

**Memo aan:**  
**Netbeheer Nederland**

**Memo Nr.:** 10132353-PSA 21-0725 rev. 2

**Van:** Energy Systems

**Datum:** 13-06-2024

**Opgesteld. door:** Wim Kuijpers

**Toelichting BLOS load flow tool Type B PGM revisie 01-06-2024**

## **1 INLEIDING**

In het Netbeheer Nederland document "Power-Generating Modules compliance verification" voor Type B, C en D wordt een simulatie voorgeschreven om aan te tonen dat aan de Netcode-eisen voor blindvermogen (reactive power capability) wordt voldaan. Deze BLOS tool type **B LO**ad flow **S**imulatie) is ontwikkeld als hulpmiddel in het Compliance proces voor Type B Power Park Modules. Deze kan hiervoor gebruikt worden als het een "basispark Type B" (definitie zie hieronder) betreft. De tool berekent op basis van de in te vullen nominale capaciteiten van de omvormers (PV inverter, windturbine), transformatoren en kabels het werkzame en blindvermogen (MW, Mvar) op het overdrachtpunt en laat de resultaten in tabel- en grafiekvorm zien. Hiermee wordt beoordeeld of aan de eisen van Netcode wordt voldaan.

Opmerking: de PPM eigenaar/ontwikkelaar blijft verantwoordelijk voor het aantonen van Compliance aan de netbeheerder en kan geen rechten ontleen of zich beroepen op de toepassing of uitkomsten van deze tool. DNV is niet aansprakelijk voor eventuele directe of indirecte gevolgen bij het gebruik. Het is niet toegestaan om deze tool te gebruiken voor andere doeleinden dan als hulpmiddel voor Type B compliance activiteiten, te kopiëren en/of te delen met andere partijen dan de netbeheerder.

## **2 BLOS LOAD FLOW TOOL VOOR BASISPARK PPM TYPE B**

In deze tool kan een eenvoudige parknetconfiguratie worden gemodelleerd als dit net voldoet aan de uitgangspunten van een basispark, zie hoofdstuk 3.: overdrachtpunt - MS-verbinding - MS-installatie – MS verbinding - MS/LS transformator – LS-verbinding – omvormers. Een MS of LS-verbinding bestaat uit één of meerdere parallelle driefasen kabels of, ingeval van enkel-aderige kabels, één of meerdere parallelle driefase-circuits. De eventueel aanwezige MS-verbinding tussen het Overdrachtpunt en het centrale middenspanning-verdeelstation op het park wordt apart gemodelleerd. Verder wordt uitgegaan van de gemiddelde lengte van de MS- en LS-verbindingen naar de transformatoren in het park. Het aantal parallelle kabels tussen transformatoren en centrale MS-installatie specificeren we in het model per transformator. Hetzelfde geldt voor de LS-verbinding, die de transformator met de omvormers verbindt.

We specificeren het aantal transformatoren. In het basispark gaan we uit van gelijke transformatoren die zijn verbonden met een gelijk aantal parallelle MS-kabels naar het centrale MS-verdeelstation en een gelijk aantal parallelle LS-kabels naar de omvormers. Korte LS-kabels van de individuele inverter naar een verzamelkast worden verwaarloosd.

Het totaal aantal te specificeren omvormers is het totale aantal in het hele PV-park, dus niet per transformator. Het aantal omvormers per transformator wordt dus door een berekening bepaald. Ook hier nemen we voor het model aan dat het aantal omvormers per transformator gelijk is. De in te vullen nominale gegevens van de omvormer dienen afkomstig te zijn van omvormercertificaten/data sheets.

De transformatoren zijn meestal voorzien van een aftakschakelaar. We gaan uit van een aftakschakelaar met 5 standen met een spanningsverandering aan de middenspanningszijde van 2,5% per stap. De gekozen stand dient overeen te komen met de werkelijke stand in de installatie. Indien geen aftakschakelaar aanwezig is, dan stand 0 kiezen. Verstelling van stand geeft een verandering van 2,5% per stap in de primaire spanning en resulteert in een verschuiving van het Q-U venster. Dit kan nodig zijn om conformiteit aan te tonen.

## 3 UITGANGSPUNTEN VOOR GEBRUIK

### 3.1 Basispark

Uitgangspunten voor gebruik van deze eenvoudige BLOS load flow tool en configuratie basispark dat schematisch is weergegeven in Figuur 1 (bovenste schema) zijn:

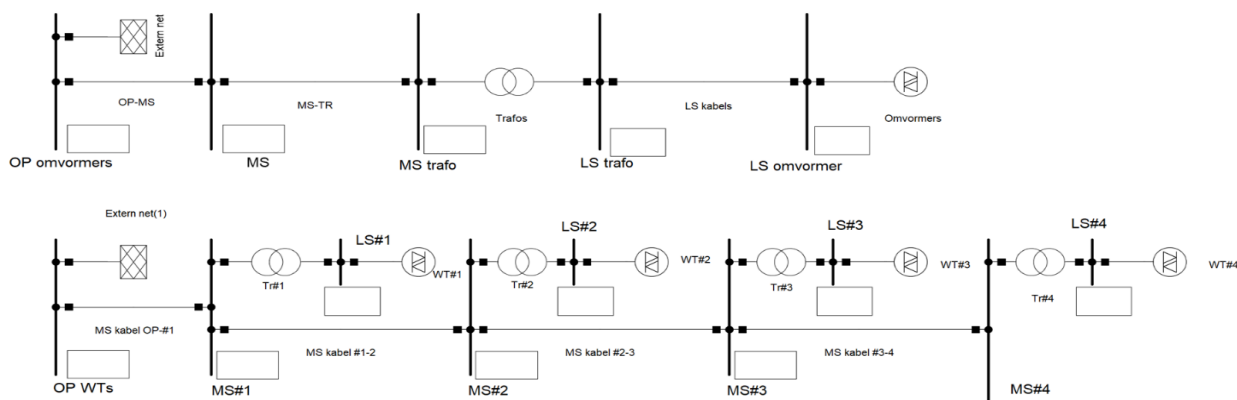
- Omvormers van één type
- Aansluiting omvormers op MS/LS transformatoren via LS-kabel (één of meerdere parallel) (LS-kabels). Maximale lengte LS-kabels: 500 meter
- Een of meerdere MS/LS transformatoren van één type, voorzien van een aftakschakelaar. Indien geen aftakschakelaar voorzien is, dan stand 0 kiezen
- Gelijke verdeling omvormers over MS/LS transformatoren. Een verschil in verdeling van maximaal 2 omvormers per transformator is acceptabel
- Aansluiting individuele MS/LS transformatoren via MS-kabel (MS-TR) op een centraal MS-verdeelstation (MS). Eén of meerdere kabels parallel. Lengte MS-kabel maximaal 2 km
- Aansluiting centraal MS-verdeelstation (MS) via MS-kabels (OP-MS) op het overdrachtspunt (OP). Eén of meerdere parallel. Lengte MS-kabel maximaal 10 km
- Inkoopstation (aansluitpunt/overdrachtspunt) (OP)
- Radiaal kabelnetwerk, niet vermaasd, geen dwarsverbanden
- Geen blindstroomcompensatiemiddelen

### 3.2 Deelparken en rijgleiding

Het komt voor dat een parkopbouw niet voldoet aan de uitgangspunten voor een basispark, maar bestaat uit secties ("deelparken") die wel hieraan voldoen. In dat geval kan per deelpark een BLOS model gemaakt worden. Indien alle deelparken voldoen, dan voldoet ook het hele park. De BLOS tools voor alle deelparken dienen dan verstrekt te worden aan de netbeheerder.

Bij uitzondering kan de BLOS tool ook gebruikt worden voor een park, waarbij de transformatoren door een gemeenschappelijke middenspanningsverbinding (rijgleiding) gekoppeld zijn aan het overdrachtspunt. Dit is in het onderste schema in Figuur 1 weergegeven voor de verbindingen MS kabel #1-2/#2-3/#3-4. De totale lengte van de rijgleiding tussen 1<sup>ste</sup> transformator (MS#1) en laatste transformator (MS#4) mag echter niet meer bedragen dan 2000 meter. Bij de invoer van kabelverbinding OP-MS dient dan gekozen te worden voor het kabeltype dat aangesloten wordt op het overdrachtspunt (inkoopstation) met een lengte van het inkoopstation tot het eerste transformatorstation (MS#1) plus de helft van de totale lengte van de rijgleiding van transformatorstation MS#1 t/m MS#4 (maximaal 1000 meter). De MS-TR kabel in dit geval op 0 meter instellen.

Indien het PV-/windturbinepark niet aan deze uitgangspunten voldoet, dient u een netberekeningspakket te gebruiken.



