Ehsan Behrouzian Ehsan.Behrouzian@svk.se
Frida Nordlund Frida.Nordlund@svk.se

2026-03-24 Version 0

PSCAD ZY-Toolbox manual för RfG

1 Introduktion

Välkommen till användarmanualen för PSCAD ZY-Toolbox, ett bibliotek särskilt utvecklat för att underlätta i uppfyllnad av nätkoderna inom ramen för Requirements for Generators (RfG) i Sverige. Biblioteket är utformat för att stödja anslutande part i att möta de tekniska krav som är nödvändiga för att ansluta en anläggning till det svenska kraftsystemet.

Ett viktigt första steg för en aktör som söker nätanslutning är att extrahera (små-signal) själv- och överföringsadmittanser för sin anläggning. Korrekt admittans/impedansdata är nödvändiga, då de ligger till grund för efterföljande stabilitetsutvärdering och säkerställer att anläggningen inte påverkar driften av omgivande kraftsystem negativt.

PSCAD ZY-Toolbox strömlinjeformar denna process genom att tillhandahålla en strukturerad och användarvänlig miljö för att utföra admittansmätningar genom en så kallad frekvens-scan. Denna manual guidar användare genom det fullständiga arbetsflödet, inklusive:

- **Bakgrund:** En introduktion till frekvens-scan som metod och definitionen av impedans.
- **Toolbox-innehåll:** Överblick av de filer som tillhandahålls tillsammans med ZY-Toolbox-biblioteket.
- **Bibliotekskonfiguration:** Hur man integrerar biblioteket i PSCAD-miljön.
- **Skapa simuleringsfall:** Hur en anslutande anläggningsmodell interageras i ett PSCAD-fall med ZY-Toolbox.
- **Parameterinställningar:** Detaljerad förklaring av alla parametrar som användaren själv kan justera.
- **Simuleringsprocess:** Steg-för-steg-instruktioner för att köra simuleringar och extrahera nödvändiga data.

- **Rapporterande av resultat:** Instruktioner i att efterbearbetning och i användning av insamlingsmall för att dokumentera admittansdata som en del av kravuppfyllnad av nätkoder i nätanslutningsprocessen.

Steg-för-steg-instruktioner för hur ZY-Toolbox konfigureras och används för simuleringar i PSCAD finns beskrivet i avsnitt 5–9. Manualen bör dock läsas i sin helhet.

Notera att denna manual täcker framställningen av admittansdata, men att efterföljande användning av data för utvärdering av kraftsystemstabilitet är utanför biblioteket och manualens omfattning. För vidare vägledning i att utvärdera omriktarstabilitet från frekvensberoende admittansdata hänvisa till dokumentet Vägledning omriktarstabilitet_v2.1.

2 Bakgrund

2.1 Frekvens-scan

PSCAD ZY-Toolbox utför en frekvens-scan för att extrahera frekvensberoende admittansdata av en nätansluten anläggning. Vanligtvis behöver frekvenssvepet genomföras över intervallet 1–2500 Hz för att fånga relevanta beteenden och dynamiska egenskaper. Screeningen utförs i tidsdomän med elektromagnetiska transientsimuleringar (EMT).

Under screeningprocessen applicerar toolboxen små, entoniga spänningsperturberingar i serie med en ideal spänningskälla som ingår i toolboxen. För varje perturberingsfrekvens f_p, måste spänningsperturberingen injiceras separat i plus- och minusföljd.

Det resulterande strömsvaret mäts, där positiv strömriktning definieras som in mot anläggningen. Tidsdomänsignalerna vid stationärt tillstånd bearbetas med Diskret Fourier-transform (DFT) för att extrahera spänning- och strömkomponenterna vid perturberingsfrekvensen.

Notera: Positiv strömriktning definieras som in mot den undersökta anläggningen i impedansdefinitionen. Följaktligen är positivt effektflöde i riktning in mot anläggningen, vilket definierar effektförbrukning som positiv och effektproduktion som negativ.

2.2 Impedansdefinitioner

Fyra impedanser beskriver den anslutande anläggningen.

De extraherade DFT-komponenterna av perturberingssignalerna, $\hat{v}_p(f_p)$, $\hat{v}_n(f_p)$, $\hat{\imath}_a(f_p)$, representerar spänningsperturbering i plus- respektive minusföljd och uppmätt strömsvar av anläggningen. Från dessa signaler kan småsignalimpedanserna definieras.

Småsignalimpedanserna beskriver förhållandet mellan en injicerad spänningsperturbering och det resulterande strömsvaret vid en given frekvens. Självadmittansen i plus- och minusföljd, Z_{ap} och Z_{an}, relaterar en perturbering i respektive följd vid frekvens f_p till strömsvaret vid samma frekvens. Överföringsimpedansen i plus- och minusföljd, Z_{cp} och Z_{cn}, beskriver förhållandet mellan en perturbering i en följd vid frekvens f_p och strömsvaret i motsatt följd vid den skiftade frekvensen $f_p \pm 2f_1$, och fångar därigenom kopplingen mellan plus- och minusföljd.

Själv- och överföringsimpedanserna i plus- och minusföljd definieras som

$$Z_{ap} = \frac{\hat{v}_p(f_p)}{\hat{\imath}_a(f_p)}, \qquad Z_{an} = \frac{\hat{v}_n(f_p)}{\hat{\imath}_a(f_p)}, \qquad Z_{cp} = \frac{\hat{v}_p(f_p)}{\hat{\imath}_a(f_p - 2f_1)}, \qquad Z_{cn} = \frac{\hat{v}_n(f_p)}{\hat{\imath}_a(f_p + 2f_1)} \quad (1)$$

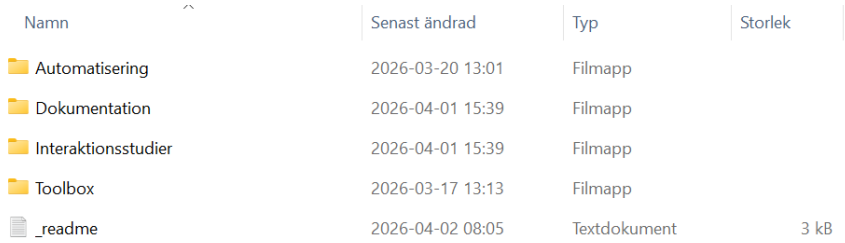
där f_1 betecknar nätets grundton om 50 Hz.

För mer information om överföringsimpedanser och frekvenskopplingar, se dokumentet Vägledning för omriktarstabilitet_v2.1.

Även om ovanstående storheter uttrycks i termer av impedans, som man ofta gör vid analys av interaktioner mellan omriktare och nät, rapporterar ZY-Toolbox resultaten som admittans. Motsvarande impedans kan enkelt erhållas som inversen av admittans.

3 Innehåll i toolbox-paketet

Det kompletta ZY-Toolbox-paketet utgörs av de mapparna som visas i Figur 1. Mappen Automatisering innehåller en fil för att automatisera frekvens-scannen, Toolbox innehåller PSCAD-biblioteket och resursfilen, Dokumentation innehåller denna manual, en insamlingsmall i Excel för rapportering av resultat, och Interaktionsstudier innehåller ytterligare vägledning i utvärdering av omriktarstabilitet och eventuell kravställning.



Figur 1: ZY-Toolbox-paketets innehåll.

