

Technisches Datenblatt

Netztechnische Leistungsmerkmale

ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 / 6000 kW / FTQS

Technische Änderungen vorbehalten.

Herausgeber ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

| | |
|--------------------|------------------|
| Dokument-ID | D02768320/0.1-de |
| Vermerk | Originaldokument |

| Datum | Sprache | DCC | Werk / Abteilung |
|--------------|----------------|------------|---|
| 2022-09-26 | de | DA | WRD Wobben Research and Development GmbH / Technische Redaktion |

Technische Änderungen vorbehalten.

Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Übergeordnete Normen und Richtlinien

| Dokument-ID | Dokument |
|------------------|---|
| IEC 60034-3:2007 | Rotating electrical machines - Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines |
| IEC 61400-21-1 | Measurement and assessment of electrical characteristics - Wind turbines |

Zugehörige Dokumente

| Dokument-ID | Dokument |
|-------------|---|
| D02731630 | Netztechnische Leistungsmerkmale FACTS 2.0 - ENERCON Control System PI-CS (EP5) |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Allgemeines | 6 |
| 2 | Kenndaten | 7 |
| 3 | Blindleistungstellbereich | 8 |
| 4 | Wirkleistungsgradienten | 12 |
| 4.1 | Positive Wirkleistungsgradienten | 12 |
| 4.2 | Negative Wirkleistungsgradienten | 13 |
| 5 | Referenzpunkt | 14 |
| | Formelzeichenverzeichnis | 15 |
| | Fachwortverzeichnis | 16 |

Technische Änderungen vorbehalten.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|---|
| FACTS | Flexible Alternating Current Transmission System (Flexibles Wechselstrom-Übertragungssystem) |
| FRT | Fault Ride Through (Durchfahren eines Netzfehlers) |
| FTQS | FACTS Transmission mit Option Q+ und STATCOM-Option (elektrische Konfiguration mit erweitertem Blindleistungsstellbereich und STATCOM-Option) |
| IEC | International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission) |
| SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition (überwachende Steuerung und Datenerfassung) |
| STATCOM | Static compensator (statischer Kompensator) |

1 Allgemeines

Die netztechnischen Leistungsmerkmale und Kenndaten der ENERCON Windenergieanlage werden in getrennten Dokumenten beschrieben.

In dem vorliegenden windenergieanlagenspezifischen Dokument werden die netztechnischen Leistungsmerkmale festgehalten, die abhängig von dem Typ der Windenergieanlage und der elektrischen Konfiguration sind.

In einem zusätzlichen mitgeltenden allgemeinen Dokument werden, entsprechend der Nennspannung einer Windenergieanlage, die gültigen Funktionen der elektrischen Konfigurationen und die netztechnischen Leistungsmerkmale aufgeführt.

2 Kenndaten

Alle Kenndaten der Windenergieanlage beziehen sich auf den in Kap. 5, S. 14 angegebenen Referenzpunkt. Die elektrischen Eigenschaften können ausschließlich mit der entsprechenden Windenergieanlagensteuerung erzielt werden.

Ein Auszug aus der Netzverträglichkeitsmessung nach IEC 61400-21-1 ist auf Anfrage erhältlich.

Tab. 1: Kenndaten der Windenergieanlage

| Kenndaten | | Wert |
|--|---------------|--------------------------------------|
| Nennfrequenz | f_n | 50 Hz |
| | | 60 Hz |
| Nennwirkleistung | P_n | 6000 kW |
| Nennblindleistung | Q_n | 3780 kvar |
| Bemessungsscheinleistung | S_{max} | 7100 kVA |
| Nennspannung | U_n | 750 V |
| Nennstrom | I_n | 4619 A |
| Bemessungsstrom | I_{max} | 6000 A |
| maximaler Anfangskurzschlusswechselstrom | $I_{k,max}''$ | 6300 A |
| maximaler Stoßkurzschlusswechselstrom | $I_{p,max}$ | $\sqrt{2} \times I_{k,max}''$ 8910 A |
| maximaler Ausschaltwechselstrom | $I_{b,max}$ | 6300 A |
| maximaler Dauerkurzschlussstrom | $I_{k,max}$ | 6300 A |
| Anzahl der Leistungsschränke | - | 4 |

3 Blindleistungsstellbereich

Die Windenergieanlage verfügt über einen Blindleistungsstellbereich, der die Abgabe von Blindleistung (Q_{export}) in das Netz und die Aufnahme von Blindleistung (Q_{import}) aus dem Netz ermöglicht.

