Regeltechnik im Energiehaushalt von Gebäuden

Autor(en): **Zürcher, Christoph**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **75 (1984)**

Heft 12

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904426

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

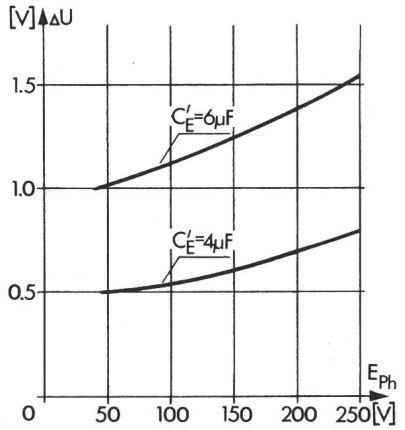

Fig. 1 Abhängigkeit des Spannungsfehlers der Brückenschaltung ΔU von der Phasenspannung des Wechselstromerregers E_{Ph}

Der Ausgangsspannungsfehler der betrachteten Brückenschaltung ist gemessen und für verschiedene Phasenspannungen des Wechselstromerregers E_{Ph} in Figur 1 dargestellt worden.

Grundsätzlich, dies ist zu betonen, soll die vorgestellte Brückenschaltung so dimensioniert werden, dass der resultierende Spannungsfehler möglichst klein bleibt, damit der Störabstand und somit auch die Selektivität und Empfindlichkeit des Schutzes relativ gross gewährleistet werden können.

Trotz der erschwerten Fehlerkompensation hat es sich gezeigt, dass diese Widerstands-Kapazitätsbrücke als Läufererdschlussschutz in dem uns interessierenden Bereich angewendet werden kann und einwandfrei funktioniert.

Hingegen ist zu bemerken, dass eine gewisse Entwicklungstendenz im Bereich derartiger Schutzeinrichtungen darauf ausgerichtet ist, den bisherigen Wert des Erdisolationswiderstandes, bei dem der Schutz ansprechen soll, zu ändern: Der Erdschluss im Läufer eines Generators tritt im Vergleich zu anderen Havariezuständen des Generators selten auf. Theoretische und praktische Untersuchungen lassen erkennen, dass bei heutigen Synchrongeneratoren, an welche hohe Forderungen bezüglich der Isolationsfestigkeit gestellt werden, die Erdschlüsse im Läufer vorwiegend durch mechanische Beschädigung der Isolation infolge der Anfahrten und Stillsetzungen hervorgerufen werden. Dabei treten starke mechanische Kräfte auf, die zu lokalen Verschiebungen der leitenden Stäbe der Läuferwicklung führen können. Die Folge davon sind plötzliche niederohmige Erdschlüsse im Läufer. Der Vorgang, wo ein Erdisolationswiderstand den Wert R_E = 1 kΩ stetig erreicht, auf den die bisher angewandten Schutzeinrichtungen eingestellt sind, existiert fast nicht.

Zu den anderen Messprinzipien zur Erfassung eines Erdschlusses im Läufer eines Generators, die von Herrn *C.-A. Neinens* erwähnt worden sind, sei folgendes erwähnt: Bekannt ist mir der Läufererdschlusschutz Type 7 UR 20 von Siemens, der mit periodisch umgepolter Gleichspannung mit einer Tastfrequenz von 0,8 bis 1,8 Hz arbeitet. Dieser Schutz wird symmetrisch über zwei Widerstände von je 40 kΩ galvanisch an die Läuferwicklung angeschlossen. Bei zweiseitigem Anschluss wird die Gefahr von Kurzschlüssen zwischen Plus- und Minuspol des Läufers viel grösser sein, ferner steigt die Resonanzgefahr, wobei Schwingungen elektrischer und mechanischer Art auftreten können.

Wesentlich höhere Ansprüche an das zuverlässige Arbeiten des Rotorkreises stellen auch erhöhte Anforderungen an den Rotorerdschlussschutz. So soll der Anschluss dieses Schutzes direkt an den Erregerkreis von Synchrongeneratoren grosser Leistung mit Halbleitererregung aus Sicherheitsgründen in Zukunft vermieden werden. Es wird dazu allerdings ein neues Messkriterium zur Feststellung eines Erdschlusses im Erregerkreis brauchen.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. *Tadeusz Kornas*, Institut für Energoelektrik, TH Wrocław, ul Benedyktynska 17m.23, 50-350 Wrocław, Polen.

