



www.frako.com

FRAKO PQC

Power Quality Controller Insights



Regelkennlinien im Wandel der Zeit

Die allgemeinen Anforderungen an die Blindleistungskompensation und deren automatische Regelung haben sich im Laufe der Zeit deutlich verändert. Heutige Anforderungen lassen sich mit Standard Regelkennlinien oft nicht mehr realisieren.

Wir stellen Ihnen die FRAKO Universal-Regelkennlinie der Zukunft vor.

Allgemeine Beschreibung einer Regelkennlinie

Blindleistungsregler regeln den $\cos \varphi$ indem sie definierte Kondensatoren nach Bedarf zu- und abschalten. Dabei ist ein gewisser Toleranzbereich zu akzeptieren da sonst permanente Schaltvorgänge verursacht und die Blindleistungsregelanlage schnell verschleifen würde.

Am einfachsten wird dies dadurch realisiert indem der gewünschte Soll- $\cos \varphi$ als Mittelwert geregelt wird. Um diesen Soll- $\cos \varphi$ bildet der Regler einen Bereich in dem keine Schalthandlungen erfolgen. Die Abweichung zum Soll- $\cos \varphi$ ist hierbei zu gleichen Teilen in Richtung induktiv und Richtung kapazitiv. Das sich daraus ergebende Gebilde gemäß Abbildung 1 wird Regelkennlinie genannt.

Die Breite dieser Kennlinie wird an die Stufenleistung der Blindleistungsregelanlage angepasst.

Dadurch wird sichergestellt, dass Schalthandlungen nicht über die Kennlinienbreite hinausgehen und ein "Pendeln" der Anlage durch ständiges Zu- und Abschalten von Stufen vermieden wird. Die Stufenleistung einer Blindleistungsregelanlage bezieht sich immer auf die kleinste installierte Leistungsstufe.

Die Grenzen der Regelkennlinie sind umso weiter vom Soll- $\cos \varphi$ entfernt je größer die Stufenleistung gewählt wird. Daraus ergeben sich zwei entscheidende Nachteile.

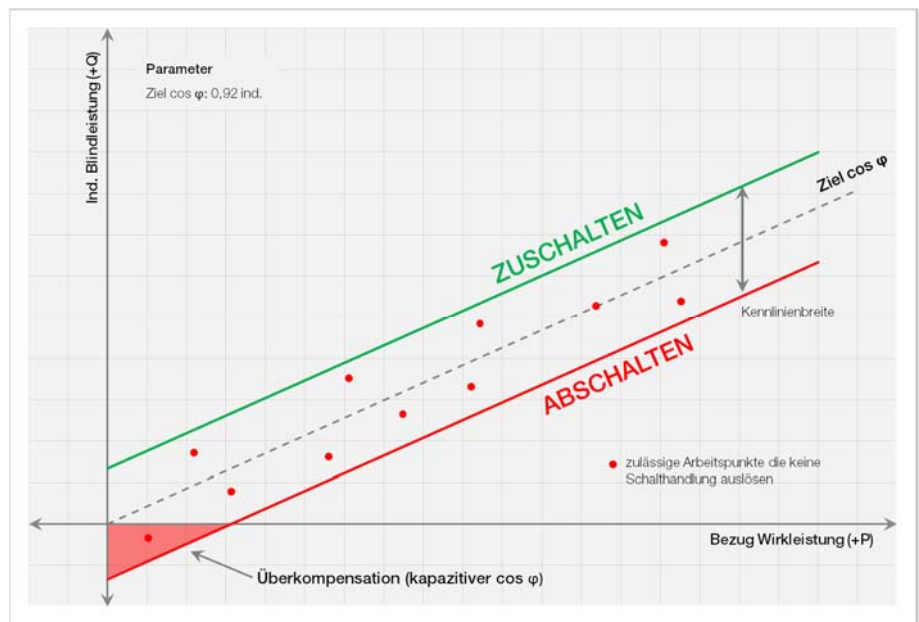


Abbildung 1 - Herkömmliche Regelkennlinie

- Der Arbeitspunkt des Reglers kann bei stabilen Lastverhältnissen auch dauerhaft unterhalb des gewünschten Soll- $\cos \varphi$ liegen. Dies kann Kosten verursachen.
- Im Schwachlastbereich der Kennlinie ist Überkompensation (kapazitiver $\cos \varphi$) möglich. Diese Überkompensation wird umso wahrscheinlicher je höher der Soll- $\cos \varphi$ gewählt wird. Überkompensation kann Störungen und Kosten verursachen.