Tab. 2: Blindleistungswerte (Export/Import)

| Parameter | Wert |
|---------------------------------|-----------------------------|
| maximale Blindleistung (Export) | Q_{max} 3780 kvar |
| minimale Blindleistung (Import) | Q_{min} -3780 kvar |

Der Export von Blindleistung entspricht dem Verhalten einer übererregten Synchronmaschine. Der Import von Blindleistung entspricht dem Verhalten einer untererregten Synchronmaschine (siehe IEC 60034-3:2007).

Im nachfolgenden Diagramm wird der Blindleistungsstellbereich in Abhängigkeit von Wirkleistung und Netzspannung dargestellt.

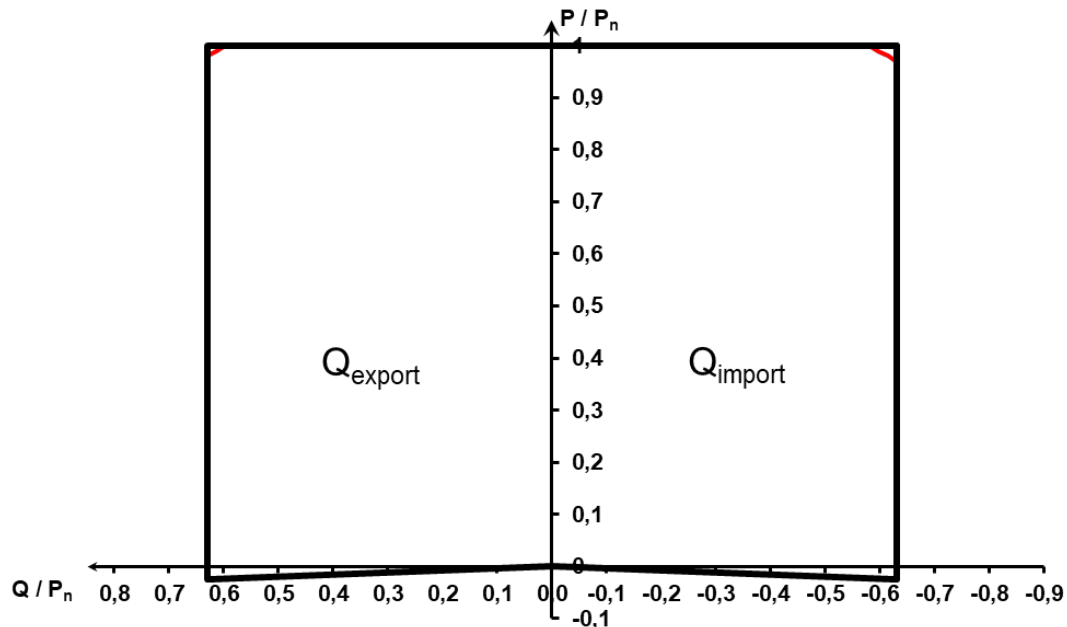


Abb. 1: Blindleistungsstellbereich in Abhängigkeit von Wirkleistung und Netzspannung

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| — | 90 % U_n |
| — | 95 % U_n |
| — | ≥ 100 % U_n |

Technische Änderungen vorbehalten.

Nachfolgend ist das Diagramm in Tabellenform angegeben.

Tab. 3: Blindleistungsstellbereich in Abhängigkeit von Wirkleistung und Netzspannung ($\geq 100\% U_n$)

| P/P _n | 100 % bis 106 % U _n | | 115 % U _n | | 120 % U _n | |
|------------------|--|--|--|--|--|--|
| | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) |
| 1 | 0,630 | -0,630 | 0 | -0,630 | - | -0,316 ... -0,630 |
| 0,1 | 0,630 | -0,630 | 0 | -0,630 | - | -0,316 ... -0,630 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |

Die Einspeisung von Wirkleistung bei hoher Netzspannung ist nur bei gleichzeitigem Import von Blindleistung möglich.