Figuur 1 Schematische weergave van de basisparken

## 4 BLADEN IN BLOS TOOL

### 4.1 Blad Invoer en resultaten

#### 4.1.1 Invoergegevens

In het "Invoer en resultaten" blad dienen de gegevens van het park te worden ingevoerd: omvormers/windturbine, laag- en middenspanningskabels en transformator. Het invoerveld is afgebeeld in . Er is een interne bibliotheek met kabels en transformatoren, waaruit gekozen kan worden. Daarnaast is het mogelijk om zelf middenspanningskabels (2 typen), laagspanningskabels (1 type) en transformator (1 type) met bijbehorende parameters toe te voegen. De wit gekleurde velden zijn bedoeld om zelf de bijbehorende gegevens in te voeren.

Het blok OP-MS kabels betreft de kabels van overdrachtspunt naar de centrale MS-parkinstallatie. Het blok MS-TR kabels betreft de kabels van de centrale MS-parkinstallatie naar de transformator(en). Als het overdrachtspunt zich op de centrale MS-parkinstallatie bevindt, dan een lengte van 0 meter voor de OP-MS kabels invullen, maar wel een (willekeurig) type kiezen.

Bij de transformator de nominale primaire en secundaire spanning invullen. Er is uitgegaan van een aftakschakelaar met 5 standen (resp. +2, +1, 0, -1, -2). De gekozen stand dient overeen te komen met de werkelijke stand in de installatie. Verstelling van stand geeft een verandering van 2,5% per stap in de primaire spanning en resulteert in een verschuiving van het Q-U venster. Dit kan nodig zijn om conformiteit te bereiken.

Bij ieder invoerveld is een noot opgenomen met korte toelichting. De tekst wordt zichtbaar bij het aanklikken van de cel.

Bijzonderheden:

- Bij omvormers waarden conform fabrikanteninformatie invullen. Bij maximale en minimale spanning rekening houden met instellingen beveiligingen tegen over- en onderspanning
- MS-TR kabels en LS-kabels naar transformatoren kunnen verschillende lengtes hebben. Uitgaan van de gemiddelde lengte van de kabels
- Indien er geen OP-MS kabel is, omdat overdrachtspunt op de centrale MS-installatie van het park is, waarop ook de transformatoren zijn aangesloten, dan voor OP-MS kabel wel een type kiezen maar lengte van 0 meter invullen
- Indien geen aftakschakelaar aanwezig is, dan stand 0 kiezen.

| Invoergegevens                                                  |                                                        |        |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------|
| Naam PGM                                                        | Demo park                                              |        |
| Type omvormers                                                  | Fabricaat/type                                         |        |
| Omvormers                                                       | Totaal aantal omvormers                                | 50     |
|                                                                 | Schijnbaar vermogen omvormer Snom (kVA)                | 250    |
|                                                                 | Werkzaam vermogen omvormer Pnom (kW)                   | 250    |
|                                                                 | Maximaal blindvermogen levering omvormer (kvar)        | 250    |
|                                                                 | Maximaal blindvermogen opname omvormer (kvar)          | -250   |
|                                                                 | Nominale spanning Unom (V)                             | 550    |
|                                                                 | Maximale stroom I max (A)                              | 262    |
|                                                                 | Maximale spanning Umax (V)                             | 630    |
|                                                                 | Minimale spanning Umin (V)                             | 480    |
|                                                                 | Maximale kortsluitstroom (A)                           | 270    |
| LS kabels<br>Omvormers naar transformatoren                     | aantal (driefasen)kabels parallel per transformator    | 10     |
|                                                                 | Lengte per kabel (km)                                  | 0.20   |
| MS trafos<br>Transformatoren                                    | Doorsnede geleider kabel (mm2)                         | 240 Al |
|                                                                 | aantal transformatoren                                 | 5      |
|                                                                 | Schijnbaar vermogen S (kVA)                            | 2500   |
|                                                                 | Nominale spanning primair Ums (kV)                     | 10.50  |
|                                                                 | Nominale spanning secundair Uts (kV)                   | 0.55   |
| MS TR kabel<br>Transformatoren naar MS verzamelstation          | Positie aftakschakelaar (0=nom. overzetverhouding)     | +1     |
|                                                                 | Aantal (driefasen)kabels parallel per transformator    | 1      |
|                                                                 | Lengte per kabel (km)                                  | 0.50   |
| OP-MS kabels<br>MS verzamelstation naar overdrachtspunt         | Doorsnede geleider kabel (mm2)                         | 95 Al  |
|                                                                 | Aantal (driefasen)kabels parallel naar overdrachtspunt | 1      |
|                                                                 | Lengte per kabel (km)                                  | 5.00   |
| NET                                                             | Doorsnede geleider kabel (mm2)                         | 800 Al |
|                                                                 | Toegekende netspanning Uc (kV):                        | 10.50  |
| BLOS Excel load flow tool Type B PGM revisie per 01-06-2024     |                                                        |        |
| Alleen voor eenvoudige basisparken/ only for simple basic parks |                                                        |        |

| Rechts kunnen 2 eigen typen MS-kabels ingevoerd worden | Ruimte voor 2 typen eigen MS kabels    |                     |                       |                       |                    |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|                                                        | Geleider (mm2)                         | Weerstand R (Ω/km)  | Reactantie X (Ω/km)   | Capaciteit C (µF/km)  | Belastbaarheid (A) |
|                                                        | 830test                                | 0.053               | 0.106                 | 0.470                 | 580                |
|                                                        | 95test                                 | 0.322               | 0.110                 | 0.230                 | 245                |
| Rechts kan 1 eigen type LS-kabel ingevoerd worden      | Ruimte voor 1 type eigen LS kabel      |                     |                       |                       |                    |
|                                                        | Geleider (mm2)                         | Weerstand R (Ω/km)  | Reactantie X (Ω/km)   | Capaciteit C (µF/km)  | Belastbaarheid (A) |
|                                                        | 95test                                 | 0.322               | 0.069                 | 0.230                 |                    |
| Rechts kan 1 eigen type transformator ingevoerd worden | Ruimte voor 1 type eigen Transformator |                     |                       |                       |                    |
|                                                        | Vermogen (kVA)                         | Nullastverlies (kW) | Kortsluitverlies (kW) | Kortsluitspanning (%) |                    |
|                                                        | 5200test                               | 4.00                | 42.50                 | 10.00                 |                    |

Figuur 2 Invoergegevens omvormer en network.

## 4.1.2 Resultaten loadflowberekeningen

Rechts in het blad "Invoer en resultaten" zijn de resultaten van de load flowberekening getoond, zie Figuur 3. Deze bevatten:

- de resultaten van de 13 loadflowcases uit het "Netbeheer Nederland RfG compliance verification Power generating modules type B, C and D, version 2.0", bladzijde 82
- Pmax case. Uitgangspunt hierbij is het maximale werkzame vermogen dat het PPM kan leveren bij 95% spanning en arbeidsfactor 1 op het overdrachtspunt.
- loadflowcases 0.4P/+Qm en 0.4Pm/-Qm die punt 3 en 4 van de PPM simulaties op bladzijde 79 representeren (30-50% Pmax, maximum lagging/leading). De punten 1, 2, 5, 6 uit deze tabel zijn met load flow cases 1 t/m 4 afgedekt.

Per case worden getoond:

- de berekende en doelwaarde in per unit op het overdrachtspunt van de spanning, werkzaam en blindvermogen
- de berekende waarde in per unit op de omvormerklemmen van schijnbaar, werkzaam en blindvermogen, spanning en stroom

De doelwaarden zijn blauwgekleurd. De berekende waarden zijn groengekleurd indien voldaan wordt aan de berekeningsuitgangspunten en de grenswaarden van de omvormer niet overschreden worden. **Indien niet voldaan wordt aan uitgangspunten of grenswaarden worden overschreden verandert de kleur van de betreffende cel in rood.** Er is dan niet voldaan aan de eisen. Er dient, afhankelijk van de afwijking, een aanpassing gedaan te worden in de invoergegevens. Let wel, die aanpassing kan gevolgen hebben voor het maximaal toelaatbare werkzame vermogen van de omvormer, de stand van de aftakschakelaar van de transformator, of verzwaring van kabels of transformator.