Damit erfolgte Schalthandlungen nicht sofort danach wieder rückgängig gemacht werden müssen, arbeiten Blindleistungsregler mit wählbaren Schaltverzögerungszeiten. Erst wenn der Schalthandlungsbedarf ununterbrochen über die gesamte Dauer der gewählten Schaltverzögerungszeit ansteht wird die Schalthandlung auch tatsächlich ausgeführt. Andernfalls wird sie verworfen. Dies gilt gleichermaßen sowohl für Zu- wie auch für Abschaltungen und soll erhöhtem und unnötigem Verschleiß der Blindleistungsregelanlage vorbeugen.

Oft muss bei der Wahl der Schaltverzögerungszeit auch die Entladezeit der gewählten Kondensatoren berücksichtigt werden, da nur entladene Kondensatoren dem Netz zugeschaltet werden dürfen. Diese darf gemäß der betreffenden Norm EN 60831 bis zu 3 Minuten betragen. Es ist in diesem Zusammenhang darauf zu achten, dass lange Schaltverzögerungszeiten unzureichende Kompensation, Überkompensation und damit verbunden auch Kosten verursachen können.

FRAKO PQC

Power Quality Controller Insights

Die bisherige FRAKO Regelkennlinie

FRAKO Blindleistungsregler bieten bereits seit mehreren Jahrzehnten Lösungen, die die beschriebenen Nachteile beseitigen. So sind FRAKO Kondensatoren mit Schnellentladewiderständen ausgestattet, die die Entladung des Kondensators innerhalb von 1 Minute sicherstellen. Bei FRAKO Blindleistungsreglern werden Entladezeit und Schaltverzögerungszeit separat und unabhängig voneinander eingestellt.

Das bewirkt, dass auch bei kurzen gewählten Schaltverzögerungszeiten die Entladung der Kondensatoren vor dem Einschalten sichergestellt wird und Kosten durch zu lange Schaltverzögerungszeiten vermieden werden.

Die von FRAKO entwickelte abknickende Regelkennlinie gemäß Abbildung 2 beseitigt die oben beschriebenen Nachteile der herkömmlichen Regelkennlinie wie folgt:

Bei Normallast bildet der gewählte Soll-cos φ den unteren Grenzwert der Regelkennlinie. Es wird somit sichergestellt, dass in diesem Bereich mindestens der gewählte Soll-cos φ oder bis zu einer Kondensatorstufe höher geregelt wird.

Sobald die Abschaltgrenze cos $\varphi = 1$ erreicht, knickt die Kennlinie ab und definiert bis zum Nullpunkt der Wirkleistung den Schwachlastbereich. Innerhalb des Schwachlastbereiches wird der gewählte Soll-cos φ nicht mehr als Mindestwert gewährleistet. In der oberen Hälfte dieses Schwachlastbereiches gilt das Erreichen des gewählten Soll-cos φ als sehr wahrscheinlich, in der unteren Hälfte hingegen als unwahrscheinlich.

