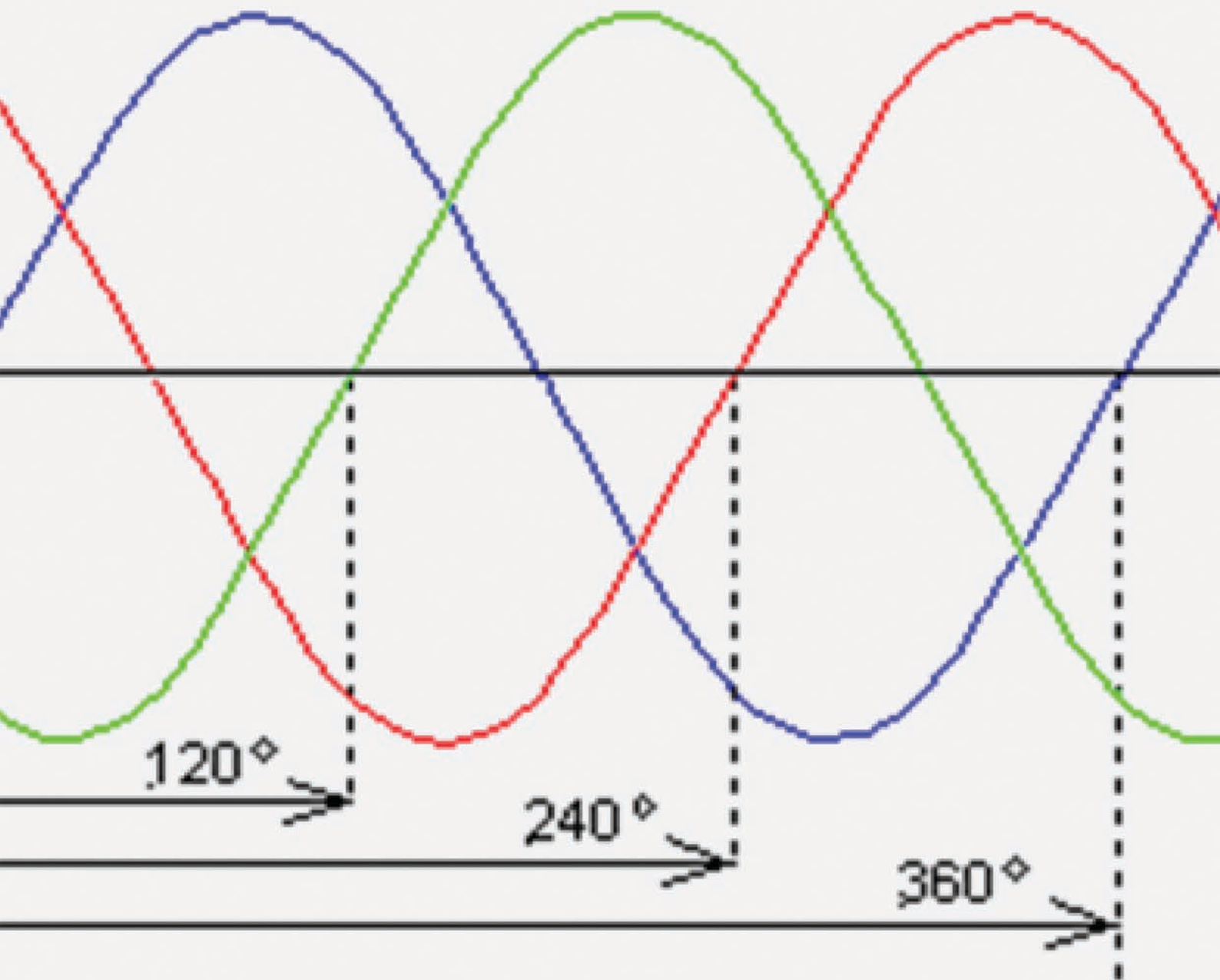


3-fas växelström

Sven-Bertil Kronkvist



Revma Utbildning

Innehåll

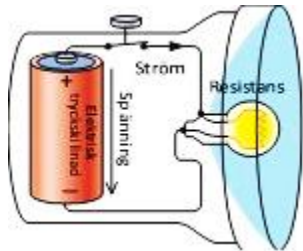
- 3 **Kort om läromedlet**
En grundläggande krets
- 4 **Allmänna elnätet**
- 5 **Neutralpunkten**
4-ledarsystem
5-ledarsystem
- 6 **Spänningarna hos konsumenten**
Storleksförhållande huvud och fasspänning
Fasspänning
Period och frekvens
- 7 **Enfasuttag**
Trefasuttaga
Kopplingsdoser
- 8 **1-fasbelastning**
2-fasbelastning
- 9 **3-fasbelastningar**
Y-koppling
D-koppling
- 10 **Testa-dig-själv 1**
Testa-dig-själv 2
- 10 **Testa-dig-själv 3**
- 12 **Koppla-själv-ett-trefasnät**
- 13 **Kopplingar i belysningskretsar**
- 14 **Belysningsinstallation**
Testa-dig-själv 4
- 15 **Koppla-själv-belysningsinstallation**
- 16 **Elmotorer**
Asynkronmotorernas potal
- 17 **Asynkronmotorernas varvtal**
Testa-dig-själv 5
- 18 **Statorlindningar**
Y-kopplad motor
D-kopplad motor
- 19 **Kontroll av statorlindningarna**
Hur ska man mäta?
Testa-dig-själv 6
- 20 **Asynkronmotorernas rotationsriktning**
Motorns märkskylt
- 21 **Verkningsgrad**
Startström
Motorskydd
Säkringar
- 22 **Överlastskydd**
Nollspänningsskydd
Startapparater
Montering
- 23 **Direktstart**
Handmanövrerat startdon
- 24 **Testa-dig-själv 7**
- 25 **Kontaktormanövrerat startdon**
- 26 **Självhållning**
Stopp
- 27 **Testa-dig-själv 8**
- 28 **Överlastskydd**
Nollspänningsskydd
Inställning av överlastskydd
Funktionsprov
- 29 **Testa-dig-själv 9**
Testa-dig-själv 10
Y/D-start
- 30 **Frekvensomformare**
Motorkoppling med frekvensomriktare
Testa-dig-själv 11
- 31 **Enfasdrift av trefas asynkronmotor**
Rotationsriktning
Testa-dig-själv 12
- 32 **Enfas asynkronmotor**
Universalmotorn
Testa-dig-själv 13
- 33 **Trefasgeneratorer**
Trefas system eller tre enfaskretsar
- 34 **Y-kopplad belastning med nolledare**
Y-kopplad belastning utan nolledare
Addering av strömmarna i nolledaren
- 35 **Spänning och ström i trefasbelastningar**
Effektutveckling i trefasbelastningar
Uppdelning av växelströmseffekt
- 36 **Effektformler för trefasbelastningar**
Aktiv effekt i induktiv belastning
- 37 **Reaktiv effekt i induktiv belastning**
- 38 **Testa-dig-själv 14**
- 39 **Elsäkerhet**
Jord
- 40 **Bästa skyddet**
Skyddsjord
- 41 **Testa-dig-själv 15**
Dubbelisolerade elapparater
- 42 **Säkringar**
- 43 **Jordfelsbrytare**
- 44 **Enkel testutrustning för jordfelsbrytare**
- 45 **Klenspänning**
- 45 **Lagstiftning**
Behörighet
CE-märkning
Elsäkerhetsverket
- 46 **Sammanfattning av elläran**
- 58 **Facit till Testa-dig-själv**