4 Översikt kompabilitet

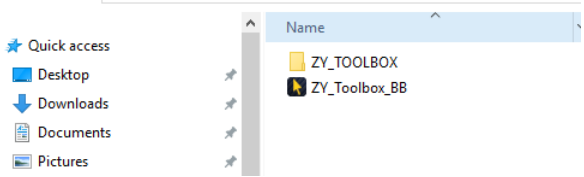
PSCAD ZY-Toolbox-biblioteket är kompatibelt med PSCAD version 5.0+ och valfri kompilator.

En exekveringsfil (.exe), även kallad ett program, tillhandahålls med biblioteket. Instruktioner för användning av exekveringsfilen finns i denna användarmanual. För att kunna nyttja exekveringsfilen, säkerställ att alla nödvändiga automatiseringspaket, som exempelvis PSCAD Automation Library, är installerade. Den tillhandahållna exekveringsfilen är byggd för Windows och kan enbart köras på Windows-system. Körbara filer för andra operativsystem ingår inte i toolbox-paketet.

5 Konfiguration av biblioteket

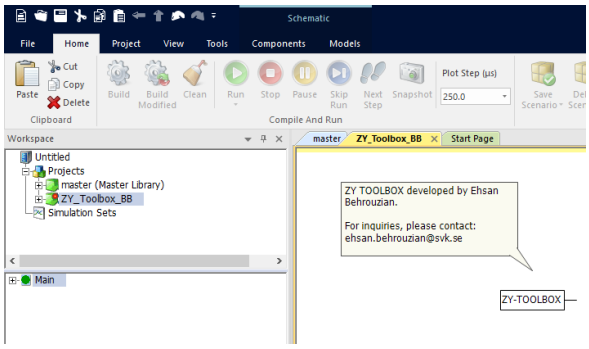
För att konfigurera biblioteket, följ dessa steg:

1. Öppna mappen Toolbox som innehåller biblioteket och dess associerade filer. Figur 2 visar mappens innehåll.



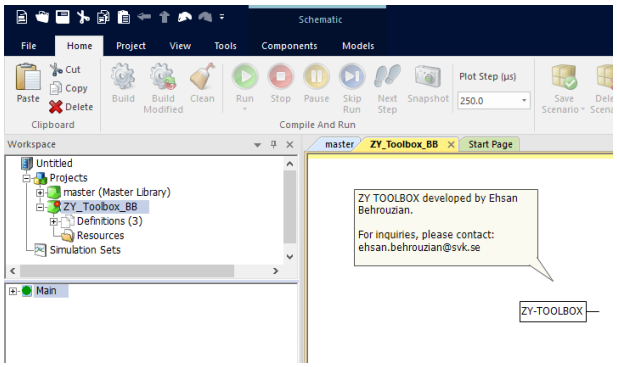
Figur 2: Toolbox-mappens innehåll.

2. Hitta filen med namn ZY_Toolbox_BB. Öppna filen antingen genom att dubbelklicka på den eller genom att lägga till den i ett redan öppnat PSCAD-projekt, version 5.0+. Figur 3 visar PSCAD-miljön efter detta steg.



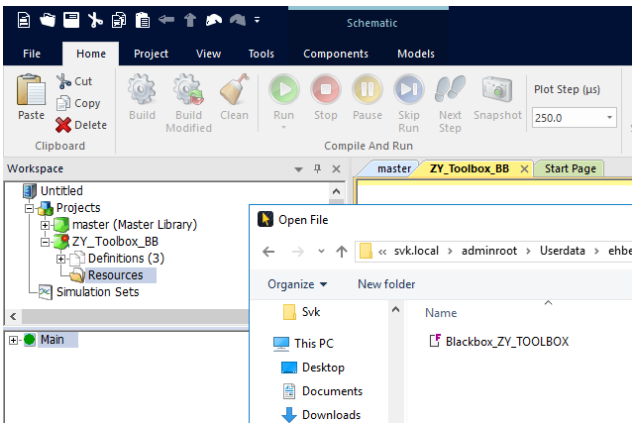
Figur 3: PSCAD-miljön efter att ZY-Toolbox-biblioteket har öppnats eller lagts till.

3. Klicka på “+”-tecknet bredvid ZY_Toolbox_BB i den primära arbetsytan till vänster (workspace), se Figur 4.



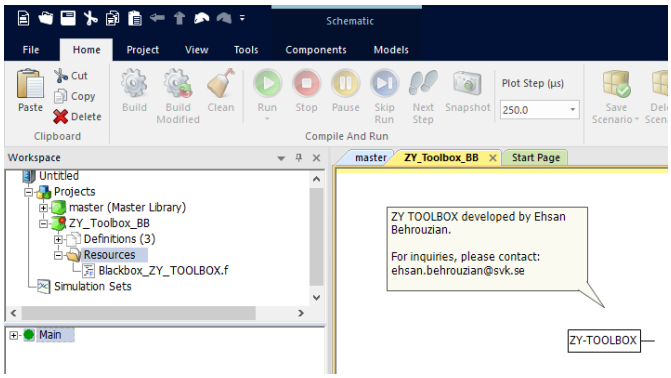
Figur 4: PSCAD-miljön efter att ha klickat på “+” bredvid ZY_Toolbox_BB.

4. Högerklicka på Resources-avsnittet under ZY_Toolbox_BB, välj ”Add”, därefter ”Other(*.*)”. Navigera till mappen som innehåller biblioteket och öppna undermappen ZY_TOOLBOX (se Figur 5 och Figur 2).

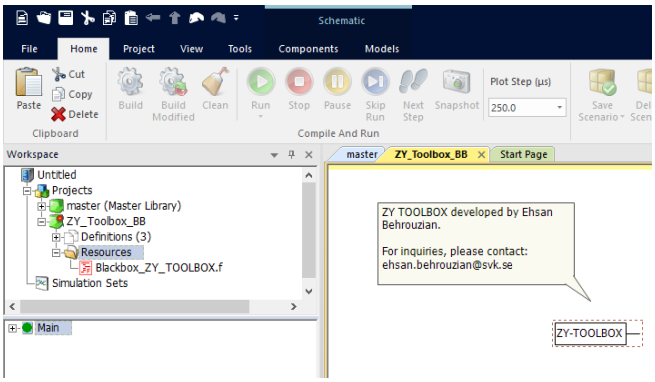


Figur 5: Processen för att lägga till filen Blackbox_ZY_TOOLBOX i Resources.

5. Välj filen Blackbox_ZY_TOOLBOX. Om filen har bifogats korrekt, kommer PSCAD-miljön se ut som i Figur 6. Ifall filen inte bifogas på rätt sätt kommer den att visas i rött, som i Figur 7. Om du stöter på problem med att bifoga filen, säkerställ att filsökvägarna är korrekta och att alla nödvändiga filer finns i de angivna katalogerna. När dessa steg är slutförda, är biblioteket konfigurerat och redo att användas.



Figur 6: Blackbox_ZY_TOOLBOX är korrekt bifogad till Resources.



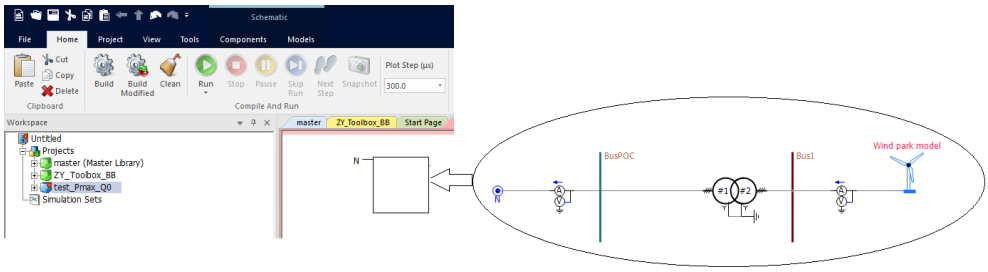
Figur 7: Blackbox_ZY_TOOLBOX är inte korrekt bifogad till Resources.