In het onderste gedeelte zijn de berekende waarden van de vermogens op overdrachtspunt en totaal van de omvormers in MW en Mvar getoond. Daaronder een indicatie van de belastingsgraad van de kabels en transformator. Indien de belasting hoger is dan 100% (1 per unit) kleurt de cel oranje. Dit is alleen ter informatie en geldt niet als overschrijding van een toetsingscriterium.

| Load Flow Case NBNL CVD                                 | Pmax  | 1     | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 0.4Pm/+Qm | 0.4Pm/-Qm |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| Evaluatie resultaten en criteria load flow cases        |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |
| Netspanning (p.u.)                                      | 0.95  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.10  | 1.10  | 1.05  | 0.95  | 0.95  | 0.90  | 0.90  | 0.85  | 1.00      | 1.00      |
| Netspanning doelwaarde NBNL CVD (p.u.)                  | 0.95  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.10  | 1.10  | 1.05  | 0.95  | 0.95  | 0.90  | 0.90  | 0.85  | 1.00      | 1.00      |
| Werkzaam vermogen overdrachtspunt (P/Pmax)              | 1.00  | 1.00  | 0.93  | 0.20  | 0.20 | -0.02 | 1.00  | 1.02  | 0.94  | 0.92  | 0.94  | 0.93  | 0.95  | 0.88  | 0.40      | 0.40      |
| Werkzaam vermogen doelwaarde NBNL CVD (p.u.)            | 1.00  | ≥0.93 | ≥0.93 | 0.20  | 0.20 | 0.00  | ≥0.93 | 1.00  | ≥0.93 | ≥0.93 | ≥0.93 | none  | none  | ≥0.80 | ≥0.93     | ≥0.93     |
| Blindvermogen overdrachtspunt (Q/Pmax)                  | 0.00  | -0.33 | 0.33  | -0.33 | 0.33 | 0.00  | -0.33 | 0.00  | 0.33  | 0.33  | -0.33 | 0.20  | 0.00  | 0.19  | 0.33      | -0.33     |
| Blindvermogen doelwaarde NBNL CVD (p.u.)                | 0.00  | -0.33 | 0.33  | -0.33 | 0.33 | 0.00  | -0.33 | 0.00  | 0.33  | 0.33  | -0.33 | ≥0.20 | 0.00  | geen  | 0.33      | -0.33     |
| Schijnbaar vermogen omvormer (p.u.)                     | 0.99  | 1.00  | 1.00  | 0.35  | 0.37 | 0.01  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.95  | 0.97  | 0.95  | 0.92  | 0.50      | 0.48      |
| Werkzaam vermogen omvormer (p.u.)                       | 0.99  | 0.98  | 0.91  | 0.19  | 0.19 | 0.00  | 0.98  | 1.00  | 0.92  | 0.91  | 0.93  | 0.92  | 0.94  | 0.87  | 0.39      | 0.39      |
| Blindvermogen omvormer (p.u.)                           | 0.12  | 0.18  | 0.41  | 0.29  | 0.31 | 0.01  | 0.21  | 0.09  | 0.40  | 0.42  | 0.18  | 0.31  | 0.12  | 0.30  | 0.33      | 0.28      |
| Klempanning omvormer (p.u.)                             | 1.00  | 1.00  | 1.07  | 0.95  | 1.03 | 0.97  | 1.10  | 1.13  | 1.12  | 1.03  | 0.95  | 0.97  | 0.95  | 0.92  | 1.04      | 0.96      |
| Stroom omvormer(p.u.)                                   | 1.00  | 1.00  | 0.93  | 0.37  | 0.36 | 0.01  | 0.91  | 0.88  | 0.90  | 0.97  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.49      | 0.50      |
| Belangrijke parameters load flow cases                  |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |
| Werkzaam vermogen overdrachtspunt (MW)                  | 11.50 | 11.44 | 10.67 | 2.29  | 2.30 | -0.02 | 11.52 | 11.77 | 10.78 | 10.55 | 10.81 | 10.66 | 10.89 | 10.08 | 4.60      | 4.60      |
| Blindvermogen overdrachtspunt(Mvar)                     | 0.00  | -3.79 | 3.79  | -3.80 | 3.79 | 0.00  | -3.79 | 0.00  | 3.79  | 3.79  | -3.80 | 2.30  | 0.00  | 2.17  | 3.79      | -3.80     |
| Werkzaam vermogen omvormers totaal (MW)                 | 12.34 | 12.29 | 11.41 | 2.43  | 2.43 | 0.00  | 12.23 | 12.45 | 11.47 | 11.36 | 11.65 | 11.51 | 11.74 | 10.92 | 4.82      | 4.82      |
| Blindvermogen omvormers totaal (Mvar)                   | 1.52  | -2.29 | 5.09  | -3.67 | 3.90 | -0.10 | -2.57 | 1.14  | 4.97  | 5.22  | -2.28 | 3.83  | 1.53  | 3.71  | 4.07      | -3.50     |
| Belasting kabel naar overdrachtspunt (p.u.)             | 1.14  | 1.14  | 1.07  | 0.43  | 0.41 | 0.01  | 1.05  | 1.01  | 1.03  | 1.11  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.15  | 0.56      | 0.57      |
| Belasting MS kabel transformator (p.u.)                 | 0.58  | 0.58  | 0.54  | 0.22  | 0.21 | 0.00  | 0.53  | 0.51  | 0.52  | 0.56  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.28      | 0.29      |
| Belasting transformator (p.u.)                          | 1.00  | 1.00  | 0.93  | 0.37  | 0.36 | 0.01  | 0.91  | 0.88  | 0.90  | 0.97  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.49      | 0.50      |
| Belasting LS kabel omvormer (p.u.)                      | 0.55  | 0.55  | 0.52  | 0.21  | 0.20 | 0.00  | 0.51  | 0.49  | 0.50  | 0.54  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.27      | 0.28      |
| Kleurcodering                                           |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |
| Geen overschrijding van de grenzen van de omvormers     |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |
| Bedrijfspunt boven grenswaarde van de omvormer          |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |
| Overschrijding van de grenzen transformatoren of kabels |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |           |           |

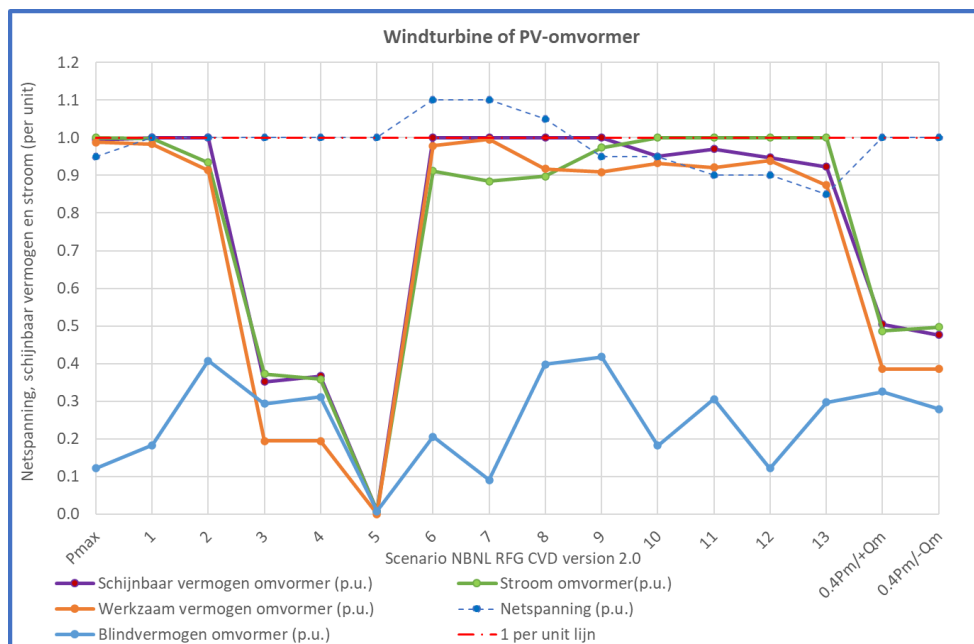
Figuur 3 Resultaten loadflowberekeningen.

## 4.2 Blad Criteria vensters

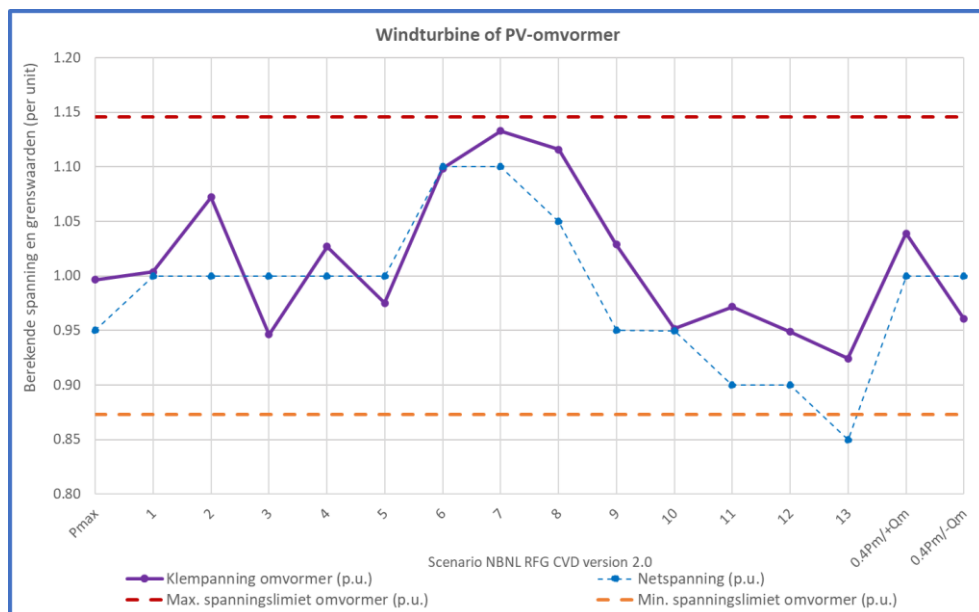
Het blad "Criteria vensters" bevat naast de tabel met berekeningsresultaten (zie 4.1.2) ook een grafische presentatie van de resultaten.