Kort om läromedlet

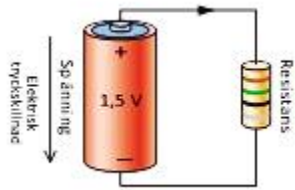
Det här läromedlet orienterar om 3-fas växelström och det allmänna elnätet. Eftersom trefasteknik bygger på kunskap om lik- och enfas växelström, finns det en sammanfattning av såväl lik- som 1-fas växelström i slutet av boken. Det går att börja med 3-fas direkt, men författaren rekommenderar att inleda med en genomläsning av sammanfattningen och därefter ha den som uppslagsdel. Vilket valet än blir, så läs nedanstående avsnitt först.

En grundläggande krets

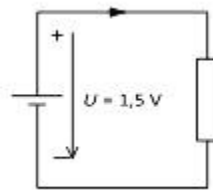
Det är värt att lägga på minnet att alla elektriska kretsar, både likströms- och växelströmskretsar, alltid består av en spänningskälla med en inre resistans (impedans) och en belastning,.
Tänka el innebär till stor del att kunna se den grundläggande kretsen, även om spänningskällan och belastningen varierar i form och egenskaper.



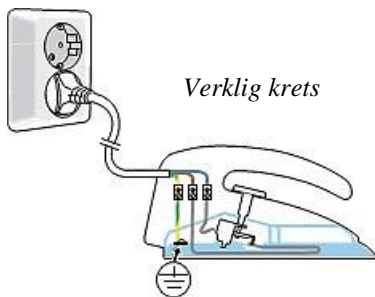
Verklig krets



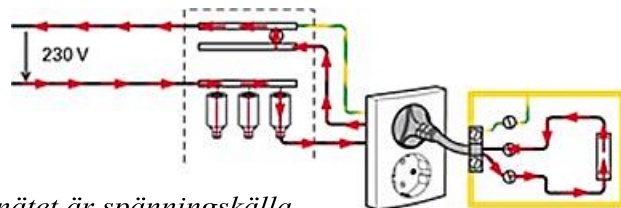
Bildligt ritad



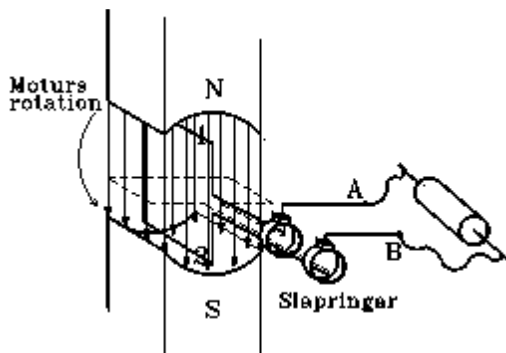
Symboliskt ritad



Verklig krets

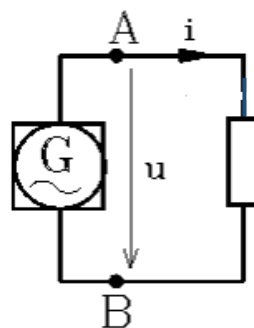


Elnätet är spänningskälla
Belastningen är strykjärnets
elspiral



Generator

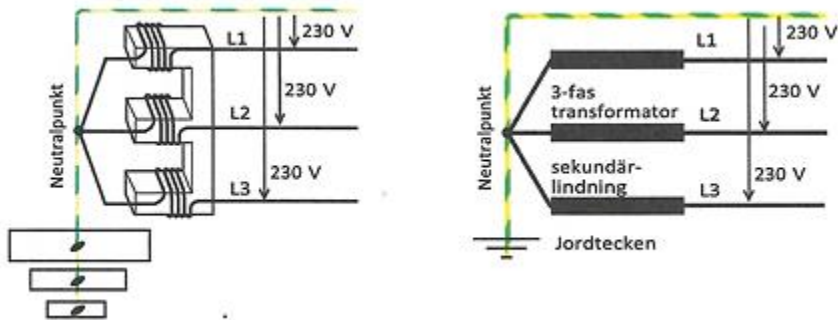
Belastning



Symbolisk elritning

Neutralpunkten

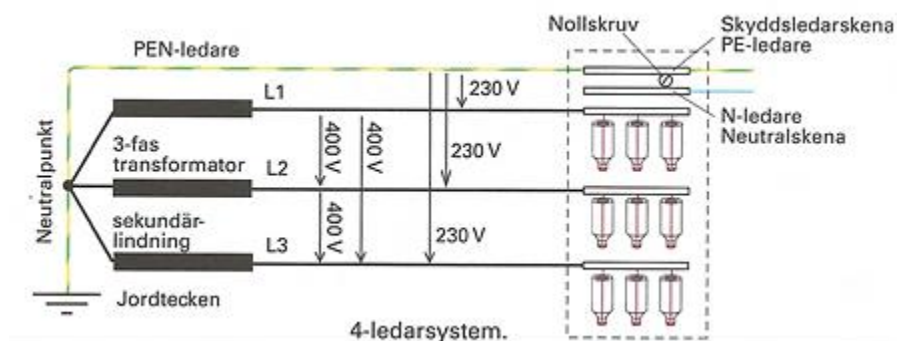
Övergår man från ett bildligt till ett symboliskt ritsätt och endast ritat sekundärledningarna, ser man hur de är kopplade till en gemensam neutralpunkt som är förbunden med jord. Neutralpunkten kallas därför ofta för jord.



4-ledarsystem

Till en säkringscentral ansluts tre fasledare, L1, L2 och L3, samt en **PEN**-ledare som är gemensam skydds- (**P**rotective **E**arth) och nolle- (**N**eutral) ledare.