Regeltechnik im Energiehaushalt von Gebäuden

Bericht über die Informationstagung des SEV und 55. Tagung der SGA mit dem Thema «Regeltechnik im Energiehaushalt von Gebäuden», die am 23. März 1984 an der ETH-Hönggerberg in Zürich stattfand.

Die mit der erfreulich grossen Beteiligung von gegen 350 Zuhörern durchgeführte Tagung richtete sich vor allem an Fachleute der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik, ferner auch an Hersteller und Betreiber von haustechnischen Anlagen sowie an Architekten und Baufachleute.

Adresse des Autors

Christoph Zürcher, Institut für Hochbautechnik, Abt. Bauphysik, ETHZ, 8093 Zürich.

Ziel der Veranstaltung war es, einerseits bauliche wie regeltechnische Aspekte in bezug auf den Energiehaushalt von Gebäuden aufzuzeigen und andererseits dem Teilnehmer ein Bild über den heutigen Stand, die Bedürfnisse und die Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Regelung und Steuerung in der Heizungs-Lüftungs-Klima-(HLK)-Technik zu vermitteln und regelungstechnische Energiesparmöglichkeiten aufzudecken.

In diesem Aufsatz wird anhand der gehaltenen Vorträge versucht, ein Bild über die Anforderungen an die Regelungstechnik im Hinblick auf ein energiebewusstes Bauen und die sich heute bietenden Möglichkeiten auf dem Gebiet elektronischer Regelungen und Steuerungen zu entwikkeln.

Die Regelung moderner Wärmeproduktionsanlagen in Gebäuden im Hinblick auf optimierten Energieverbrauch ist komplexer geworden, weil beispielsweise

- aufgrund der verbesserten Wärmedämmung rasch schwankende Änderungen der inneren Wärmelasten und der eingestrahlten Sonnenenergie als freie Wärme berücksichtigt und genützt werden müssen,
- vermehrt örtliche und zeitliche Ab- und Einschaltungen der Energiezufuhr notwendig sind,

- wärmespeichernde Eigenschaften der Bausubstanz zeitgerecht ausgenützt werden müssen,
- Speicheranlagen entsprechend Witterung und Bedarf beladen und entladen werden müssen.

Aus diesen Gründen scheint es notwendig, zuerst den Energiebedarf eines Gebäudes und die dynamische Wechselwirkung zwischen Gebäudehülle bzw. -masse und den Wetterelementen genauer zu analysieren.

1. Das Gebäude als Energieverbraucher

Während zu Zeiten der Hochkonjunktur ein Heizleistungsnachweis auf der Basis *stationärer* Wärmetransmission durch die Gebäudehülle als genügend erachtet wurde, hat sich diese Aufgabe in der Zwischenzeit für den projektierenden Architekten stark kompliziert. Heute steht ein ansehnliches Arsenal an Energiesparmassnahmen zur Verfügung, so dass es unerlässlich ist, das Gebäude als Gesamtsystem zu betrachten und alle bauphysikalischen Auswirkungen einer einzelnen Sparmassnahme zu erfassen.

Mit dem massiven Einsatz von Wärmedämmstoffen lassen sich wohl die Transmissionsverluste erheblich reduzieren, doch stellt sich z. B. schon hier für den Planer die Schwierigkeit der Wahl zwischen Aussenisolation oder innerer Wärmedämmung. Gleichzeitig aber werden dadurch bisherige Nebeneffekte wie Luftwechselwärmeverluste an Fugen, Sonneneinstrahlungsgewinne durch Fenster und Nebenwärmequellen zu energieverbrauchsbestimmenden Faktoren. Derartige Wärmeflüsse sind aber im Gegensatz zum stationären Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle (stationärer *k*-Wert) zeitlich schwankende Energieverluste oder -gewinne, so dass eine *instationäre* Betrachtungsweise nicht zu umgehen ist.