Figuur 6 Figuur 6 Berekende Q-U en Q-P vensterslaat in een oogopslag zien of de maximale waarden voor schijnbaar, werkzaam en blindvermogen en stroom van de windturbine of PV-omvormer is overschreden (groter dan 1.0 per unit).

In Figuur 8 is eenvoudig te constateren of de berekende spanningen op de klemmen van de windturbine of PV-omvormer binnen de toelaatbare grenswaarden blijven.



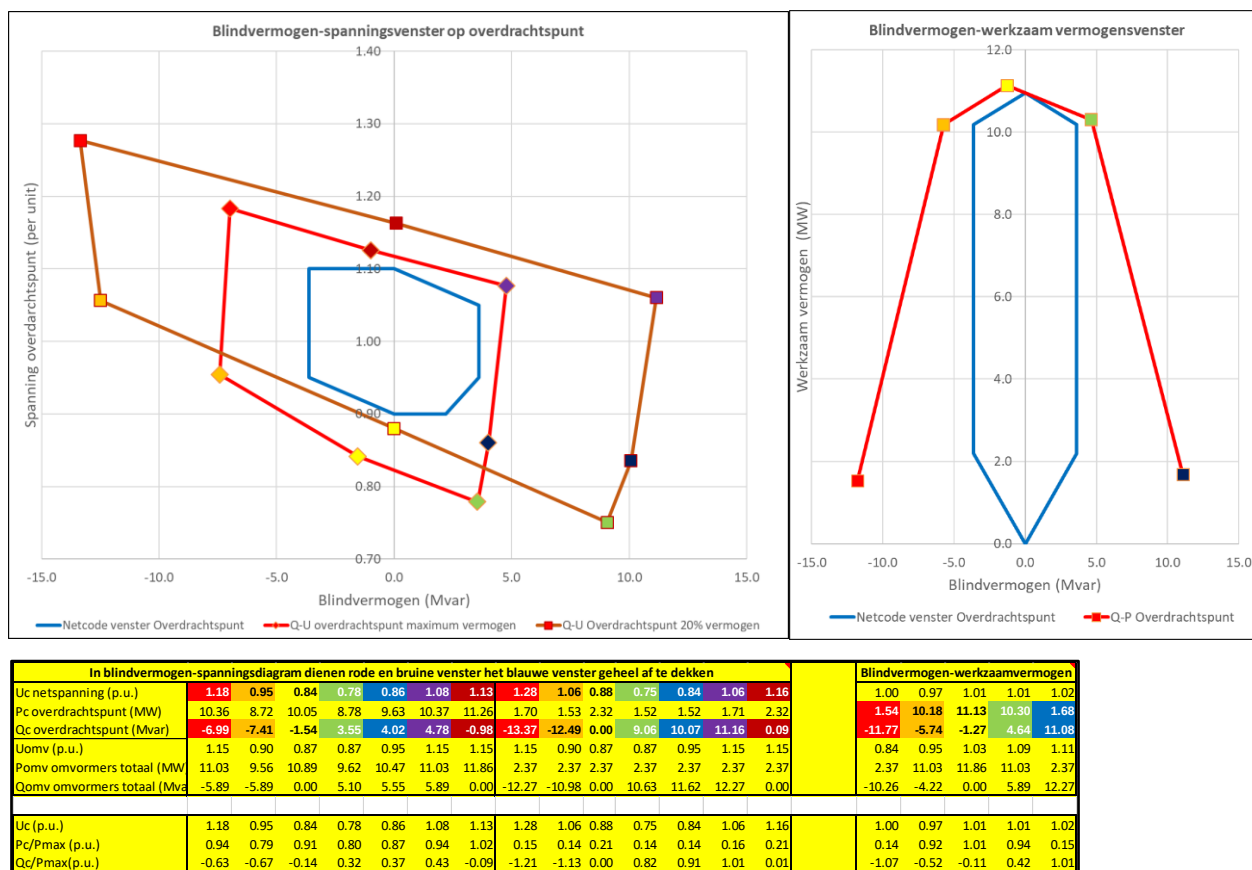
Figuur 4 Netspanning en berekende vermogens en stroom windturbine of PV-omvormer



Figuur 5 Berekende en grenswaarde spanning windturbine of PV-omvormer klemmen

### 4.3 Blad Q-U en Q-P vensters

In het blad "Q-U en Q-P vensters" is het blindvermogensbereik van de PPM op het overdrachtpunt getoond ter indicatie, zie Figuur 6. Het blauwe venster komt overeen met de minimale eisen van de netcode. Het rode en bruine venster zijn berekende waarden van het park op het overdrachtpunt, op basis van de ingevoerde gegevens, bij maximaal resp. 20% van het maximale werkzame vermogen van het park. Het rode en bruine venster in het blindvermogen-spanningsvenster dienen het blauwe venster geheel af te dekken. Zo niet dan wordt niet voldaan aan de eisen van de netcode.



Figuur 6 Berekende Q-U en Q-P vensters

## 4.4 Blad LF-model CVD 2.0 cases

Dit blad bevat de berekeningen en – formules van de 15 loadflowcases conform NBNL RFG CVD 2.0 en Pmax case. Uitgegaan wordt van de spanning op het overdrachtpunt en de eisen aan werkzaam en blindvermogen op het overdrachtpunt. Berekend worden spanningen, stromen en vermogens voor omvormers, kabels en transformator. Ook zijn de vermogensverliezen in kabels en transformator berekend. Omdat uitgegaan wordt van de windturbine of PV-omvormer als bron zijn per loadflowcase zijn en aantal iteraties noodzakelijk om de vereiste spanningen en vermogens op het overdrachtpunt te berekenen. De laatste kolom per case is het eindresultaat van die case en deze is verwerkt in de resultaten in het “Invoer en resultaten” en “Criteria vensters” blad.

Een voorbeeld van de presentatie van de rekenresultaten is weergegeven in Figuur 7. De belangrijkste uitkomsten van de berekeningen in de kolommen L t/m AC in blad "LF-model Q-U en Q-P vensters" worden automatisch voorzien van een celkleur. De betekenis daarvan staat toegelicht onder de tabel. Bij een oranje kleur ligt het bedrijfspunt van de omvormers precies op de grens of is de begrenzing actief. Voor kabels en transformator is een oranje kleur een indicatie voor mogelijke overbelasting. Als een cel roodgekleurd is dient een aanpassing plaats te vinden door bijvoorbeeld meer omvormers, kabels of transformatoren te installeren, het maximale werkzame vermogen per omvormer te verlagen, de aftakschakelaar te verstellen.

Het 1<sup>ste</sup> blok, met indices “c” betreft de berekende waarden op het overdrachtpunt.

Het 2<sup>de</sup> blok, met indices “ms-op” betreft de kW en kvar verliezen in de kabels van overdrachtpunt naar de MS-parkinstallatie. Tevens is de relatieve belasting van de kabels vermeld. Op de MS-parkinstallatie zijn de transformatoren via MS-TR kabels aangesloten (3<sup>de</sup> blok, indices ms-tr). Hiervan zijn eveneens de kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de kabels berekend. De kvar verliezen kunnen negatief zijn: in dat geval wekt de MS-kabel méér blindvermogen op dan wordt verbruikt.

Het 4<sup>de</sup> blok, met indices “tr”, betreft kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de transformatoren. De relatieve spanning op MS resp. LS-zijde van de transformatoren staat in de regel boven (Ums), resp. onder (Uls) dit blok.

Het 5<sup>de</sup> blok, met indices “ls”, betreft kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de kabels tussen transformatoren en omvormers/windturbines.

Het 6<sup>de</sup> en 7<sup>de</sup> blok, met indices “omv”, betreffen het opgewekte werkzame, blind- en schijnbare vermogens van alle omvormers/windturbines samen resp. van de individuele omvormer/windturbine. Daaronder zijn de absolute (Uomv (V)) en relatieve (Uomv (p.u.)) spanning en de relatieve stroom (Iomv (p.u.)) van de omvormer/windturbine vermeld.