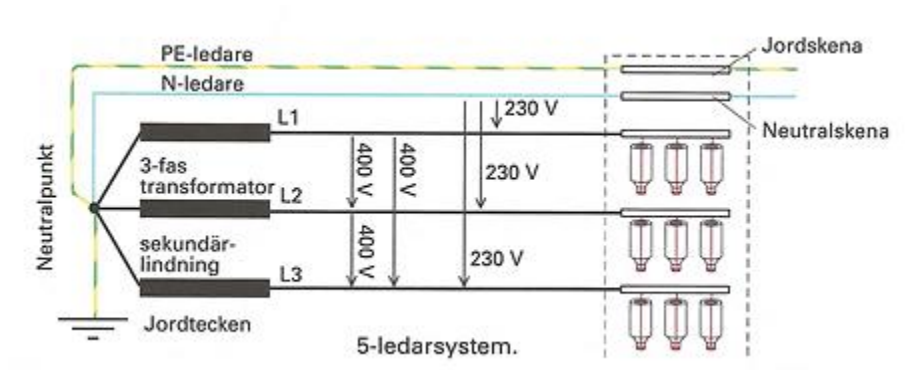
I säkringscentralen delas PEN-ledaren i separata skydds- och nolledare då de kopplas till vägguttag, trefaskontakter och andra förbrukningsställen.



Nollskruven används för att dela på skydds- och neutralledare vid isolationsprovning av en elanläggning.

5-ledarsystem

I femledarsystem utgår separata PE- och N-ledare redan från neutralpunkten. Observera att PE- och N-ledare aldrig får vara gemensam efter säkringscentralen, varken i 4- eller 5-ledarsystem.



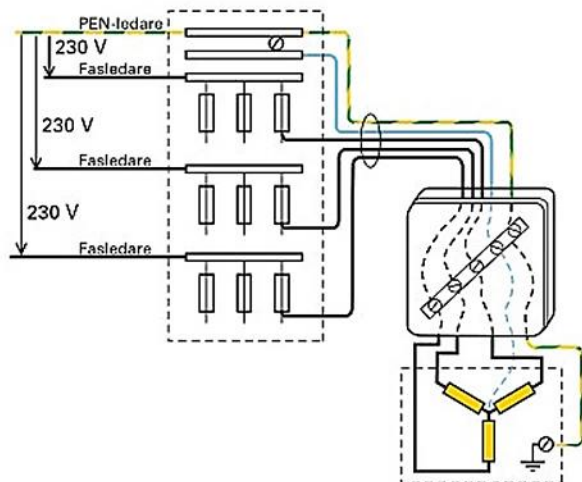
Trefasbelastningar

Trefasbelastningar är antingen Y- eller D-kopplade. I båda fallen ansluts de med tre fasledare och den gulgröna skyddsledaren. Trefasmotorer är exempel på trefasbelastningar.

Y-koppling

Vid Y-koppling kan den blå neutralledaren användas, men är inte alltid nödvändig.

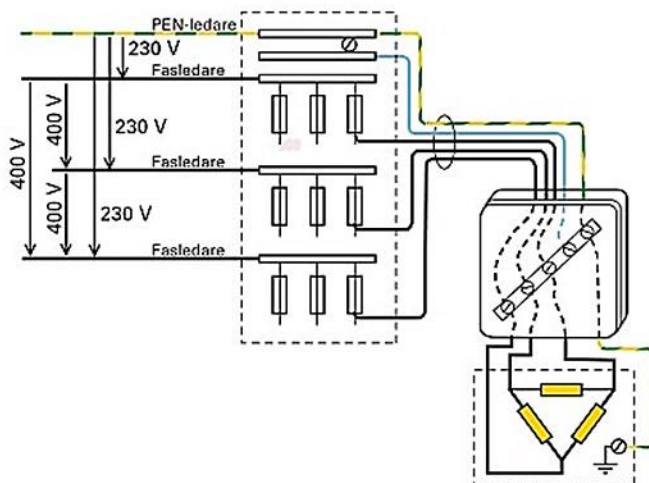
Spänningen är 230V över varje belastningselement i förhållande till nollpunkten i mitten.



D-koppling

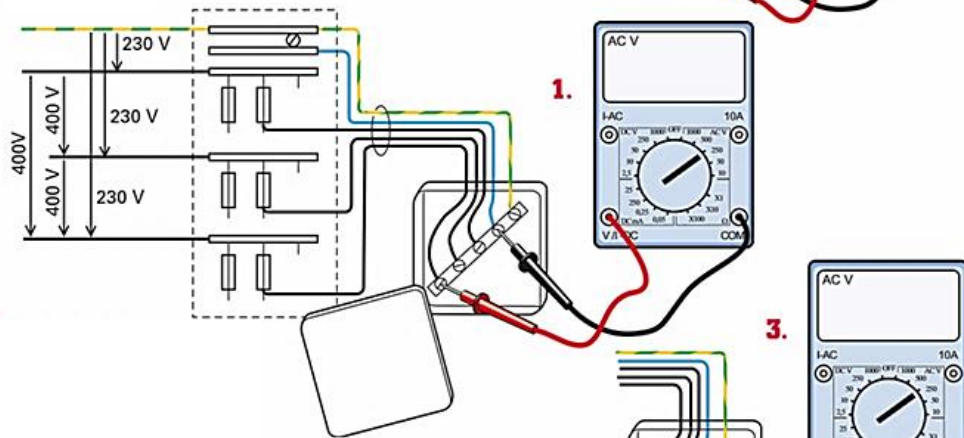
I D- eller deltakoppling (Δ), som den kallas ibland, ska neutralledaren aldrig vara med. Den gulgröna skyddsledaren kopplas däremot som vanligt till höljet.

Spänningen är 400V över varje fasbelastning.



Testa-dig-själv-3

- a) Anteckna de förväntade mätresultaten i multimeterns display i respektive mätsituation.



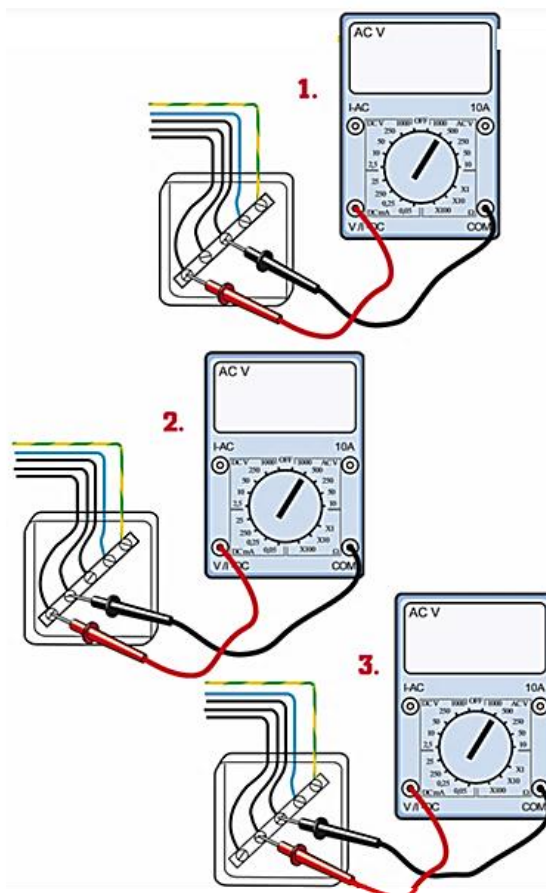
- b) Var det fas- eller huvudspänningar du mätte?

