Die Tarfierung des Blindstromes

Autor(en): **Königshofer, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **63 (1972)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915649

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Tarifierung des Blindstromes

Von *E. Königshofer*, Wien

621.3.016.45

Mit der Bereitstellung ausreichender Kraftwerkkapazität und leistungsfähiger Übertragungs- und Verteilanlagen, die alle Forderungen des Konsumenten zu erfüllen vermögen, hat der Elektrizitätswirtschafter seine Aufgaben noch lange nicht erfüllt. Er hat die erforderlichen Massnahmen zu ergreifen, um optimale Wirtschaftlichkeit und gesicherte Betriebsstabilität zu erreichen.

Die Wege und Mittel zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes sind mannigfaltig, die Kriterien ihrer Wertung zahlreich: Als ein auf einem Umformungsprozess beruhendes Verfahren ist die Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung durch den herangezogenen Primärenergieträger und den Wirkungsgrad der Energieumformung bestimmt. Massgebend für das hydraulische Laufkraftwerk ist der Ausnützungsgrad der anfallenden Wassermenge, für das Speicherkraftwerk zusätzlich die Nutzung der Möglichkeit des multiplen Abarbeitens des Wassers durch Pumpspeicherung und Wälzbetrieb. Die Wirtschaftlichkeit eines thermischen Kraftwerkes ist nicht nur durch den spezifischen Brennstoffverbrauch, sondern auch durch die Ausnützungsdauer der Erzeugeranlage bestimmt. Nach der neuesten Forderung muss die Gefährdung der Umwelt minimalisiert werden. In allen Fällen ist das wirtschaftliche Auslasten der Übertragungsanlagen, somit der Wirkungsgrad der Energieübertragung, der von den Verlusten in den Übertragungsmitteln (Freileitungen und Kabel) abhängt, von entscheidender Bedeutung. Es verursachen nicht nur die Wirkströme Verluste in den Übertragungsmitteln, sondern auch die Blindströme. Es ist somit eine der vordringlichsten Aufgaben jeder Betriebsführung, für die tunlichste Entlastung der Leitungen von Blindströmen zu sorgen.

Das wirksamste Mittel, den Bezug von Blindstrom durch den Konsumenten zu beeinflussen, liegt in der zu betreibenden Preispolitik. Die Aufgabe, gerechte Preise für den Blindstrombezug zu erstellen, blieb bisher ungelöst; die angewandten Tarife überzeugen nicht von ihrer wirtschaftlichen Zweckmässigkeit. Ihre Höhe müsste mit den betrieblichen Nachteilen der Blindstrommiterzeugung und des -mittransportes in Einklang gebracht werden. Es ist keinesfalls die dem Konsumenten genehme Auffassung zuzulassen, es handle sich beim Blindstrom um einen Strombezug, der keinerlei Brennstoffkosten verursacht. Die Erscheinungen des Blindstromes entbehren nicht einer gewissen paradoxen Note, belastet doch der Konsument, der n A induktiven und n A kapazitiven Strom bezieht, das Kraftwerk nicht mit $2n$ A, sondern überhaupt nicht. Der vom Konsumenten bezogene vorwiegend induktive Blindstrom setzt durch die bereits angedeuteten Leitungsverluste die Wirkstromfortleitung herab, er erschwert die Spannungshaltung usw. Über alle diese Erscheinungen muss Klarheit bestehen, ehe ein gerechter Tarif (justum pretium) aufgestellt werden kann.

Nachfolgend seien die rechnerischen Beziehungen zwischen der Stromstärke, der Spannung und der erzeugten bzw. abgenommenen Leistung am Anfangs- und Endpunkt einer Leitung unter Verzicht auf jedwede Näherung angeführt[1]), wobei die folgenden Bezeichnungen verwendet werden:

P_e, P_a	erzeugte bzw. abgenommene Leistung
U_a, U_e	Spannung am Anfang bzw. am Ende der Leitung
U_{a0}	Leerlaufspannung am Anfang der Leitung
I_a, I_e	Strom am Anfang bzw. am Endpunkt der Leitung
I_{a0}	Leerlaufstrom am Anfang der Leitung
P_n	natürliche Leistung
η	Wirkungsgrad der Übertragung $\left(\frac{\text{abgenommene Leistung}}{\text{erzeugte Leistung}}\right)$
l	Leitungslänge
ω	Kreisfrequenz
L	Selbstinduktionskoeffizient der Leitung
R	Wirkwiderstand
C	Betriebskapazität
$\boldsymbol{Z}$	$\sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}}$ (Wellenwiderstand)
v	$\sqrt{(R + j\omega L) \cdot j\omega C}$ (Fortpflanzungsmass) $= a + jb$
a	$\sqrt{\frac{1}{2}\omega C \left[\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} - \omega L\right]}$ (Dämpfungszahl)
b	$\sqrt{\frac{1}{2}\omega C \left[\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} + \omega L\right]}$ (Wellenlängenzahl)