6 Skapa simuleringsfall

Påbörja detta steg genom att skapa ett PSCAD-simuleringsfall (case) som innehåller anläggningsmodellen och alla dess associerade komponenter, så som filter, step-up-transformatorer och annan relevant utrustning upp till nätanslutningspunkten där admittansscreeningen kommer att genomföras. När detta är färdigställt, lägg till fallet bland workspacets projekt.

För demonstrationssyfte i denna manual används en vindparksmodell som ett exempel. Modellen finns i ett PSCAD-fall med namn test_Pmax_Q0,

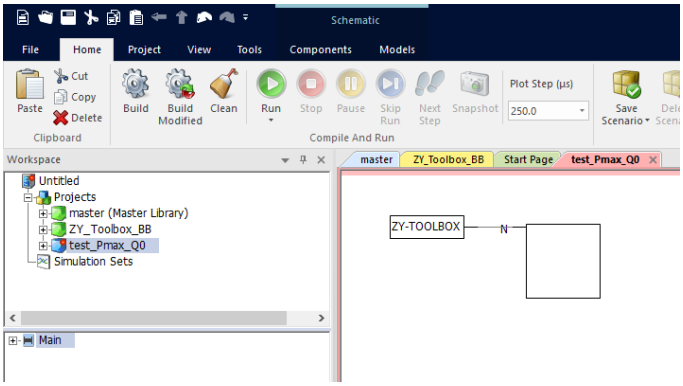
som läggs till i workspacet enligt processen i Figur 8. Modellen består av en aggregerad vindkraftspark och en step-up-transformator. Den är designad för en nätanslutningspunkt vid 230 kV, vid vilken screeningen kommer att utföras. Observera att själva nätet modelleras inuti ZY-Toolbox och behöver därför inte inkluderas i anläggningsmodellen.



Figur 8: Processen för att konfigurera ett simuleringsfall genom att lägga till anläggningens PSCAD-modell till workspace.

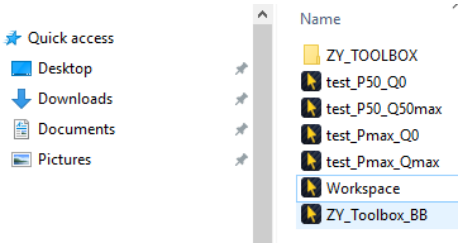
När biblioteket är konfigurerat och anläggningsmodellen är förberedd, kopiera ZY-Toolbox-biblioteket och klistra in det i simuleringsfallet med anläggningsmodellen. Anslut toolboxen till anläggningsmodellen enligt Figur 9.

Notera: Alla bibliotek, inklusive ZY-Toolbox-biblioteket, måste placeras ovanför simuleringsfallen i workspace som i Figur 9. Om ett bibliotek placeras nedanför ett simuleringsfall, riskerar det att inte automatiskt laddas in i fallet varje gång workspace öppnas.



Figur 9: Lägg till ZY-Toolbox i simuleringsfallet och anslut den till anläggningen. Notera att biblioteket ZY_Toolbox_BB ligger ovanför simuleringsfallet test_Pmax_Q0 i workspace.

Se till att simuleringsfall, bibliotek och workspace sparas i samma mapp som i Figur 10. I detta exempel sparas workspace med namnet Workspace. Exemplet vidareutvecklas genom att lägga till flera andra simuleringsfall som representerar andra driftfall, som till exempel test_Pmax_Qmax enligt Figur 10.



Figur 10: Bibliotek och simuleringsfall sparas i samma mapp och hela workspace sparas i samma mapp, här med namnet Workspace.

6.1 Viktigt att beakta vid skapandet av simuleringsfall

Utgångskanaler (Ouput channel):
Det är starkt rekommenderat att inaktivera alla utgångskanaler i anläggningsmodellen förutom de som används av toolboxen (izy och vzy inuti ZY-Toolbox). Detta förhindrar lagring av onödiga data och säkerställer optimal hastighet för bearbetning.

Projektinställningar:
Simuleringens tidssteg är den enda parametern under projektinställningar som behöver konfigureras av användaren själv. Tidssteget är vanligtvis specificerat av anläggningen eller enhetens modelleverantör. Användaren bör dock alltid verifiera tidssteget mot de specifikationer som anges i modellens dokumentation för att säkerställa korrekt funktion.

Notera: lämpligt tidssteg för simulering bör ligga mellan 1 till 50 µs. Det är inte rekommenderat att överskrida detta intervall. För optimal noggrannhet i screening, använd tidssteg om 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40, eller 50 µs.

Återstående parametrar i projektinställningarna konfigureras automatiskt av exekveringsfilen och behöver således inte manuellt justeras av användaren.

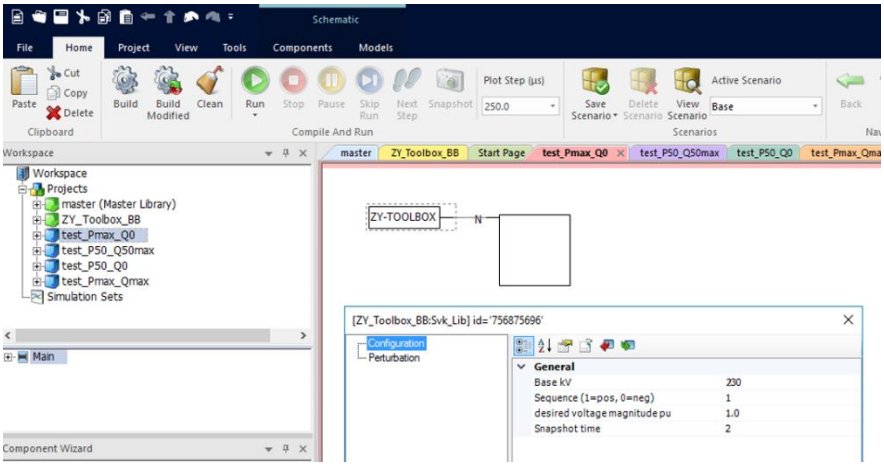
Regler för namngivning av simuleringsfall (case):
För att säkerställa korrekt körning av .exe-filer, undvik att använda mellanslag vid namngivning av simuleringsfall. Vid behov, använd istället understreck (_) som skiljetecken. Specialtecken, som ‘åÅ’, ’äÄ’ och ’öÖ’ bör inte användas. Notera även att namnen inte kan börja med siffror.

ZY-Toolbox-bibliotek per simuleringsfall:
Varje simuleringsfall får endast innehålla ett ZY-Toolbox-bibliotek. Att inkludera flera bibliotek inom samma projekt tillåts ej.

PNI tillåts ej:
Anläggningsmodellen kan inte vara distribuerad över flera projekt, d.v.s. att använda ”Parallel Network Interface” (PNI) stöds ej. Alla komponenter och associerade delar av anläggningsmodellen måste rymmas inom ett enskilt simuleringsfall.

7 Parameterinställningar

Nästa steg är att ställa in parametrarna i ZY-Toolbox för varje simuleringsfall. För att nå parameter-menyn, högerklicka på ZY-Toolboxens bibliotek och välj ”Edit Parameters…”. Figur 11 visar de konfigurationsparametrar som finns i biblioteket.



Figur 11: ZY-Toolbox konfigurationsparametrar.

Base (kV):
Denna parameter specificerar basspänningen vid avsedd anslutningspunkt till nätet. Standardvärdet är 230 kV, men kan väljas inom intervallet 0,69 till 800 kV.