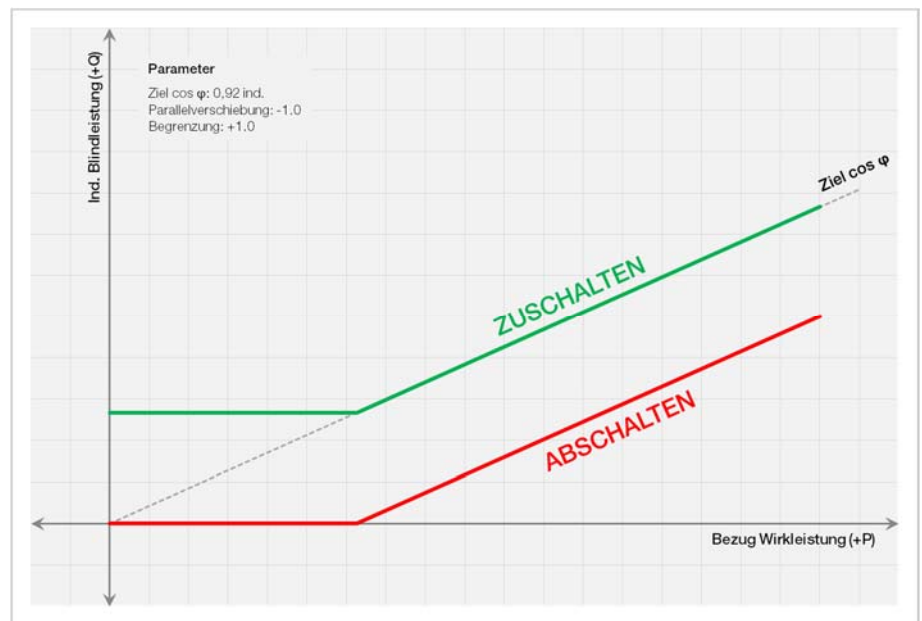


Abbildung 2 - Abknickende FRAKO-Regelkennlinie

Zu geringe Kompensation im unteren Schwachlastbereich wird hierbei mehr als kompensiert durch die höhere Kompensation bei Normallast. Zumindest wird dies durch die Erfahrungen der letzten 30 Jahre bestätigt.

Die Beseitigung der Überkompensation bei Schwachlast hat deshalb die deutlich höhere Priorität.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die FRAKO Regelkennlinie bei Normallast den gewählten Soll-cos φ oder höher regelt und gleichzeitig die Überkompensation bei Schwachlast vermeidet. Damit beseitigt diese Kennlinie beide oben beschriebene Nachteile der herkömmlichen Regelkennlinie.

Der höhere, geregelte Ist-cos φ reduziert zusätzlich die Verluste innerhalb der Kundenanlage.

Die FRAKO Regelkennlinie arbeitet auch mit größeren Stufenleistungen noch ordnungsgemäß. Dies reduziert die Anschaffungskosten und den Verschleiß der Anlage durch weniger Schalthandlungen.

FRAKO PQC

Power Quality Controller Insights

FRAKO Next Generation Regelkennlinie

Höhere Anforderungen seitens der EVU an den Betrieb von Kundenanlagen und bei der Stromerzeugung insbesondere bei Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraftanlagen ziehen wesentlich exaktere und flexiblere Regelungen des $\cos \varphi$ nach sich.

Die neue FRAKO-Regelkennlinie gemäß Abbildung 3 trägt diesen Anforderungen Rechnung indem im Bereich der beiden Bezugsquadranten ein unterer ($\cos \varphi 1$) und ein oberer ($\cos \varphi 2$) Soll- $\cos \varphi$ und im Bereich der beiden Rückspeisequadranten ebenfalls ein unterer ($\cos \varphi 3$) und oberer ($\cos \varphi 4$) Soll- $\cos \varphi$ eingestellt werden.

Darüber hinaus lässt sich das Verhalten der Regelung im Schwachlastbereich variabel festlegen und die Regelverzögerungen für das Zu- und Abschalten der Kondensatorstufen getrennt voneinander definieren. Diese Variabilität in der Parametrierung verändert das Regelverhalten des PQC wie folgt:

Außerhalb des Schwachlastbereiches der Regelkennlinie wird deren Breite durch den oberen und unteren gewählten Soll- $\cos \varphi$ bestimmt.

