därmed förluster och skapa EMC-problem. Överväg att lämna ytan under switchnoden fri från ledare för att undvika dessa problem.

Innan layouten är klar och produktionsunderlag skapas behöver den granskas. Förutom normala granskningspunkter för en layout behöver följande punkter också kontrolleras:

- ⚡ Kontrollera att alla isolationsavstånd har blivit korrekta. Kryp- och luftavstånd primär till jord, mellan primär och sekundär samt till mekanik.
- ⚡ Kontrollera anpassningen till mekanik. Kontrollen görs lämpligen genom att läsa in DXF-filer från mekaniken.



KOMPLETT KRAFTELEKTRONIKKORT. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

# 10. Arbeta elsäkert på kraftelektronik

**För att kunna verifiera** konstruktionen behöver man mäta med de spänningsförande delarna exponerade. Alla funktioner ska verifieras och dokumenteras. För verifieringen behövs tillgång till ett välutrustat elektroniklabb. Exakt vilka instrument och utrustningar som behövs kommer inte beskrivas i denna handbok, utan fokus i detta kapitel är på att verifieringen kan utföras på ett elsäkert sätt och i enlighet med lagar och förordningar.

Utvecklar man kraftelektronik med spänningar som överstiger 25 Vac eller 60 Vdc anses spänningen som farlig. Därför måste arbetsgivare och arbetstagare vara mycket noga med säkerheten där det kan finnas risk för elektrisk fara eller en elskada. Med elektrisk fara menas en risk för kroppsskada på grund av elektricitet. Med elskada menas dödsfall eller personskada på grund av elchock, elektrisk brännskada, ljusbåge eller av brand eller explosion som initierats av elektrisk energi och som uppkommit vid en elektrisk anläggning.

Den som har ett labb där farlig spänning hanteras ska, enligt lag, känna till vilka regler som gäller och se till att de efterlevs. Förutom att förstå regelverket behöver man löpande kontrollera om reglerna ändras och anpassa verksamheten efter det. Alla som beträder eller vistas i labbet ska ha en utbildning som innebär förståelse av riskerna, alternativt ha en ledsagare som övervakar.

Att ha farlig spänning i sitt labb innebär en mängd osynliga faror som kan vara svåra att upptäcka. Det är därför extra viktigt att vara medveten om riskerna för elolyckor och att dessa risker hanteras inom organisationen. Notera att det inte bara är den som jobbar med kraftelektroniken som riskerar att råka ut för en elolycka, även den som till exempel städar på labbet kan drabbas.

Utöver lagkraven för att bedriva labbverksamhet är det alltid riskerna som finns vid det enskilda arbetet som styr vilka åtgärder som är nödvändiga att vidta. Eftersom denna handbok riktar sig till en bred målgrupp kommer innebörden av nedanstående punkter att variera, beroende på vilket arbete som utförs.

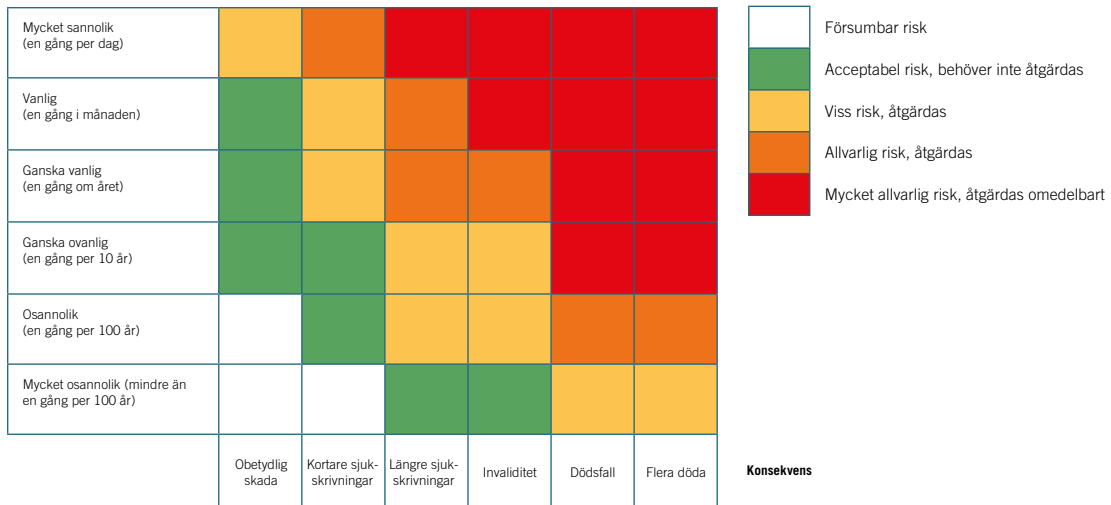
## 10.1 Riskhantering och systematiskt arbetsmiljöarbete

Det är viktigt att förstå begreppen risk och elektrisk riskkälla. En risk är kombinationen av sannolikheten för, och graden av, möjlig kroppsskada eller ohälsa för en person som är utsatt för en eller flera riskkällor. En riskkälla kan exempelvis vara elektricitet i ett labb och där denne kan leda till en möjlig personskada.

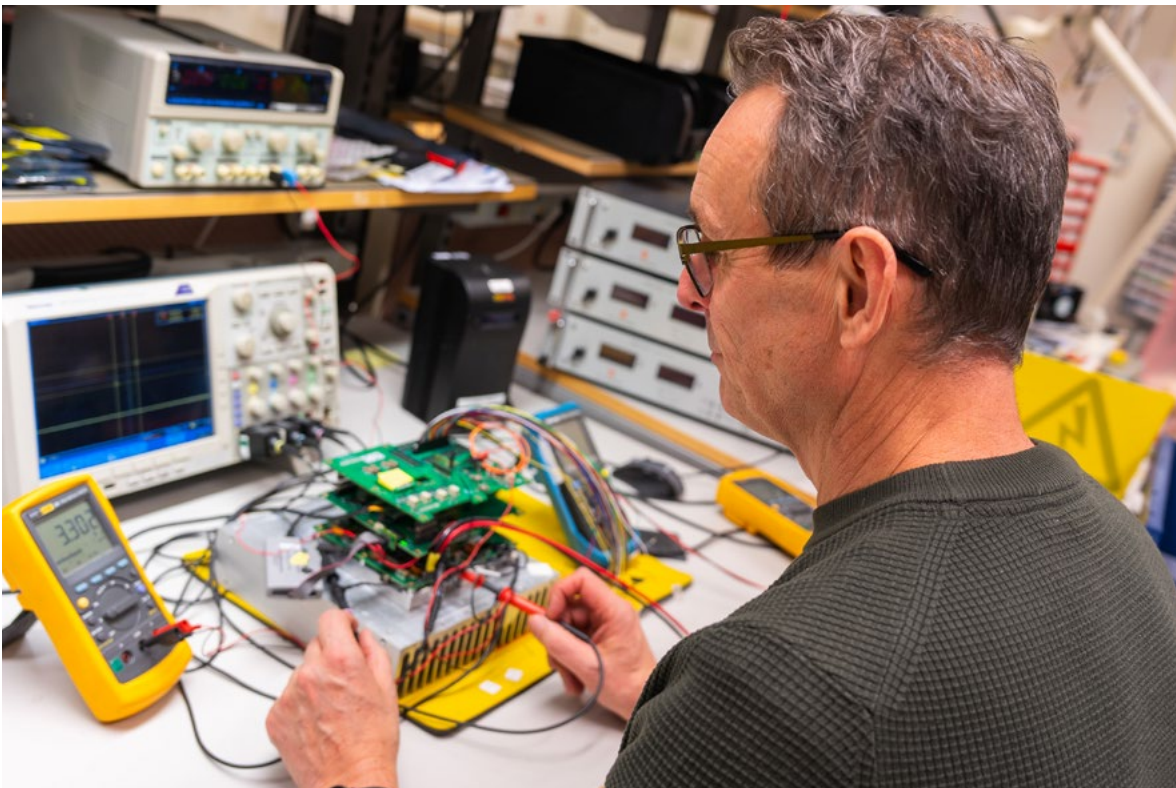
Alla arbetsgivare är skyldiga att arbeta med arbetsmiljö på ett systematiskt och planerat sätt. Vad som avses med systematiskt arbetsmiljöarbete regleras i Arbetsmiljöverkets föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete (AFS 2001:1). Notera att denna lag ersätts av AFS 2023:1 den 1 januari 2025. Systematiskt arbetsmiljöarbete innebär i korthet att arbetsgivaren undersöker arbetsmiljön, bedömer riskerna för att någon kan komma till skada, åtgärdar det som behöver åtgärdas och följer upp att åtgärderna gett avsedd effekt. För att detta arbete ska vara effektivt är det viktigt att arbetsgivaren samarbetar med skyddsombud och övriga arbetstagare. Elsäkerhetsrisker ska, precis som andra risker, hanteras inom det systematiska arbetsmiljöarbetet. Riskerna med labbarbetet ska identifieras, bedömas och dokumenteras. Arbetet ska planeras så att det kan genomföras på ett elsäkert sätt och att



Sannolikhet



EXEMPEL PÅ HUR RISK OCH KONSEKVENSNÄR AV EN MEDVETEN RISK SKA REDUCERAS TILL EN FÖR ARBETET ACCEPTEBEL NIVÅ. KÄLLA: SMARTARE ELEKTRONIKSYSTEM



LABBARBETE PÅ EK POWER SOLUTIONS. KÄLLA: POWER SOLUTIONS

alla skyddsåtgärder har vidtagits. Som arbetsgivare är man skyldig att se till att den som utför arbetet har nödvändig kunskap och utbildning för att hantera riskerna. Det är också viktigt att regelbundet gå igenom och testa att alla skyddsanordningar fungerar som tänkt.