Sequence:
Denna parameter specificerar följd eller sekvens av applicerad perturbering och motsvarande data att extrahera. Användare väljer antingen plusföljd eller minusföljd. 1 anger plusföljd, 0 minusföljd.

snapshot time (s):
Ställ in denna parameter till önskad snapshot-tid i sekunder. Snapshot-tiden bör vara tillräckligt lång för att säkerställa att enheten når stationärt tillstånd för det aktuella driftfallet. Screeningprocessen börjar först efter snapshot-tiden. Parametern måste ha ett värde mellan 0,1 och 50 s. Lämpliga inställningar för snapshot-tiden kan bestämmas genom att pröva sig fram i samband med att önskad spänningsmagnitud fastställs enligt nedan beskriven procedur.

desired voltage magnitude (pu):
Önskad spänningsmagnitud tillåter användaren att definiera den faktiska spänningsnivån vid den avsedda nätanslutningspunkten. Standardvärdet är 1 pu, vilket betyder att spänningen vid anslutningspunkten kommer att ha samma värde som basspänningen (kV). Med förvalda värden motsvarar detta en nätspänning om 230 kV. Denna parameter är begränsad till ett intervall från 0,5 till 1,5 pu. För att ytterligare förtydliga hur denna parameter kan användas, betrakta följande exempel.

Anta att tidigare nämnd vindparksmodell tillämpar kontroll av nätspänning. Önskat driftfall är maximal aktiv effektöverföring med noll reaktivt effektutbyte vid anslutningspunkten om 230 kV.

Figur 12 illustrerar processen för att hitta rätt driftpunkt.

1. Systemets basspänning sätts till 230 kV.
2. Snapshottiden sätts inledningsvis till ett högt värde om 50 s för att fördröja start av screening-processen.
3. Spänningsmagnituden (pu) vid anslutningspunkten styrs av börvärdet vset, som justeras med ett reglage

För att påbörja simuleringen:

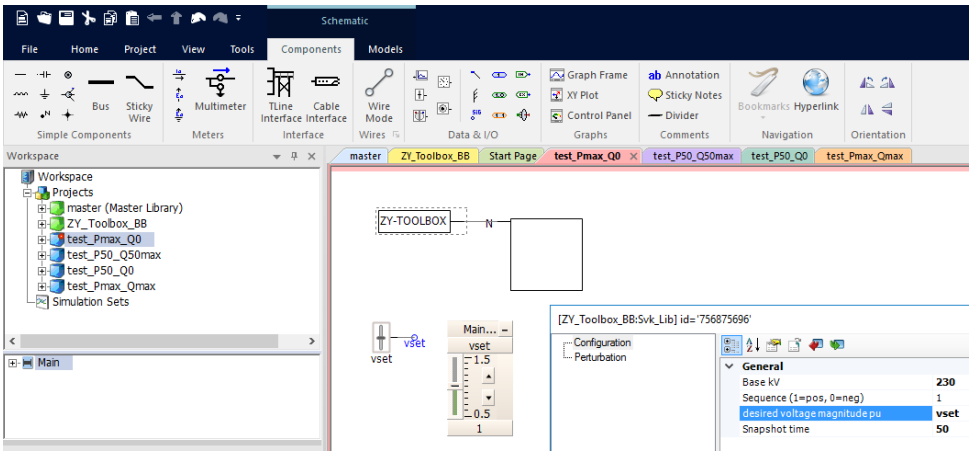
1. Sätt referensen för aktiv effekt till dess maximala värde.
2. Uppnå noll reaktivt effektutbyte genom att iterativt finjustera vset-parametern med reglaget, samtidigt som maximal aktiv effektproduktion behålls under simuleringen. Justera snapshot-tiden till ett lämpligt värde.

Genom detta tillvägagångssätt identifieras i detta exempel en optimal spänningsmagnitud på 0,99 pu, vilken uppfyller den önskade driftpunkten. En snapshot-tid på 10 sekunder tillåter modellen att nå stationärt tillstånd. I

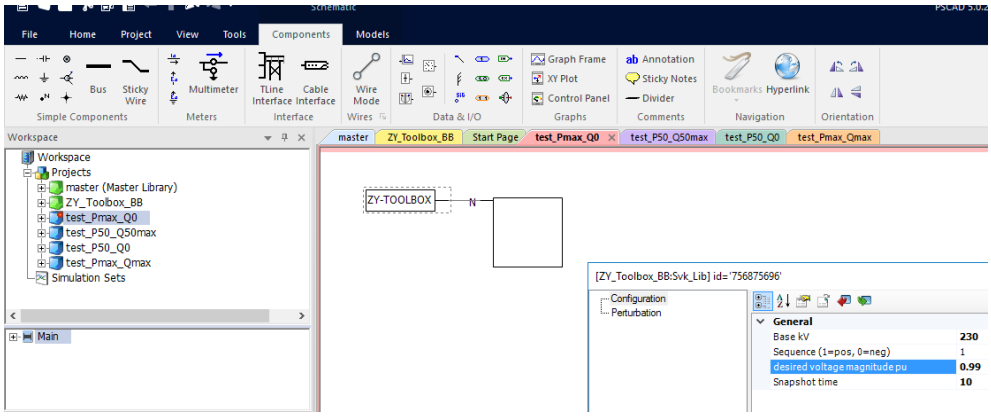
allmänhet bör denna procedur användas vid simulering av spänningsreglering för att uppnå önskad reaktiv effektöverföring.

Figur 13 visar de slutgiltiga konfigurationsparametrarna.

Notera: Konfigurationsinställningarna för plus- och minusföljd är identiska för varje driftpunkt.
Notera: Baserat på exemplet ovan, kommer anläggningen inte kunna kontrollera spänningen ifall den tillämpar reglering vid anslutningspunkten till toolboxen, eftersom att denna punkt är ansluten till en oändlig spänningskälla. I ett sådant fall är en praktisk lösning på problemet att lägga till en liten induktans, cirka 10% av utgångfiltrets eller transformatorns induktans, för att möjliggöra kontroll med endast en försumbar påverkan på enhetens impedans.

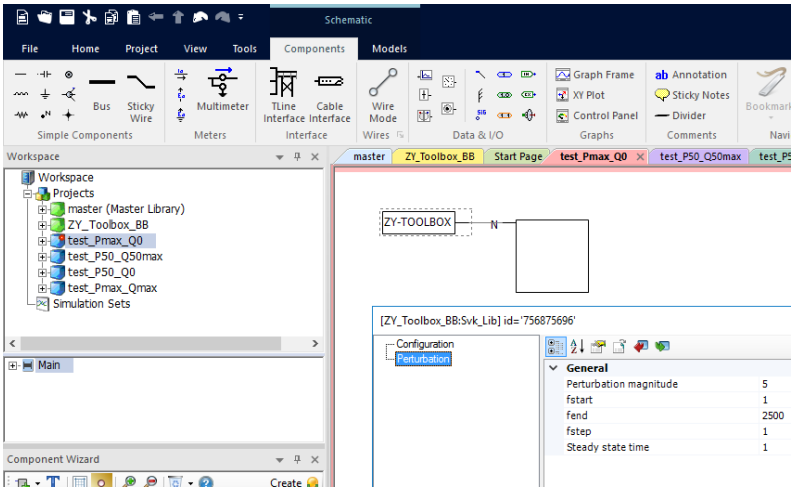


Figur 12: Proceduren för att hitta rätt inställningar av snapshot-tid och önskad spänningsmagnitud.