- c) Anteckna de förväntade mätresultaten i respektive display.

- d) Var det fas- eller huvudspänningar du mätte?

- e) Kontrollerade du om rätt mätområde valts?

- f) Finns det tillgång till en kopplingsdosa provar du att göra samma mätningar på riktigt, men räkna inte med att fas-, neutral- och skyddsledare sitter i samma ordning som på bilderna.



Koppla-själv-belysningsinstallationer

Plattan med trefasnätet kan också användas för övningar med enkla belysningskretsar, om den utrustas med DIN-skenor. Kopplingsdosor kan då lätt monteras och demonteras om de förses med hållare för DIN-skenor, eller så skruvas dosorna direkt i plattan.



Koppla belysningskretsarna nedan. Observera att fasspänningen 230V i ritningen endast är 24V på övningsplattan. Men glöm inte att 230V är en farlig spänningsnivå när du senare mäter i elnätet.

Besvara först frågorna.

a) Vad kallas ledare

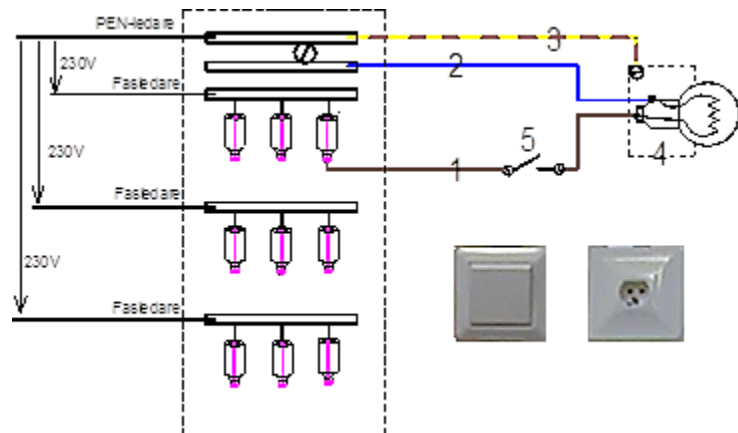
nr 1? _____

nr 2? _____

nr 3? _____

Vad kallas nr 4?

Vad är nr 5?



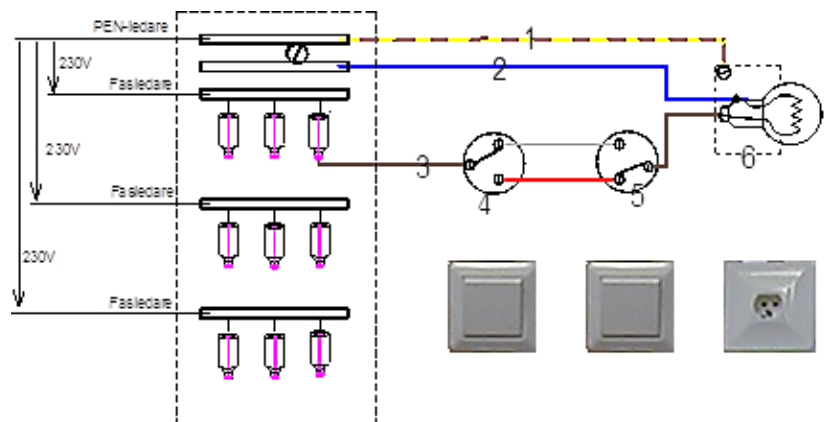
a) Vad kallas ledare

nr 1? _____

nr 2? _____

nr 3? _____

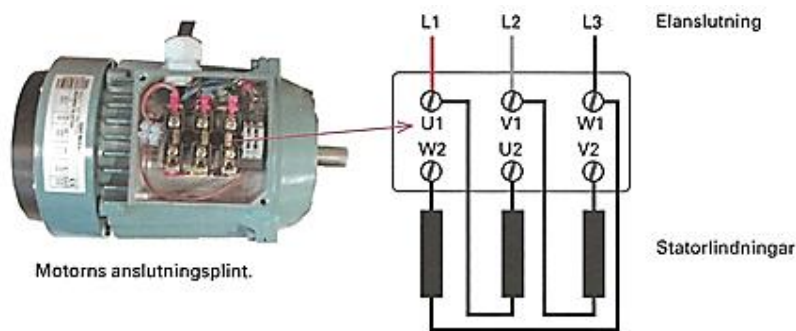
Vad är nr 4 och 5?



Statorlindningar

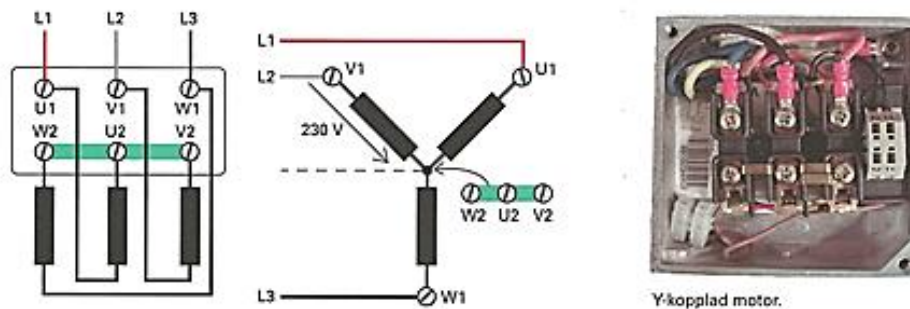
Statorlindningarna båda sidor är åtkomliga i motorns anslutningsbox och är märkta som i figuren här under.

Genom att bygla motorns anslutningsplint kan statorlindningarna kopplas antingen Y- eller D-kopplade. De kallas så för att de liknar ett Y respektive D i vissa elritningar.