Tab. 4: Blindleistungsstellbereich in Abhängigkeit von Wirkleistung und Netzspannung (<100 % U_n)

| P/P _n | 95 % U _n | | 90 % U _n | | 85 % U _n | | 80 % U _n | |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) |
| 0,50 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,52 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,54 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,56 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,58 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,60 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,62 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,64 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,66 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,68 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,70 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,72 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,74 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,76 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,78 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,80 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,81 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 |
| 0,82 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,610 |
| 0,83 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,620 | -0,600 |
| 0,84 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,600 | -0,590 |
| 0,85 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,590 | -0,570 |
| 0,86 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,570 | -0,560 |
| 0,87 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,560 | -0,540 |

Technische Änderungen vorbehalten.

| P/P _n | 95 % U _n | | 90 % U _n | | 85 % U _n | | 80 % U _n | |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) | Q/P _n (Q _{export}) | Q/P _n (Q _{import}) |
| 0,88 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,540 | -0,530 |
| 0,89 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,520 | -0,510 |
| 0,90 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,610 | 0,510 | -0,490 |
| 0,91 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,620 | -0,600 | 0,490 | -0,470 |
| 0,92 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,600 | -0,580 | 0,470 | -0,450 |
| 0,93 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,580 | -0,570 | 0,450 | -0,430 |
| 0,94 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,570 | -0,550 | 0,430 | -0,410 |
| 0,95 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,550 | -0,530 | 0,400 | -0,390 |
| 0,96 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,630 | 0,530 | -0,510 | 0,380 | -0,360 |
| 0,97 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,620 | 0,510 | -0,500 | 0,350 | -0,330 |
| 0,98 | 0,630 | -0,630 | 0,630 | -0,610 | 0,490 | -0,480 | 0,320 | -0,300 |
| 0,99 | 0,630 | -0,630 | 0,610 | -0,590 | 0,470 | -0,450 | 0,290 | -0,270 |
| 1,00 | 0,630 | -0,630 | 0,590 | -0,580 | 0,450 | -0,430 | 0,250 | -0,230 |

Blindleistungspunkte zwischen zwei benachbarten Tabellenwerten von Spannung oder Wirkleistung müssen durch lineare Interpolation ermittelt werden.

Blindleistungsregler

Die Blindleistung der Windenergieanlage ist einstellbar. Folgende Sollwerte können direkt in der Steuerung der Windenergieanlage eingestellt werden.

Tab. 5: Einstellbereich Blindleistungsregler

| Parameter | Einstellbereich | Schrittweite |
|-----------------|---------------------------------------|--------------|
| Blindleistung Q | Q _{min} ... Q _{max} | 5 kvar |
| tan φ (Q / P) | -3 ... 3 | 0,005 |

Alternativ kann projektspezifisch eine Sollwertvorgabe an die Windenergieanlage durch eine übergeordnete Regelung auf Windparkebene zur Nutzung des dargestellten Blindleistungsstellbereichs erfolgen.

Die Toleranz der Blindleistungseinspeisung liegt im 10-Minuten-Mittelwert bei $\pm 2,5\%$ der Nennwirkleistung.

Eigenbedarf

Durch die STATCOM-Option kann die Windenergieanlage unabhängig von der aktuellen Windgeschwindigkeit zu jeder Zeit die maximale Blindleistung entsprechend des PQ-Diagramms (Abb. 1, S. 8) einspeisen.

Sofern die Windgeschwindigkeit ausreicht, um den Eigenbedarf der Windenergieanlage sowie deren interne Verluste zu decken, speist die Windenergieanlage zusätzlich zur maximalen Blindleistung Wirkleistung ins Netz ein.

Bei Windstille oder sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten bezieht die Windenergieanlage Wirkleistung aus dem Netz, um ihren Eigenbedarf sowie interne Verluste zu decken. Dieser Wirkleistungsbezug ist im folgenden Diagramm als rote Schraffur dargestellt. Die Wirkleistung wird als 10-Minuten-Mittelwert dargestellt.

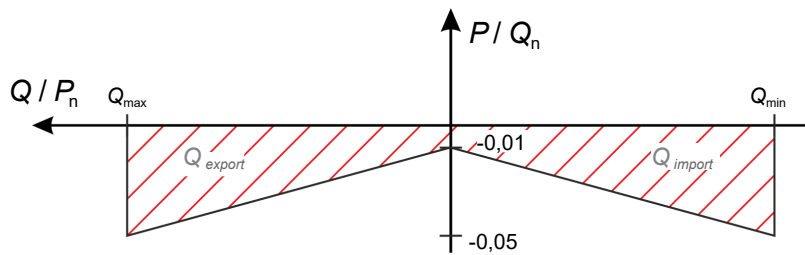


Abb. 2: Eigenbedarf Windenergieanlage (mit STATCOM-Option)

Der Energiebezug einer Windenergieanlage mit Blindleistungsexport oder Blindleistungsimport bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten hängt von den projektspezifischen Wetterbedingungen (Wind, Temperatur etc.) ab.