| Resultaten loadflow                  |       | 9     | 9     | 11    | 11    | 11    | 11    | 10    | 10    | 12    | 12    | 6     | 7     | 7     | 8     | 8     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Uc netspanning (p.u.)                | 0.871 | 0.949 | 0.951 | 0.950 | 0.906 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.988 | 0.917 | 0.944 | 0.949 | 0.850 | 0.902 | 0.900 | 1.000 |
| Pc overdrachtpunt (MW)               | 10.86 | 10.50 | 10.55 | 10.55 | 10.72 | 10.66 | 10.66 | 10.66 | 9.80  | 10.22 | 10.72 | 10.81 | 10.28 | 10.92 | 10.89 | 10.89 |
| Qc overdrachtpunt (p.u.)             | 0.21  | 0.34  | 0.33  | 0.33  | 0.21  | 0.20  | 0.20  | 0.20  | -0.59 | -0.36 | -0.33 | -0.33 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Qc overdrachtpunt (Mvar)             | 2.41  | 3.90  | 3.81  | 3.79  | 2.40  | 2.31  | 2.30  | 2.30  | -3.84 | -4.19 | -3.84 | -3.80 | -0.02 | 0.01  | 0.00  | 0.00  |
| Sc overdrachtpunt (MVA)              | 11.13 | 11.20 | 11.21 | 11.21 | 10.98 | 10.91 | 10.91 | 10.91 | 11.89 | 11.05 | 11.39 | 11.46 | 10.28 | 10.92 | 10.89 | 10.89 |
| Ic overdrachtpunt (A)                | 702   | 649   | 648   | 648   | 666   | 666   | 666   | 666   | 662   | 663   | 663   | 663   | 664   | 666   | 665   | 665   |
| Pms-op (kW)                          | 389.7 | 331.8 | 331.4 | 331.9 | 350.5 | 350.6 | 350.6 | 350.6 | 301.1 | 349.6 | 350.2 | 350.3 | 350.8 | 350.6 | 350.6 | 350.6 |
| Qms-op (kVar)                        | 711.0 | 582.7 | 581.6 | 582.8 | 627.6 | 628.7 | 628.8 | 628.8 | 621.9 | 629.7 | 626.2 | 625.4 | 638.3 | 630.1 | 630.4 | 630.4 |
| Ims-op kabelstroom (p.u.)            | 1.21  | 1.11  | 1.11  | 1.11  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.15  | 1.14  | 1.14  | 1.04  | 1.04  | 1.05  | 1.05  |
| Pms-tr (kW)                          | 61.1  | 51.9  | 51.8  | 51.9  | 54.9  | 54.9  | 54.9  | 54.9  | 54.7  | 54.7  | 54.8  | 54.8  | 55.0  | 54.9  | 54.9  | 54.9  |
| Qms-tr (kVar)                        | 9.2   | -0.9  | -1.0  | -0.9  | 1.9   | 2.1   | 2.1   | 2.2   | 0.7   | 2.8   | 1.7   | 1.5   | 4.3   | 2.5   | 2.5   | 2.5   |
| Ims-tr kabelstroom (p.u.)            | 0.61  | 0.56  | 0.56  | 0.56  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.53  | 0.53  | 0.53  |
| Ums (p.u.)                           | 0.917 | 0.998 | 0.999 | 0.998 | 0.950 | 0.944 | 0.943 | 0.943 | 0.982 | 0.925 | 0.955 | 0.961 | 0.882 | 0.934 | 0.932 | 0.932 |
| Uls (p.u.)                           | 0.920 | 1.001 | 1.001 | 1.000 | 0.950 | 0.943 | 0.943 | 0.943 | 1.081 | 1.080 | 1.078 | 1.077 | 1.124 | 1.111 | 1.109 | 1.109 |
| Pis (kW)                             | 966.9 | 312.9 | 312.4 | 312.9 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 272.6 | 272.9 | 274.2 | 274.4 |
| Qis (kVar)                           | 164.8 | 140.5 | 140.4 | 140.6 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 122.4 | 122.6 | 123.2 | 123.3 |
| Ils-kabelstroom (p.u.)               | 0.58  | 0.54  | 0.54  | 0.54  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.50  | 0.51  | 0.48  | 0.49  |
| Pomv omvormers totaal (MW)           | 11.80 | 11.31 | 11.35 | 11.36 | 11.57 | 11.51 | 11.51 | 11.51 | 11.65 | 11.12 | 11.76 | 11.74 | 11.73 | 12.29 | 12.24 | 12.23 |
| Qomv omvormers totaal (Mvar)         | 4.13  | 5.33  | 5.24  | 5.22  | 3.92  | 3.84  | 3.83  | 3.83  | 3.83  | -0.64 | -1.07 | -1.32 | -2.28 | -1.52 | -1.54 | -1.53 |
| Somv omvormers totaal (MVA)          | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.21 | 12.13 | 12.13 | 12.13 | 11.86 | 11.38 | 11.80 | 11.87 | 11.23 | 11.86 | 11.84 | 11.84 |
| Pomv omvormer (kW)                   | 236   | 226   | 227   | 227   | 231   | 230   | 230   | 230   | 231   | 221   | 231   | 231   | 223   | 225   | 235   | 235   |
| Qomv omvormer (kVar)                 | 83    | 107   | 105   | 104   | 78    | 77    | 77    | 77    | -104  | -53   | -46   | -46   | 30    | 31    | 31    | 31    |
| Somv omvormer (kVA)                  | 250   | 250   | 250   | 250   | 244   | 243   | 243   | 243   | 237   | 228   | 236   | 237   | 225   | 237   | 237   | 237   |
| Uomv (V)                             | 523   | 566   | 566   | 566   | 538   | 535   | 535   | 535   | 534   | 523   | 502   | 520   | 523   | 495   | 523   | 522   |
| Uomv (p.u.)                          | 0.950 | 1.029 | 1.030 | 1.029 | 0.979 | 0.972 | 0.972 | 0.972 | 0.950 | 0.912 | 0.945 | 0.951 | 0.900 | 0.950 | 0.949 | 0.949 |
| Iomv (p.u.)                          | 1.05  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.91  | 0.91  | 0.91  | 0.91  |
| Kortsluitbijdrage overdrachtpunt (A) | 690   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