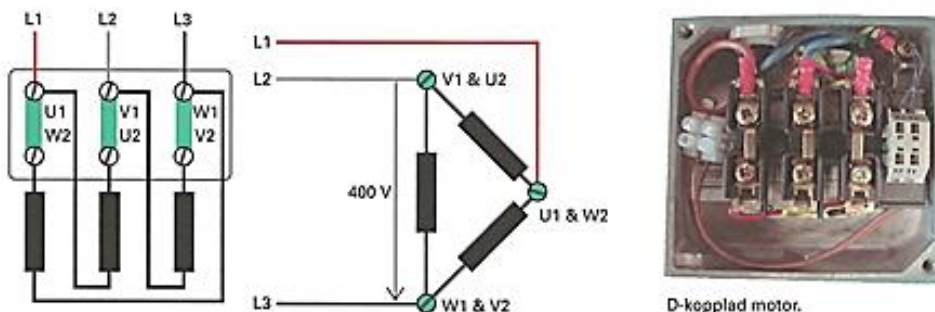
Y-kopplad motor

Över varje lindning, mellan L1, L2, L3 och mittpunkten, finns fasspänningarna på 230V. Mittpunkten kan, men behöver inte, anslutas till neutralpunkten eftersom fasspänningarnas tidsförskjutning gör att det inte flyter någon ström från mittpunkten.



D-kopplad motor

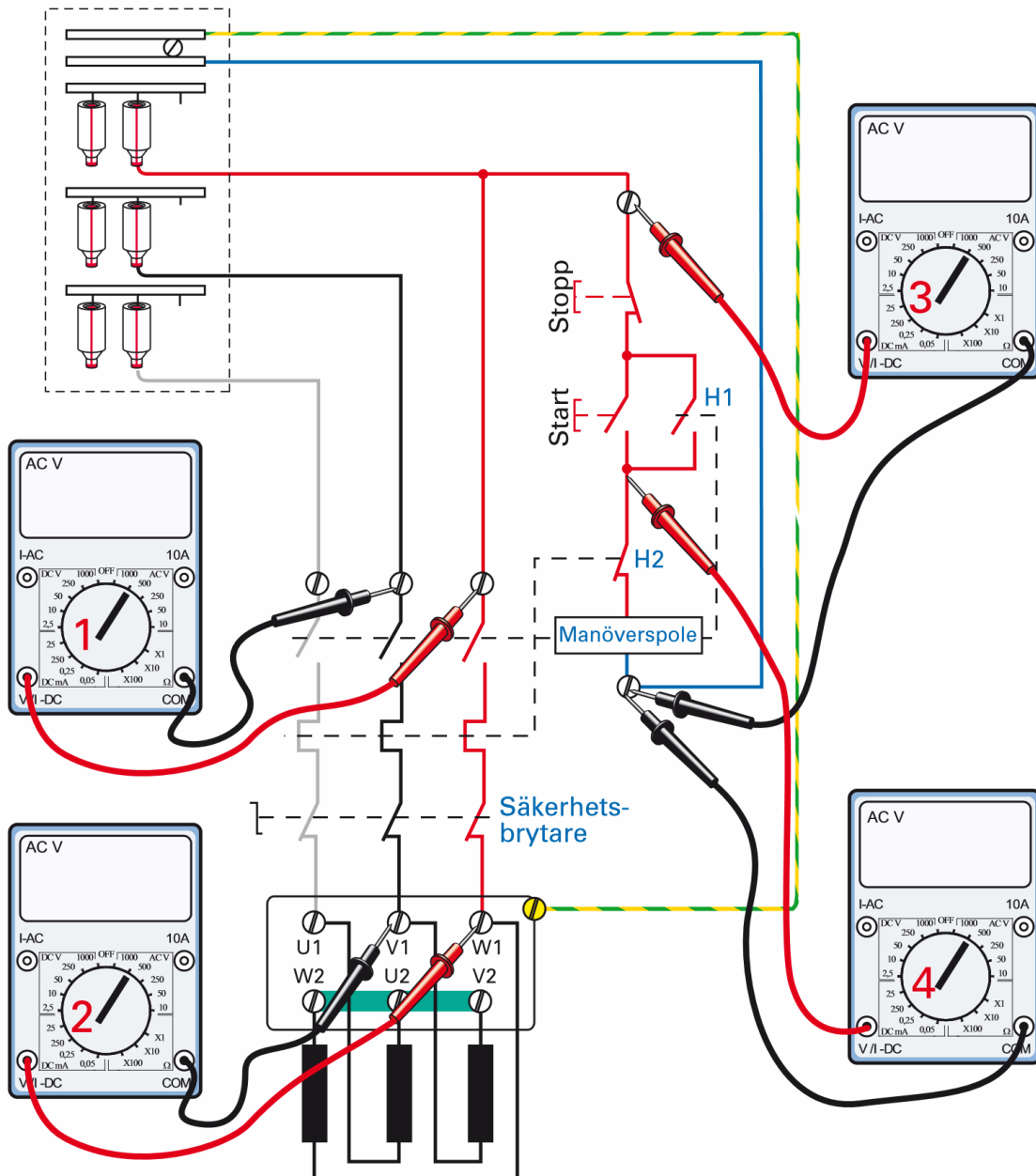
D-kopplad motor. Över varje lindning finns huvudspänningen på 400V. Här går det inte, och ska inte anslutas någon N-ledare. Observera att motorlindningarna alltid måste vara avsedda för den spänning som läggs över dem. Här är det 400V.



Testa-dig-själv-8

Vad visar multimetrarna om kopplingen är felfri och du tryckt i startknappen strax innan du gör de fyra mätningarna? Skriv svaren i instrumentens displayer.

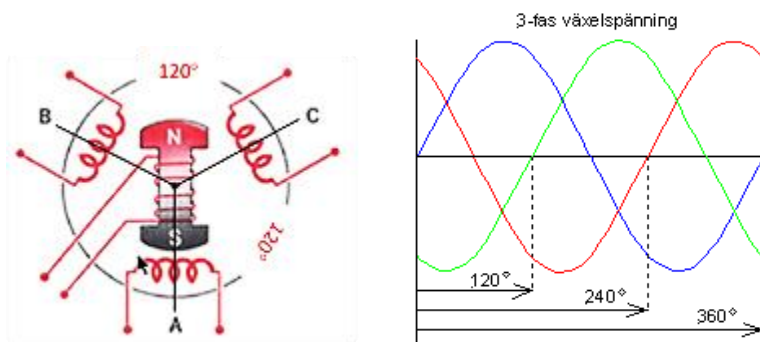
Kom ihåg att kontaktarna ritats i opåverkat läge. Du måste själv tänka efter vilka kontakter som påverkas då startknappen trycks in. Rita gärna de nya lägena direkt i schemat.