Arbetsgivaren har det yttersta ansvaret för arbetsmiljön. Därför har de också ansvar för att arbete där det finns risk för elektrisk fara kan bedrivas säkert. Enligt arbetsmiljölagen ska arbetsgivaren göra allt som behövs för att arbetstagaren inte ska utsättas för olycksfall eller ohälsa. Elsäkerhetsplanering är därför en viktig del av det systematiska arbetsmiljöarbetet.

Det är viktigt att på arbetsplatsen skapa en säkerhetskultur. Det som kännetecknar en god säkerhetskultur är att ledningen prioriterar och hanterar säkerhetsfrågor på alla nivåer

i verksamheten och att de skapar kulturen tillsammans med medarbetarna. Genom att ge säkerhetsfrågor tyngd i det vardagliga arbetet kan man bygga en positiv attityd till säkerhet och göra det till en norm att undvika genvägar och slarv som riskerar att leda till olyckor. Arbetsgivaren behöver skapa en kultur där beslutade riktlinjer och rutiner respekteras. Arbetstagare är, i sin tur, skyldig att följa dessa. Att på en arbetsplats hjälpas åt att observera och samtala om vilken kultur som finns på arbetsplatsen är en styrka. Om alla hjälps åt att följa rutiner, reflektera kring misstag och våga lära sig av dem ökar chanserna för att skapa en positiv säkerhetskultur.

Utöver AFS2001:1 är några specifika lagar och standarder särskilt relevanta för labbarbete och provning av elektronikprodukter.

#### **Risken för en elolycka kan illustreras av exemplet nedan:**

I de flesta kraftelektroniklabb finns behov av nätspänning. Det finns olika sätt som detta kan genereras. Vanligt förekommande är att använda en variabel transformator, också kallat vridtransformator och variac. De utgör en extra risk då de i regel är sparkopplade. Det betyder att transformatorn bara har en lindning, där både ingångsspänning och utgångsspänning finns. En sådan används i regel till att steglöst justera utgångsspänningen mellan noll och ca 15% högre än inspänningen. Vridtransformatorer är praktiska då man vill mjukstarta ett testobjekt och långsamt vrida upp AC-spänningen till 230 Vac för att kunna mäta ett visst förlopp.

Nollan på en sparkopplad transformator har samma galvaniska punkt för både ingång och utgång. Ingångsspänningen ansluts till transformatorns lindning. Utgångsspänningen görs steglös genom att man, likt en potentiometer, låter en kolbestyckad löpare flyttas över transformatorns lindning. Det skapar en variabel spänning. Att man kan skapa en högre utspänning än dess inspänning beror på att det vanligen finns ett antal extra varv som löparen kan nå som gör att utgångsspänningen skapas med fler varv än vad ingångsspänningen ansluts till.

Faran med en sparkopplad transformator är att om fas och nolla skiftas på dess ingång kommer fasan bli den gemensamma ledaren och nollan gå genom transformatorn.

Mäter man rakt över utgången på transformatorn fungerar den fortfarande som vanligt, med den stora skillnaden att även om transformatorn är vriden ner till noll finns full fasspänning på utgångssidan. Det kan i många fall skapa en risksituation.

## 10.2 Elsäkerhetsverkets förordning, ELSÄK-FS 2022:1

Elsäkerhetsverket har genom förordningen ELSÄK-FS 2022:1 lämnat föreskrifter och allmänna råd om hur starkströmsanläggningar ska vara utförda. På deras hemsida finns ytterligare information om hur man undviker olycksfall orsakade av elektricitet. Se exempelvis publikationen "Arbete vid risk för elektrisk fara" som är utarbetade gemensamt av Arbetsmiljöverket och Elsäkerhetsverket.

## 10.3 Elanläggningar – säkerhet vid arbete, SEK Handbok 446

Handbok 446 består av innehållet i standarderna EN 50110-1, Skötsel av elektriska anläggningar, och de svenska tilläggen och reglerna enligt EN 50110-2. Enligt standarden ska en elanläggningsansvarig utses av anläggningens ägare.

Den elanläggningsansvarige har det övergripande ansvaret att säkerställa elanläggningens skötsel genom att besluta om regler, organisation och arbetsrutiner. Standarderna tar också upp organisatoriska roller som elanläggningsansvarig, eldriftledare och elsäkerhetsledare. Dessa roller kan innehas av samma person.

Innan ett labbarbete startas ställs krav på att elriskerna bedöms och vilka säkerhets- och försiktighetsåtgärder som ska vidtas för att arbetet ska kunna utföras på ett säkert sätt. Samtliga anställda ska instrueras om tillämpliga säkerhetskrav, säkerhetsregler och interna anvisningar.

Enligt Elsäkerhetsverkets föreskrifter ska tillgång till labbet vara begränsat genom att det är slutet eller inhägnat på ett betryggande sätt. Varningsskyltar ska finnas och personer som normalt inte har befattning med anläggningen ska informeras om farorna innan tillträde till labbet.



Utöver detta lyfter handboken upp några viktiga punkter:

- 💡 Begränsad tillgång till labbet. Ingångar ska markeras med varningsskyltar.
- 💡 Information ska ges till alla om riskerna, även personer som bara tillfälligt är i lokalerna.
- 💡 Det ska genomföras utbildning och fastställas kvalifikationskrav för att labba.
- 💡 Personlig skyddsutrustning som ögon-, ansikts- och hörselskydd ska användas.
- 💡 Nödstoppsbrytare ska finnas.
- 💡 Jordfelsbrytare ska finnas.
- 💡 Regelbunden funktionskontroll av anläggningen ska göras.
- 💡 Verktyg ska vara i gott skick och anpassad för arbete i labb.
- 💡 Miljön ska vara ESD-skyddad.
- 💡 Koppling ska ske i spänningslöst tillstånd. Kontrollera!
- 💡 Ensamarbete är inte tillåtet.
- 💡 Tydlig info om vad man gör vid en olycka, utrymningsvägar och första hjälpen.

Tänk på att det i många sammanhang krävs en systemverifiering av kraftelektroniken. I de fall denna verifiering görs i annat labb behöver även detta kontrolleras så att det uppfyller gällande säkerhetsföreskrifter.

## 10.4 Uppställning och skötsel av elektrisk provningsutrustning, EN 50191

Verksamheter som utför labbarbete på kraftelektronik behöver ta fram instruktioner och rutiner för hur man genomför labbarbetet elsäkert och enligt gällande lagstiftning. Till hjälp kan man använda standarden EN 50191. Denna är tillämpbar på fasta eller tillfälliga installationer för elektrisk provning. Det innebär att den ska tillämpas på provplatser för utförande av försök eller provning inom ramen för forsknings- eller utvecklingsarbete.

Den som är elsäkerhetsledaren har det yttersta ansvaret för ett arbetes genomförande. Ansvaret kan vid behov delegeras. Endast fackkunniga personer får arbeta vid provningsinstallationer. All personal ska instrueras om gällande säkerhetskrav, säkerhetsregler och företagsegna anvisningar som gäller för arbetet. Dessa instruktioner ska repeteras vid behov, dock minst en gång om året. Det åligger medarbetarna att följa givna krav, regler och anvisningar. Utbildningen ska dokumenteras skriftligt.

Provningsområden får endast beträdas av sådan medarbetare som arbetar där och av andra personer som erhållit noggranna anvisningar beträffande förekommande faror. Om andra personer måste beträda dessa områden ska de uppmärksammas på riskerna och åtföljas av en fackkunnig person.

### Några andra viktiga punkter från standarden:

- 💡 Vid spänningar upp till 1 000 V anses den spänningsförande delens yta vara riskområdets gräns.
- 💡 Det ska finnas hinder i form av väggar, nät, rep, kedjor eller bommar för att nå provområdet. Standarden ger tydliga krav på lägsta höjd.

- 💡 Indikeringslampor och varningsskyltar ska finnas. Ingångar ska vara försedda med varningsskylt "Tillträde förbjudet för obehöriga" eller "Obehöriga äger ej tillträde".
- 💡 Nödbrytare för att bryta all elektrisk energi ska finnas. Minst en ska finnas utanför provningsområdet.
- 💡 Det ska finnas hinder för att provobjektet kan spänningssättas automatiskt eller oavsiktligt av obehörig.
- 💡 Skydd mot restspänning. Det ska finnas anordningar för att ladda ur energi på ett säkert sätt. Innan frånskilda provföremål berörs ska det, genom jordning och kortslutning, säkerställas att inga farliga spänningar finns på berörbara delar.
- 💡 Skydd mot exempelvis ljusbågar, explosioner, eld eller farliga ämnen.
- 💡 Röda signallampor ska användas om inte kringstående säkerhet uppnås på annat sätt, exempelvis om provningen övervakas av den som utför uppgiften. Finns flera provningsområden på samma labb ska varje område indikeras med signallampor. Röda indikerar fara närhelst provningen är startklar eller i drift.
- 💡 Jordfelsbrytare ( $\leq 30$  mA) ska finnas om provobjektet är förbundet med matande nät. Om felströmmen innehåller en likströmskomponent ska en jordfelsbrytare användas som är avsedd för detta.
- 💡 Instrument ska omfattas av verksamma skyddsåtgärder i händelse av fel, exempelvis matas från isolertransformator.
- 💡 Nödutgångar och hinder ska vara öppningsbara inifrån provningsområdet och alltid hållas fria.
- 💡 Provplatser som är avsedda att användas utan att provningspersonal är ständigt närvarande (till exempel vid långtidsprovning) har särskilda krav som framgår av standarden.
- 💡 Provplatser får bara vara i drift under ledning och övervakning av en fackkunnig person.