Kurzzeitige Änderungen des Wärmestromes an der äusseren Gebäudeoberfläche infolge schwankender Aussentemperatur werden durch die thermische Masse massiver Wandelemente gedämpft und zeitlich verzögert nach innen geleitet (Temperaturamplitudendämpfung und dynamischer *k*-Wert als instationäre Kennwerte einer Wandkonstruktion). Durch Fenster hingegen passiert die Sonnenstrahlung verzögerungslos, trifft auf innere Umgebungsflächen und wird dort teilweise gespeichert. Der Einbezug der wärmespeichernden Eigenschaften der Gebäudehülle wie auch der inneren Konstruktionselemente ist in heutiger Zeit für eine optimale Energiebewirtschaftung von Gebäuden unerlässlich, und der kritische, moderne Architekt und Planer muss lernen, diese Aspekte positiv in seinem Entwurfsprozess einzubauen.

Derartige material- und entwurfstechnisch energiekonforme Überlegungen zeigen aber auch das deutliche Bedürfnis nach einer wirksamen Regelung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen. Zukünftige Heizungsregelungen müssen in der Lage sein, einerseits in bedarfsorientierter Weise rasch eingreifen zu können, um einem momentanen Anfall von Fremdwärme oder Sonneneinstrahlung in Wohnräumen voll Rechnung tragen zu können, und anderseits unterschiedliche Temperaturniveaus zwischen Räumen verschiedener Nutzung zu berücksichtigen. Schliesslich sollen moderne Regelungen auch dem Benützer ermöglichen, seine individuellen Wünsche zu erfüllen.

2. Simulation des thermischen Verhaltens

Der Entwurf von Regelungs- und Steuerungsanlagen verlangt vorerst eine genaue Kenntnis des zeitlichen und thermischen Verhaltens eines Gebäudes bei Änderungen im Aussen- bzw. Innenklima. Solche Untersuchungen lassen sich am wirtschaftlichsten mit *Rechenprogrammen* durchführen, die alle für den Energiehaushalt relevanten Grössen physikalisch mit vernünftiger Genauigkeit in zu wählenden Zeitschritten bestimmen. Derartige Programme eignen sich vor allem für die Fragen der passiven Sonnenenergienutzung, wobei das Wärmespeicherverhalten der Gebäudemasse und damit verbundene, mögliche Heizenergieeinsparungen im Vordergrund stehen oder für die Fragen der Klimatechnik. Die Fragestellungen erstrecken sich dabei vom Jahresenergiebedarf über das Temperaturverhalten von Einzelräumen bis zur Dimensionierung von Komponenten in Klimaanlagen. Simulationsrechnungen ersparen kostenintensive Messungen an Ort und haben zudem den Vorteil, dass der Einfluss von geplanten Veränderungen am Baukörper bei exakt gleichbleibenden Randbedingungen studiert werden kann.

Von den vielen mathematischen Methoden wie Finite-Differenzen-Methode oder Fourier-Methode erscheint ein auf Transferfunktionen basierender Rechenalgorithmus am besten geeignet, um in beschränktem Rahmen Energiebedarfsberechnungen durchzuführen. Mit derartigen Simulationsprogrammen kann z. B. der Einfluss von verschiedenen im Regelsystem vorhandenen Zeitkonstanten oder der Einsatz eines Optimizers, der die Heizung über Nacht abschaltet oder absenkt (Problematik Nachtabschaltung oder Nachtabsenkung!) sowie den Zeitpunkt und den Verlauf optimaler Aufheizung berechnet, untersucht werden.

3. Steuerungsstrategien

Die Verwendung der Mikroelektronik in Steuereinrichtungen von HLK-Anlagen bietet enorme Möglichkeiten zur Informationsverarbeitung, d. h. die moderne Steuereinrichtung ist in der Lage, aufgrund der ihr zugeflossenen Informationen Entscheide über die Wahl der auszugebenden Steuerbefehle zu treffen. Einige Grundsätze, die derartige Steuerstrategien optimieren helfen, seien im folgenden kurz erwähnt:

- Anpassung an den Wärmebedarf durch möglichst genaue *Modellierung* des stationären Betriebszustandes, z. B. witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit ergänzenden thermostatischen Heizkörperventilen.
- Berücksichtigung von *wärmespeichernden* Elementen durch instationäre Modelle, z. B. Haus als Tiefpassfilter, bewirkt Verzögerung und Dämpfung der Aussenlufttemperatur.
- Verwendung von *Statistiken und Prognosen* über Aussenklimaelemente (Wetter).
- Bessere *Anpassung der Steuerung* an Anlage und Gebäude, d. h. optimale Einstellung der Steuereinrichtungen.
- *ganzheitliches* Denken.