4 Wirkleistungsgradienten

Die Windenergieanlage kann in bestimmten Betriebszuständen ihre Wirkleistung mit einstellbaren Gradienten steigern oder senken.

4.1 Positive Wirkleistungsgradienten

Tab. 6: Wirkleistungsgradienten

| Parameter | Einstellbereich | Default-Einstellung | Schrittweite |
|---|----------------------|---------------------|--------------|
| Wirkleistungsgradient (bei Normalstart) | 1 kW/s ... 600 kW/s | 120 kW/s | 1 kW/s |
| Wirkleistungsgradient (nach Netzausfall) | 1 kW/s ... 600 kW/s | 120 kW/s | 1 kW/s |
| Wirkleistungsgradient (im Betrieb) | 2 kW/s ... 1500 kW/s | 350 kW/s | 1 kW/s |
| Wirkleistungsgradient (nach Überfrequenz) | 2 kW/s ... 1500 kW/s | 1500 kW/s | 1 kW/s |

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (bei Normalstart)* ist aktiv, wenn die Windenergieanlage ohne einen vorhergehenden Reset der Anlagensteuerung startet, z. B. nach dem Status Windmangel.

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (nach Netzausfall)* wird nach einem Reset der Anlagensteuerung, der zum Beispiel nach einem Netzausfall auftritt, aktiv. Der Betrieb im FRT-Bereich zählt nicht als Netzausfall.

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (im Betrieb)* zur Begrenzung von positiven Wirkleistungsgradienten ist standardmäßig deaktiviert.

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (nach Überfrequenz)* ist aktiv, wenn in der Anlagensteuerung die statische Leistungs-Frequenz-Regelung ausgewählt ist.



Detaillierte Informationen zu dem Parameter *Wirkleistungsgradient (nach Überfrequenz)* und dem FRT-Betrieb sind im Dokument D02731630 „Netztechnische Leistungsmerkmale FACTS 2.0 - ENERCON Control System PI-CS (EP5)“ zu finden.

4.2 Negative Wirkleistungsgradienten

Tab. 7: Wirkleistungsgradienten

| Parameter | Einstellbereich | Default-Einstellung | Schrittweite |
|--|----------------------|---------------------|--------------|
| Wirkleistungsgradient (Stoppschalter) | 2 kW/s ... 1500 kW/s | 1500 kW/s | 1 kW/s |
| Wirkleistungsgradient (externer Stopp) | 2 kW/s ... 1500 kW/s | 1500 kW/s | 1 kW/s |

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (Stoppschalter)* wird nach Betätigung des Schalters *Start/Stop* am Steuerschrank der Windenergieanlage aktiv.

Der Parameter *Wirkleistungsgradient (externer Stopp)* wird durch einen externen Stoppbefehl über das ENERCON SCADA System aktiv.

Die eingespeiste Wirkleistung kann durch eine externe Sollwertvorgabe über das ENERCON SCADA System begrenzt werden. Nachdem die Anlagensteuerung der Windenergieanlage das Signal zur Wirkleistungsreduzierung empfangen hat, wird die Wirkleistung mit dem Parameter *Wirkleistungsgradient (im Betrieb)* reduziert. Die Verzögerung bei der Übertragung vom ENERCON SCADA System zur Windenergieanlage ist nicht berücksichtigt und hängt von der Konfiguration des Windparks ab.