- ⚡ Innan provningen startar ska kopplingen kontrolleras okulärt för att säkerställa säker användning. Elsäkerhetsledaren ska ge sitt tillstånd att starta provningen.
- ⚡ Som en säkerhetsåtgärd under driftlägena "startklar" och "i drift" ska minst en annan person stå i synlig och hörbar kontakt med den som utför provningen för att omedelbart kunna upptäcka en farlig situation på provplatsen och undanröja denna fara genom att aktivera nödbrytdonet.
- ⚡ Innan provningsinstallationen lämnas ska denna tas ur drift.

#### **Erfarenhetsmässigt finns ytterligare några punkter som kan vara bra att ha i åtanke:**

- ⚡ Grunden för att arbeta personsäkert är ordning och reda. Det är viktigt att säkerhetstänkandet finns med hela tiden under arbetet och att alltid koppla i spänningslöst tillstånd.
- ⚡ Mätobjektet kan inte alltid beröringsskyddas vid mätningar, men kringutrustning såsom kabelskarvar, laster, styrutrustning eller liknande ska beröringsskyddas om det finns en risk för att beröra farlig spänning.
- ⚡ Kabelanslutningar ska klara erforderlig dragbelastning om någon av misstag rycker i en kabel. Kablage på golv ska normalt undvikas, men måste det ske ska det göras på ett sätt att snubbelrisk undviks.
- ⚡ Då arbete med farlig spänning sker ska det markeras med en skylt "Livsfarlig spänning" väl synlig i direkt närhet.
- ⚡ Beroende på typ av mätobjekt och vilken typ av mätning som ska göras kan inkoppling se olika ut från fall till fall. Frångås det hur produkten normalt ska kopplas upp ska det tydligt framgå och märkas upp i mätuppkopplingen. Vid en mätning som måste göras utan att ansluta befintlig skyddsjord ska till exempel mätobjektet tydligt märkas upp med skylt som visar "Skyddsjord ej ansluten".

- ⚡ Jordfelsbrytare ska vara installerad vid labbplatsen. Notera dock att om en isolationstransformator eller ett DC-nät-aggregat (med flytande utgång) används, sätts jordfelsbrytarens funktion ur spel. Därför ska en jordfelsbrytare alltid kopplas in efter isolationstransformatorn.

Det rekommenderas starkt att man regelbundet genomför städning av labbet och att det görs en skyddsronnd med genomgång av säkerheten. I detta ligger också att prova att skyddsfunktioner, som exempelvis nödstoppbrytare, verkligen fungerar. På arbetsplatser där risker för elolyckor föreligger bör samtliga anställda ha genomgått HLR-utbildning, med fokus på elolyckor, samt att det finns tillgång till hjärtstartare.



VARNING FÖR ELEKTRISK FARA.

# 11. Vanligt förekommande brister i kraftelektronik

I detta kapitel finns några vanliga brister som erfarenhetsmässigt ofta förekommer i kraftelektronik. Det finns också en rad tips och idéer för hur man kan undvika dessa och därigenom få en robustare och stabilare produkt. Listan med tips och rekommendationer kan med fördel användas som en checklista.

## 11.1 Brister i den tekniska specifikationen

Den kanske största bristen vid konstruktion av kraftelektronik är att samtliga krav inte är sammanställda och dokumenterade. Normalt betyder det att den viktiga systemeringen inte har gjorts ordentligt. Det leder till att konstruktionsarbetet inte tar hänsyn till viktiga krav och att det därför krävs omtag sent i utvecklingsarbetet. Bristen på systemering och avsaknaden av en komplett kravspecifikation kan också leda till att lösningen inte går att använda, utan en omfattande omkonstruktion. En komplett kravspecifikation gör det även enklare att konstruera rätt produkt från början och på så sätt verifiera kraven.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Ta fram en komplett teknisk specifikation. Se mall i kapitel 12.
  - 💡 Gör en beskrivning i specifikationen över hur produkten ska fungera. Om det är en isolerad omvandlare, vilka isolationskrav som finns och var isolationen ska implementeras?
  - 💡 Skriv in vilka certifieringar produkten ska uppfylla, exempelvis CE, UL, TÜV och CCC.
  - 💡 Ta reda på vilka produktstandarder som gäller för EMC- och elsäkerhet.
- Ytterligare information finns under kapitel 7, viktiga standarder för kraftelektronik.
- 💡 Om produkten innehåller radioutrustning ska den även klara RED-direktivet.
  - 💡 Kom ihåg att i stort sett alla produkter behöver klara relevanta miljökrav som RoHS och REACH, och att kunden ska informeras om förekomsten av SVHC-ämnen. Mer om detta ämne kan du läsa om i Smartare Elektronikhandboken.
  - 💡 Skriv in alla funktionskrav, spänningar, strömmar samt lastkurvor över hur lasterna dynamiskt ska fungera. Ska spänningarna slås på i en viss ordning?
  - 💡 Ta reda på i vilken miljö som produkten används och var kraftelektroniken sitter. Ta också reda på omgivningstemperaturen och hur varmt det blir inuti produkten där kraftelektroniken sitter. Kan produkten tillåta en viss begränsning av prestanda vid exempelvis ett utökat temperaturområde, så kallad "normal funktion" och "säker funktion"? I det senare fallet kan mindre avvikelser utanför specifikationen tillåtas utan att elektroniken går sönder.
  - 💡 Klargör andra krav som produkten behöver klara av, till exempel IP-klassning och krav på mekanisk hållfasthet i form av chock och vibration.
  - 💡 Ta fram förslag på kontaktdon och var det är tänkt att de ska sitta.
  - 💡 Beskriv hur mekaniken ska se ut och hur det är tänkt att kylningen ska fungera.
  - 💡 Bestäm om det ska finnas ett temperaturskydd så att elektroniken kan stängas av automatiskt vid övertemperatur.

- 💡 Ta reda på livslängdskraven.
- 💡 Klargör också vilken produkt- och tillverkningsdokumentation som behövs.
- 💡 Se till att alla ändringar i specifikationen dokumenteras med versionshantering för att spåra förändringar över tid.

## 11.2 Bristfällig EMC-design

Att inte planera för hur EMC-störningar ska hanteras redan i systemeringen kan leda till kostsamma problem i produktutvecklingens slutskede. Brist på lämpliga filter och skärmningar resulterar som regel i stora problem och visar sig gärna först vid certifieringen. Då kan det vara svårt, eller till och med omöjligt, att få in filter eller andra åtgärder som behövs i mönsterkorts-layouten. Allt som oftast blir resultatet ett komplett omtag som påverkar både krafterelektroniken som övrig mekanik och kapsling.

För att få till en bra produkt med avseende på EMC är det viktigt att de som gör mönsterkorts-layouten har ett nära samarbete med de som har gjort den elektriska konstruktionen, och förstår vad som är viktigt för att få till en bra krafterelektroniklayout. Tips för mönsterkorts-layouten finns i kapitel 9.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Ett riktigt jordplan i layouten förbättrar EMC-prestanda.
- 💡 Minimum fyra lager behövs för en krafterelektroniklayout. Att försöka göra layouten på enbart två lager, av kostnadsskäl, kan i slutändan bli mycket kostsamt.
- 💡 Undvik långa, tunna ledare till switchkretsar. Dessa riskerar att störas ut eller medföra problem med EMC.
- 💡 Välj skärmade induktorer för att undvika problem med strålande magnetfält.

- 💡 Se till att konstruktionen har ett tydligt flöde för energin från ingång till utgång. Att till exempel dra ingångskablaget över kortet medför normalt att detta plockar upp störningar och resulterar i att EMC-kraven inte uppfylls.
- 💡 Överväg att använda skärmade kablar för att minimera störningar.
- 💡 Planera för EMC-testningen tidigt i utvecklingsfasen för att identifiera och åtgärda problem innan de blir kostsamma.

## 11.3 Bristande överspänningsskydd

Ett typiskt överspänningsskydd är utformat för att skydda elektriska och elektroniska enheter från skadliga överspänningar. Överspänningar kan uppstå till följd av åska, blixnar, kraftiga strömvariationer i elnätet eller andra störningar i strömförsörjningen. Ett överspänningsskydd ser till att överspänningar inte skadar de enheter som är anslutna till det.

Överspänningsskydd fungerar genom att detektera överspänningar och antingen kortsluta överspänningen eller frånskilja strömförsörjningen till enheten för att förhindra skador. Valet av överspänningsskydd beror på applikationen och det specifika behovet för att skydda utrustningen från överspänningar.

Det är inte helt enkelt att ge en klar rekommendation kring hur ett överspänningsskydd ska konstrueras, utan det behövs en viss känsla för applikationen och vad denna kan utsättas för i den tilltänkta miljön den används i.