Trefasgeneratorer

I alla generatorer utnyttjas det induktionsfenomen som Michel Faraday upptäckte år 1831-32.

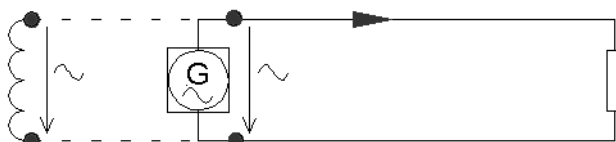
I lindningar som omsluter ett magnetiskt flöde som ändrar storlek eller riktning induceras (allstras) en spänning.



I modellen av trefasgeneratorn ovan ändras det magnetiska flödet i de tre generatorlindningarna då elektromagneten roterar förbi dem.

De tre sinusformade spänningarna som induceras under ett varv är fäsförskjutna 120° i förhållande till varandra eftersom lindningarna är anordnade så.

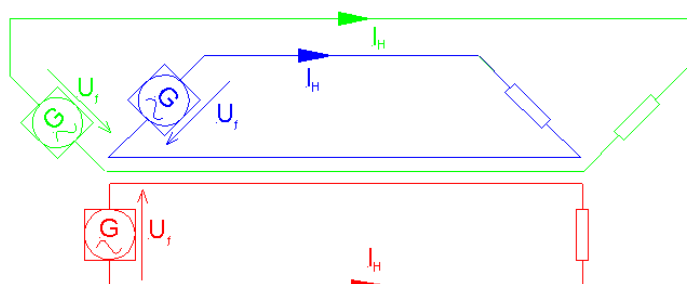
Varje lindning är en separat enfaskgenerator som kan driva ström genom en belastning.



Generatorlindningen har här ersatts med en generatorsymbol.

Trefassystem eller tre enfaskretsar

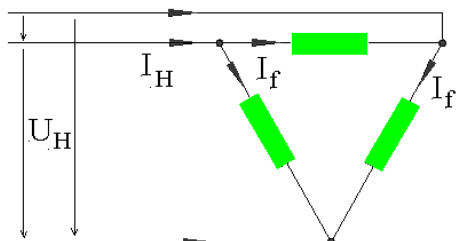
I följande ritningar har ett symboliskt ritsätt använts. Först ser vi hur trefasgeneratorn är *tre separata enfaskgeneratorer* kopplade till separata belastningar. Det sneda Y-formade ritsättet illustrerar generatorlindningarnas och fasspänningarnas förförskjutning på 120°.



I det allmänna elnätet är belastningarna inte direktanslutna till generatorlindningarna. Det finns både säkringar, transformatorer och mera, mellan kraftverken och elkonsumenterna.

Testa-dig själv-14

Försök att se vad som skiljer i härledningen om den görs för en D-kopplad belastning. Varför blir effektformelerna lika för både Y- och D-kopplad belastning?



Resultatet blir det samma om härledningarna görs med referens till en D-kopplad belastning.

Skenbara effekten i varje fas

$$S_{1\text{fas}} = U_H \cdot I_f$$

Inför $I_f = \frac{I_H}{\sqrt{3}}$

$$S_{1\text{fas}} = U_H \cdot \frac{I_H}{\sqrt{3}}$$

3 faser $S_{3\text{fas}} = 3 \cdot U_H \cdot \frac{I_H}{\sqrt{3}} \Rightarrow S_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \frac{I_H}{\sqrt{3}}$

Skenbara effekten i tre faser

$$S_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H$$

Jämför med härledningen för Y-kopplad belastning

Aktiva effekten i varje fas

$$P_{1\text{fas}} = U_R \cdot I_f$$

Inför $U_R = U_H \cdot \cos\varphi$

$$P_{1\text{fas}} = U_H \cdot I_f \cdot \cos\varphi$$

Inför $I_f = \frac{I_H}{\sqrt{3}}$

$$P_{1\text{fas}} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \cos\varphi$$

3 faser $P_{3\text{fas}} = 3 \cdot \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \cos\varphi \Rightarrow P_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \cos\varphi$

Aktiva effekten i tre faser

$$P_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \cos\varphi$$

Reaktiva effekten i varje fas

$$Q_{1\text{fas}} = U_X \cdot I_H$$

Inför $U_X = U_f \cdot \sin\varphi$

$$Q_{1\text{fas}} = U_f \cdot I_H \cdot \sin\varphi$$

Inför $U_f = \frac{U_H}{\sqrt{3}}$

$$Q_{1\text{fas}} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \sin\varphi$$

3 faser $Q_{3\text{fas}} = 3 \cdot \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \sin\varphi \Rightarrow Q_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{U_H}{\sqrt{3}} \cdot I_H \cdot \sin\varphi$

Reaktiva effekten i tre faser

$$Q_{3\text{fas}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \sin\varphi$$

Jordfelsbrytare

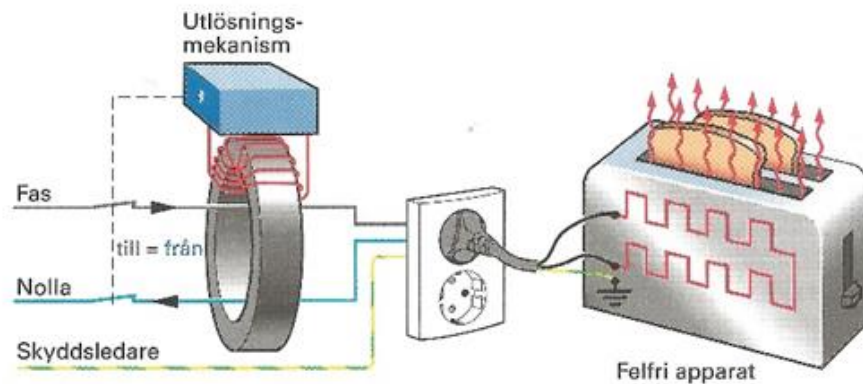
Numera brukar säkringscentralen kompletteras med en jordfelsbrytare. Den ger gott skydd åt personer som blir kopplade till elnätet via jordfelsbrytaren på rätt sätt.

Rätt sätt? Det kan aldrig vara rätt att en levande varelse blir en del av en elektrisk krets! För att förstå det motsägelsefulla påståendet, Måste man känna till funktionen.

Strömmarna i fas- och nolledare är alltid motriktade och lika stora, om belastningen är felfri.