Figur 13: Slutgiltiga parameterinställningar för snapshot-tid och önskad spänningsmagnitud.

Nästa uppsättning av parametrar justeras under fliken Perturbation som visas i Figur 14.



Figur 14: ZY-Toolbox perturberings-parametrar.

Perturbation magnitude (%)
Toolboxen tillåter användare att bestämma storleken av perturbering (perturberingsmagnitud) i procent (%) av den fundamentala basspänningen. Standardvärdet är bestämt till 5%. Värden mellan 0.1 och 10% är tillåtna.

fstart (Hz):
Anger önskad startfrekvens. Standardvärdet är 1 Hz. Startfrekvensen måste ligga mellan 1 och 2500 Hz.

fend (Hz):
Anger önskad slutfrekvens. Standardvärdet är 2500 Hz. Slutfrekvensen måste ligga mellan 1 och 2500 Hz och måste vara större än fstart.

fstep (Hz):
Anger önskat frekvenssteg mellan applicerade perturberingar. Stegen appliceras linjärt. Förinställt frekvenssteg är 1 Hz. För bästa möjliga noggrannhet i screening, använd frekvenssteg om 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1 eller 5 Hz. Andra frekvenssteg kan appliceras men Toolboxen kommer då varna användaren om suboptimalt frekvenssteg.

Notera: Simuleringar ska omfatta det frekvensområde som anges i de projektspecifika krav som tillhandahålls av Svenska kraftnät, vilket normalt är 1–2500 Hz. För exakta krav, se de projektspecifika underlagen (Insamlingsmall_kraftparksmodul_RfG.xlsx).

Steady state time (s):
Specificerar tiden som krävs för anläggningen att nå ett stationärt tillstånd efter applicerad perturbering. Standardvärdet är 1 sekund men kan väljas till ett värde mellan 0,1 och 1000 s.

Notera: Utöver de parameterjusteringar som beskrivs ovan ska inga andra ändringar göras i ZY-Toolbox-biblioteket.

8 Att skapa simuleringsuppsättningar

Efter att samtliga simuleringsfall har konfigurerats och parametrar ställts in måste användaren skapa simuleringsuppsättningar (på engelska simulation sets). Att använda simuleringsuppsättningar möjliggör parallell körning av flera fall samtidigt, vilket påskyndar simuleringsprocessen avsevärt. Antalet simuleringsfall som kan tilldelas varje uppsättning beror på både antalet CPU-kärnor tillgängliga på användarens dator och på användarens PSCAD-licens.

Det antas att användare är familjära med konceptet av simuleringsuppsättningar i PSCAD och därför ges enbart en kort förklaring här. Användare bör fördela fall mellan uppsättningarna på ett genomtänkt sätt för att maximera CPU-utnyttjandet och den totala simuleringseffektiviteten. Generellt rekommenderas det att gruppera liknande fall inom samma uppsättning – till exempel, simuleringsfall med liknande frekvensintervall och det stationära tillståndets varaktighet. Detta tillvägagångssätt är fördelaktigt då en simuleringsuppsättning endast går vidare till nästa när alla individuella fall i den aktuella uppsättningen har slutförts. Således bestäms den totala simuleringstiden för en uppsättning av det fall som tar längst tid att slutföra (ofta på grund av ett högre antal screeningpunkter).

Genom att gruppera fall med liknande förväntad körtid kan användare säkerställa att alla fall inom en uppsättning avslutas ungefär samtidigt, vilket därigenom minimerar outnyttjad CPU-tid och maximerar effektiviteten.

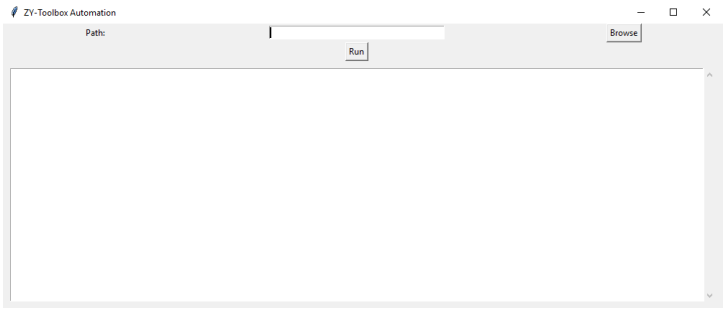
Notera: Att skapa minst en simuleringsuppsättning är nödvändigt för processen att fungera korrekt. Körningsfilen kommer att misslyckas ifall inga uppsättningar definieras, även om det bara är ett fall som ska utvärderas.

9 Genomförande

När alla projektfall är försedda med Toolbox-parametrar och simuleringsuppsättningar har förberetts, spara arbetet i projektets workspace och stäng PSCAD. Screeningprocessen kan sedan genomföras med exekveringsfilen som tillhandahålls med biblioteket.

Fortsätt enligt följande steg:

Hitta och öppna ZY_Toolbox_automation.exe i mappen Automatisering (filen klassas som ett program i Windows). Dubbelklicka på filen för att öppna den. Figur 15 visar fönstret som öppnas.



Figur 15: ZY-Toolbox automationsfönster innan körning startas.

Välj mappen med PSCAD workspace
Klicka på ”Browse”-knappen och navigera till mappen som innehåller PSCAD-workspacet. Standardmappen är platsen där den körbara (.exe) filen ligger.

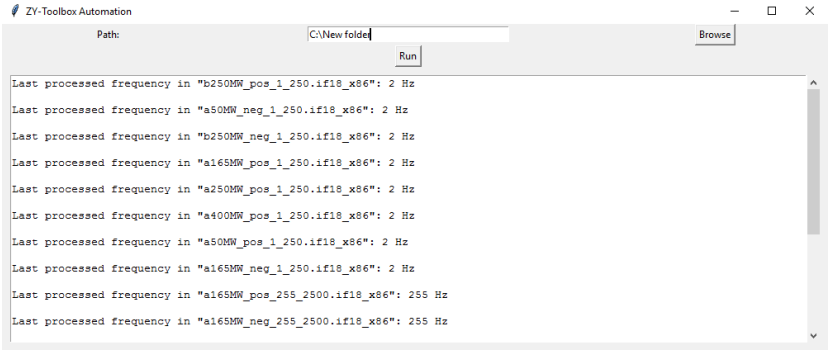
Kör PSCAD-filen
Klicka på ”Run”.

Notera: Vid start av simulering raderas alla undermappar tillhörande simuleringsfallen i workspace-katalogen (om sådana finns) för att säkerställa en tom arbetsmiljö. Resultat från tidigare körningar lagras i dessa undermappar som .csv-filer. Om undermapparna och deras innehåll ska behållas, se till att skapa en säkerhetskopia i förväg.

Programmet startar PSCAD, öppnar det angivna workspacet, justerar parameterinställningarna och påbörjar sedan simuleringen. Efter att körningsfilen har startats behöver användaren bara vänta och ge datorn tillräckligt med tid för att genomföra en fördefinierad sekvens av uppgifter. Om inga oväntade problem uppstår bör processen slutföras framgångsrikt. Under denna period får simuleringen inte avbrytas. Undvik även att öppna,

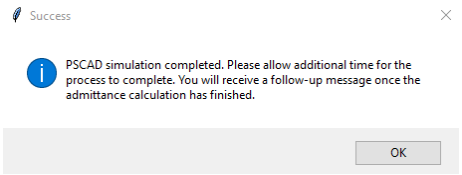
ändra eller flytta filer eller mappar inom workspacet, eftersom detta kan störa processen och påverka resultaten.