Ett överströmsskydd, till exempel en säkring, kan skydda mot kortslutning och/eller överlast. En elektronisk strömbegränsare är tillåten att ersätta överlastskyddets funktion hos en säkring och kan placeras på valfri plats nedströms inuti en apparat. Dock krävs ALLTID ett kortslutningsskydd i form av en godkänd säkring/säkringsbrytare antingen på ingången av apparaten eller externt varifrån apparaten matas.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Fundera på om det verkligen behövs säkring på kretskortet och vad den i så fall ska ha för ström och spänningskrav. Notera dock att man ofta vill undvika säkringar på kretskortet då de kräver byte.
- 💡 Ett vanligt förekommande åskskydd är en metalloxidvaristor (så kallad MOV). Denna blir lågohmig när den utsätts för en spänning över sin maximalspänning. På så sätt kortsluts överspänningen genom varistorn. Varistorn måste vara rätt vald så att den resulterande effekten inte överstiger varistorns maximalt tillåtna effekt. I så fall förstörs varistorn. Notera att även om varistorn inte förstörs försämras prestandan efter varje överspanningsstöt och slutar alltså att fungera efter ett tag. Man vet helt enkelt inte hur många åskpulsar som varistorn har kvar innan den helt har slutat fungera.
- 💡 Tänk på att varistorer också påverkas av temperatur. Höga temperaturer kan påverka både livslängd och förmåga att göra sitt jobb. Kontrollera tillverkarens datablad noggrant för val av varistor. Notera att klampspänningen alltid ska vara högre än den maximala inspänningen i produktens normala inspanningsområde.
- 💡 Testa överspanningsskyddet under olika realistiska förhållanden för att säkerställa dess pålitlighet.

## 11.4 Avsaknad av eller felaktigt konstruerade ingångsfilter

Ett ingångsfilter, även kallad EMC-filter, har som uppgift att minimera elektromagnetisk störning (EMI) från att tränga in eller ut från produkten. Filtret är nästan alltid nödvändigt för att uppfylla olika standarders krav på immunitet och emission. Att inte från början inkludera filtret leder oftast till att man inte klarar standardkraven vid certifieringen.

Det kan bli extra besvärligt då det kanske inte finns plats på kretskortet för filtrering.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Om konstruktionen har stora kondensatorer behöver den ha ett så kallat ströminrusningskydd (Inrush current protection). Syftet är att hantera och begränsa den initiala strömspiken som uppstår när utrustningen slås på. Strömspiken kan vara betydande och leda till överbelastning av elektroniken om den inte hanteras korrekt.
- 💡 Välj X- och/eller Y-kondensatorer i filtret för att undertrycka störningar. Dessa kondensatorer är anpassade och godkända att sitta nära produktens ingång/matning. X-kondensatorer används mellan fas och nolla, medan Y-kondensatorer används mellan fas och jord alternativt mellan neutral och jord. Det är viktigt att notera att valet av kondensatorer och deras konfiguration måste göras med hänsyn till de specifika kraven i den aktuella applikationen och tillämpliga standarder. Typ Y1 används där det finns krav på dubbel- eller förstärkt isolation, medan Y2 används vid grund- eller tilläggsisolation. För X-kondensatorer används X1 i industriella applikationer, medan X2 används där det inte är lika höga krav på störningsskydd. Se standard EN 60384-14.

## 11.5 Bristande mönsterkortslayout

Ett av de absolut största problemområden som kopplas till kraftelektronik är bristfälligt gjorda mönsterkortslayouter. Ofta handlar det om brister i hantering av störningar, som i förlängningen kan ge felfunktion eller att man inte klarar EMC-kraven. Ett annat vanligt problem är hantering av de värmeförluster som kraftelektroniken genererar. Man kan också lätt missa de avståndskrav som elsäkerhetsstandarderna sätter med följd att produkten inte klarar certifieringen.



Tips och rekommendationer för hur man konstruerar mönsterkortslayouter med kraftelektronik finns i kapitel 9.

## 11.6 Bristfällig dimensionering av komponenter

Felaktigt dimensionerade komponenter kan leda till en rad olika problem och negativa konsekvenser. Om komponenterna inte är tillräckligt dimensionerade för den aktuella belastningen kan de överhettas. Det kan förkorta livslängden och leda till permanenta skador eller förlust av funktion. Är komponenterna felaktigt dimensionerade kan det också leda till sämre verkningsgrad. Driften kan också bli instabil och inte klara exempelvis EMC-kraven.

För att undvika dessa problem är det viktigt att korrekt dimensionera komponenterna enligt specifikationerna. Det innebär att noggrant gå igenom ström- och spänningsnivåer, driftsfrekvenser och andra relevanta parametrar för att säkerställa att varje komponent fungerar inom dess specifikationer samt har tillräckligt med marginal för att hantera variationer och oväntade belastningar.

Ska produkten ha en lång livslängd måste många komponenter ofta väljas med rejäl marginal till de gränser som står i komponentspecifikationerna.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Kontrollera alla komponenters datablad med hänsyn till toleranser, spännings- och strömtålighet och exempelvis tålighet mot transienta förlopp (dV/dt). Kontrollera även alla in- och utspänningar (min/max) och alla lastfall.
- 💡 För våta elektrolytkondensatorer, var extra noga med att kontrollera rippelströmmar och den maximala temperaturen som kondensatorn utsätts för i omgivningen. Detta påverkar livslängden avsevärt. Se kapitel 6 om termiska aspekter.
- 💡 Polyester/polypropylen-kondensatorer är känsliga för transienta förlopp (dV/dt).
- 💡 Undvik tantalkondensatorer då dessa innehåller konfliktmineral och därför omfattas av särskild lagstiftning.
- 💡 Keramiska kondensatorer har en särskild problematik om den har en hög konstant DC-spänning pålagd, så kallad DC-bias-effekt. Kapacitansen kan minska drastisk vid höga DC-spänningar och det är inte ovanligt med en minskning på 50% eller mer. Var extra noggrann att kontrollera tillverkarens datablad och välj då att överdimensionera kondensatorn för att kompensera för effekten. Ett alternativ är att välja kondensatorer med låg DC-bias-effekt. Typerna NPO och X7R erbjuder god prestanda i termer av kapacitansstabilitet över temperaturområdet. Även X5R kan vara ett alternativ om temperaturen inte är för hög. Notera att DC biaseffekten dessutom är högre ju mindre kapsel som kondensatorn har.
- 💡 Vid val av transistorer kontrollera spänning- och strömtåligheten. Kontrollera min/max gate-spänning och räkna på effektförlusten. En tumregel är att temperaturen i halvledaren inte får överskrida 125°C.
- 💡 Vid val av ytmonterade motstånd, ta hänsyn till vilken storlek på motstånd som kan användas vid vilka spänningsnivåer och effektförluster vid höga temperaturer. En tumregel är att ett 0603 motstånd inte ska användas för nivåer över 50 V/63 mW vid 70°C. Vid högre värden använd 0805 eller exempelvis 1206. Stäm alltid av med databladet.
- 💡 Utför en stresstest på komponenterna för att förstå deras beteende under extrema förhållanden.
- 💡 Vid verifiering av konstruktionen, använd en värmekamera. Då kan du lätt se om någon komponent blir överhettad och är bristfällig dimensionerad.

## 11.7 Temperaturproblem

Det är inte ovanligt att kraftelektronik-konstruktioner har inbyggda problem avseende temperaturspektrerna. Har man inte tagit höjd för komponenternas temperaturspecifikationer, adekvat kylning och vilka omgivningstemperaturer som produkten ska användas i är risken stor att man har ett inbyggt livslängdsproblem.

Tips och rekommendationer för att hantera de termiska aspekterna finns i kapitel 6.

## 11.8 Mekanikproblem

Att mekanik och kretskort inte passar ihop är ett vanligt förekommande fel under konstruktionsfasen och kan generera onödigt arbete som försenar produktanseringen. En nära dialog behövs mellan de som konstruerar mekaniken och de som gör mönsterkortslayouten. Gör mekaniska ändringar i fästhål, kylare eller liknande måste detta kommuniceras med den som gör mönsterkortslayouten.

### Tips och rekommendationer:

- 💡 Läs in mekaniken i CAD-programmet för mönsterkortslayouten och se att allt passar innan mönsterkortsunderlagen tas fram. Gör gärna också det omvända när mönsterkortslayouten är klar, det vill säga läsa tillbaka alla konturer in i CAD-programmet för mekanik. Många CAD-program för mönsterkort kan idag generera stepfiler.
- 💡 Bygg prototyper och gör fysiska tester för att säkerställa att allt passar ihop som planerat.
- 💡 Kontrollera att nödvändiga kryp- och luftavstånd enligt standardkraven finns mot mekaniken.
- 💡 Alla fästhål ska vara inklusive toleranser.
- 💡 Använd gärna aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) som elektrisk isolator för transistorerna som monteras mot kylare. Det ökar möjligheterna för att också klara EMC-kraven eftersom aluminiumoxidbrickor generellt ger ett större avstånd till kylaren vilket innebär att den kapacitiva kopplingen minskar.



LIMNING AV STÖRRE KOMPONENTER FÖR BÄTTRE HÅLLFASTHET VID MEKANISKA PÅFRESTNINGAR. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

- Om kortet behöver lackas kan det krävas maskning.
- Används produkten i miljöer där den utsätts för mekaniska påfrestningar som exempelvis vibrationer, är det viktigt att stora komponenter limmas ordentligt. Hur limningen ska göras ska framgå av tillverkningsunderlagen.
- Uppmuntra till ett tätt samarbete mellan mekanik- och elektronikkonstruktörer för att undvika missförstånd och misstag.

## 11.9 Marginalanalys

Genomförandet av marginalanalys ger svar på hur väl konstruktionen står sig med avseende på toleranser. Detta gäller både initiala toleranser samt temperaturdrifter.