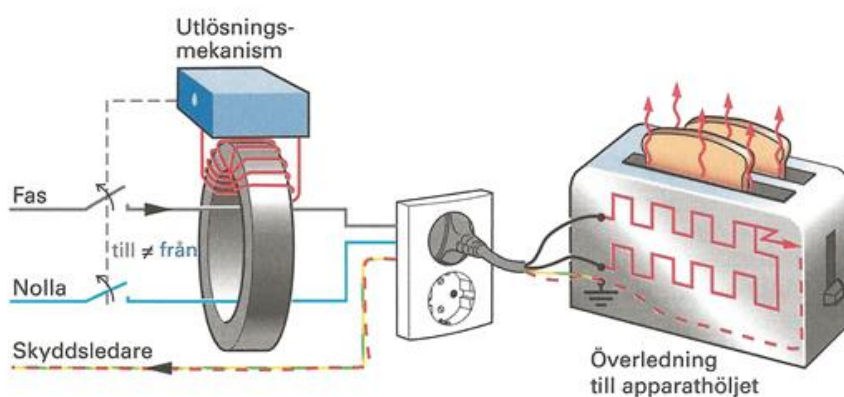
Jordfelsbrytare



Så länge det går samma ström i fas och nolla kan strömmen passera.

Jordfelsbrytaren skyddar således inte någonting som blir anslutet mellan fas- och nolledningen. Allt som kopplas parallellt med belastningen uppfattas som normalt av jordfelsbrytaren, även om det råkar vara en människa!

Vid kortslutning och överledning till apparathöljet blir det däremot obalans mellan strömmarna som flyter genom jordfelsbrytaren. Är skillnaden otillåtet stor, bryts spänningen till belastningen på några millisekunder.



Om strömmarna i fas och nolla blir olika stora, bryts spänningen.

Även om jordfelsbrytare är bra personskydd, bör man komma ihåg att de kan vara ur funktion eller att skyddsledaren kan ha dålig kontakt med apparathöljet.

Låt oss därför tillverka en enkel testutrustning för jordfelsbrytare.

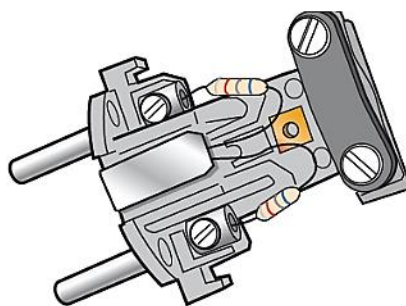
Enkel testutrustning för jordfelsbrytare

Det behövs en jordad stickpropp och två resistorer.

Resistorerna ska monteras mellan stickproppens stift och jordanslutningen.

På så sätt blir både fas- och nolledningen anslutna till skyddsledaren via var sin resistor, oavsett hur stickproppen vänds då den sätts i vägguttaget.

Den resistor som råkar hamna mellan fas- och skyddsledaren orsakar en felström som gör att jordfelsbrytaren löser ut.



Gör så här

Börja med att avläsa vid vilken felström den aktuella jordfelsbrytaren löser ut. Ett vanligt värde är 30mA (0,030A).



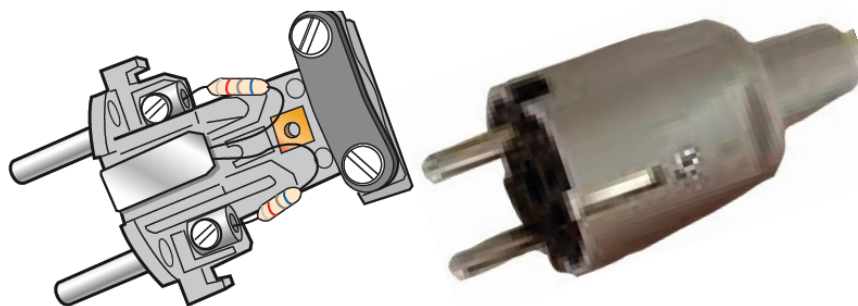
Beräkna därefter hur stor resistorn får vara om det ska flyta precis 30mA (0,030A) genom den när spänningen över den är 230V.

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R = \frac{230V}{30mA} \Rightarrow 7667\Omega$$

Välj en resistor på 6800Ω. Det är närmast lägre standardvärde och ger lite större ström. Närmare bestämt blir strömmen 4 mA (0,004A) högre än den tillåtna obalansen i fas- och neutral-ledaren. Se här:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{230V}{6800\Omega} \Rightarrow I = 34mA$$

Montera resistorerna enligt bilden. Sätt tillbaka höljet och prova funktionen hos jordfelsbrytaren genom att ansluta stickproppen till ett vägguttag.

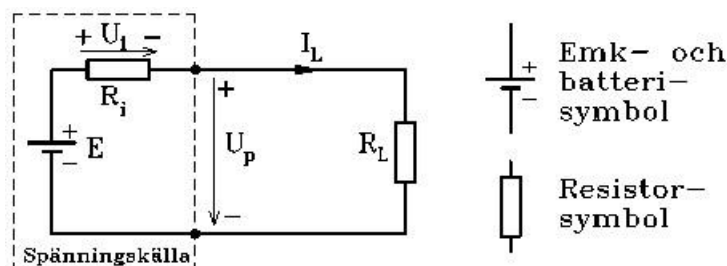


Sammanfattning lik- och 1-fas växelström

Likspänning och likström

Den elektriska kretsen

Den enklaste elektriska kretsen består av en spänningskälla ansluten till en belastningsresistans enligt schemat.



Referenspilar och storhetsbeteckningar

För att visa hur strömmen flyter och hur spänningen fördelas i kretsen används referenspilar och storhetsbeteckningar som U_p för polspänningen, R_i för den inre resistansen, R_L för den resistiva lasten osv.

Spänningsfallspilen pekar i den riktning som spänningen faller. Plus-sidan har högre spänning än minussidan.

Strömpilen pekar i den riktning som strömmen flyter.

Referenspilar och beteckningar är ett tankestöd som bör användas flitigt och noggrant både vid beräkning och analys av kretsfunktioner.

Några regler

Ström kan endast flyta om kretsen är sluten.

Strömmen flyter alltid från spänningskällans pluspol till dess minuspol.

Strömmen börjar och slutar flyta i hela kretsen samtidigt.

Det flyter alltid lika mycket ström till spänningskällans minuspol som det flyter ut från dess pluspol.

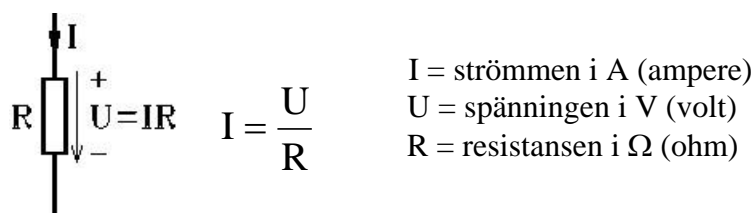
En spänningskälla kan alltid betraktas som en konstant emk E i serie med en inre resistans R_i .