$$\cosh vl = \cosh al \cos bl + j \sinh al \sin bl$$

$$\sinh vl = \sinh al \cos bl + j \cosh al \sin bl$$

Zwischen den Spannungs- und Stromwerten am Anfang und am Ende der Leitung bestehen die folgenden Beziehungen:

$$I_a = \frac{U_e}{\boldsymbol{Z}} \sinh vl + I_e \cosh vl$$

$$U_a = U_e \cosh vl + \boldsymbol{Z}\, I_e \sinh vl$$

bzw.

$$I_e = I_a \cosh vl - \frac{U_a}{\boldsymbol{Z}} \sinh vl$$

$$U_e = U_a \cosh vl - I_a\, \boldsymbol{Z} \sinh vl$$

Aus diesen Formeln lassen sich wohl Rechenausdrücke ableiten, die den Anteil des Blindstromes an den Spannungs- und Stromwerten erfassen, die im Kraftwerk einzustellen sind, um die gewünschten Werte beim Konsumenten aufscheinen zu lassen und umgekehrt. Dem Ersteller eines Blindstromtarifes besagen diese gewonnenen Ausdrücke vorerst nichts oder nur wenig, es wird ihm die Lösung der gestellten Aufgabe nur durch Betrachtung der quantitativen Einflüsse des Blindstromes auf die Abwicklung der Übertragung näher gebracht,

[1]) Bezüglich der quantitiven Erfassung der Hochspannungsübertragung s. *Girkmann-Königshofer*, Die Hochspannungsfreileitungen, 2. Auflage, S. 35 bis 50, Springer-Verlag, Wien 1952.

weshalb das folgende numerische Beispiel durchgerechnet werden soll: Übertragungslänge $l = 600$ km, Endspannung $U_e = 220$ kV. Die der Berechnung zugrunde gelegten Leitungsdaten wurden aus der Leitungsausführung und dem Leitungsbild wie folgt ermittelt: $R = 0{,}097\ \Omega/\text{km}$, $\omega L = 0{,}445\ \Omega/\text{km}$, $C = 0{,}00841\ \mu F/\text{km}$, $\boldsymbol{Z} = 415 - j45$, $a = 0{,}000115$, $b = 0{,}001085$, $al = 0{,}069$, $bl = 0{,}651$ ($37^0 30'$), $\cos bl = 0{,}79335$, $\sin bl = 0{,}60836$, $\cosh al = 1{,}00238$, $\sinh al = 0{,}069$

Es ergeben sich jeweils die folgenden Betriebsdaten: Leerlaufspannung $U_{a0} = 176\,460$ V, Leerlaufstrom $I_{a0} = -3{,}5 + j187$, natürliche Leistung $P_n = 125$ MW.

Nachfolgend seien die Übertragungen von 100, 80, 60 und 40 MW bei verschiedenen Abnahmeleistungsfaktoren betrachtet und die folgenden Daten ermittelt:

Erforderliche Anfangspannung U_a;
Erforderlicher Anfangstrom I_a;

der sich ergebende Leistungsfaktor am Anfang der Leitung $\cos \varphi_a$, der Wirkungsgrad der Übertragung η und der noch zu erläuternde Stabilitätswinkel.

Vorerst sei darauf hingewiesen, dass für die Stabilität einer Übertragung der Winkel Ψ, den die Anfangs- und Endspannung einschliessen, massgebend ist. Der zuzulassende Wert Ψ ist von vielen konstruktiven und betrieblichen Gegebenheiten bestimmt. Als Richtwert für den zuzulassenden Stabilitätswinkel gelten 20...25^0. Es sei nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass die Berechnung von Grosskraftüber tragungen auf diesen Winkel, der mit abnehmendem $\cos \varphi_e$ stets günstigere Werte einnimmt, Rücksicht zu nehmen hat.