### Tips och rekommendationer:

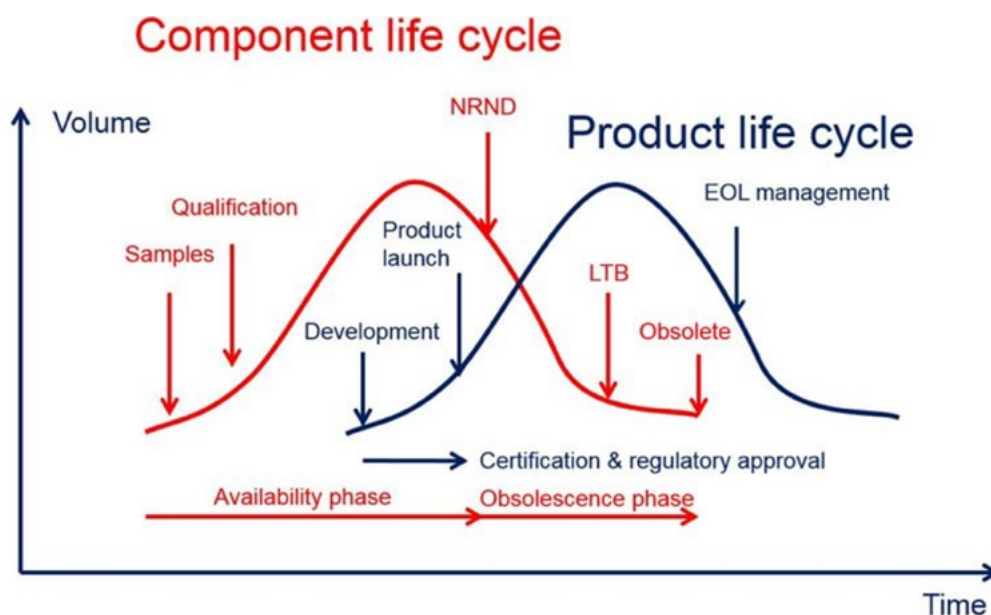
- Genomför simuleringar och beräkningar utifrån konstruktionens ytterligheter.
- Använd resultaten från marginalanalysen för kontinuerliga förbättringar i designprocessen.

## 11.10 Livscykel- och tillgänglighetsanalys

Ett stort och återkommande problem är att de komponenter man har konstruerat in, inte längre går att få tag på eller finns i tillräckligt stor utsträckning. Då kan man plötsligt vara i en situation där det krävs omkonstruktioner och även omcertifieringar. Alternativt kan man kanske hitta komponenterna på spotmarknaden, men risken är stor för rejäla kostnadsökningar och att dessa komponenter inte håller samma kvalitet.

### Tips och rekommendationer:

- Ta reda på var i livscykeln alla komponenter befinner sig och följ upp detta regelbundet under produktlivscykeln.
- Identifiera alternativa komponenter som kan användas om de primära komponenterna blir otillgängliga.



DET ÄR VIKTIGT ATT GENOMFÖRA EN LIVSCYKELANALYS. KÄLLA: EK POWER SOLUTIONS

# 12. Mall för konstruktionsspecifikation

## Konstruktionsspecifikation

AC/DC-omvandlare

x kW till xxxx

Notera att denna specifikation enbart innehåller förslag på rubriker och innehåll, och måste anpassas till varje produkt.

REVISIONSHISTORIK		
Revision	Datum	Kommentar (införda ändringar)
PA1	202x-xx-xx	Första preliminära utgåva
PA2	202x-xx-xx	Uppdaterat efter genomgång med kund/leverantör. Införda ändringar...
A	202x-xx-xx	Frisläppt med följande ändringar...

INNEHÅLLSFÖRTECKNING
<b>1. ALLMÄNT</b>
1.1 INLEDNING
1.2 LISTA PÅ STANDARDER
1.2.1 EMC
1.2.2 ELSÄKERHET
1.2.3 MILJÖ
1.3 DEFINITIONER
<b>2 FUNKTIONSBESKRIVNING</b>
2.1 BLOCKDIAGRAM
2.2 BESKRIVNING AV FUNKTIONSBLOCK
<b>3 ELEKTRISKA KRAV</b>
3.1 INGÅNGSSPECIFIKATIONER
3.1.1 INGÅNGSSPÄNNING
3.1.2 INGÅNGSSTRÖM

<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>
3.1.3 INRUSNINGSSSTRÖM
3.1.4 EFFEKTIVITET
3.1.5 EFFEKTFAKTOR
3.1.6 JORDNING
3.1.7 SÄKRING
3.1.8 GÅNGRESERV
3.1.9 POLVÄNDNINGSSKYDD
<b>3.2 UTGÅNGSSPECIFIKATIONER</b>
3.2.1 UTGÅNGSSPÄNNINGAR, TOLERANS, STRÖM, RIPPLING, REGLERING.
3.2.2 MAXIMAL UTEFFEKT
3.2.3 ISOLATIONSSPÄNNING IN/UT
3.2.4 SWITCHFREKVENNS OCH SYNKRONISERING
3.2.5 DERATING
3.2.6 LARMSIGNALER
<b>3.3 SKYDDSFUNKTIONER</b>
3.3.1 KORTSLUTNING OCH ÖVERSTRÖM
3.3.2 ÖVERSPÄNNING
3.3.3 ÖVERTEMPERATUR
<b>4. ELSÄKERHET OCH EMC</b>
4.1 ELSÄKERHET
4.2 EMC, EMISSION
4.3 EMC, IMMUNITET
<b>5. MEKANISKA KRAV</b>
5.1 DIMENSIONER
5.2 VIKT
5.3 YTBEHANDLING
5.4 KYLNING
5.5 INFÄSTNING
5.6 IP KLASS
5.7 MÄRKNING
<b>6 ANSLUTNINGAR</b>
6.1 PLACERING AV KONTAKTDON
6.2 KONTAKTDON

<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>
<b>7 MILJÖKRAV</b>
7.1 DRIFTSTEMPERATUR
7.2 KORTTIDSLAGRING
7.3 LÅNGTIDSFÖRVARING
7.4 TRANSPORT
7.5 FÖRORENINGSGRAD
<b>8 MEKANISK STRESS</b>
8.1 CHOCK
8.2 VIBRATIONER
8.3 LUFFTRYCK
<b>9 ÖVRIGA KRAV</b>
9.1 MTBF
9.2 LIVSLÄNGD
9.3 MONTERING OCH LÖDNINGSSTANDARDER
9.4 KOMPONENTVAL OCH MILJÖ

<b>1. ALLMÄNT</b>		
1.1 INLEDNING		
<p>Denna specifikation omfattar strömförsörjningen till produkt xxx. Den omfattas därför av produktregelverket för produktgruppen xxx. Omvandlaren behöver vara isolerad och ha förstärkt isolation. Beskriv kraven på kraftelektroniken ur ett systemperspektiv. Hur ser lasterna ut? Matar kraftelektroniken andra omvandlare i produkten eller kommer alla matningsspänningar från denna enhet. Hur kopplar man ihop dessa i produkten ur ett kraftelektronikperspektiv?</p>		
1.2 LISTA PÅ STANDARDER		
<p>Lista de standarder som produkten omfattas av och som ska omfattas av certifierande provning. Se exempel nedan.</p>		
1.2.1	EMC	
	<b>Immunitet</b>	
	EN 61000-4-2	Provning av immunitet mot elektrostatiska urladdningar
	EN 61000-4-3	Provning av immunitet mot utstrålade radiofrekventa elektromagnetiska fält
	EN 61000-4-4	Provning av immunitet mot snabba transienter och pulsskurar
	EN 61000-4-5	Provning av immunitet mot stötpulser
	EN 61000-4-6	Immunitet mot ledningsbundna störningar orsakade av radiofrekventa fält
	EN 61000-4-11	Provning av immunitet mot kortvariga spänningssänkningar, spänningsavbrott och spänningsvariationer
	EN 61000-6-2	Generella fordringar - Immunitet hos utrustning i industrimiljö
	<b>Emission</b>	
	EN 55032	Utstrålat 30 MHz - 1 GHz, class B
	EN 55032	Ledningsbundet 0,15 MHz - 30 MHz, class B
	EN 61000-6-3	Generella fordringar - Emission från utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer
	EN61000-3-2	Gränsvärden - Gränser för övertoner förorsakade av apparater med matningsström högst 16 A per fas
1.2.2	ELSÄKERHET	
	EN 62368-1	Audio/video och informationsteknisk utrustning
1.2.3	MILJÖ	
	EN 60068-2-1	Test Ab: Kyla, stationärt tillstånd
	EN 60068-2-78	Test Ca: Fukt och värme, stationärt tillstånd
	EN 60068-2-6	Test Fc: Sinusvibration
	EN 60068-2-13	Test M: Lågt lufttryck
	EN 60068-2-27	Test Eb: Chock

1. ALLMÄNT		
	EN 60068-2-30	Test Db: Fukt, temperaturändring (12+12 h)
	EN 60068-2-64	Test Fdb: Bredbandig brusvibration
1.3 DEFINITIONER		
	Normal funktion: Normalt driftläge och full livslängd.	
	Säker funktion: Minskad livslängd accepteras. Alla utgångar har sina specificerade spänningar. Mindre avvikelser från tekniska data i punkt 3.	

2. FUNKTIONSBESKRIVNING	
2.1 BLOCKDIAGRAM	
	Översiktlig bild på omvandlarens alla delblock som ingångsfilter, inrusningskydd, huvudomvandlare, PWM-block, temperaturskydd, utgångsfilter etc.
2.2 BESKRIVNING AV FUNKTIONSBLOCK	
	Beskriv de olika blocken och viktiga egenskaper för dessa.