| Resultaten loadflow          | 13    |       |       | 13    | 1     |       |       | 1     | 2     |       |       | 2     | 3     |       |       | 3     | 4     |       |       | 4     | 5     |       |       | 5     |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Uc netspanning (p.u.)        | 0.848 | 0.850 | 0.850 | 0.850 | 0.998 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.006 | 1.001 | 1.000 | 1.000 | 1.040 | 1.016 | 1.001 | 1.000 | 1.049 | 0.996 | 1.000 | 1.000 | 1.052 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Pc overdrachtspunt (MW)      | 10.05 | 10.08 | 10.07 | 10.08 | 11.45 | 11.45 | 11.44 | 11.44 | 10.58 | 10.68 | 10.67 | 10.67 | 2.42  | 2.26  | 2.29  | 2.30  | 2.38  | 2.30  | 2.30  | 2.30  | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 |
| Qc overdrachtspunt (p.u.)    | 0.19  | 0.19  | 0.19  | 0.19  | -0.33 | -0.33 | -0.33 | -0.33 | 0.35  | 0.33  | 0.33  | 0.33  | -0.20 | -0.32 | -0.33 | -0.33 | 0.33  | 0.33  | 0.33  | 0.33  | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Qc overdrachtspunt (Mvar)    | 2.17  | 2.17  | 2.17  | 2.17  | -3.77 | -3.78 | -3.79 | -3.79 | 4.02  | 3.78  | 3.79  | 3.79  | -2.30 | -3.69 | -3.80 | -3.80 | 3.84  | 3.78  | 3.79  | 3.79  | 0.11  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Sc overdrachtspunt (MVA)     | 10.28 | 10.31 | 10.31 | 10.31 | 12.05 | 12.06 | 12.06 | 12.06 | 11.32 | 11.33 | 11.32 | 11.32 | 3.34  | 4.33  | 4.44  | 4.44  | 4.52  | 4.42  | 4.43  | 4.44  | 0.11  | 0.02  | 0.02  | 0.02  |
| Ic overdrachtspunt (A)       | 667   | 667   | 667   | 667   | 664   | 663   | 663   | 663   | 619   | 622   | 623   | 623   | 176   | 234   | 244   | 244   | 237   | 244   | 244   | 244   | 6     | 1     | 1     | 1     |
| Pms-op (kW)                  | 351.2 | 351.2 | 351.2 | 351.2 | 350.4 | 349.3 | 349.5 | 349.5 | 301.6 | 305.0 | 305.6 | 305.4 | 25.6  | 45.0  | 48.6  | 48.8  | 42.9  | 45.6  | 45.6  | 45.7  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Qms-op (kVar)                | 637.9 | 637.5 | 637.5 | 637.5 | 617.7 | 615.0 | 615.4 | 615.6 | 513.2 | 520.7 | 522.1 | 521.8 | -36.1 | 8.0   | 17.8  | 18.2  | -7.8  | 6.5   | 5.8   | 5.9   | -90.1 | -81.3 | -81.3 | -81.3 |
| Ims-op kabelstroom (p.u.)    | 1.15  | 1.15  | 1.15  | 1.15  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.06  | 1.07  | 1.07  | 1.07  | 0.31  | 0.41  | 0.43  | 0.43  | 0.40  | 0.41  | 0.41  | 0.41  | 0.00  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Pms-tr (kW)                  | 55.0  | 55.0  | 55.0  | 55.0  | 54.8  | 54.6  | 54.7  | 54.7  | 47.1  | 47.6  | 47.7  | 47.7  | 4.0   | 7.0   | 7.6   | 7.6   | 6.6   | 7.0   | 7.0   | 7.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Qms-tr (kVar)                | 4.0   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | -0.4  | -0.5  | -0.5  | -0.5  | -4.7  | -4.3  | -4.2  | -4.2  | -19.0 | -16.7 | -16.0 | -15.9 | -19.6 | -17.4 | -17.5 | -17.5 | -21.1 | -19.0 | -19.0 | -19.0 |
| Ims-tr kabelstroom (p.u.)    | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.54  | 0.54  | 0.54  | 0.54  | 0.16  | 0.21  | 0.22  | 0.22  | 0.20  | 0.21  | 0.21  | 0.21  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Ums (p.u.)                   | 0.891 | 0.893 | 0.893 | 0.893 | 1.011 | 1.013 | 1.013 | 1.013 | 1.053 | 1.047 | 1.046 | 1.046 | 1.036 | 1.004 | 0.989 | 0.987 | 1.073 | 1.021 | 1.025 | 1.024 | 1.053 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Ptr (kW)                     | 109.4 | 109.4 | 109.4 | 109.4 | 112.7 | 112.5 | 112.5 | 112.5 | 103.3 | 103.9 | 104.0 | 104.0 | 28.3  | 31.7  | 32.0  | 32.0  | 35.5  | 34.0  | 34.1  | 34.1  | 22.7  | 20.4  | 20.4  | 20.4  |
| Qtr (kVar)                   | 747.5 | 747.5 | 747.5 | 747.5 | 746.9 | 744.3 | 744.7 | 744.9 | 644.6 | 651.6 | 652.8 | 652.5 | 54.7  | 95.9  | 103.7 | 103.9 | 90.3  | 96.0  | 95.9  | 96.0  | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1   |
| Itrransformer (p.u.)         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.27  | 0.36  | 0.37  | 0.37  | 0.35  | 0.36  | 0.36  | 0.36  | 0.00  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| Uls (p.u.)                   | 0.893 | 0.896 | 0.895 | 0.895 | 0.978 | 0.980 | 0.980 | 0.980 | 1.052 | 1.046 | 1.045 | 1.045 | 1.000 | 0.962 | 0.946 | 0.945 | 1.064 | 1.015 | 1.018 | 1.018 | 1.027 | 0.975 | 0.975 | 0.975 |
| Pls (kW)                     | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 329.7 | 328.6 | 328.8 | 328.8 | 284.6 | 287.7 | 288.3 | 288.1 | 24.2  | 42.3  | 45.8  | 45.9  | 39.9  | 42.4  | 42.3  | 42.4  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Qls (kVar)                   | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.1 | 147.6 | 147.7 | 147.7 | 127.8 | 129.2 | 129.5 | 129.4 | 10.9  | 19.0  | 20.6  | 20.6  | 17.9  | 19.0  | 19.0  | 19.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Ils-kabelstroom (p.u.)       | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.51  | 0.52  | 0.52  | 0.52  | 0.15  | 0.20  | 0.21  | 0.21  | 0.19  | 0.20  | 0.20  | 0.20  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Pomv omvormers totaal (MW)   | 10.89 | 10.92 | 10.92 | 10.92 | 12.29 | 12.29 | 12.29 | 12.29 | 11.32 | 11.42 | 11.42 | 11.41 | 2.50  | 2.38  | 2.43  | 2.43  | 2.50  | 2.42  | 2.43  | 2.43  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Qomv omvormers totaal (Mvar) | 3.71  | 3.71  | 3.71  | 3.71  | -2.26 | -2.28 | -2.29 | -2.29 | 5.30  | 5.07  | 5.09  | 5.09  | -2.29 | -3.59 | -3.67 | -3.67 | 3.92  | 3.88  | 3.90  | 3.90  | 0.00  | -0.10 | -0.10 | -0.10 |
| Somv omvormers totaal (MVA)  | 11.51 | 11.54 | 11.53 | 11.53 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 3.39  | 4.31  | 4.40  | 4.40  | 4.65  | 4.58  | 4.59  | 4.59  | 0.00  | 0.10  | 0.10  | 0.10  |
| Pomv omvormer (kW)           | 218   | 218   | 218   | 218   | 246   | 246   | 246   | 246   | 226   | 228   | 228   | 228   | 50    | 48    | 49    | 49    | 50    | 48    | 49    | 49    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Qomv omvormer (kVar)         | 74    | 74    | 74    | 74    | -45   | -46   | -46   | -46   | 106   | 101   | 102   | 102   | -46   | -72   | -73   | -73   | 78    | 78    | 78    | 78    | 0     | -2    | -2    | -2    |
| Somv omvormer (kVA)          | 230   | 231   | 231   | 231   | 250   | 250   | 250   | 250   | 250   | 250   | 250   | 250   | 68    | 86    | 88    | 88    | 93    | 92    | 92    | 92    | 0     | 2     | 2     | 2     |
| Uomv (V)                     | 507   | 508   | 508   | 508   | 551   | 552   | 552   | 552   | 593   | 590   | 590   | 590   | 552   | 530   | 521   | 520   | 590   | 563   | 565   | 565   | 565   | 536   | 536   | 536   |
| Uomv (p.u.)                  | 0.922 | 0.924 | 0.924 | 0.924 | 1.002 | 1.004 | 1.004 | 1.004 | 1.079 | 1.073 | 1.072 | 1.072 | 1.004 | 0.964 | 0.948 | 0.946 | 1.072 | 1.023 | 1.027 | 1.027 | 1.027 | 0.975 | 0.975 | 0.975 |
| Iomv (p.u.)                  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.27  | 0.36  | 0.37  | 0.37  | 0.35  | 0.36  | 0.36  | 0.36  | 0.00  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |

| Resultaten loadflow          | Pmax  |       |       | Pmax  | 40%Pmax/+Qmax |  |  | 40%Pmax/+Qmax | 40%Pmax/-Qmax |  |  | 40%Pmax/-Qmax |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|--|--|---------------|---------------|--|--|---------------|
| Uc netspanning (p.u.)        | 0.899 | 0.954 | 0.950 | 0.950 | 0.988         |  |  | 1.000         | 0.974         |  |  | 1.001         |
| Pc overdrachtspunt (MW)      | 10.89 | 11.54 | 11.50 | 11.50 | 4.64          |  |  | 4.60          | 4.67          |  |  | 4.59          |
| Qc overdrachtspunt (p.u.)    | 0.02  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.31          |  |  | 0.33          | -0.24         |  |  | -0.33         |
| Qc overdrachtspunt (Mvar)    | 0.18  | 0.03  | 0.00  | 0.00  | 3.62          |  |  | 3.79          | -2.78         |  |  | -3.80         |
| Sc overdrachtspunt (MVA)     | 10.89 | 11.54 | 11.50 | 11.50 | 5.88          |  |  | 5.96          | 5.44          |  |  | 5.96          |
| Ic overdrachtspunt (A)       | 666   | 665   | 665   | 665   | 327           |  |  | 328           | 307           |  |  | 327           |
| Pms-op (kW)                  | 350.6 | 350.4 | 350.4 | 350.4 | 83.4          |  |  | 83.5          | 75.8          |  |  | 86.4          |
| Qms-op (kVar)                | 630.4 | 621.7 | 622.3 | 622.4 | 82.5          |  |  | 80.7          | 74.5          |  |  | 92.3          |
| Ims-op kabelstroom (p.u.)    | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 1.14  | 0.56          |  |  | 0.56          | 0.53          |  |  | 0.57          |
| Pms-tr (kW)                  | 54.9  | 54.9  | 54.9  | 54.9  | 12.9          |  |  | 13.0          | 11.8          |  |  | 13.5          |
| Qms-tr (kVar)                | 2.5   | 0.6   | 0.7   | 0.7   | -15.2         |  |  | -15.7         | -13.9         |  |  | -14.2         |
| Ims-tr kabelstroom (p.u.)    | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.28          |  |  | 0.28          | 0.27          |  |  | 0.29          |
| Ums (p.u.)                   | 0.933 | 0.986 | 0.983 | 0.982 | 1.018         |  |  | 1.030         | 0.973         |  |  | 0.995         |
| Ptr (kW)                     | 110.5 | 112.6 | 112.4 | 112.4 | 43.8          |  |  | 44.4          | 38.8          |  |  | 42.3          |
| Qtr (kVar)                   | 747.6 | 747.6 | 747.6 | 747.6 | 176.5         |  |  | 176.8         | 161.3         |  |  | 183.9         |
| Itrransformer (p.u.)         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.49          |  |  | 0.49          | 0.46          |  |  | 0.50          |
| Uls (p.u.)                   | 0.922 | 0.973 | 0.969 | 0.969 | 1.013         |  |  | 1.025         | 0.938         |  |  | 0.954         |
| Pls (kW)                     | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 77.9          |  |  | 78.1          | 71.2          |  |  | 81.2          |
| Qls (kVar)                   | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 35.0          |  |  | 35.1          | 32.0          |  |  | 36.5          |
| Ils-kabelstroom (p.u.)       | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.27          |  |  | 0.27          | 0.26          |  |  | 0.27          |
| Pomv omvormers totaal (MW)   | 11.73 | 12.39 | 12.35 | 12.34 | 4.86          |  |  | 4.82          | 4.87          |  |  | 4.81          |
| Qomv omvormers totaal (Mvar) | 1.71  | 1.54  | 1.52  | 1.52  | 3.90          |  |  | 4.07          | -2.53         |  |  | -3.50         |
| Somv omvormers totaal (MVA)  | 11.86 | 12.49 | 12.44 | 12.44 | 6.23          |  |  | 6.30          | 5.48          |  |  | 5.95          |
| Pomv omvormer (kW)           | 235   | 248   | 247   | 247   | 97            |  |  | 96            | 97            |  |  | 96            |
| Qomv omvormer (kVar)         | 34    | 31    | 30    | 30    | 78            |  |  | 81            | -51           |  |  | -70           |
| Somv omvormer (kVA)          | 237   | 250   | 249   | 249   | 125           |  |  | 126           | 110           |  |  | 119           |
| Uomv (V)                     | 523   | 550   | 548   | 548   | 565           |  |  | 571           | 571           |  |  | 529           |
| Uomv (p.u.)                  | 0.950 | 1.001 | 0.997 | 0.997 | 1.027         |  |  | 1.039         | 0.946         |  |  | 0.962         |
| Iomv (p.u.)                  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.49          |  |  | 0.49          | 0.48          |  |  | 0.50          |