5 Referenzpunkt

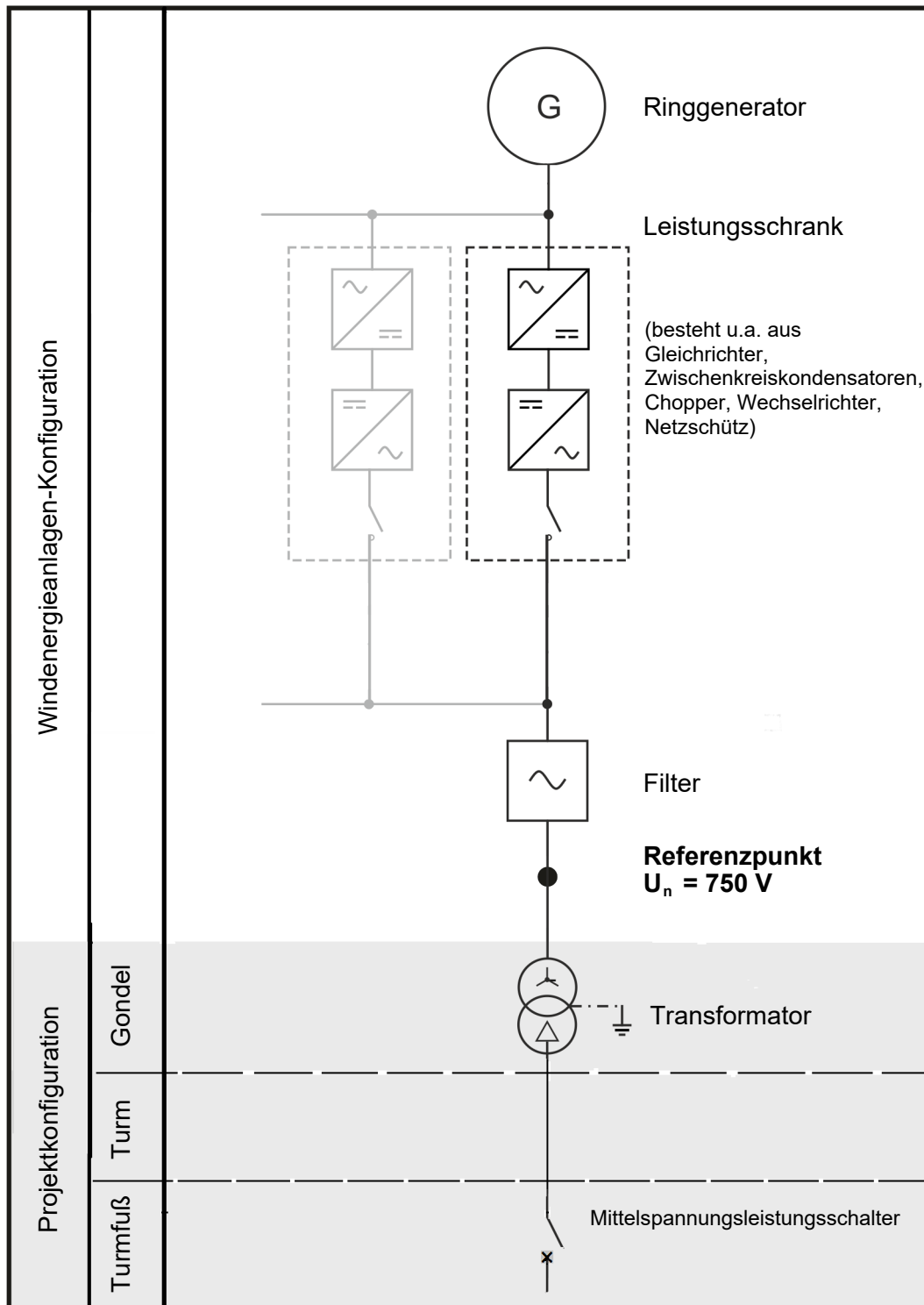


Abb. 3: Referenzpunkt

Formelzeichenverzeichnis

Tab. 8: Formelzeichen

| Formelzeichen | Bezeichnung |
|---------------|--|
| f_n | Nennfrequenz |
| $I_{b,max}$ | Maximaler Ausschaltwechselstrom |
| $I_{k,max}$ | Maximaler Dauerkurzschlussstrom |
| $I''_{k,max}$ | Maximaler Anfangskurzschlusswechselstrom |
| I_{max} | Bemessungsstrom |
| I_n | Nennstrom |
| $I_{p,max}$ | Maximaler Stoßkurzschlusswechselstrom |
| P_n | Nennwirkleistung |
| Q_{export} | Blindleistung (Export) |
| Q_{import} | Blindleistung (Import) |
| Q_{max} | Maximale Blindleistung (Export) |
| Q_{min} | Minimale Blindleistung (Import) |
| Q_n | Nennblindleistung |
| S_{max} | Bemessungscheinleistung |
| U_n | Nennspannung |

Fachwortverzeichnis

| | |
|------------------------|---|
| Bemessungsstrom | Maximaler Dauerausgangsstrom unter normalen Betriebsbedingungen, für den eine elektrische Anlage ausgelegt ist. |
| Blindleistung | Elektrische Leistung, die zwischen Erzeuger und Verbraucher im Netz hin- und herpendelt. Sie belastet das Netz, ohne tatsächlich verbraucht zu werden. Blindleistung entsteht durch induktive und kapazitive Verbraucher, z. B. Elektromotoren, in einem mit Wechsel- bzw. Drehstrom betriebenen Netz durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Kraftwerke müssen daher Blindleistung zusätzlich zur Wirkleistung zur Verfügung stellen und aufnehmen können. |