3. ELEKTRISKA KRAV	
3.1 INGÅNGSSPECIFIKATIONER	
3.1.1	INGÅNGSSPÄNNING
	Nominell spänning: 95–240 Vac Tolerans: +/- 10% Frekvens: 47–63 Hz, sinusvåg
3.1.2	INGÅNGSSTRÖM
	Max ström vid 85 Vac: 10 Arms
3.1.3	INRUSNINGSSTRÖM OCH ENERGI
	Maximal inrusningsström ska vara enligt standard xxx (exv. ETS300132-2). Kabelresistansen kan variera mellan 0,1–0,6 Ohm Maximum inrusningsenergi under 1 ms: $\leq xx$ J
3.1.4	EFFEKTIVITET
	> 94%
3.1.5	EFFEKTFAKTOR
	>0,9 vid uteffekt 25%-100% av maxlast
3.1.6	JORDNING
	Skyddsjordterminalen ska anslutas till en skyddsledare. Skyddsklass 1
3.1.7	SÄKRING
	x A, trög typ med min. xx A i brytkapacitet. Ej utbytbar av användaren.



3. ELEKTRISKA KRAV					
3.1.8	GÅNGRESERV				
	>10 ms				
3.1.9	POLVÄNDNINGSSKYDD				
	Ingångsskydd för polvändning: Ja				
3.2 UTGÅNGSSPECIFIKATIONER					
3.2.1	UTGÅNGSSPÄNNINGAR, TOLERANS, STRÖM, RIPPEL, REGLERING				
	Ta fram en lastgraf på hur lasten ska fungera. Tid, ström, spänning. Stegsvar?				
	<table border="1"> <tr> <td>Utgång 1</td> <td>           Nominell spänning: 24 V            Tolerans: <math>\pm 5\%</math>            Utström: 5-30 A            Ripple och brus: <math>\leq 50</math> mVp-p            Lastreglering: <math>\leq 4</math> ms vid 10-90% laständring <math>\Delta V &lt; 0,5</math> V (dipp/overshoot)            Linjereglering: <math>\pm 1\%</math>, 85-265 Vac vid full last         </td> </tr> <tr> <td>Utgång 2</td> <td>           Utgångsspänning och ström varierar linjärt med inspänningen            Utspänning: 3-12 V            Tolerans: <math>\pm 5\%</math>            Utström: 3-30 A            Ripple och brus: <math>\leq 50</math> mVp-p vid resistiv last            Lastreglering: <math>\leq 100</math> ms vid 10-90 % laständring <math>\Delta V &lt; 0,5</math> V (dipp/overshoot)            Linjereglering: <math>\pm 1\%</math>, 85-265 Vac vid full last            Returström kopplas till chassi.         </td> </tr> </table>	Utgång 1	Nominell spänning: 24 V Tolerans: $\pm 5\%$ Utström: 5-30 A Ripple och brus: $\leq 50$ mVp-p Lastreglering: $\leq 4$ ms vid 10-90% laständring $\Delta V < 0,5$ V (dipp/overshoot) Linjereglering: $\pm 1\%$ , 85-265 Vac vid full last	Utgång 2	Utgångsspänning och ström varierar linjärt med inspänningen Utspänning: 3-12 V Tolerans: $\pm 5\%$ Utström: 3-30 A Ripple och brus: $\leq 50$ mVp-p vid resistiv last Lastreglering: $\leq 100$ ms vid 10-90 % laständring $\Delta V < 0,5$ V (dipp/overshoot) Linjereglering: $\pm 1\%$ , 85-265 Vac vid full last Returström kopplas till chassi.
Utgång 1	Nominell spänning: 24 V Tolerans: $\pm 5\%$ Utström: 5-30 A Ripple och brus: $\leq 50$ mVp-p Lastreglering: $\leq 4$ ms vid 10-90% laständring $\Delta V < 0,5$ V (dipp/overshoot) Linjereglering: $\pm 1\%$ , 85-265 Vac vid full last				
Utgång 2	Utgångsspänning och ström varierar linjärt med inspänningen Utspänning: 3-12 V Tolerans: $\pm 5\%$ Utström: 3-30 A Ripple och brus: $\leq 50$ mVp-p vid resistiv last Lastreglering: $\leq 100$ ms vid 10-90 % laständring $\Delta V < 0,5$ V (dipp/overshoot) Linjereglering: $\pm 1\%$ , 85-265 Vac vid full last Returström kopplas till chassi.				
3.2.2	MAXIMAL UTEFFEKT				
	Maximal kontinuerlig uteffekt: 1100 W				
3.2.3	ISOLATIONSSPÄNNING IN/UT				
	Primär till sekundär: Kontinuerligt $\pm 2500$ Vdc 8/20 $\mu$ s pulse: $\pm 1.5$ kVdc				
3.2.4	SWITCHFREKVENNS OCH SYNKRONISERING				
	Switchfrekvens vid +25°C: 130 kHz $\pm 20$ kHz Krav på synkronisering av utspänningar: Inga				
3.2.5	DERATING				
	Uteffekt/utström: 2% per °C från 50°C till 70°C				

3. ELEKTRISKA KRAV	
3.2.6	LARMSIGNALER
	Aktivera: Alla utspänningar inom toleranser Felsignal: Vid ingen utspänning eller övertemperatur temperatur
3.3 SKYDDSFUNKTIONER	
3.3.1	KORTSLUTNING OCH ÖVERSTRÖM
	Alla utgångar ska vara kortslutnings- och överströmssäkra.
3.3.2	ÖVERSPÄNNING
	Utspänningarna ska begränsas vid fel i regleringen. Enheten ska uppfylla överspänningskategori II (OVC II) enligt EN 62368-1
3.3.3	ÖVERTEMPERATUR
	Det termiska skyddet ska stänga av omvandlaren alternativt begränsa uteffekten vid extrema temperaturer över 85°C på kylaren eller kring kretskortet. Omvandlaren ska automatiskt återstarta när temperaturen når svalnat till 75°C

4. ELSÄKERHET OCH EMC		
Alla standarder ska testas på eller granskas av oberoende testhus. Notera att det kan vara olika standarder beroende på marknad och vilka certifieringar man då behöver. CE, UL etc.		
4.1 ELSÄKERHET		
	Elsäkerhet ska implementeras enligt EN 62368-1 och granskas av oberoende testhus. Höjd över havet: < 2000 meter Materialgrupp:III	
4.2 EMC, EMISSION		
	Ledningsbunden emission Ska mätas enligt EN 55032	Class B 0.15 - 30 MHz
	Utstrålat emission Ska mätas enligt EN 55032	Class B 30 MHz - 1 GHz
4.3 EMC, IMMUNITET		
	Immunitet mot magnetfält Ska mätas enligt EN 61000-4-8 50 Hz	Fältstyrka 30 A/mrms
	ESD Ska mätas enligt EN 61000-4-2 Urladdning mot chassi.	Testspänning: ± 4 kV

4. ELSÄKERHET OCH EMC		
	Snabba transienter/immunitet mot spänningskuror Ska mätas enligt EN 61000-4-4	Testspänning: 2 kV
	Surge immunity Ska mätas enligt EN 61000-4-5	Testspänning: 2 kV common mode 1 kV differential mode

5. MEKANISKA KRAV		
5.1 DIMENSIONER		
	Maximala dimensioner (enhet)	H 60 mm B 150 mm D 100 mm.
	Maximala dimensioner (kretskort)	H 55 mm B 145 mm D 95 mm.
	Inkludera gärna separat ritning eller skiss. Notera att det måste finnas plats för att kontaktera enheten och det behöver finnas nödvändig kryp- och luftavstånd för att klara elsäkerhetskraven.	
5.2 VIKT		
	Maximal vikt < 0,5 kg	
5.3 YTBEHANDLING		
	Stål. Lackat med xxx	
5.4 KYLNING		
	Aggregatet ska kylas genom självkonvektion och halvledarna ska fästas mekaniskt direkt på chassit/kylflänsen. Vid självkonvektion ska luftflödet vara minst 0,5m/s i vertikal led.	
5.5 INFÄSTNING		
	Enheten ska skruvas ihop och fästas på följande sätt till produkten... Beskriv. Kretskort, chassi och kylare ska monteras från en sida. Skruv ska vara av modell M5.	
5.6 IP KLASS		
	Enheten ska klara IP klass: IP54	
5.7 MÄRKNING		
	Varningsskylt ska finnas på enhetens utsida. Modell och serienummer ska placeras med etikett på kretskortet.	

6. ANSLUTNINGAR	
6.1 PLACERING AV KONTAKTDON	
	Kontakt donen ska placeras på kortets kortsida enligt skiss.
6.2 KONTAKTDON	
	Nätingång: IEC320-kontakt
	24 V utgång: Würth xxx
	12 V utgång: Molex xxx
	Ange varje kontakts pinnummer ska vara enligt följande (bild).