Under processen kan framstegen övervakas i PSCAD-miljön eller via automationsfönstret för att uppskatta återstående simuleringstid. Automationsfönstret visar screeningstatus genom att ange den senast bearbetade frekvensen för varje fall inom den aktuella simuleringsuppsättningen. Ett exempel illustreras i Figur 16.



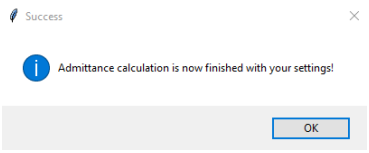
Figur 16: ZY-Toolbox automationsfönster under processen.

Efter påbörjad process, vänta tills PSCAD-simuleringen är klar. När det första “Success”-fönstret dyker upp (se Figur 17) indikerar det att simuleringen har slutförts. PSCAD kommer därefter att stängas automatiskt.



Figur 17: Det första “Success”-fönstret visas när PSCAD-simuleringen är klar.

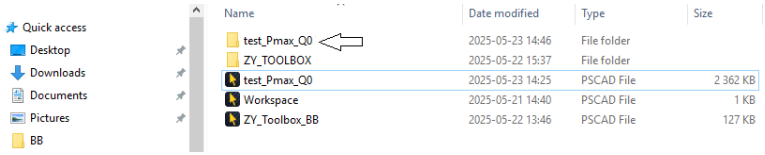
Vänta en liten stund till tills ett andra fönster med titeln “Success” visas (Figur 18), vilket indikerar att admittansberäkningarna har slutförts. Innan du väljer OK och stänger fönstret, kontrollera automationsfönstret (Figur 16) för att säkerställa att den senast bearbetade frekvensen stämmer överens med det förväntade värdet i samtliga fall.



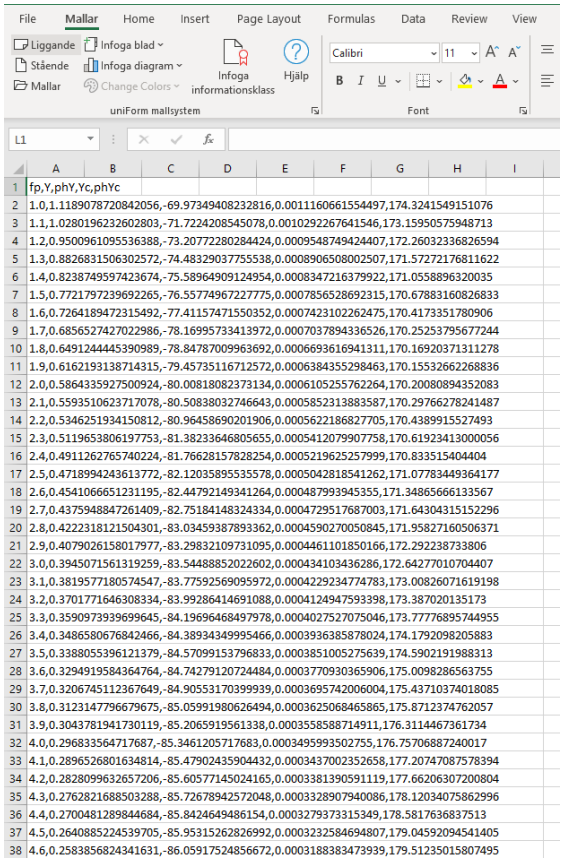
Figur 18: Det andra “Success”-fönstret visas när admittansberäkningen är klar.

10 Resultat

Efter att simuleringen och admittansberäkningen har slutförts, navigera till arbetskatalogen och leta upp undermapparna som motsvarar varje simuleringsfall. Ett exempel på detta visas i Figur 19. I respektive undermapp, leta fram .csv-filen med namn Admittances. Öppna filen för att verifiera att båda själv- och överföringsadmittanser har sparats. Figur 20 illustrerar ett exempel på sparade data i Excel. I dessa data representerar f_p frekvensen i Hertz (Hz). Y och Y_c betecknar självadmittans respektive överföringsadmittans i Siemens (S). $ph(Y)$ och $ph(Y_c)$ anger fasvinkel för självadmittansen och överföringsadmittansen, i grader.



Figur 19: Workspace-mappen som innehåller undermappen test_Pmax_Q0 med resultaten som motsvarar simuleringsfallet med samma namn.



	A
1	fp,Y,phY,Yc,phYc
2	1.0,1.1189078720842056,-69.97349408232816,0.0011160661554497,174.3241549151076
3	1.1,1.0280196232602803,-71.7224208545078,0.0010292267641546,173.15950575948713
4	1.2,0.9500961095536388,-73.20772280284424,0.0009548749424407,172.26032336826594
5	1.3,0.8826831506302572,-74.48329037755538,0.0008906508002507,171.57272176811622
6	1.4,0.8238749597423674,-75.58964909124954,0.0008347216379922,171.0558896320035
7	1.5,0.7721797239692265,-76.55774967227775,0.0007856528692315,170.67883160826833
8	1.6,0.7264189472315492,-77.41157471550352,0.0007423102262475,170.4173351780906
9	1.7,0.6856527427022986,-78.16995733413972,0.0007037894336526,170.25253795677244
10	1.8,0.6491244445390989,-78.84787009963692,0.0006693616941311,170.16920371311278
11	1.9,0.6162193138714315,-79.45735116712572,0.0006384355298463,170.15532662268836
12	2.0,0.5864335927500924,-80.00818082373134,0.0006105255762264,170.20080894352083
13	2.1,0.5593510623717078,-80.50838032746643,0.0005852313883587,170.29766278241487
14	2.2,0.5346251934150812,-80.96458690201906,0.0005622186827705,170.4389915527493
15	2.3,0.5119653806197753,-81.38233646805655,0.0005412079907758,170.61923413000056
16	2.4,0.4911262765740224,-81.76628157828254,0.0005219625257999,170.833515404404
17	2.5,0.4718994243613772,-82.12035895535578,0.0005042818541262,171.07783449364177
18	2.6,0.4541066651231195,-82.44792149341264,0.0004879939345355,171.34865666133567
19	2.7,0.4375948847261409,-82.75184148324334,0.0004729517687003,171.643043151522296
20	2.8,0.4222318121504301,-83.03459387893362,0.0004590270050845,171.95827160506371
21	2.9,0.4079026158017977,-83.29832109731095,0.0004461101850166,172.292238733806
22	3.0,0.3945071561319259,-83.54488852022602,0.0004341034362686,172.64277010704407
23	3.1,0.3819577180574547,-83.77592569095972,0.0004229234774783,173.00826071619198
24	3.2,0.3701771646308334,-83.99286414691088,0.0004124947593398,173.387020135173
25	3.3,0.3590973939699645,-84.19696468497978,0.0004027527075046,173.77776895744955
26	3.4,0.3486580676842466,-84.38934349995466,0.0003936385878024,174.1792098205883
27	3.5,0.3388055396121379,-84.57099153796833,0.0003851005275639,174.5902191988313
28	3.6,0.3294919584364764,-84.74279120724484,0.0003770930365906,175.0098286563755
29	3.7,0.3206745112367649,-84.90553170399939,0.0003695742006004,175.43710374018085
30	3.8,0.3123147796679675,-85.05991980626494,0.0003625068465865,175.8712374762057
31	3.9,0.3043781941730119,-85.2065919561338,0.0003558588714911,176.3114467361734
32	4.0,0.2968335647167687,-85.3461205717683,0.0003495993502755,176.75706887240017
33	4.1,0.2896526801634814,-85.47902435904432,0.0003437002352658,177.20747087578394
34	4.2,0.2828099632657206,-85.60577145024165,0.0003381390591119,177.66206307200804
35	4.3,0.2762821688503288,-85.72678942572048,0.0003328907940086,178.12034075862996
36	4.4,0.2700481289844684,-85.84246494861540,0.0003279373315349,178.5817636837513
37	4.5,0.2640885224539705,-85.95315262826992,0.0003232584694807,179.04592094541405
38	4.6,0.2583856824341631,-86.05917524856672,0.0003188383473939,179.51235015807495

Figur 20: Excelfil med admittansdata, där både själv- och överföringsadmittanser inkluderas.