|               |  |                                                                                                                 |
|---------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kleurcodering |  | Geen overschrijding van de grenzen van de omvormers, transformatoren of kabels                                  |
|               |  | Bedrijfspunt op nominale of grenswaarde van de omvormer of overschrijding belastbaarheid transformator of kabel |
|               |  | Overschrijding van de grenzen van de omvormers                                                                  |
|               |  | Berekend blindvermogen, werkzaam vermogen en relatieve spanning op het overdrachtpunt                           |

Figuur 7 Berekeningen loadflowcases NBNL CVD 2.0 en Pmax



## 4.5 Blad LF-model Q-U en Q-P vensters

Dit blad bevat de berekeningen en – formules. Uitgaande van de grenzen van de windturbine of PV-omvormers worden spanningen, stromen en vermogens berekend voor omvormers, kabels en transformatoren. Een voorbeeld van de presentatie van de rekenresultaten is weergegeven in Figuur 8. De belangrijkste uitkomsten van de berekeningen in de kolommen L t/m AC in blad "LF-model Q-U en Q-P vensters" worden automatisch voorzien van een celkleur. De betekenis daarvan staat toegelicht onder de tabel. Bij een oranje kleur ligt het bedrijfspunt van de omvormers precies op de grens of is de begrenzing actief. Voor kabels en transformator is een oranje kleur een indicatie voor mogelijke overbelasting. Als een cel roodgekleurd is, dan is er sprake van een overbelasting van de omvormers. In dat geval dient de betreffende component aangepast te worden door meer omvormers, kabels of transformatoren te installeren of er dient een onderbouwde verklaring gegeven te worden waarom de berekende overbelasting niet problematisch zal zijn. De berekeningen zijn gebaseerd op interpretatie van de eisen in Netcode.

Het 1<sup>ste</sup> blok, met indices "c" betreft de berekende waarden op het overdrachtspunt.

Het 2<sup>de</sup> blok, met indices "ms-op" betreft de kW en kvar verliezen in de kabels van overdrachtspunt naar de MS-parkinstallatie. Tevens is de relatieve belasting van de kabels vermeld. Op de MS-parkinstallatie zijn de transformatoren via MS-TR kabels aangesloten (3<sup>de</sup> blok, indices ms-tr). Hiervan zijn eveneens de kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de kabels berekend. De kvar verliezen kunnen negatief zijn: in dat geval wekt de MS-kabel méér blindvermogen op dan wordt verbruikt.

Het 4<sup>de</sup> blok, met indices "tr", betreft kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de transformatoren. De relatieve spanning op MS resp. LS-zijde van de transformatoren staat in de regel boven (Ums), resp. onder (Uls) dit blok.

Het 5<sup>de</sup> blok, met indices "ls", betreft kW en kvar verliezen en de relatieve belasting van de kabels tussen transformatoren en omvormers/windturbines.

Het 6<sup>de</sup> en 7<sup>de</sup> blok, met indices "omv", betreffen het opgewekte werkzame, blind- en schijnbare vermogens van alle omvormers/windturbines samen resp. van de individuele omvormer/windturbine. Daaronder zijn de absolute (Uomv (V)) en relatieve (Uomv (p.u.) spanning en de relatieve stroom (Iomv (p.u.)) van de omvormer/windturbine vermeld.

Als laatste de berekende bijdrage aan de kortsluitstroom op het overdrachtspunt. Deze is bepaald door de opgegeven maximale kortsluitstroom van de gezamenlijke omvormers/windturbines aan laagspanningszijde te delen door de overzetverhouding van de transformatoren.

De berekeningen zijn ook uitgevoerd voor een situatie waarbij 20% van het maximaal werkzaam vermogen wordt opgewekt. Deze resultaten worden ook in de BLOS tool gepresenteerd. Een voorbeeld van deze rapportage is in Figuur 8 afgebeeld.

| Resultaten loadflow                   | Load flow bij maximaal werkzaam vermogen |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Uc netspanning (p.u.)                 | 0.919                                    | 1.183 | 0.954 | 0.841 | 0.779 | 0.860 | 1.077 | 1.126 | 1.183 | 0.970 | 1.005 | 1.014 |
| Pc overdrachtspunt (MW)               | 11.01                                    | 10.36 | 8.72  | 10.05 | 8.78  | 9.63  | 10.37 | 11.26 | 10.36 | 10.18 | 11.13 | 10.30 |
| Pc overdrachtspunt (p.u.)             | 1.00                                     | 0.94  | 0.79  | 0.91  | 0.80  | 0.87  | 0.94  | 1.02  | 0.94  | 0.92  | 1.01  | 0.94  |
| Qc overdrachtspunt (p.u.)             | -0.14                                    | -0.63 | -0.67 | -0.14 | 0.32  | 0.37  | 0.43  | -0.09 | -0.63 | -0.52 | -0.11 | 0.42  |
| Qc overdrachtspunt (Mvar)             | -1.53                                    | -6.99 | -7.41 | -1.54 | 3.55  | 4.02  | 4.78  | -0.98 | -6.99 | -5.74 | -1.27 | 4.64  |
| Sc overdrachtspunt (MVA)              | 11.11                                    | 12.50 | 11.45 | 10.17 | 9.47  | 10.43 | 11.42 | 11.30 | 12.50 | 11.69 | 11.20 | 11.30 |
| Ic overdrachtspunt (A)                | 665                                      | 581   | 660   | 664   | 668   | 667   | 583   | 552   | 581   | 662   | 613   | 613   |
| Pms-op (kW)                           | 350.4                                    | 270.4 | 348.5 | 350.1 | 353.0 | 351.2 | 267.3 | 241.7 | 270.4 | 350.1 | 297.8 | 295.2 |
| Qms-op (kVar)                         | 628.4                                    | 427.8 | 625.0 | 639.4 | 650.1 | 634.8 | 431.9 | 376.0 | 427.8 | 623.6 | 509.4 | 498.5 |
| Ims-op kabelstroom (p.u.)             | 1.14                                     | 1.01  | 1.14  | 1.14  | 1.15  | 1.15  | 1.00  | 0.95  | 1.01  | 1.14  | 1.06  | 1.05  |
| Pms-tr (kW)                           | 54.9                                     | 42.2  | 54.5  | 54.9  | 55.3  | 55.0  | 41.7  | 37.7  | 42.2  | 54.7  | 46.6  | 46.1  |
| Qms-tr (kVar)                         | 2.1                                      | -11.7 | 2.1   | 4.8   | 6.2   | 3.3   | -9.5  | -12.0 | -11.7 | 1.1   | -4.0  | -5.5  |
| Ims-tr kabelstroom (p.u.)             | 0.58                                     | 0.51  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.58  | 0.51  | 0.48  | 0.51  | 0.58  | 0.53  | 0.53  |
| Ums (p.u.)                            | 0.944                                    | 1.178 | 0.941 | 0.865 | 0.829 | 0.911 | 1.123 | 1.149 | 1.178 | 0.970 | 1.029 | 1.063 |
| Ptr (kW)                              | 110.5                                    | 98.0  | 109.1 | 107.6 | 107.5 | 110.4 | 97.5  | 90.6  | 98.0  | 110.7 | 100.0 | 102.2 |
| Qtr (kVar)                            | 747.7                                    | 571.8 | 748.1 | 747.7 | 747.5 | 747.5 | 571.6 | 514.2 | 571.8 | 747.9 | 634.3 | 631.1 |
| Itransformer (p.u.)                   | 1.00                                     | 0.87  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.87  | 0.83  | 0.87  | 1.00  | 0.92  | 0.92  |
| Uls (p.u.)                            | 0.924                                    | 1.130 | 0.884 | 0.846 | 0.844 | 0.921 | 1.120 | 1.124 | 1.130 | 0.926 | 1.007 | 1.064 |
| Pls (kW)                              | 330.1                                    | 252.4 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 330.1 | 252.4 | 227.0 | 252.4 | 330.1 | 280.0 | 278.6 |
| Qls (kVar)                            | 148.3                                    | 113.4 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 148.3 | 113.4 | 102.0 | 113.4 | 148.3 | 125.8 | 125.2 |
| Ils-kabelstroom (p.u.)                | 0.55                                     | 0.48  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.55  | 0.48  | 0.46  | 0.48  | 0.55  | 0.51  | 0.51  |
| Pomv omvormers totaal (MW)            | 11.86                                    | 11.03 | 9.56  | 10.89 | 9.62  | 10.47 | 11.03 | 11.86 | 11.03 | 11.03 | 11.86 | 11.03 |
| Qomv omvormers totaal (Mvar)          | 0.00                                     | -5.89 | -5.89 | 0.00  | 5.10  | 5.55  | 5.89  | 0.00  | -5.89 | -4.22 | 0.00  | 5.89  |
| Somv omvormers totaal (MVA)           | 11.86                                    | 12.50 | 11.23 | 10.89 | 10.89 | 11.86 | 12.50 | 11.86 | 12.50 | 11.81 | 11.86 | 12.50 |
| Pomv omvormer (kW)                    | 237                                      | 221   | 191   | 218   | 192   | 209   | 221   | 237   | 221   | 221   | 237   | 221   |
| Qomv omvormer (kVar)                  | 0                                        | -118  | -118  | 0     | 102   | 111   | 118   | 0     | -118  | -84   | 0     | 118   |
| Somv omvormer (kVA)                   | 237                                      | 250   | 225   | 218   | 218   | 237   | 250   | 237   | 250   | 236   | 237   | 250   |
| Uomv (V)                              | 523                                      | 630   | 495   | 480   | 480   | 523   | 630   | 630   | 630   | 520   | 567   | 600   |
| Uomv (p.u.)                           | 0.95                                     | 1.15  | 0.90  | 0.87  | 0.87  | 0.95  | 1.15  | 1.15  | 1.15  | 0.95  | 1.03  | 1.09  |
| Iomv (p.u.)                           | 1.00                                     | 0.87  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.87  | 0.83  | 0.87  | 1.00  | 0.92  | 0.92  |
| Kortsluitbijdrage overdrachtspunt (A) | 690                                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