Werden 40 MW mit $\cos \varphi_e = 0{,}7$ vom Konsumenten abgenommen — somit daneben noch 40 Blind-MW (bMW) —, so wird im Elektrizitätswerk der Wert 240 kV einzustellen sein, der Anfangstrom I_a wird sich zu 135 A ergeben, der Leistungsfaktor $\cos \varphi_a$ wird 0,78, der Wirkungsgrad der Übertragung 91,5 %, der Stabilitätswinkel 11^0 betragen. Die zugelassene Kraftwerkspannung von 240 kV wird beim Bezug von 60 MW mit $\cos \varphi_e = 0{,}8$, somit beim Mitbezug von 45 Blind-MW einzustellen sein, die weiteren Werte dieser Übertragung sind $I_a = 162{,}5$ A, $\cos \varphi_a = 0{,}92$, $\eta = 93{,}5$ %, $\Psi = 16^0$. Es ist keine wirtschaftliche Lösung, dem Konsumenten in dem einen Fall 40 bMW, im anderen 45 bMW zu gleichem Einheitspreis für den Blindstrom in Rechnung zu stellen, vielmehr muss beim Bezug von 40 MW Wirkleistung mit $\cos \varphi_e = 0{,}7$ der Verdienstentgang für die unausgenützte Liefermöglichkeit von weiteren 20 MW hinzugerechnet werden. Nimmt der Konsument 80 MW Wirkleistung ab, so kann der $\cos \varphi_e = 0{,}95$ noch zugelassen werden, um die vorgesehene Anfangspannung von 240 kV nicht zu überschreiten. Es sind dann: $I_a = 217{,}5$ A, $\cos \varphi_a = 0{,}956$, $\eta = 93{,}5$ % und $\Psi = 22^0{,}30'$.

In allen bisher betrachteten Fällen ist das Kraftwerk kapazitiv belastet. Der mit 40 MW und $\cos \varphi_e = 0{,}7$ beschränkte Bezug des Konsumenten rechtfertigt einen solchen Blindstrompreis, dass der Verdienstentgang des Elektrizitätswerkes durch die unterbliebene aber mögliche Lieferung weitere 40 MW einschliesst. Es liessen sich auch 100 MW mit $\cos \varphi_e = 1$ übertragen, doch ergäbe sich dann der bedenkliche Stabilitätswinkel von $\Psi = 32^0$.

Die erfolgte Aufzählung der zu berücksichtigenden Komponenten des Blindstrompreises erheben weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch viel weniger auf Handlichkeit, d.h. sie weisen dem Tarifersteller keinen einfachen und klaren Weg, wie ein Tarif verfasst werden soll, um übersichtlich und gerecht zu sein und hiebei alle Nachteile, die dem Elektrizitätswerk durch die Blindstromlieferung erwachsen, vollinhaltlich einzubeziehen.

Es sei versucht, einen erfolgversprechenden Weg zur Hebung der Wirtschaftlichkeit und der Betriebsbedingungen, somit zur Ausschaltung aller betrieblichen Nachteile des Blindstromflusses und aller wirtschaftlichen Nachteile, die sich durch eine klare und einfache Tariferstellung nicht beherrschen lassen, einzuschlagen.

Die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsversorgung kann nur dann optimiert werden, die Vollausnützung der Anlagen lässt sich nur dann realisieren, wenn die als «parasitär» bezeichneten Blindströme nicht die gesamte Anlage belasten, sondern an Ort und Stelle, somit beim Konsumenten, erzeugt werden, so dass die Stromwege möglichst ausschliesslich von den Wirkströmen in Anspruch genommen werden. Die bisher erfolgte Belastung des Konsumenten für Blindstrombezug ist vollkommen unzureichend, der «justum pretium» liegt weit über dieser Belastung. Es sei daher die Anregung gegeben, sie in einer solchen Höhe festzulegen, dass der Konsument angeregt wird, die Aufstellung von eigenen Phasenkompensationseinrichtungen zu erwägen, um sie im Interesse der Verbilligung seiner eigenen Stromversorgung einerseits, der Verbesserung der Elektrizitätsversorgung im Interesse der Allgemeinheit anderseits zu betreiben. Der vom Elektrizitätswerk zu fordernde Preis der Blind-kWh hätte sich somit nach dem vom Konsumenten in eigener Regie gewonnenen zu orientieren.

Zur schätzungsweisen Ermittlung der Kosten, die dem Konsumenten bei der Eigenerzeugung des Blindstromes erwachsen, sei angenommen, dass die Anschaffungskosten einer Kondensatorenbatterie für 1 MVA sFr. 20000 betragen, dass die Batterie 5000 h im Jahr vollbetrieben wird und dass sie jährlich sFr. 2000 Kosten verursacht. Dann errechnet sich schätzungsweise der Preis der Blind-kWh zu:

$$\frac{200000}{1000 \cdot 5000} = 0{,}04 \text{ Rp.}$$

Dies ist ein durchaus diskutabler, die Aufstellung konsumenteneigener Kondensatorbatterien anregender Preis.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *E. Königshofer*, Krotenthallergasse 10/7, A-1080 Wien.