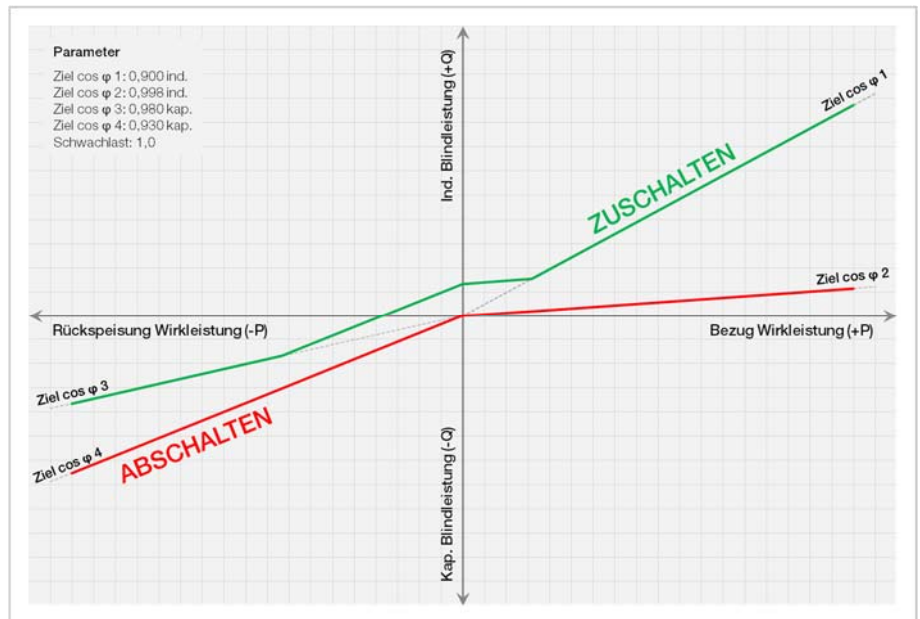


Abbildung 3 - Neue FRAKO Universal-Kennlinie

Dadurch ergeben sich gegenüber den Kennlinien von Abbildung 1 und 2 folgende Vorteile:

Die **Anzahl der Schalthandlungen werden deutlich reduziert** weil die Schwellen für Zu- und Abschaltung mit steigender Wirkleistung zunehmend auseinanderdriften. Dies reduziert den Verschleiß der Bauteile und verlängert die Lebensdauer der gesamten Blindleistungsregelanlage.

Bei Anlagen, die aus unterschiedlichen Leistungsstufen aufgebaut sind ergibt sich eine **gleichmäßigere Verteilung der Schalthäufigkeit** weil sich die Kennlinienbreite und damit die Schalthandlungen nicht mehr an der Leistung der kleinsten Stufe orientieren. Dies reduziert den einseitigen stärkeren Verschleiß kleiner Stufen und reduziert dadurch die Kosten für Wartungen.

Weil bei Schalthandlungen immer die Mitte der Regelkennlinie angestrebt wird, ergibt sich in der Praxis ein **höherer mittlerer Ist-cos φ** . Dadurch werden Verluste in Kundenanlagen weiter reduziert.

Bei verdrosselten Anlagen bewirkt die höhere zugeschaltete Leistung auch eine **stärkere Absorption von Oberschwingungen**. Dies erhöht die Qualität des Stromnetzes und reduziert die Gefahr von Störungen. Gleichzeitig verteilt sich die Oberschwingungsbelastung innerhalb der Kompensationsanlage auf mehr Bauteile und reduziert damit die Gefahr von deren Überlastung. Dies erhöht die Betriebssicherheit und reduziert das Risiko von Störungen und Defekten innerhalb der Kompensationsanlage.

Das Regelverhalten **lässt sich exakt an die Anforderungen des EVU anpassen**. Dadurch werden Kosten vermieden.