Polspänningen U_p är beroende av det inre spänningsfallet enligt:

$$U_p = E - U_i \text{ där } U_i = I_L \cdot R_i$$

Ohms lag

Sambandet mellan strömmen som flyter genom en resistans och spänningsfallet över resistansen anges av Ohms lag.



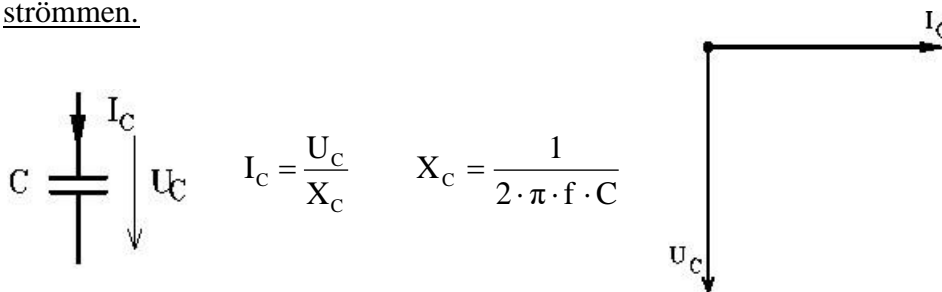
Växelspänningsbelastningar

Ohms lag och fasförskjutning mellan spänning och ström för olika växelspänningsbelastningar.

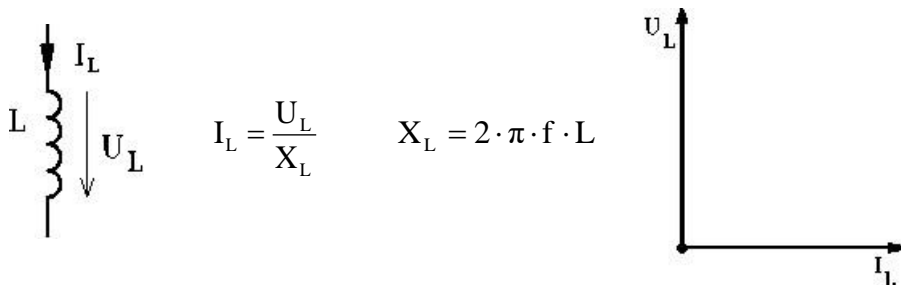
Resistans: Spänningen över en resistor är i fas med strömmen.



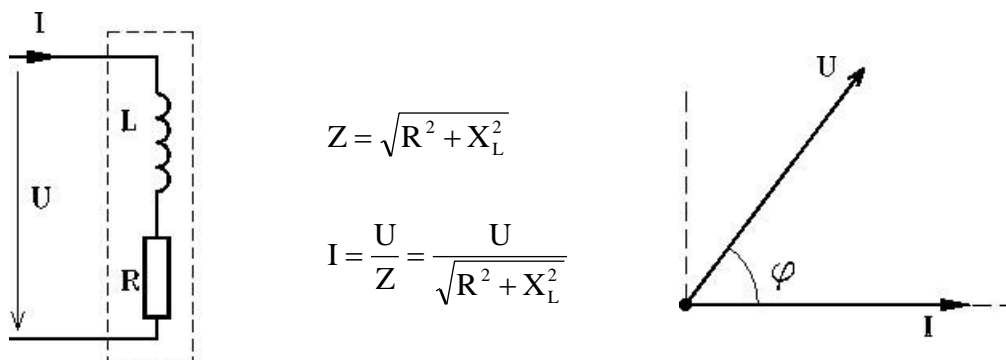
Kapacitans: Spänningen över en kapacitans ligger 90° efter strömmen.



Ideal induktans: Spänningen över en ideal induktans, med försumbar ledningsresistans, ligger 90° före strömmen.



Verkliga induktansspolar: Spänningen är fasförskjuten mellan 0 och 90° före strömmen på grund av att spolen har lindningsresistans.



Verkliga induktansspolar är seriekretsar

Facit till Testa-dig-själv

Testa-dig-själv-1

- Multimeter 1: 230V
- Multimeter 2: 0V
- Multimeter 3: 230V

Testa-dig-själv-2

- a) Inställd för växelspanning
- b) Mätområdet minst 230V
- c) Det bör vara JA
- d) Om JA så mät i ett vägguttag

Testa-dig-själv-3

- a) Multimeter 1: 230V
Multimeter 2: 230V
Multimeter 3: 230V
- b) Fasspänningar
- c) Multimeter 1: 400V
Multimeter 2: 400V
Multimeter 3: 400V
- d) Huvudspänningar
- e) Förhoppningsvis JA
Mätområdet ska vara minst 400V

Testa-dig-själv-4

- a) 8
- b) 3
- c) 6
- d) 3
- e) 6

Koppla själv sid 15

- nr 1: fasledare
- nr 2: neutralledare (nolla)
- nr 3: skyddsjord
- nr 4: lamputtag
- nr 5: strömställare

Testa-dig-själv-5

- a) 1500 varv
- b) 1000 varv
- c) Motorns varvtal minskar då poltalet ökar
- d) ändra frekvens eller poltalet

Testa-dig-själv-6

- a-b-c) Alla motorlindningarna bör ha samma värde, storleksordningen 15 - 30Ω

Testa-dig-själv-7

- a) Y-kopplad
- b) 230V
- c) 4 – 8 gånger större än driftströmmen, dvs 6,8A – 13,6A

Testa-dig-själv-8

- Multimeter 1: 400V
- Multimeter 2: 400V
- Multimeter 3: 230V
- Multimeter 4: 230V

Testa-dig-själv-9

- a) Efter ca 30s, längre om motorn är obelastad
- a) Efter ca 1,5 minuter, längre om motorn är obelastad

Testa-dig-själv-10

- a) Motorn förblev fränkopplad
- b) Omstart kunde göras manuellt

Testa-dig-själv-11

- a) D-kopplad
- b) Använd formeln för synkrona varvtalet och sätt in $f = 16\text{Hz}$. Synkrona varvtalet = 480 varv/min

Testa-dig-själv-12

- Praktisk uppgift. Det är uppenbart om övningen lyckats då motorn ansluts till ett enfasuttag

Testa-dig-själv-13

- Tre ledare, fasledning, nolla och skyddsledare

Testa-dig-själv-14

- I effektformelerna uttrycks spänningen över fasbelastningarna i huvudspänning och huvudström.

I Y-koppling är spänningen över

fasbelastningen $\frac{U_H}{\sqrt{3}}$.

I Y-koppling är strömmen genom fasbelastningen I_H