11 Rapportering av resultat

Som en del av nätanslutningsprocessen ska frekvensberoende admittansdata för omriktaranslutna anläggningar tillhandahållas Svenska kraftnät i den Excelmall som medföljer detta biblioteket. ZY-Toolbox kan hjälpa anslutande part i att ta fram dessa data genom screeningprocessen som beskrivs i denna manual. Öppna mappen Dokumentation och därefter filen Mall_Leverans_av_Admittansdata_v1.

Det första bladet, Ref_Driftfall, beskriver en uppsättning driftfall som kan vara relevanta för den anslutande anläggningen (se Figur 21). De angivna parametrarna inkluderar aktiv och reaktiv reglermod, aktivt och reaktivt effektflöde (pu) samt önskad spänningsmagnitud (pu) vid ZY-Toolboxens anslutningspunkt. Parametrarna anges antingen som fördefinierade värden eller som storheter som ska justeras manuellt. Där flera alternativ anges (separerade med ”/”) ska alla relevanta kombinationer av parametrar utvärderas som separata simuleringsfall. Till exempel, ifall endast rad 2 i Figur 21 är relevant för den anslutande anläggningen, ska minst 2 × 3 = 6 driftpunkter undersökas.

För reaktiv reglermod måste även spänningsnivån vid vilken kontroll tillämpas specificeras genom att ersätta ”X” med korrekt värde.

	A	B	C	D	E	F
1		**Reglermod aktiv**	**Reglermod reaktiv**	**Aktiv effekt (pu)**	**Reaktiv Effekt (pu)**	**Önskad spänningsmagnitud (pu)**
2		Aktiv effekt	na	-1 / -0,1	na	0,95 / 1 / 1,05
3		Aktiv effekt	na	1 / 0,1	na	0,95 / 1 / 1,05
4		Aktiv effekt	Spänning @ X kV	-1 / -0,1	0 / 0,33 * Pmomentan / -0,33 * Pmomentan	Justeras manuellt
5		Aktiv effekt	Q @ X kV	-1 / -0,1	0 / 0,33 * Pmomentan / -0,33 * Pmomentan	0,95 / 1 / 1,05
6		Aktiv effekt	Spänning @ X kV	1 / 0,1	0 / 0,33 * Pmomentan / -0,33 * Pmomentan	Justeras manuellt
7		Aktiv effekt	Q @ X kV	1 / 0,1	0 / 0,33 * Pmomentan / -0,33 * Pmomentan	0,95 / 1 / 1,05
8		na	Spänning @ X kV	na	1 / 0 / -1	Justeras manuellt
9		na	Q @ X kV	na	1 / 0 / -1	0,95 / 1 / 1,05

Figur 21: Beskrivning av olika driftfall som kan vara relevanta för den studerade anläggningen.

På nästa blad, Ex_Vindpark, ges ett exempel som visar hur relevanta driftpunkter för en vindpark med möjlighet att reglera aktiv effekt och spänning eller reaktiv effekt vid 33 kV kan definieras och väljas. Detta gav totalt 24 driftpunkter att beakta.

Under fliken Simulerade_fall ska genomförda simuleringar för studerad anläggning listas och specificeras av anslutande part. Den nödvändiga informationen inkluderar:

ID:
Varje simuleringsfall tilldelas ett unikt ID-nummer, med början vid 1 och därefter ökande i stigande ordning.

Aktiv reglermod:
Beskriver kontroll av aktiv dynamik, till exempel aktiv effekt.

Reaktiv reglermod:
Beskriver kontroll av reaktiv dynamik, till exempel reaktiv effekt eller spänning. Spänningsnivån vid vilket reaktiv kontroll tillämpas ska också specificeras, eftersom den kan placeras antingen vid anläggningens utgångsterminaler eller vid nätanslutningspunkten.

Effektrating (MVA):
Anläggningens effektrating eller märkeffekt i MVA.

Aktiv effekt (pu):
Aktiv effektflöde för den studerade anläggningen, där positiva värden anger flöde in mot anläggningen (förbrukning) och negativa värden anger flöde ut från anläggningen (produktion).

Tidssteg simulering (µs):
Använt tidssteg för simulering, vanligtvis i intervallet 1-50 µs.

Basspänning vid perturbering (kV):
Basspänning som angiven i ZY-Toolboxen i kV.

Önskad spänningsmagnitud (pu):
Önskad spänningsmagnitud vid anslutningspunkten som angiven i ZY-Toolboxen i pu. Denna parameter kan behöva bestämmas genom att testa sig fram med manuella justeringar som beskrivet i avsnitt 7 Parameterinställningar för vindparksexemplet. Mer generellt, när spänningskontroll tillämpas för att uppnå ett specifikt reaktivt effektutbyte måste spänningens börvärde justeras för att erhålla önskat effektflöde.

Snapshottid (s):
Tidpunkt då screening av data påbörjas, som angiven i ZY-Toolboxen.

Magnitud av perturberingar (%):
Storleken av injicerade perturberingar i relation till basspänningen som angiven i ZY-Toolboxen.

Startfrekvens (Hz):
Startfrekvens för admittansscreening som angiven i ZY-Toolboxen.

Slutfrekvens (Hz):
Slutfrekvens för admittansscreening som angiven i ZY-Toolboxen.

Frekvenssteg (Hz):
Frekvenssteg för admittansscreening som angiven i ZY-Toolboxen.

Stationärt tillstånd (s):
Ska vara tillräckligt lång för att den studerade anläggningen ska hinna nå en stabil driftpunkt efter applicerad perturbering, och anges i ZY-Toolboxen som steady-state time.

Kommentarer:
Eventuella kommentarer som ger ytterligare information om det studerade fallet.

Notera: Ifall simuleringen sker över ett brett frekvensband kan det vara en god idé att dela upp simuleringen i mindre intervall. Vid högre frekvenser kan ett större frekvenssteg vara acceptabelt. Detta kan vara ett effektivt sätt att minska simuleringstiden när lägre frekvensupplösning är applicerbar. Ett exempel på hur detta redovisas korrekt finns i bladet Ex_Vindpark, rad 8–10 samt i Figur 22.

Startfrekvens [Hz]	Slutfrekvens [Hz]	Frekvenssteg [Hz]
1 / 250 / 1000	250 / 1000 / 2000	1 / 2 / 5
1 / 250 / 1000	250 / 1000 / 2000	1 / 2 / 5
1 / 250 / 1000	250 / 1000 / 2000	1 / 2 / 5

Figur 22: Redovisning av frekvensinformation när varierande frekvensintervall appliceras i ett simuleringsfall.

I följande blad redovisas erhållna simuleringsdata för varje studerat driftfall. Bladen namnges med ID-numret för respektive simulerat fall. Om något av de förberedda bladen inte används kan det tas bort från mallen genom att högerklicka på bladet och välja ”Ta bort”.

Notera: I blad 1 och 2 finns exempeldata som ska ersättas med anslutande parts egna data. Dessa exempeldata är enbart avsedda för demonstrationsändamål och ska inte tolkas som faktiska data. Notera även att studerat frekvensintervall bör följa det som specificeras i de projektspecifika kraven, vanligtvis 1–2500 Hz.