FRAKO PQC

Power Quality Controller Insights

Innerhalb des Schwachlastbereiches wird die Kennlinienbreite durch die Leistung der kleinsten Stufe bestimmt, wie bei den Kennlinien gemäß der Abbildungen 1 und 2 über deren gesamten Bereich. Bei den FRAKO-Kennlinien errechnet sich hierbei die Kennlinienbreite über die Leistung der kleinsten Stufe $\times 1,3$. Somit ergibt sich gemäß Abbildung 3 bei einer gewählten Stufenleistung von 12,5 kvar eine Kennlinienbreite von 16,7 kvar innerhalb des Schwachlastbereiches.

Die Einstellung des Schwachlastbereiches definiert einerseits die Priorität des Soll- $\cos \varphi$ ($\cos \varphi 1$ oder $\cos \varphi 2$ bzw. $\cos \varphi 3$ oder $\cos \varphi 4$). Im Beispiel gemäß Abbildung 3 besitzen $\cos \varphi 2$ und $\cos \varphi 4$ die Priorität, weil deren Wert über den gesamten Regelbereich als Grenze geregelt werden. Bei den $\cos \varphi 1$ und $\cos \varphi 3$ hingegen weicht die Regelkennlinie innerhalb des Schwachlastbereiches von deren Werten ab.

Andererseits definiert die Einstellung die Schwellen für Zu- und Abschaltung am Nullpunkt der Wirkleistung. Die Einstellwerte für die Schwachlast reichen von +2 bis -2 und können in Schritten von 0,5 eingestellt werden.

Dabei bewirkt beispielsweise die Einstellung 0, dass beim Nullpunkt der Wirkleistung sich die Kennlinie je zur Hälfte in den induktiven und kapazitiven Quadranten befindet (siehe Abbildung 4). Bei einer Stufenleistung von 12,5 kvar erfolgt die Zuschaltung wenn die induktive Leistung 8,33 kvar überschreitet und die Abschaltung wenn die kapazitive Leistung 8,33 kvar überschreitet. Die Kennlinie lässt sich nun im Schwachlastbereich in Richtung induktiv (+) oder kapazitiv (-) verschieben. Der Einstellwert -1 bewirkt demnach, dass sich die gesamte Kennlinie beim Nullpunkt der Wirkleistung in den kapazitiven Quadranten befindet. Die Zuschaltung erfolgt sobald der $\cos \varphi$ induktiv wird und die Abschaltung wenn die kapazitive Leistung 16,7 kvar überschreitet.

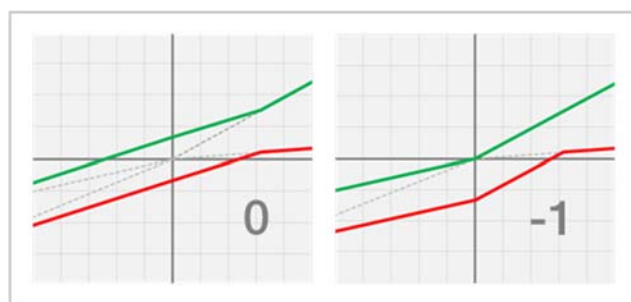


Abbildung 4 - Beispiele für Schwachlastparameter 0 & -1

Die Schwachlasteinstellung gemäß Abbildung 3 zeigt den Einstellwert +1. In diesem Fall befindet sich die Kennlinie beim Nullpunkt der Wirkleistung komplett in den induktiven Quadranten. Die Zuschaltung erfolgt wenn die induktive Blindleistung den Wert 16,7 kvar überschreitet. Abgeschaltet wird sobald der $\cos \varphi$ kapazitiv wird.

Die Schwachlasteinstellung gemäß Abbildung 3 zeigt den Einstellwert +1. In diesem Fall befindet sich die Kennlinie beim Nullpunkt der Wirkleistung komplett in den induktiven Quadranten. Die Zuschaltung erfolgt wenn die induktive Blindleistung den Wert 16,7 kvar überschreitet. Abgeschaltet wird sobald der $\cos \varphi$ kapazitiv wird.