Die Wichtigkeit optimaler Steuerung zeigt sich besonders deutlich bei *Wärmespeichern*. Speicher können die Ursache beträchtlicher Energieverluste sein, indem unnötigerweise geladene Zustände Dauerverluste hervorrufen, während die Nutzwärme nur kurzzeitig abgerufen wird. Für einen optimalen Betrieb eines Wärmespeichers werden Verbesserungsmassnahmen auf drei Ebenen vorgeschlagen:

- Speicherkonstruktion: Konstruktiver Aufbau in der Weise, dass parasitäre Verluste und damit unnötige interne Durchmischungen vermieden werden (Erhaltung der Temperaturschichtung).
- Speisung: Einspeisung auf möglichst gleichem Temperaturniveau (auf entsprechender Höhe) ohne unerwünschte Mischbewegung.
- Speicherbewirtschaftung: Speicher nur laden, wenn nötig, und Speicher nur soweit laden, als sinnvoll (Speichernutzzeit ist viel kleiner als Speicherzeit).

In bezug auf die Wärmespeicherung in den Gebäudemassen kann die Gebäudehülle mit ihrer thermischen Trägheit als eine Art Tiefpassfilter betrachtet werden, das kürzere und mittlere Schwankungen der Aussentemperatur stark dämpft. Die experimentelle Bestimmung der thermischen Trägheit eines Gebäudes und seiner Übertragungsfunktion ist eine Notwendigkeit, um eine intelligente, mikroprozessorgesteuerte Heizanlage optimal betreiben zu können.

4. Einsatz der Mikroelektronik

Die Güte der Regelung hängt von der Bauart des Reglers ab. Ein P-Regler greift bei Störungen im Regelkreis sofort ein, kann aber deren Auswirkungen nicht vollständig beseitigen (bleibende Regelabweichung). Er korrigiert umso mehr, je grösser der Fehler ist. Beim I-Regler tritt im ausgeregelten Zustand keine Regelabweichung auf. Er korrigiert so lange, als ein Fehler besteht, und zwar ändert er die Stellgrösse um so schneller, je grösser die Abweichung ist (langsame Korrekturen). Im PI-Regler sind das rasche Eingreifen des P-Reglers und die vollständige Beseitigung der Regelabweichung beim I-Regler vereinigt.

Mit der modernen Mikroelektronik erhält der Gerätehersteller die Möglichkeit,

einen höheren Integrationsgrad zu realisieren und neue Funktionen in seine Regler einzubauen. Unter Integration wird hier einerseits das Zusammenfassen von Regel- und Steuerfunktionen in eine Geräteeinheit, anderseits aber auch der Betrieb mehrerer Regelkreise über ein einziges Gerät verstanden. Bei den neuen Funktionen handelt es sich in erster Linie um Rechenoperationen, welche bei Geräten konventioneller Bauart nicht möglich sind.

Viele der heutigen Heizungsanlagen sind auf *witterungsgeführte* Heizungsregelung ausgelegt. Eine starre, der Aussentemperatur folgende Heizkurve entspricht nur selten der gewünschten Raumtemperatur. Der Grund ist in Störeinflüssen wie Sonneneinstrahlung, Wind, Änderung innerer Wärme usw. zu suchen. Aus Aussentemperatur und herrschender Raumtemperatur ist durch den Mikroprozessor periodisch die *optimale Heizkurve* neu festzulegen und anhand der Stärke der Aussentemperaturschwankung mit Hilfe der für die Speichermasse charakteristischen Zeitkonstante vorzeitig die Energiezufuhr, d.h. die pro Zeitintervall abzugebende Wärmemenge zu errechnen.