För varje fall ska följande data rapporteras, i plusföljd och minusföljd i de avsedda kolumnerna som visas i Figur 23:

- Perturberingsfrekvens f_p
- Självadmittans Y_p och dess fasvinkel $ph(Y_p)$ i plusföljd
- Överföringsadmittans Y_{cp} och dess fasvinkel $ph(Y_{cp})$ i plusföljd

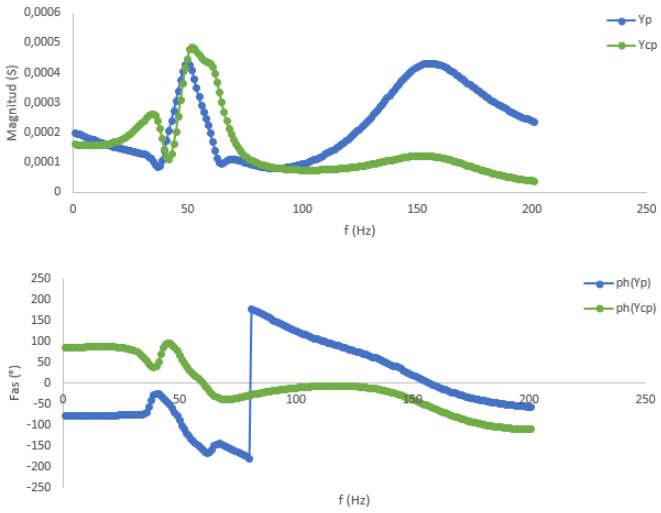
- Självadmittans Y_n och dess fasvinkel $ph(Y_n)$ i minusföljd
- Överföringsadmittans Y_{cn} och dess fasvinkel $ph(Y_{cn})$ i minusföljd

Samtliga driftfall måste således simuleras för spänningsperturberingar i både plus- och minusföljd. Resultaten från ZY-Toolbox i form av .csv-filer kan kopieras direkt in i insamlingsmallen utan vidare bearbetning.

fp	Yp	ph(Yp)	Ycp	ph(Ycp)	Yn	ph(Yn)	Ycn	ph(Ycn)
1	0,000131	-90,7037	8,85E-05	84,8892	0,000137	89,14144	8,89E-05	-85,3653

Figur 23: Kolumner i insamlingsmallen där resultaten ska rapporteras. Index p betecknar plusföljd, och index n betecknar minusföljd.

Under den sista fliken Plottar genereras Bode-plottar av själv- och överföringsadmittanser. Ett exempel på en Bode-plot för admittansdata i plusföljd illustreras i Figur 24. Syftet med dessa plottar är att snabbt kunna identifiera potentiellt oönskat omriktarbeteende.



Figur 24: Bode-plot av admittansdata i plusföljd som genereras i Excelmallen.

11.1 Format på Excel-fil

Det är viktigt att innehållet i insamlingsmallen följer en strikt och konsekvent struktur, eftersom att datan senare används för automatiserad analys och vidare studier. Avvikelser från nedanstående krav kan leda till fel vid inläsning eller felaktiga resultat. Kraven nedan gäller mer specifikt de blad där anslutande part rapporterar admittansdata.

Struktur:
Data ska börja från rad 3, rad 1–2 innehåller rubriker. Kolumnerna A-I ska

fyllas i enligt angivna rubriker. Kolumnordningen får inte ändras och inga ytterligare kolumner får läggas till. Varje blad ska endast innehålla data från ett enskilt simuleringsfall.

Datainnehåll:
Följande krav gäller för datan:

- Samtliga värden ska vara numeriska
- Inga textvärden får förekomma, som ”N/A”, ”-” eller liknande
- Inga tomma celler får finnas inom dataintervallet
- Enheter ska inte ändras, frekvens ges i Hz, admittans i S och vinkel i grader
- Frekvensvärden ska vara sorterade i stigande ordning

Varje rad ska utgöra en komplett datapunkt, vilket innebär att alla kolumner måste innehålla värden. Efter export från .csv-filen ska inga manuella ändringar av datavärden göras, förutom att ändra decimaltecken om det krävs av lokala Excel-inställningar.

Talformat och kompabilitet:
Excel använder olika decimaltecken beroende på språkinställningar (t.ex. komma på svenska och punkt på engelska). För att plottar och vidare analys ska fungera korrekt är det viktigt att lokala inställningar följs.

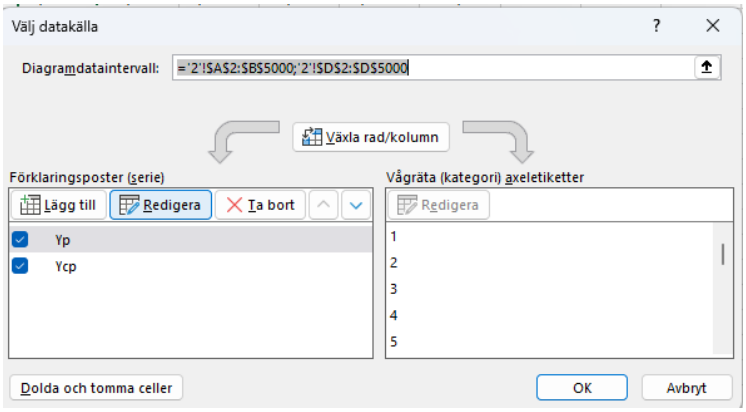
Datan måste alltid tolkas som numerisk. Säkerställ därför att värdena importeras eller klistras in som tal, och inte som text, så att alla beräkningar och figurer hanteras korrekt.

Namngivning av blad:
Bladnamn ska följa konsekvent och unik namngivning enligt löpande ID-numrering, i enlighet med tidigare beskrivning. Namnen används vid referenser i plottar och i vidare analys och måste därför vara exakta. Var särskilt uppmärksam på att inga extra mellanslag eller oavsiktliga tecken förekommer.

11.2 Hantering av stora datamängder och fler simuleringsfall

Om simuleringsdatan som klistras in innehåller mer än 5000 rader måste grafernas gränser utökas för att även inkludera dessa data. Högerklicka

plot av intresse, välj ”Markera data”, och ”Redigera” sedan grafens intervall som visas i Figur 25.



Figur 25: Redigera dataintervall som inkluderas i grafen.

Om fler än åtta simuleringsfall genomförs måste fler blad för datarapportering läggas till. Börja med att fylla i driftfallets specifikationer i bladet Simulerade_fall. Kopiera därefter en av de existerande data-flikarna genom att högerklicka, välj ”Flytta eller kopiera…”, klicka i rutan för att skapa en kopia, och byt namn till rätt ID med fortsatt löpande numrering. Slutligen, fyll i flikens kolumner med motsvarande admittansdata.

Under fliken Plottar ska också nya plottar läggas till. Börja med att kopiera innehållet i kolumn P och klistra in det två kolumner till höger, med bibehållen kolumnbredd. Detta genererar fyra nya figurer för varje ytterligare simuleringsfall. Därefter, för varje figur, högerklicka och välj ”Markera data”, följt av ”Redigera” för varje dataserie. För varje dataserie (två per plot), uppdatera referensen så att den pekar på rätt blad som motsvarar fallet. Rad- och kolumnreferenserna behöver inte ändras, då de är identiska för alla blad. Till exempel, i Figur 25, ifall ett fall med ID 9 ska läggas till, ska bladreferensen ’2’! i diagrammets dataintervall ändras till ’9’!