Weil die EVU zunehmend für Überkompensation - auch wenn diese nur sporadisch und kurzzeitig erfolgt - Kosten berechnet wurden mit Einführung dieser Regekkennlinie auch die Schaltverzögerungszeiten für Zu- und Abschaltung getrennt. Damit kann die Abschaltung schneller erfolgen um Überkompensation zu vermeiden und die Zuschaltung wie bisher mit längeren Verzögerungszeiten arbeiten um die Schalhäufigkeit nicht zu erhöhen.

Im Zusammenspiel der beschriebenen Einstellungen für

- Soll- $\cos \varphi$ ($\cos \varphi 1$, $\cos \varphi 2$, $\cos \varphi 3$, $\cos \varphi 4$ mit jeweils 3 Nachkomma-Stellen)
- Schwachlast (+2,0, bis -2,0 in 0,5 Schritten)
- Schaltverzögerung für Zuschaltung (5 sec. bis 500 sec. In 1 sec. Schritten)
- Schaltverzögerung für Abschaltung (5 sec. bis 500 sec. In 1 sec. Schritten)
- Stufenleistung (Leistung der kleinsten Kondensatorstufe)

lassen sich alle erdenklichen Anforderungen an die $\cos \varphi$ Regelung realisieren. Weil die $\cos \varphi$ Werte mit 3 Nachkomma-Stellen einstellbar sind lassen sich sehr präzise Kennlinien kreieren.

Bei der Wahl der Soll $\cos \varphi$ Werte empfiehlt es sich den vom EVU zulässigen Bereich möglichst vollkommen auszuschöpfen um den maximalen Erfolg erzielen zu können.

Die FRAKO-PQC-Regler können in allen Bereichen des Quadranten-Systems arbeiten.

FRAKO PQC

Power Quality Controller Insights

In Kundenanlagen, die ausschließlich ihren Strom vom EVU beziehen, sind das die beiden Bezugsquadranten. In Stromerzeugungsanlagen wird in den beiden Rückspeisequadranten geregelt. In beiden Fällen kommt es darauf an die mit dem EVU vereinbarten Verträge vollständig zu erfüllen um maximalen Ertrag zu erzielen und Kosten zu vermeiden.

Im Regler sind 5 gebräuchliche Profile bereits vorbelegt. Bei der Wahl des der Anforderung am nächsten kommenden Profils muss meistens nur der Soll-cos φ angepasst werden.

Noch flexibler Dank Profilumschaltung

Diese Eigenschaft ermöglicht die automatische Umschaltung von maximal 5 Regelprofilen in Abhängigkeit von:

- der Wirkleistung (Phasenleistung oder Gesamtleistung) oder
- der Spannung (L-N oder L-L) oder
- den Eingangssignalen der digitalen Eingänge der Temp/I-O Module.

Dadurch lassen sich weitere Anforderungen insbesondere bei der Kompensation in Stromerzeugungskraftwerken umsetzen. Details sind hierbei den Bestimmungen des jeweiligen Netzbetreibers, in dessen Netz eingespeist werden soll, zu entnehmen.

Wertvolle Beiträge zur Nachhaltigkeit

FRAKO-Produkte zeichnen sich schon immer durch ihre hohe Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit aus. Die daraus resultierende lange Lebensdauer sorgt für deren sehr wirtschaftliche und ressourcenschonende Nutzbarkeit. Der Power Quality Controller PQC setzt diese erfolgreiche Tradition fort und liefert dadurch wertvolle Beiträge zur Nachhaltigkeit, wie:

- Reduzierter Verschleiß von Kompensationsanlagen
- Reduzierung von Blindleistungsverlusten in Verbraucher- und Stromerzeugungsnetzen
- Maximaler Ertrag bei der Stromerzeugung mittels regenerativer Energien
- Vermeidung von Personen- und Sachschäden durch frühzeitiges Erkennen von und bedarfsgerechtes Agieren gegen Störgrößen.

Autor: Erhard Auer



FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH

Tscheulinstraße 21a

D-79331 Teningen

Tel: + 7641 453-0

Fax: +49 7641 453-535

vertrieb@frako.de

www.frako.com