Die Abkühlkurve anderseits wird primär durch die Aussentemperatur und das Speichervermögen des Gebäudes bestimmt. Daraus resultieren unterschiedliche Einschalttemperaturen für das Anheben auf ein höheres Raumtemperaturniveau durch Wärmezufuhr. Der Mikroprozessor optimiert hier den Aufheizungsvorgang durch möglichst späte zusätzliche Heizenergiezufuhr. Eine schnelle, mikroprozessorgesteuerte Regelung bringt aber gerade bei Gebäuden mit guter Wärmedämmung die Gefahr des Überheizens mit sich. Auf der andern Seite verlängert ein zu träges Regelverhalten die Zeit für erforderliche Temperaturanpassung erheblich. Der intelligente Regler muss daher die Verhältnisse des zu regelnden Systems genau kennen.

Als Folgerung einer konsequenten, energieoptimierten Heizungsregelung ist zu fordern, dass auch die *Energieerzeugung* in das Optimierungsverfahren einzubeziehen ist, d.h. es soll nur so viel Wärme erzeugt werden, wie unbedingt erforderlich ist (z.B. Gleitkessel, dessen Wassertemperatur entsprechend der optimierten Heizkurve geführt wird).

Die Ablösung der konventionellen Analogtechnik durch die moderne Digitaltechnik erlaubt es, dass mehrere Fühler und Stellglieder von einem Regler seriell bedient werden. Der Mikrocomputer für die Steuerung von Heizungs- und Klimaanlagen ermöglicht insbesondere den Anschluss an übergeordnete zentrale Leitsysteme (ZLT). Die Möglichkeit, örtlich weit auseinanderliegende Anlagen von einer zentralen Leitwarte aus zu überwachen und bei Bedarf steuernd einzugreifen, war und ist auch heute noch der Hauptgrund für den Einsatz von ZLT-Systemen. Leitsysteme verbessern die Betriebsführung und helfen somit den Energieverbrauch zu optimieren (Beleuchtungssteuerung, Zeitschaltprogramme, Spitzenlastüberwachung mit Lastabwurf, Ausnützung von Tieftarifperioden).

5. Praktischer Ausblick

- *Betriebsoptimierung an einer multivalenten Heizanlage:* Am Beispiel einer multivalenten Anlage zur Heizung und Warmwassererzeugung in einem Behindertenheim, bei welcher die Ausnützung von Sonnen-, Aussenluft- und Erdwärme kombiniert wurde, werden erste Betriebserfahrungen aufgezeigt (Projektphase mit Zusammenarbeit verschiedener Fachleute, Einfluss von Zusatzeinrichtungen wie Spitzenlastabwurf und Blindleistungskompensation, Messeinrichtungen, Messpaket des EIR. Interpretation der Messergebnisse, Soll-Ist-Vergleich der Einsparungen, Wartungsaufwand, Betriebssicherheit.)

- *Heizkostenabrechnung:* Eine erste Übersicht über die verfügbaren Messverfahren und -geräte zur Erfassung des individuellen Wärmeverbrauches ergibt ein uneinheitliches Bild und zeigt, dass nicht alle Geräte voll ausgereift sind und dass zuverlässige, reproduzierbare und vergleichbare Resultate einen beträchtlichen Mehraufwand erfordern.

Liste der Vorträge

- Wandlungen in Architektur und Bautechnik und neue Anforderungen als Folge des energiebewussten Bauens, *H.H. Hauri*
- Simulationstechnik zur Vorausberechnung des Energieverbrauches in Gebäuden, *J. Gass*
- Optimierungsideen für den Betrieb von HLK-Anlagen, *J. Tödtli*
- Optimale Bewirtschaftung von Wärmespeichern, *P. Suter*
- Détermination expérimentale de la fonction de transfert thermique des bâtiments, *M. Cuénod*
- Einsatz der Mikroelektronik bei Geräten zur Regelung und Steuerung von HLK-Anlagen, *B. Junker*
- Leittechnik und Energieverbrauch in grossen Gebäuden, *M. Degunda*
- Betriebserfahrungen mit einer multivalenten Heizanlage, *B. Bruggisser*
- Wärmeverbrauchsmessung und Heizkostenabrechnung, *K. Voellmin*
- Wärmeverbrauchsmessung und Heizkostenabrechnung: Ergebnisse und Einfluss auf den Sparwillen der Mieter, *W. Kissling*.