7. MILJÖKRAV	
Definition av temperatur nedan är lika med kylflänstemperatur.	
7.1 DRIFTSTEMPERATUR	
	<p>Definitionen av temperatur under är lika kylflänstemperaturen och den antas vara 15°C över omgivningstemperaturen i värsta fall. All drift sker i icke-kondenserande miljö. Omvandlaren ska klara kortvarig vattenkondensering om den startar från djupfryst tillstånd till normal drifttemperatur. Stora fluktuationer på utgångarna kan förekomma.</p> <p>Enheten ska användas i en miljö som inte har klimatkontroll. Den kommer dock att vara i en vattentät aluminiumlåda.</p> <p><b>Normal funktion</b>                      Temperatur -25 ... +65°C                      Relativ luftfuktighet 15 ... 90%                      Absolut luftfuktighet 1 ... 20 g/m<sup>3</sup>                      Temperaturgradient ±0,5°/min ... ±10°/h                      Genomsnittlig temperatur +25°C</p> <p><b>Säker funktion, (test enligt EN 60068-2-30)</b>                      Temperatur -40 ... +75°C                      Icke förstörande -50°C                      Relativ luftfuktighet 10 ... 95%                      Absolut luftfuktighet 1 ... 28 g/m<sup>3</sup>                      Temperaturgradient ±0,5°/min ... ±10°/h                      Genomsnittlig temperatur +25°C                      Antal cykler 6</p>

7. MILJÖKRAV	
7.2 KORTTIDSLAGRING	
	<p>För korttidsförvaring kan enheten antingen förvaras i sin transportförpackning, packas upp eller monteras i slututrustningen.</p> <p>Enhetens funktion ska inte påverkas av exponering för följande temperaturer och luftfuktighet:</p> <p>Temperatur -40 ... +60°C</p> <p>Relativ luftfuktighet 1 ... 95%</p> <p>Absolut luftfuktighet &lt; 28 g/m<sup>3</sup></p> <p>Tid 72 h</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-1 (Ab) och EN 60068-2-78 (Ca).</p>
7.3 LÅNGTIDSFÖRVARING	
	<p>Enheten bör förbli i sin transportförpackning eller monterad i slututrustningen för långtidsförvaring. Enhetens funktion bör inte påverkas av exponering för följande temperaturer och luftfuktighet:</p> <p>Temperatur +10 ... +45°C</p> <p>Relativ luftfuktighet 20 ... 80%</p> <p>Absolut luftfuktighet &lt; 12 g/m<sup>3</sup></p> <p>Tid 3 år</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-1 (Ab) och EN 60068-2-78 (Ca).</p> <p>Det är viktigt att elektrolytkondensatorerna tål denna långtidslagring utan att rekonditioneras. Längre lagringstider kan kräva speciella startrutiner för enheten. Om så är fallet bör en tydlig beskrivning av hur rekonditioneringen ska utföras inkluderas i en teknisk lagringsinstruktion.</p>
7.4 TRANSPORT	
	<p>Under transport ska enheten ligga kvar i sin transportförpackning. (= monterad i slututrustningen). Enhetens funktion bör inte påverkas av exponering för följande temperaturer och fuktighet:</p> <p>Temperatur -50 ... +70°C</p> <p>Relativ luftfuktighet 1 ... 100%</p> <p>Absolut luftfuktighet &lt; 35 g/m<sup>3</sup></p> <p>Tid 72 h</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-1 (Ab) och EN 60068-2-78 (Ca).</p>
7.5 FÖRORENINGSGRAD	
	<p>Enheten ska uppfylla Pollution Degree II enligt EN 62368-1</p> <p>Överväg om kretskortet behöver lackas eller gjutas in för att öka skyddet mot yttre påverkan.</p>

<b>8. MEKANISK STRESS</b>	
<b>8.1 CHOCK</b>	
	<p>Den uppackade enhetens funktion ska inte påverkas efter chock enligt följande:</p> <p>Antal stöt i tre riktningar i rät vinkel 3x500</p> <p>Acceleration 400 m/s<sup>2</sup></p> <p>Varaktighet 6 ms, halv sinuspuls</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-27</p>
<b>8.2 VIBRATIONER KORTTIDSLAGRING</b>	
	<p>Den uppackade enhetens funktion ska inte påverkas efter att ha vibrerats enligt följande:</p> <p>Förskjutningsamplitud under <math>f_c</math> 3,5 mm, 5 - 9 Hz</p> <p>Accelerationsamplitud över <math>f_c</math> 10 m/s<sup>2</sup>, 9 - 200 Hz</p> <p>Antal svepcykler i tre riktningar i rät vinkel 3x5</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-6</p> <p>Enheten ska ha en säker funktion när den vibreras enligt följande:</p> <p>Amplitud 0,01 g<sup>2</sup>/Hz, 5 - 20 Hz</p> <p>-3 dB/oktav, 20 - 500 Hz</p> <p>Varaktighet i tre riktningar i rät vinkel 3x10 minuter</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-64</p>
<b>8.3 LUFTTRYCK</b>	
	<p>Aggregatet ska fungera med säker funktion och i överensstämmelse med personsäkerhetskrav i tryckintervallet nedan.</p> <p>Tryckspann 55 - 108 kPa</p> <p>Exponeringslängd 16 timmar</p> <p>Test ska utföras enligt EN 60068-2-13</p>

<b>9. ÖVRIGA KRAV</b>	
9.1 MTBF	
	<p>MTBF (Mean Time Between Failure) vid +45°C chassitemperatur och 50% av full last. &gt;500 000 timmar</p> <p>Enligt MIL Hbk 217E eller en nyare standard. Beräkningen baserad på komponentantal och komponenters stress. Redundans av strömförsörjningsenheter beaktas inte. Tillförlitlighetsdata kan användas från tillverkaren och/eller från egna erfarenheter från liknande miljö.</p>
9.2 LIVSLÄNGD	
	<p>Komponenterna i omvandlaren ska väljas på ett sådant sätt att den beräknade livslängden för enheten överstiger 15 år vid +45°C chassitemperatur och 50% av full last.</p> <p>Livslängden beräknas som livslängden för den komponenttyp med kortast livslängd (ofta en elektrolytkondensator). Elektrolytiska kondensatorer av typ Long Life och 105°C bör väljas. Livslängden för en komponent uppnås när dess nominella felfrekvens ökar dramatiskt.</p>
9.3 MONTERING OCH LÖDNINGSSTANDARDER	
	<p>IPC-A-610 klass X</p> <p>IPC-A-620 klass X</p>
9.4 KOMPONENTVAL OCH MILJÖ	
	<p>Komponenter ska kontrolleras för tillgänglighet och miljöprestanda och uppfylla ROHS REACH enligt senaste SVHC-listan. Använd BOMCheck eller liknande.</p> <p>Undvik konfliktmineraler.</p>

# 13. Ord och uttryck inom kraftelektronik

Här finns en sammanställning över ord och uttryck som ofta används inom kraftelektronik. För enkelhets skull används det generiska begreppet omvandlare i listan nedan. I många sammanhang används normalt de engelska benämningarna, vilka i förekommande fall har tagits med inom parentes.

Ord och uttryck inom kraftelektronik	
<b>Inspänningsområde</b> (Input Voltage Range)	De höga och låga inspänningsgränserna inom vilka en omvandlare uppfyller dess specifikationer.
<b>Frekvens</b> (Frequency)	Frekvensområdet för nätspänningen inom vilket omvandlaren fungerar inom specifikationen.
<b>Utspänning</b> (Output Voltage)	Det nominella värdet på utspänningen.
<b>Effekt</b> (Power)	Den maximala kontinuerliga uteffekten som omvandlaren kan leverera.
<b>Verkningsgrad</b> (Efficiency)	Förhållandet mellan ut-/in-effekt. Den mäts vanligtvis vid full belastning och nominella driftförhållanden. I en omvandlare med flera utgångar är effektiviteten en funktion av den totala uteffekten.
<b>Toppeffekt</b> (Peak Power)	Den maximala uteffekten som omvandlaren kortvarigt kan leverera utan att potentiellt skadas. Toppeffekten är vanligtvis långt utöver den kontinuerliga uteffekten och omvandlaren bör endast användas inom den nominella specifikationen.
<b>Effekttäthet</b> (Power Density)	Förhållandet mellan uteffekt och volym. Anges typiskt i $W/cm^3$ .



Ord och uttryck inom kraftelektronik	
<b>Effektfaktor</b> (Power Factor)	Förhållandet mellan verklig effekt (den effekt som faktiskt utför arbete) och skenbar effekt (den totala effekt som överförs genom kretsen) i en växelströmskrets. Effektfaktorn beskriver hur väl AC-ingångsströmmen liknar en ideal sinusform. Effektfaktorn delas upp i två komponenter: fasförskjutningsfaktorn (Displacement Factor) och distorsionsfaktorn (Distortion Factor). Fasförskjutningsfaktorn är fasförskjutningen mellan en sinusspänning och en sinusström, vilket mäts med $\cos(\varphi)$ . För en strömförsörjning är denna fasförskjutning ofta minimal, vilket innebär att $\cos(\varphi) \approx 1$ . Distorsionsfaktorn beskriver hur mycket strömmen avviker från en ren sinusform, vilket är en vanlig egenskap hos strömförsörjning. I praktiken betyder det att för strömförsörjning är effektfaktorn $\approx$ distorsionsfaktorn, eftersom fasförskjutningsfaktorn är nära 1.
<b>Power Factor Correction</b> (PFC)	En konstruktionslösning som säkerställer att den ström som dras från nätet dras sinusformigt och i fas med den sinusformade spänningen.
<b>Ström vid noll-last</b> (Current at no load)	Den ström som omvandlaren drar från ingången när lastströmmen är noll och med inspänningen vid minimum.
<b>Inrusningsström</b> (Inrush Current)	Den momentana strömmen som dras från ingången vid start. En omvandlare kan generera höga inrusningsströmmar när den slås på då kondensatorerna laddas upp från noll till full spänning.
<b>Överbelastningsskydd</b> (Overload Protection)	Ett skydd på utgången som stänger av denna under en överbelastning så att den inte skadas.
<b>Kortslutningsskydd</b> (Short Circuit Protection)	En funktion som begränsar strömmen från omvandlaren under kortslutning så att den inte går sönder.
<b>Polvändningsskydd</b> (Reverse Voltage Protection)	En funktion som skyddar omvandlaren mot att en omvänd spänning appliceras på ingångs- eller utgångsterminalerna.
<b>Övertemperaturskydd</b> (Over Temperature Protection, OTP)	Ett skydd där omvandlaren stängs av när omgivningstemperaturen överstiger den maximalt tillåtna temperaturen. Temperaturskyddet är avsett att rädda omvandlaren och eventuell annan utrustning i händelse av fel på en fläkt eller liknande.
<b>Överspänningsskydd</b> (Over Voltage Protection, OVP)	Ett skydd som stänger av omvandlaren, eller klampar utgången, om spänning överstiger en tillåten nivå.
<b>Översläng</b> (Overshoot)	En transient ändring i utspänningen, som överstiger de specificerade gränserna för utgången. Detta kan inträffa när en omvandlare slås på eller av, eller när det sker en ändring i lasten.
<b>Gångreserv</b> (Hold-up time)	Den tid som omvandlarens utspänning förblir inom specifikationen efter förlust av in-effekt.