| Resultaten loadflow          | Load flow bij 20% van maximaal werkzaam vermogen |        |       |       |       |       |       |        |        |       |       |  |
|------------------------------|--------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--|
| Uc netspanning (p.u.)        | 1.277                                            | 1.056  | 0.880 | 0.751 | 0.835 | 1.060 | 1.163 | 1.277  | 1.002  | 1.005 | 1.025 |  |
| Pc overdrachtspunt (MW)      | 1.70                                             | 1.53   | 2.32  | 1.52  | 1.52  | 1.71  | 2.32  | 1.70   | 1.54   | 2.32  | 1.68  |  |
| Pc overdrachtspunt (p.u.)    | 0.15                                             | 0.14   | 0.21  | 0.14  | 0.14  | 0.16  | 0.21  | 0.15   | 0.14   | 0.21  | 0.15  |  |
| Qc overdrachtspunt (p.u.)    | -1.21                                            | -1.13  | 0.00  | 0.82  | 0.91  | 1.01  | 0.01  | -1.21  | -1.07  | 0.00  | 1.01  |  |
| Qc overdrachtspunt (Mvar)    | -13.37                                           | -12.49 | 0.00  | 9.06  | 10.07 | 11.16 | 0.09  | -13.37 | -11.77 | 0.04  | 11.08 |  |
| Sc overdrachtspunt (MVA)     | 13.48                                            | 12.58  | 2.32  | 9.19  | 10.19 | 11.29 | 2.32  | 13.48  | 11.87  | 2.32  | 11.21 |  |
| Ic overdrachtspunt (A)       | 580                                              | 655    | 145   | 673   | 670   | 586   | 110   | 580    | 651    | 127   | 602   |  |
| Pms-op (kW)                  | 273.5                                            | 348.2  | 16.6  | 358.6 | 354.7 | 268.0 | 9.6   | 273.5  | 344.2  | 12.8  | 283.2 |  |
| Qms-op (kVar)                | 424.5                                            | 615.2  | -30.8 | 663.7 | 644.1 | 435.0 | -92.0 | 424.5  | 615.6  | -57.6 | 471.6 |  |
| Ims-op kabelstroom (p.u.)    | 1.01                                             | 1.14   | 0.25  | 1.16  | 1.15  | 1.00  | 0.19  | 1.01   | 1.13   | 0.22  | 1.03  |  |
| Pms-tr (kW)                  | 42.6                                             | 54.1   | 2.6   | 55.8  | 55.1  | 41.5  | 1.5   | 42.6   | 53.4   | 2.0   | 43.9  |  |
| Qms-tr (kVar)                | -13.9                                            | -0.2   | -14.1 | 6.9   | 3.9   | -9.2  | -25.5 | -13.9  | 1.6    | -18.8 | -6.9  |  |
| Ims-tr kabelstroom (p.u.)    | 0.51                                             | 0.58   | 0.13  | 0.59  | 0.58  | 0.50  | 0.10  | 0.51   | 0.57   | 0.11  | 0.52  |  |
| Ums (p.u.)                   | 1.227                                            | 0.999  | 0.887 | 0.811 | 0.896 | 1.114 | 1.169 | 1.227  | 0.945  | 1.011 | 1.080 |  |
| Ptr (kW)                     | 99.0                                             | 109.9  | 20.5  | 108.0 | 111.0 | 98.0  | 30.5  | 99.0   | 107.8  | 24.4  | 100.5 |  |
| Qtr (kVar)                   | 571.9                                            | 748.3  | 35.4  | 748.1 | 748.0 | 571.8 | 20.6  | 571.9  | 748.4  | 27.4  | 603.9 |  |
| Itransformer (p.u.)          | 0.87                                             | 1.00   | 0.22  | 1.00  | 1.00  | 0.87  | 0.17  | 0.87   | 1.00   | 0.19  | 0.90  |  |
| Uls (p.u.)                   | 1.151                                            | 0.906  | 0.867 | 0.855 | 0.933 | 1.131 | 1.141 | 1.151  | 0.849  | 0.988 | 1.100 |  |
| Pls (kW)                     | 252.4                                            | 330.1  | 15.6  | 330.1 | 330.1 | 252.4 | 9.1   | 252.4  | 330.1  | 12.1  | 266.5 |  |
| Qls (kVar)                   | 113.4                                            | 148.3  | 7.0   | 148.3 | 148.3 | 113.4 | 4.1   | 113.4  | 148.3  | 5.4   | 119.7 |  |
| Ils-kabelstroom (p.u.)       | 0.48                                             | 0.55   | 0.12  | 0.55  | 0.55  | 0.48  | 0.09  | 0.48   | 0.55   | 0.11  | 0.50  |  |
| Pomv omvormers totaal (MW)   | 2.37                                             | 2.37   | 2.37  | 2.37  | 2.37  | 2.37  | 2.37  | 2.37   | 2.37   | 2.37  | 2.37  |  |
| Qomv omvormers totaal (Mvar) | -12.27                                           | -10.98 | 0.00  | 10.63 | 11.62 | 12.27 | 0.00  | -12.27 | -10.26 | 0.00  | 12.27 |  |
| Somv omvormers totaal (MVA)  | 12.50                                            | 11.23  | 2.37  | 10.89 | 11.86 | 12.50 | 2.37  | 12.50  | 10.53  | 2.37  | 12.50 |  |
| Pomv omvormer (kW)           | 47                                               | 47     | 47    | 47    | 47    | 47    | 47    | 47     | 47     | 47    | 47    |  |
| Qomv omvormer (kVar)         | -245                                             | -220   | 0     | 213   | 232   | 245   | 0     | -245   | -205   | 0     | 245   |  |
| Somv omvormer (kVA)          | 250                                              | 225    | 47    | 218   | 237   | 250   | 47    | 250    | 211    | 47    | 250   |  |
| Uomv (V)                     | 630                                              | 495    | 480   | 480   | 523   | 630   | 630   | 630    | 464    | 546   | 613   |  |
| Uomv (p.u.)                  | 1.15                                             | 0.90   | 0.87  | 0.87  | 0.95  | 1.15  | 1.15  | 1.15   | 0.84   | 0.99  | 1.11  |  |
| Iomv (p.u.)                  | 0.87                                             | 1.00   | 0.22  | 1.00  | 1.00  | 0.87  | 0.17  | 0.87   | 1.00   | 0.19  | 0.90  |  |

|               |  |                                                                                                                 |
|---------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kleurcodering |  | Geen overschrijding van de grenzen van de omvormers, transformatoren of kabels                                  |
|               |  | Bedrijfspunt op nominale of grenswaarde van de omvormer of overschrijding belastbaarheid transformator of kabel |
|               |  | Overschrijding van de grenzen van de omvormers                                                                  |
|               |  | Berekend blindvermogen, werkzaam vermogen en relatieve spanning op het overdrachtspunt                          |

Figuur 8 Berekeningen Q-U en Q-P vensters bij maximaal en 20% van het maximaal werkzaam vermogen.