<b>Ord och uttryck inom kraftelektronik</b>	
<b>Sekvensering</b> (Sequencing)	Ordningsföljden som utgångarna slås på i en omvandlare med flera utspänningar.
<b>Mjukstart</b> (Soft Start)	En teknik för att gradvis öka utspänningen och begränsa startströmmen när omvandlaren slås på.
<b>Startfördröjning</b> (Start-up/turn-on delay)	Tiden mellan påslag av inspänning tills att utspänningen ligger inom specifikationen.
<b>Upptid</b> (Start-up Rise Time)	Tiden från att utspänningen börjar öka tills den når önskad nivå.
<b>Stigtid</b> (Rise Time)	Den tid som krävs för att spänningen ska stiga från 10% till 90% av dess nominella slutvärde.
<b>Stegsvar</b> (Transient Response)	Den tid som krävs för utspänningen att stabilisera sig inom specificerade gränser efter en stegvis förändring av lastströmmen eller en förändring av inspänningen.
<b>Spänningsspik</b> (Surge)	En spänningsspik är en kortvarig, kraftig ökning av elektrisk spänning (även känd som överspänning) som exempelvis kan uppstå vid åsknedslag. Nätaggregat har immunitetstestkrav mot dessa spänningsspikar.
<b>Switchfrekvens</b> (Switching Frequency)	Hastigheten med vilken effektsteget/effektstegen för en omvandlare arbetar.
<b>Temperaturområde</b> (Temperature Range, Operating)	Intervall för omgivningstemperaturen för vilken omvandlaren kan användas på ett säkert sätt och uppfylla specifikationerna.
<b>Referens</b> (Reference)	En stabil spänning från vilken utspänningen/strömmen från en reglerad matning styrs.
<b>Reglering</b> (Regulation)	Omvandlarens förmåga att upprätthålla utspänningen inom den specificerade toleransen när inspänning och/eller när lasten ändras.
<b>Linjereglering</b> (Line Regulation)	Variationen av utspänningen orsakad av en förändring i inspänningen, med alla andra faktorer konstanta. Linjereglering uttrycks som den maximala procentuella förändringen i utspänningen när inspänningen varierar över dess specificerade område.
<b>Minimum last</b> (Minimum Load)	Den minsta ström/effekt som måste dras från omvandlaren för att det ska uppfylla specifikationen.
<b>Lastreglering</b> (Load Regulation)	Variation av utgångsspänningen orsakad av en förändring i lasten, med alla andra faktorer konstanta. Den uttrycks som en procentandel av den nominella utgångsspänningen.

<b>Ord och uttryck inom kraftelektronik</b>	
<b>Drift</b>	En ändring i exempelvis utspänning från en omvandlare under en specificerad tidsperiod när alla andra driftsparametrar som last och omgivningstemperatur är konstanta.
<b>Avkänningspunkt</b> (Local Sensing)	Användning av exempelvis omvandlarens utgångsterminaler som avkänningspunkter för spänningsreglering.
<b>Upplösning</b> (Resolution)	Den minsta förändringen i exempelvis utspänningen som kan uppnås genom en justering.
<b>Rippel och brus</b> (Ripple and Noise)	Storleken på växelspänningskomponenten på utgången från en omvandlare, topp-till-topp eller RMS, vid en specificerad bandbredd.
<b>Filter</b>	Ett kopplingsnätverk som dämpar oönskat brus och rippelkomponenter.
<b>Pulsbreddsmodulering</b> (Pulse Width Modulation, PWM)	En metod för spänningsreglering som används i switchade omvandlare. Utgångsspänningen styrs genom att variera bredden på pulståget till switchtransistorerna.
<b>Isolation</b>	Den elektriska separationen mellan ingång och utgång i en omvandlare.
<b>Galvanisk isolation</b> (Galvanic Isolation)	Galvanisk isolering är en metod för att isolera samverkande elektriska kretsar från varandra och där ingen elektrisk ström kan passera mellan kretsarna. Energi och information kan dock fortfarande passera mellan kretsarna, men genom andra mekanismer än direkt strömledning. Detta uppnås genom att exempelvis använda en transformator eller optokopplare.
<b>Isolationsspänning</b> (Isolation Voltage)	Den maximala växel- eller likspänningen som kan appliceras under en kort, definierad varaktighet från ingång till utgång och/eller chassi i en omvandlare.
<b>Primärsidan</b> (Primary side)	Ingångssidan på en transformator som exempelvis är ansluten till växelströmsnätet och därför har farliga spänningsnivåer.
<b>Sekundärsidan</b> (Secondary side)	Utgångssidan av en transformator som är isolerad från exempelvis nätspänningen.
<b>Luftavstånd</b> (Clearance Distance)	Det kortaste avståndet genom luft som separerar två ledare eller elektriska komponenter.
<b>Krypavstånd</b> (Creepage Distance)	Det kortaste avståndet mellan två ledande delar uppmätt längs ytan av isoleringsmaterialet mellan dem.
<b>Kapacitiv koppling</b> (Capacitive Coupling)	Koppling av en signal mellan två kretsar, på grund av diskret eller parasitisk kapacitans mellan kretsarna.

Ord och uttryck inom kraftelektronik	
<b>Common-mode störning</b> (Common Mode Noise)	Den bruskomponent som är gemensam för både spänningsförande och retur- eller noll-ledare med avseende på jord.
<b>Omgivningstemperatur</b> (Ambient Temperature)	Lufttemperaturen i omedelbar närhet av elektroniken.
<b>Derating</b>	En minskning av uteffekten för fortsatt säker drift när temperaturen överskrider maximal tillåten temperatur.
<b>Linjärregulator</b> (Linear Regulator)	En typ av omvandlare som omvandlar högspänning till lågspänning genom att använda en spänningsregulator. Detta görs genom att använda en spänningsdelare och en transistor som reglerar spänningen.
<b>Inverter</b>	En omvandlare som ändrar DC-ingångseffekt till AC-utgångseffekt.
<b>Elektrostatisk urladdning, ESD</b> (Electrostatic Discharge)	Uppstår på grund av att ytan i olika material kan laddas av statisk elektricitet. Den alstras ofta genom kontakt, friktion eller separation, och finns alltid närvarande i vår omgivning.
<b>Elektromagnetisk interferens, EMI</b> (Electromagnetic Interference)	Även kallad radiofrekvensinterferens (RFI). EMI är oönskad högfrekvent energi som leds genom ledningar eller strålar ut från produkten.
<b>Ekvivalent Serie Resistans, ESR</b> (Equivalent Series Resistance)	ESR är ett motståndsvärde som normalt är en del av alla kondensatorer och induktorer. I elektrolytkondensatorer, särskilt på grund av åldrande, kan ESR-värdet fortsätta att öka till nivåer som påverkar kretslösningens övergripande kvalitet och livslängd negativt.
<b>Green Mode</b>	Omvandlare som är utformad för att minimera förbrukningen vid noll belastning och maximera effektiviteten över hela lastområdet. Tekniken används ofta i externa omvandlare för att uppfylla miljölagstiftning och i interna omvandlare för att göra det möjligt för slutprodukten att följa liknande lagstiftning.
<b>Kylare/kylfläns</b> (Heatsink)	Används för att leda bort och sprida värmen som genereras av elektroniska komponenter.
<b>MTBF</b> (Mean Time Between Failures)	Mean Time Between Failures är ett mått på den genomsnittliga tiden mellan fel för ett system eller en komponent uttryckt i timmar. Fastställs av den faktiska driften (demonstrerad MTBF) eller beräknad från en standard, såsom MIL-HDBK-217F.
<b>Stöt och vibration</b> (Shock and vibration)	Stöt simulerar ett falltest och vibration för mekaniskt långsiktiga påfrestningar. Ett specifikationskrav för vilket omvandlaren är konstruerad eller testad för att klara.
<b>Tillförlitlighet</b> (Reliability)	Förmågan hos en produkt, ett system eller en komponent att upprätthålla sin funktion under angivna förhållanden och under en viss tid.

<b>Ord och uttryck inom kraftelektronik</b>	
<b>Lagringstemperatur</b> (Storage Temperature)	Temperaturområdet inom vilket en omvandlare kan lagras säkert utan att dess funktion försämras.
<b>Inbränning</b> (Burn-in)	Att köra en ny tillverkad elektronikprodukt, vanligtvis vid nominell belastning och förhöjd temperatur, under en tidsperiod för att tvinga fram ett komponentfel tidigt eller provocera fram andra latent defekter innan enheten levereras till kund.
<b>Höjd över havet</b> (Altitude)	Den maximala höjden över havet för vilket omvandlaren kan användas utan behov av att uteffekten reduceras för fortsatt säker drift.
<b>CISPR</b> (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)	Fastställer standarder för elektromagnetisk störning i elektriska och elektroniska produkter. Det är en del av International Electrotechnical Commission (IEC).

**Smartare  
Elektroniksystem**  
ELECTRONIC COMPONENTS & SYSTEMS



**SVENSK  
ELEKTRONIK**

Med stöd från:



FORMAS



**STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM**