SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.20 NO. 4 2021
DOI: 10.51984/JOPAS.V20I4.1667

مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences

Journal homepage: www.sebhau.edu.ly/journal/index.php/jopas

الجدل المستمر بخصوص التعريف العام للقدرة الكهربائية (الجزء الأول: دراسة مرجعية)

*منصور حشاد و أسماء أبو عزة و نادية المصراتي

المعهد العالي للتقنيات الهندسية ، الفرناج-السبعة ، طرابلس ، ليبيا

الملخص

يعتبر موضوع التعريف العام للقدرة الكهربائية من المواضيع التي تثير جدلاً واسعاً، وهذا الجدل مستمر منذ تسعينيات القرن التاسع عشر إلى يومنا هذا. هدف هذه الورقة، في المقام الأول؛ تقديم دراسة مرجعية عن طريق المسح التأريخي، بتمييز ما يراه المؤلفون جزءًا من النقاط المفصلية الأبرز في تاريخ هذا الجدل المستمر، حيث أصبحت هناك "نظريات قدرة" تُسمى بأسماء مقترحيها، لا يلغي إحداها ما سواه بشكل قطعي وكامل، بل كأنها تعيش مع بعضها البعض في قطيع يتنافس أفراده على الزعامة فقط، كظاهرة غير مألوفة في العلوم الدقيقة. في هذه الحالة من الريبة وعدم التيقن، كان من المهم أيضاً ذِكر المتفق عليه –على قِلته- ونطاق الاتفاق. في الورقة تم تقديم بعض الملاحظات الخاصة بالمؤلفين من بينها إضافة جدلية جديدة من قائمة المتفق عليه إلى قائمة المتخاصم عليه، استناداً على قانون تيليجن (Tellegen Theorem) لموازنة القدرة اللحظية. أيضاً تم تقديم مقارنات وملاحظات بخصوص بعض الجزئيات النقدية والحسابية والتشبيهية، مما نعتبره قيمة بحثية إضافية للقيمة المرجعية. الدراسة النقدية المتكاملة تحتاج لسلسلة من الورقات المرجعية. تعريف القدرة الكهربائية بالشكل العام –أي للدوائر الغير خطية بمنحنيات غير جيبية بفترة متكررة أو غير متكررة لأي عدد من الأطوار- أصبح موضوعٌ بالغ الأهمية وخصوصاً بعد الانتشار الواسع لأجهزة القدرة الإلكترونية في مجال إنتاج وإرسال واستهلاك الطاقة الكهربائية. الموضوع اليوم له عدة تيارات بحثية، من أهمها: التيار الأول هو تفسير الجانب المعرفي الفيزيائي للموضوع وهو بحثي صرف، والتيار الثاني هو قياسي تنميطي، والتيار الثالث يخص تصميم دوائر الترشيح سواء السلبية أو النشطة، وخصوصًا خوارزميات التحكم للمرشحات الفعالة. في هذه الورقة سيتم التركيز على الجانب الفيزيائي الرياضياتي لمفهوم القدرة الغير فعالة. مؤخراً هناك تيار بدأ يظهر، يعتمد الوصف المجالي باستخدام معادلات ماكسويل (Maxwell's Equations) و متجه بوينتنغ (Poynting Vector) كمحاولة لسبر حيثيات الخلاف.

الكلمات المفتاحية:

الدوائر الغير خطية
التوافقيات
القدرة الظاهرية
القدرة الغير فعالة
إلوفيتشي
بودان
فريزيه

The dispute over the general definition of electric power (Part One: Topic Overview).

*Mansour S. Hashad, Asma A. Abu-Azza, Nadia A. Al-Misrati

Higher Institute of Engineering Technology, Al-Furnaj-Saba, Tripoli, Libya

ABSTRACT

The subject of the general definition of electrical power is one of the topics that raise widespread controversy. The goal of this review paper is presenting a brief historical survey by highlighting what the authors see as the most critical points in the history of this ongoing debate. Some notes of own authorship are made as well, which we consider as additional research value to the overview one.Defining electrical power in general has become a very important topic, especially after the widespread utilization of electronic power devices in the field of production, transmission and consumption of electrical energy. In this paper, In particular the focus will be made on the physical nature of the concept of reactive power.

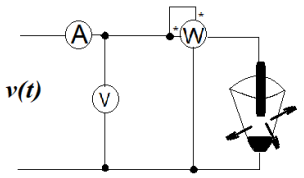
Keywords:

Power Theory
Illovici
Budean
Fryze
Kimbark
Zakikhani-Shepherd
Kusters-Moore
Akagi
Czarnecki

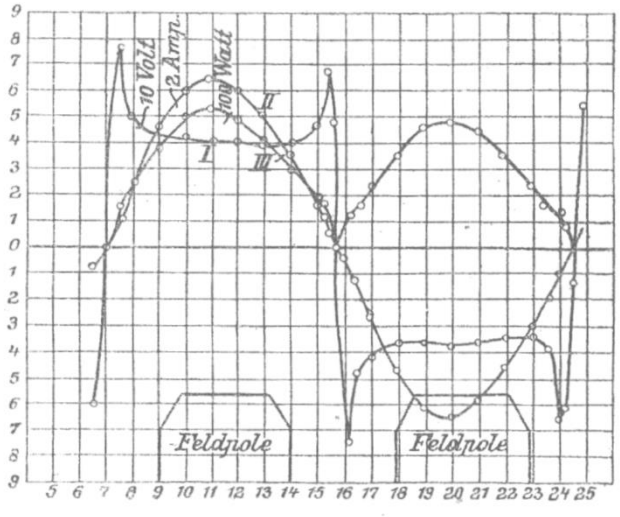
*Corresponding author:
E-mail addresses: ms_hashad@hotmail.com ,(A. A. Abu-Azza) abuazz.asma@yahoo.com ,(N. A. Al-Misrati) nm8645091@gmail.com
Article History : Received 15 July 2021 - Received in revised form 15 August 2021 - Accepted 15 September 2021

المقدمة

واحد من أهم المواضيع الأساسية والأكثر جدلاً على الإطلاق في العلوم الكهربائية هو التعريف العام للقدرة الكهربائية للدوائر الغير خطية بمنحنيات غير جيبية. كانت البداية في سنة 1892م [1، 2] حين تجادل شتاينمتز (Steinmetz) ضد هوبباخ (J. Heubach) حيث استدل الأخير بوجود انزياح في الطور بناء على قياس القيمة "الفعالة" للتيار (I) والقيمة "الفعالة" للجهد (V) والقدرة الفعالة (P) في الدائرة شكل رقم (1)، والتي بها الحمل كان عبارة عن مصباح قوسي. هوبباخ استنتج وجود انزياح للطور عن طريق حساب معامل القدرة $\frac{P}{V \cdot I}$ الذي كان أصغر من الواحد، وفي الاعتراض استدل شتاينمتز بالقياسات[2] المقدمة من قِبل W.B. Tobey و G.H.Walbridge كما بالشكل (2)، وبين أنه لا يوجد انزياح بالطور بين موجة الجهد والتيار بل يوجد فقط تشوه بالموجة الجهدية. بكلمات أخرى استخلص أن $S > P$ بالرغم من غياب الانزياح الطوري. وبهذا افتتح شتاينمتز أطول سباق مناظرة حوارية في تاريخ العلوم الكهربائية. لمزيد من التفاصيل يمكن قراءة الترجمة الإنجليزية للورقة البحثية تحت الرابط[3].



شكل1: دائرة شتاينمتز بالمصباح القوسي.



شكل2: منحنيات الجهود والتيار منسوخة كما قدمها شتاينمتز[2].

الدائرة التي درسها شتاينمتز كانت دائرة غير خطية فبينما التيار شبيه بالجيبي إلى حد كبير، نلاحظ الشكل المشوه للجهد على المصباح. وبالتالي حتى إذا قربنا المنحنى التياري للموجة الجيبية فإن الموجة الجهدية تحتوي على توافقيات عليا، حسب متسلسلة فوريه، وهذا بالضبط ما فعله بودان (C. I. Budean) في ورقته البحثية [4] سنة 1927م كمحاولة لوصف أعم للقدرة الكهربائية في النطاق الترددي. بعامين –أي في سنة 1925- سبقه إلوفيتشي[5] (Illovici) بتعريف القدرة الرديّة السعوية والقدرة الرديّة الحثية في النطاق الزمني، والنطاق الترددي، ولكن تم تجاوز تعريفاته رُبما لأنها قُدمت كاقتراحات غير كاملة، ولكن بكل تأكيد لا يمكن تجاوز ما قدمه فريزيه[6] في سنة 1931م و 1932م حيث قام بتحليل التيار رياضياتياً (أو الجهد) إلى مركبتين متعامدتين، إحداهما هي المسؤولة عن نقل القدرة الفعالة، والأخرى سماها المركبة الغير فعالة. بمفهوم فريزيه كل ما هو ليس فعال فهو غير فعال، وبالتالي لا يوجد عنده تفريق بين القدرة الغير فعالة وبين القدرة الردية المعروفة من دوائر التيار الجيبي بسبب انزياح التيار بالنسبة للجهد. يمكن اعتبار بودان هو رائد التيار البحثي الذي يصف القدرة في النطاق الترددي بينما فريزيه رائد التيار البحثي الذي يجزئ التيار الكهربي إلى مركبات متعامدة. وكلاهما مهد الطريق لمن بعده في هذه الإتجاهات التي تشعبت وتقاطعت، أكثر وأكثر، مع مرور الزمن.

يستخدم البحاث اليوم مصطلح "نظرية القدرة" (Power Theory) لوصف مجموع الأفكار المُقدمة في هذا المجال ولكن أيضاً يستعمل بشكل كبير في وصف ما قدمه باحث "ما" بالخصوص، فنقول "نظرية القدرة لبودان" أو "نظرية القدرة لفريزيه" وهكذا مقرونة بإسم الباحث؛ ويُقصد بها مجموع الأفكار والتعريفات التي قدمها الباحث المذكور في مجال تعريف القدرة الكهربائية. اصطلاحاً أيضاً يستعمل للتمييز بين النظريات فمثلاً لتمييز تعريفات القدرات الغير فعالة عن بعضها البعض يتم الترميز لقدرة الوفيتشي بـ Q_I بينما لفريزيه بـ Q_F ولبودان بـ Q_B وهكذا.

يستعمل أيضاً مصطلح "معادلة القدرة" (Power Equation) ويُقصد به ما يساويه مربع القدرة الظاهرية؛ مثاله في الدوائر الخطية للتيارات الجيبية:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

ما هو المتفق عليه ولا يتثر جدلاً إلى يومنا هذا؟

من الجيد الإجابة على هذا السؤال قبل الخوض في الخلافات حتى يكون للقاريء مرجعية تقييمية لما يتم سرده من خلافات.

- لجميع الدوائر الكهربائية بدون تخصيص:

- قانون القدرة اللحظية $p = v \, . \, i$
- قانون تليجين Tellegen Theorem الذي ينص على أن مجموع القدرة اللحظية لجميع المصادر p_s تساوي عددياً مجموع القدرة اللحظية لكل مستهلكات الطاقة p_o وبالتالي فلعدد m من المصادر وعدد n من المستهلكات: $\sum_m p_{sm} = \sum_n p_{on}$ يتم استنباط هذا القانون من قانوني كيرشوف، ولكنه فعلياً يجسد مبدأ الحفاظ على الطاقة.
- القدرة الفعالة المحسوبة على أساس المتوسط الزمني لقيمة الشغل المبذول $P = \frac{1}{T}\int_{\tau}^{\tau+T} vi \, dt = \frac{W(\tau+T)-W(\tau)}{T}$

في حالة القانون الأخير متحقق أيضاً مبدأ الحفاظ على الطاقة، ولهذا يمتلك القوة الحسابية و وضوح المعنى الفيزيائي، ولكننا سنُبين في هذا البحث استناداً لقانون تليجين ولمثال حسابي، أن هذا القانون قد يعطي تفسيرات لحظية خاطئة، وإن كانت الحسابات صحيحة على مستوى الفترة. ينتج هذا من حقيقة أن هذا القانون يحسب القيمة المتوسطة للشغل، وككل الإستنتجات التي تتم بناءً على القيم المتوسطة (ولا يُستثنى منها متوسط مربع

القيمة اللحظية) فإنها عاجلاً أم آجلاً تسبب تفسيرًا فيزيائيًا خاطئًا. نشير هنا إلى أن هذه الجزئية –أي جدلية P- أول مرة تنشر، فحسب علم المؤلفين لا يوجد شيء بالخصوص حتى في المنشورات الدولية. وبهذا تخرج عن الإتفاق لتنظم إلى قائمة المتنازع عليه. تشارنيتسكي اعطى فعلياً مثالاً لكنه بترددين مختلفين.

- للدوائر الكهربائية الخطية، الغير متغيرة زمنياً LTI بمنحنيات جيبية:

لا يوجد حولها جدل، وكل التعريفات المعروفة من نظريات الدوائر الكهربائية مقبولة، ويستثنى أحياناً تعريف القدرة الظاهرية للدوائر ثلاثية الطور. الجدل حول القدرة الظاهرية، لن يتم تناوله في هذه الورقة البحثية، فهي في الأساس قيمة مُعرفة حسب القيم المتوسطة كقيمة حدية، وليس بناءً على التفاعلات الفيزيائية بين الجهد والتيار.

الترميزات الرياضياتية المستعملة في الورقة

سنستعمل الترميزات الآتية:

$$x \equiv x(t), \quad \hat{x} \equiv \frac{dx}{dt}$$

وللقيمة المتوسطة خلال الفترة:

$$\bar{X} \equiv \frac{1}{T}\int_{\tau}^{T+\tau} x dt = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} x dt$$

الضرب القياسي لموجتين لحظيتين خلال الفترة:

$$\langle x|y \rangle \equiv \frac{1}{T}\int_{\tau}^{\tau+T} xy dt$$

كل موجتين –غير صفريتين- ناتج ضربهما القياسي يساوي صفراً، هما موجتان متعامدتان ونكتب شرط التعامد على النحو الآتي:

$$\langle x|y \rangle = 0$$

لترميز القياس لجذر متوسط مربع القيمة اللحظية RMS لأي موجة لحظية ولموجة تفاضل الموجة:

$$X \equiv \|x\| = \sqrt{\langle x|x \rangle}, \quad \hat{X} \equiv \|\hat{x}\| = \sqrt{\langle \hat{x}|\hat{x} \rangle}$$

ولموجة التيار والجهد وكذلك لتفاضل هذه الموجات:

$$I \equiv \|i\|, \quad V \equiv \|v\|, \quad \hat{I} \equiv \|\hat{i}\|, \quad \hat{V} \equiv \|\hat{v}\|$$

لتكن كل الموجات اللحظية قيد الدراسة هي موجات دورية متكررة بفترة T تمتلك تكامل مربع القيمة اللحظية للفترة المعطاة أي أنها $\in L_T^2$ وعبارة عن عناصر من فضاء هلبرت (Hillbert space).

نظرية القدرة في الدائرة الخطية أحادية الطور بمنحنيات جيبية

تخص هذه التعريفات الدوائر أحادية الطور الخطية وشكل الموجات بها جيبي. هذه التعريفات إلى يومنا هذا لا يوجد عليها جدل بين البحاث وهي محل توافق عام، ولكن يتم ذكرها هنا لهدفين: الأول للمحافظة على المنهجية التأريخية لتطور معضلة تعريف القدرة الكهربائية في الحالة العامة بغرض الربط المنطقي؛ أما الثاني لإبراز أن من بين أسباب الجدل الحاصل، هو محاولة تعميم هذه المفاهيم على كل الدوائر، منها على سبيل المثل موازنة معادلة القدرة :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \qquad (1)$$

فهذا القانون في الحالة العامة يفترض أن يُكتب بهذه الصيغة:

$$S^2 \geq P^2 + Q^2 \qquad (2)$$

لا يوجد مبدأ فيزيائي –مثل مبدأ الحفاظ على الطاقة- يُلزم بكتابة علامة التساوي، ولكن لأسباب غير مفهومة فإنه تم نقل إشارة التساوي من معادلة القدرة الخاصة بالدوائر الخطية بمنحنيات جيبية (التي تنتج من نظرية الأعداد المركبة، و ترتبط فيزيائيًا مع المعادلة $Z^2 = R^2 + X^2$ أو بأكثر دقة $|Z|^2 = Re(Z)^2 + Im(Z)^2$) إلى التعريفات العامة، حيث عند عدم الموازنة، أصبحت تُكتب بالشكل:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + Q_1^2 + Q_2^2 + \cdots + Q_3^2 \qquad (3)$$

أي الموازنة بإضافة ... Q_1, Q_2 قدرات وهمية -في الغالب- بناءً على اقتراحات شخصية، ثم يتم البحث عن مسميات وتفسيرات "للقدرات" المقترحة.

في اعتقادنا أن هذا من العجائب التي ضربت أطنابها في موضوع "نظريات القدرة" ألا وهو اصرار الكثير من البُحاث على ضرورة تحقيق معادلة القدرة(1) أي نقلها من الدوائر الخطية أحادية الطور بالموجات الجيبية ليُسحب بشكل غير مشروع على جميع أنواع الدوائر الكهربائية. هذه المعادلة (3) نتاج تحوير رياضياتي يعتمد على تقسيم التيار إلى مركبات متعامدة يمكن عملها بعدد لا نهائي من الطرق[7، 8] ثم ضرب طرفي المعادلة في مربع الجهد فنحصل على [3]. هذاالتصرف وإن كان صحيح رياضياتياً لا معنى له فيزيائيًا، فضرب تيار بجهد لا يوجد بينهما شغل مشترك لا يقدم أي معلوم فيزيائية، بالضبط كما لو أننا ضربنا جذر مربع القيم اللحظية لتيار يمر عبر مفتاح مغلق مثالي مع مثيلتها للجهد على المفتاح عندما يكون مفتوحاً، فهذه المعلومة قد تنفع هندسياً عند التصميم ولكن لا تصلح للبحث عن مركبات فيزيائية، لهذه القدرة الظاهرية للمفتاح. القدرة بالمفهوم الفيزيائي هي سرعة إنتاج أو استهلاك الطاقة، ولا يوجد قانون لبقاء القدرة حسب معادلة القدرة، في شكله التربيعي الهندسي. قد يبدو بديهياً أنه وبناءً على هذا التعريف، إذا لم يكن هناك تبادلات في الطاقة فلا يمكن الحديث عن سرعة هذه التبادلات –أي القدرة- ولكن المتتبع للجدل الحادث في تعريف القدرة الكهربائية اليوم يعرف جيداً أن هذه البديهية يتم انتهاكها بحجة تحقيق معادلة القدرة!. بل تستخدم حتى لنقد ما يخالفها؛ فأحد الحجج ضد نظرية إلوفيتشي كان عدم تحقيقها لمعادلة القدرة. الأمر الآخر الذي تم نقله من الدوائر الخطية بمنحنيات جيبية، هو "تأرجح" القدرة الرديّة (الطاقة) الذي يتم بسبب التبادلات في الطاقة المحافظة للمجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية (تم التعرض لظاهرة "التأرجح" بشيء من التفصيل لاحقًا). بشكل عام، اليوم يتم تقسيم الدوائر الكهربائية إلى دوائر بمنحنيات جيبية وغير جيبية (مشوهة). لا يوجد شك بأن هذا الوصف فيه قصور من الناحية الفيزيائية فيمكن للدائرة أن تكون خطية بموجات غير جيبية؛ مثلاً يكفي استعمال مصدر للجهد أو التيار غير جيبي أو دراسة جزء خطي من شبكة يتغذى بجهود مشوهة نتيجة الهبوطات الجهدية بسبب تيار الحمل المشوه؛ ويمكن ضرب الأمثلة لهذا. من ناحية أخرى، ومن الجانب العملي فإن المسمى فيه وجاهة (أي التفريق على أساس المنحنيات وليس على أساس خطية الدائرة الكهربائية) فنحن نستطيع تمييز المنحنيات التي يتم قياسها ولكن كيف نميز بشكل أكيد وقاطع بأن هذه المنحنيات المشوهة تخص دائرة خطية أو غير خطية، ولهذا فالتقسيم يجب أن يتم وفق ما نستطيع تمييزه عمليًا. في حُكمنا أن أحد أهم الأسباب لعدم الحسم للجدل القائم هو الإبتعاد عن المفهوم الفيزيائي للقدرة و الإعتماد على القيم المتوسطة و ربطها بموازنة معادلة القدرة. القدرة من الناحية الفيزيائية مرتبطة مع تبادلات الطاقة وهي وصف لمعدل التغير في الإنتاج أو الإستهلاك

$$p = \frac{dw}{dt} = vi \;\rightarrow\; dw = vi\,dt \qquad (4)$$

إذاً من القانون الأساسي لتعريف القدرة يتضح بشكل لا جدل فيه، من الناحية الفيزيائية، أنه لا وجود لقدرة بدون شغل مبذول. وبالتالي لا يمكن إضافة قدرة "ما" لمعادلة القدرة إلا إذا تم الكشف عن ماهية التبادلات في الطاقة التي ترتبط معها، وحتى وإن فعلنا فالسؤال ما علاقة معادلة القدرة (مجموع التربيعات) مع مبدأ المحافظة على الطاقة! يجب أن تتم الإجابةعلى هذا السؤال أولاً. في الهندسة الكهربائية يتم تعريف القدرة ليس بناءً على تبادلات الطاقة ولكن بناء على قيم متوسطية، كما هو الحال مع القدرة الفعالة $P = \overline{vi}$ أو عن طريق قيم جذور متوسط مربع القيمة $\|v\|, \|i\|$ ، وهكذا يتم في الأنماط الهندسية التي من أهمها بلا شك [9].

لأسباب تطبيقية، مفهوم القدرة في الهندسة الكهربائية له معان إضافية من نواحي تصميمية و تحسين ظروف عمل الشبكة الكهربائية، وهذا مهم جدًا ولكن لا يجوز خلطه بأي شكل من الأشكال مع فيزياء الظواهر نفسها، التي تعتمد على تبادلات حقيقية للطاقة الكهربائية، وإلا فنتيجة ذلك هو ما يحدث الآن بالضبط من جدل وإختلاط غير مشروع للمفاهيم. لحساب معامل القدرة، يمكن الإكتفاء بالقدرة الفعالة والقدرة الظاهرية. الصيغة الصحيحة في حكمنا لمعادلة القدرة هي (2) وليس (1).

في إعتقادنا؛ جميع مؤشرات تقييم جودة أداء الشبكات الكهربائية يجب أن تكون منفصلة عن "نظريات القدرة".

لنفرض أن القيم اللحظية للتيار والجهد موصوفة كالآتي:

$$i(t) = \sqrt{2}\cdot I \cdot sin(\omega t - \varphi) \qquad (5)$$

$$v(t) = \sqrt{2}\cdot V \cdot sin(\omega t) \qquad (6)$$

والقدرة اللحظية هي:

$$p(t) = v(t)\cdot i(t) \qquad (7)$$

فإن:

$$p(t) = P\cdot[1-\cos(2\omega t)] + Q\cdot sin(2\omega t) \qquad (8)$$

و يمكن تمثيلها بواسطة مركبتين:

$$p(t) = p_a(t) + p_q(t) \qquad (9)$$

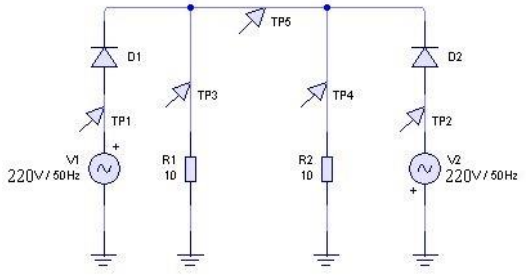
$$p_a(t) = P\cdot[1-\cos(2\omega t)] \qquad (10)$$

$$p_q(t) = Q\cdot sin(2\omega t) \qquad (11)$$

$$P = VI\cos(\varphi) \qquad (12)$$

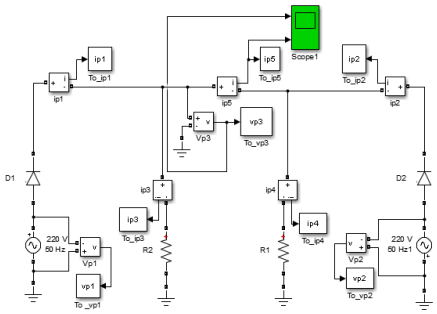
$$Q = VI\sin(\varphi) \qquad (13)$$

القيمة المتوسطة للمركبة وحيدة الإتجاه p_a هي القيمة P وهي القدرة الفعالة. المركبة p_q هي المركبة الردية ومتوسطها على الفترة هو صفر. لهذا السبب تم ترسيخ مفهوم أن القدرة الغير فعالة هي "قدرة" تتأرجح بين المصدر والحمل. اليوم يوجد جدل حول هذا، وهناك عدة تيارات، منها من يصر على أعتبار هذا من علاماتها، وهناك من يقول بأنه ليس ضرورياً وكلٌ يضرب لما يدعي من أمثلة. أوضح مثال على أولهما، هو تعميم بودان لتعريف القدرة الردية من الدوائر الخطية بالمنحنيات الجيبية، بينما أوضح مثال على الثانية هي القدرة الغير فعالة لفريزيه. نريد أن نضع تمييزاً بين الحالتين، وهو فعلاً يستعمل من قبل البعض، ألا وهو أن "القدرة" المتأرجحة تسمى القدرة الرديةً، بينما بالعموم فكل ما ليس فعالاً فهو قدرة غير فعّالة. أي أن القدرة الردية هي قدرة غير فعالة بينما العكس ليس بالضرورة صحيحًا. كرأي شخصي للمؤلفين، هذا التقسيم وإن كان أكثر تفصيلاً إلا أنه يفتقد للدقة. دعونا نتفق من ناحية المبدأ بأن المقصود من القدرة الردية هي القدرة التي ترافق التبادلات للطاقة الكامنة في المجالات الكهربية والمغناطيسية (أي وجودها يكون في شكل جهود على المكثفات أو\و تيار في الملفات). زعمنا بأن هذا التقسيم يفتقد للدقة سنوضحه بضرب مثل لدائرة كهربائية كما بالشكل (3) فيها قدرة متأرجحة ولكنها قدرة فعالة ولا وجود لأي قدرة ردية.



شكل3: دائرة تمثل تأرجح "القدرة" الفعالة.

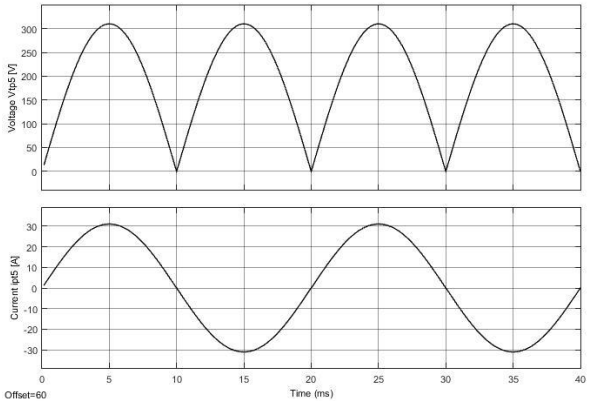
يوجد بالدائرة مصدرين للجهد الكهربي، لهما نفس التردد ونفس جهد التغذية ولكن بينهما انزياح طوري 180 درجة كهربائية. كل مصدر يغذي الدائرة عن طريق صمام تقويم (دايود قدرة) بالنسبة للعناصر التي تستهلك القدرة فهي عبارة عن مقاومات متساوية القيمة. للتبسيط سنفرض أن هذه العناصر مثالية ولا يؤثر هذا على صحة الإستنتاجات. في النصف الأول من الفترة يغذي المصدر v1 المقاومتين R1، R2 عبر الصمام D1 بينما المصدر v2 منحاز عكسياً. في النصف الثاني يحدث العكس تماماً. نقطة القياس ستكون TP5. الدائرة التشبيهية للدائرة من الشكل (3) في برنامج السيمولنك ماتلاب معطاة على الشكل (4).



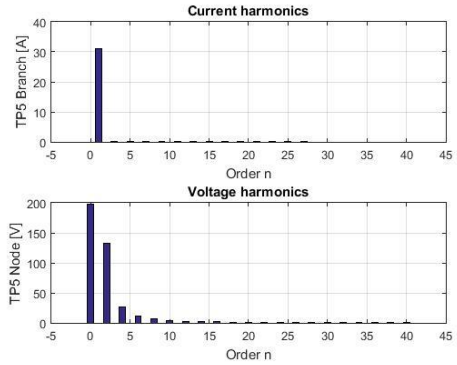
الشكل4: الدائرة التشبيهية للدائرة ش3.

نظراً لوجود الصمامين D1، D2 فإن موجة الجهد في النقطة TP5 هي عبارة عن جهد مقوم موجه كاملة، أما بالنسبة للتيار عبر هذه النقطة فهو جيبي لأن المصدران يتبادلان تغذية المقاومة من الجهة الأخرى لكل منهما. شكل(5) يوضح الموجة اللحظية لتغير منحنى الجهد و التيار الذي يعطيه البرنامج التشبيهي. وليس صعباً تحديده حتى بدون تشبيه. شكل(6) يعطي الطيف الترددي حسب رتبة التوافقيات. بما أن التيار هو موجة جيبية بفترة 20 ms فإنه يملك المركبة الأولى فقط. بينما الموجة الجهدية تملك المركبة الصفرية نتيجة للتقويم، وكذلك المركبات الزوجية لأن طول فترة التردد أصبح 10 ms. من الواضح أن الضرب القياسي لموجة الجهد والتيار $\langle v|i\rangle = 0$ فحاصل الضرب للنصف الأول من الفترة موجب بينما للنصف الثاني يماثله ولكنه بالسالب نظراً للأنعكاس في إشارة الموجة التيارية. نتيجة الضرب القياسي تقول أن القدرة الفعالة محسوبة على طول الفترة تساوي صفر أي $P = 0$ وبالتالي "فالقدرة" تتأرجح عبر النقطة TP5. نستطيع ملاحظة ذلك على الطيف الترددي شكل(6) فالتيار يملك توافقية جيبية وحيدة وفردية وهي الأساسية، بينما الجهد يملك مركبة ثابتة (صفرية) و مركبات زوجية وبالتالي فإنها لا تستطيع إنجاز شغل "ما" نظراً لإختلاف رتبة التوافقيات أو بكلمات أخرى لأنها منحنيات متعامدة. نحن نعلم بكل تأكيد أنه لا يوجد مستهلك

للطاقة غير المقاومات وبالتالي فإن الطاقة المسحوبة من المصدرين تتحول لحظياً –لحظة بلحظة- إلى طاقة حرارية.



شكل5: أ- موجة الجهد اللحظية في نقطة الإختبار Tp5 ، ب- التيار المار بالفرع الذي فيه نقطة الإختبار حسب الإتجاه الموضح على الدائرة الكهربائية.

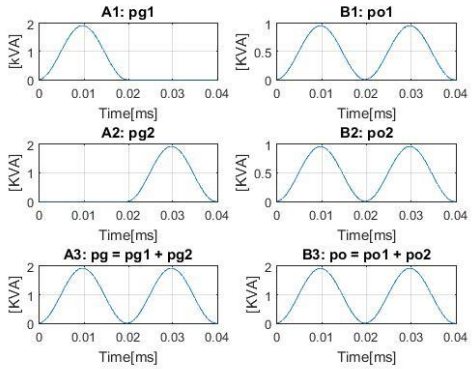


شكل6: طيف التوافقيات العليا لمنحنى أ: التيار ب: الجهد.

الشكل(7) A1 يمثل القدرة اللحظية للمصدر الاول p_{v1} بينما A2 للمصدر الثاني p_{v2}، وعلى A3 مجموعهما $(p_{v1}+p_{v2})$. الشكل(7) B1 يمثل القدرة اللحظية للمستهلك الاول p_{R1} بينما B2 للمستهلك الثاني p_{R2}، وعلى B3 مجموعهما $(p_{R1}+p_{R2})$. نلاحظ التماثل اللحظي للشكلين A3، B3 مما يعني أن:

$$p_{v1}+p_{v2}=\ p_{R1}+p_{R2}$$

قانون تليجين متحقق لحظياً، عليه ما يتم إنتاجه من المصادر يتم استهلاكه فوراً لحظة بلحظة، و لا يوجد أي نوع من أنواع القدرة الأخرى حتى يكون لها إنعكاسًا على مستوى متوسط الفترة. هذا يقودنا إلى أن القيمة المتوسطة للشغل على طول الفترة $P=\frac{W(\tau+T)-W(\tau)}{T}$ قد تعطي تفسيراً خاطئًا كما هو الحال هنا. طبعًا نحن نقصد المثال من الناحية الفيزيائية، ولكن عمليًا قد تحدث هذه الظاهرة بنسب أقل بين مصدرين عند الحالات العابرة في عمل منظمات السرعة للمولدات التي تعمل على التوازي، أو حتى في الحالات المستقرة، إلا أن هذا لا يهم هنا، ما يهم هو تبادلات الطاقة من الناحية الفيزيائية وأن القيم المتوسطة يجب التعامل معها بحذر، وبأي حال من الأحوال لا يجب تعميمها على الدوائر التي بها توافقيات أي المنحنيات الغير جيبية.



شكل7: منحنيات القدرة اللحظية:

A1 للمصدر الأول، A2 للمصدر الثاني، A3 مجموع القدرة اللحظية للمصدرين،

B1 القدرة اللحظية على المقاومة الأول، B2 على المقاومة الثانية، B3 محموعهما.

الجدول رقم (1) يحتوى على حسابات للقدرة الغير فعالة في النقطة TP5 حسب تعريفات مختلفة (مختارة) والموضوعة بالجدول بغرض المقارنة.

نظرية القدرة لإلوفيتشي

في سنة 1925م قدم إلوفيتشي مقترحين للقدرة [5] في النطاق الزمني بشكلها التكاملي:

$$Q_I=-\frac{1}{\omega T}\int_0^T i\hat{u}dt=\frac{1}{\omega T}\int_0^T u\hat{i}dt \qquad (14)$$

$$Q_I=-\frac{\langle i|\hat{v}\rangle}{\omega}=\frac{\langle\hat{i}|v\rangle}{\omega}$$

وفي النطاق الترددي، عرف الأولى بالقدرة الردية السعوية (15) والثانية الردية الحثية (16) وهما على الترتيب:

$$Q_{IC}=\sum_{n=1}^{\infty}nV_nI_n\sin(\varphi_n) \qquad (15)$$
$$Q_{IL}=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}V_nI_n\sin(\varphi_n) \qquad (16)$$

حيث n رتبة التوافقية، والزاوية φ_n هي انزياح الطور بين الجهد والتيار لكل توافقية. يأخذ بعض النقاد من عيوب قدرة إلوفيتشي أنها لا تحقق معادلة القدرة دائماً.

في حكمنا –كما تم ذكره- أن هذا ليس عيباً على الإطلاق، بل أن هذا النقد هو جزء من المشكلة الحالية حيث تم تعميم (1) وليس (2). من العيوب كذلك، أن المتسلسلة (15) قد تكون غير متقاربة نظرياً، وبأن النظرية قُدمت كإقتراح غير متكامل، ونتفق مع الجزئية الأخيرة بالكامل، فلا يمكن اعطاء مقترحين دون توضيح مدى ونطاق صلاحية كل منهما.

نرى أن الوصف الزمني يحاول ربط القدرة الكهربائية مع فيزياء الظواهر، وهو فعليًا من الأوصاف الأقرب للفيزياء. أما بالنسبة للوصف الترددي الذي تم اشتقاقه من (14) فإن هذا الإشتقاق في الأساس غير مسموح به رياضياتياً للمعادلات الغير خطية، ومع ذلك فإن إعتماد القدرة الردية على التردد (مرتبة التوافقية n) هو صائب، لأن العناصر الرد فعليه (أي

الممانعات) تتوقف قيمتها على التردد، وبالتالي فمن المتوقع جداً أن تتوقف القدرة الردية على التردد أيضاً، وهذا ما غاب عند بودان تماماً.

جدول1: قيم القدرات حسب مقترحها في النقطة TP5.

القدرة الغير فعالة حسب المقترح	حسب نقطة القياس TP5 [kVAr]
Illovici 1st pro.: $Q_{IC} = \sum n\, V_n I_n \sin(\varphi_n)$	0
Illovici 2nd pro.: $Q_{IL} = \sum \frac{1}{n} V_n I_n \sin(\varphi_n)$	0
Budean: $Q_B = \sum V_n I_n \sin(\varphi_n)$	0
$D = \sqrt{S^2 - Q_B^2 - P^2}$	4.8
Fryze: $Q_F = V I_{nF} = \sqrt{S^2 - P^2}$	4.8
Kimbark: $Q_k = V_n I_n \sin(\varphi_n) = Q_1$	0
Shepherd-Zakikhani: $Q_{SZr} = V\sqrt{\sum I_n^2 sin^2(\varphi_n)}$	4.72

نظرية القدرة لبودان

استعمل بودان تحليل فوريه لموجة التيار والجهد؛ وحيث أن القدرة الفعالة تكون معرفة في النطاق الترددي بالشكل الآتي:

$$P = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n cos(\varphi_n) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n \qquad (17)$$

عليه بشكل تناظري قام بتعريف القدرة الردية لكل توافقية كالآتي:

$$Q_B = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n sin(\varphi_n) = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \qquad (18)$$

وبغرض تحقيق معادلة القدرة فرض وجود قدرة اضافية سماها قدرة التشوه (Distortion power) ورمز لها بالرمز D حيث:

$$S^2 = P^2 + Q_B^2 + D^2 \qquad (19)$$

عدم اعتماد Q_n على رتبة التوافقية هو غير منطقي. إدخال القدرة الوهمية D هو عمل غير مبرر فيزيائياً، فمن الواضح أن بودان عمم (18) على غرار (13) كما عمم (19) على غرار (1). لسنا متأكدين من الناحية التأريخية، ولكن في الغالب على ما يبدو، أن بودان هو رائد النقل الغير مشروع للتعريفات من الدوائر الخطية بموجات جيبية إلى التعميم.

بخلاف النظريات الأخرى فإن نظرية بودان استقرت لعقود، كتعريف للقدرة الكهربائية بشكلها العام، وحسب علمنا فإن أول من أوضح خطأها بشكل بيّن هو ليشيك تشارنيتسكي[10] (Leszek Czarnecki) في سنة 1987 في ذاك الوقت كانت تُعامل كنظرية سليمة تماماً، بل قد نجد بعض المهندسين الكهربائيين الذين يتداولونها إلى يومنا هذا.

نظرية القدرة لفريزيه

نظرية القدرة لفريزيه[6] 1931 كانت تعتبر تعريفاً بديلاً لنظرية القدرة لبودان، حتى سنة 1984 حين انتقدها تشارنيتسكي [11] بشكل قوي.

فريزيه اعتمد أسلوباً مغايراً حيث قام بتقسيم التيار إلى مركبتين؛ المركبة الفعالة وغير الفعالة، وكان هذا في سياق انتقاده لتعريف القدرة حسب بودان. انتقد فريزيه تعريف بودان لسببين رئيسيين؛ أولهما عدم إمكانية تعيين القدرة الردية لبودان عملياً بحسب الأجهزة المتوفرة وقتها، والسبب الثاني علل بأن القدرة الكهربائية من القيم المهمة الأساسية، والتي لا يجب تعيينها بطريقة غير مباشرة أي عن طريق التحليل في متسلسلة فوريه. ضرب فريزيه مثلا لموجة الجهد والتيار لمفتاح كهربائي يفتح ويغلق بانتظام في دائرة تيار ثابت مكون من مصدر جهدي للتيار الثابت ومقاومة. وأوضح فريزيه أنه يمكن تحليل هذه الموجات في متسلسلة فوريه بينما الحديث عن تبادلات الطاقة هنا لا يحمل أي معنى. قسم فريزيه موجة التيار لمركبتين متعامدتين:

$$i = i_a + i_{nF} \qquad (20)$$

المركبة الفعالة i_a وهي موجة لها نفس شكل موجة الجهد وتتناسب معها لحظياً أي:

$$i_a = \frac{P}{V^2}\, v \qquad (21)$$

والقيمة RMS لهذه المركبة هي أصغر قيمة لتيار، يمكن أن تحمل القدرة P. هذا واضح ومهم ويعتبر تقديماً جيداً في النطاق الزمني. القيمة المتبقية من التيار أي i_{nF} فهي الفرق بين القيمة اللحظية للتيار والقيمة اللحظية للمركبة الفعالة، سماها فريزيه المركبة الغير فعالة، وحيث أن المركبتين متعامدتان، عليه يكون مجموع القيم لمتوسط مربع القيمة لهما مساوياً لمتوسط مربع القيمة للتيار الكلي (22):

$$I^2 = I_a^2 + I_{nF}^2 \qquad (22)$$

وبضرب طرفي المعادلة (22) في متوسط مربع القيم للجهد:

$$I^2.V^2 = I_a^2.V^2 + I_{nF}^2.V^2 \qquad (23)$$

ومنه مباشرة نتحصل على معادلة القدرة:

$$S^2 = P^2 + Q_F^2 \qquad (24)$$

القدرة الغير فعالة لفريزيه Q_F ليس بالضرورة أن يكون لها أي معنى فيزيائيًا. وننوه هنا بأن كل القدرات التي تعتمد على معادلة القدرة هي تفصيل (تجزيئ) لقدرة فريزيه، مثلاً:

$$Q_F^2 = Q_B^2 + D^2 \qquad (25)$$

ميزة نظرية فريزيه أنها تُعرف مركبات القدرة في النطاق الزمني بدون الحاجة إلى التحليل في متسلسلة فوريه. فريزيه كان السباق إلى هذه الطريقة وهو يعتبر رائد طريقة تحليل الموجات التيارية\الجهدية إلى مركبات متعامدة.

نظرية القدرة لـ شيفرد – زاكي خانِ

تم اقتراح هذه النظرية[12] في سنة 1972 بواسطة (Shepherd and Zakikhani) حيث اقترحا مركبتين للتيار، مركبة تكون كل توافقياتها التيارية متناسبة مع ما يقابلها من التوافقيات الجهدية وسميا المحصلة بـ i_R ومركبة مزاحة بربع الفترة وعُرفت بـ i_r وهكذا إذا فرضنا أن الموجة الجهدية معطاة:

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t + \alpha_n) \qquad (26)$$

والموجات التيارية:

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t + \alpha_n - \varphi_n) \qquad (27)$$

عليه المركبات هي:

$$i_R(t) = I_0 + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \cos(\varphi_n)\cos(n\omega t + \alpha_n) \qquad (28)$$

$$i_r(t) = \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \sin(\varphi_n)\sin(n\omega t + \alpha_n) \qquad (29)$$

سمى المركبة i_R بالمركبة المادية، والمركبة i_r بالمركبة الردية. يجب أن لا نخطأ المركبة i_R مع المركبة الفعالة لفريزيه i_a ، فهي بعكس هذه الأخيرة لا تحمل أي معنى. من نظرية بارسيفال (Parseval's theorem) ينتج:

$$I_R^2 = I_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty}[I_n \cdot \cos(\varphi_n)]^2 \qquad (30)$$

$$I_r^2 = \sum_{n=1}^{\infty}[I_n \cdot \sin(\varphi_n)]^2 \qquad (31)$$

وبما أن :

$$\langle I_R | I_r \rangle = 0$$

عليه فالمركبتان متعامدتان وينتج عنه:

$$I^2 = I_R^2 + I_r^2$$

وكما سبق، بالضرب V^2 نتحصل على معادلة القدرة لهما:

$$S^2 = {S_R}^2 + Q_S^2 \quad (32)$$

حيث:

$$S_R^2 = V^2 I_o^2 + V^2 \sum_{n=1}^{\infty} [I_n \cdot \cos(\varphi_n)]^2 \quad (33)$$

$$Q_R^2 = V^2 \sum_{n=1}^{\infty} [I_n \cdot \sin(\varphi_n)]^2 \quad (34)$$

من (33) وبالمقارنة مع (17) نلاحظ أن القدرة المادية $S_R \geq P$ وهذا غير مقبول عليه تم تقسيم مربعهما إلى مربعين ومعادلة القدرة أصبحت:

$$S^2 = P^2 + {S_C}^2 + Q_S^2 \quad (31)$$

المعادلة (31) تعرف بمعادلة شارون (D. Sharon) ولم يتم إعطاء أي تفسير لماهية القدرة S_C وسماها القدرة الرد فعلية المكملة! مجرد تقسيم رياضياتي، ولم تقدم جديداً.

بالرغم من قصورها الواضح في تعريف ماهية القدرات إلا أن نظرية شيفرد-زكي خان أعطت حلاً عملياً لتعيين قيمة السعة الكلية (35) لبطارية مكثفات تحسين معامل القدرة، وسميت بالقيمة المثلى لسعة المرشح:

$$C_{opt} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} nV_n I_n \sin(\varphi_n)}{\sum_{n=1}^{\infty} n^2 V_n^2} \quad (35)$$

وهي القيمة التي بها يتحسن معامل القدرة إلى أعلى قيمة له.

في سياق انتقاده لنظرية شيفرد-زكي خان وكذلك كوسترس-موور يكتب تشارنيتسكي في كتابه[13] ص 98 ما ترجمته من اللغة البولندية بتصرف:

"قانون شيفرد-زكي خان والمناظر له قانون كوسترس-موور لحساب السعة المثالية لمكثف تحسين معامل القدرة، تم استنباطه تحت فرض أن القيم الفعالة لتيارات وجهود التوافقيات للحمل لا تعتمد على سعة المكثف التعويضي. هذا الفرض الذي في ظاهره جيد، هو غير صحيح في الظروف العملية؛ حتى بالرغم من صغر قيمة الممانعة الداخلية للشبكة مقارنة مع ممانعة الحمل، إلا أنها تملك صفة حثية وبالتالي فإن قيمتها تزداد مع ترتيب التوافقية n وبالتالي تتغير الجهود على الحمل ومن ثم التيارات مما يجعل من هذا الفرض سبباً في حدوث أخطاء كبيرة قد تصل إلى حالات غير مقبولة".

نظرية كوسترس-موور

المقترح الذي قدماه كوسترس-موور[14] (Kusters N.L. and Moore W. J. M) في سنة 1980 يعتمد على تقسيم التيار إلى ثلاثة مركبات؛ الأولى هي المركبة الفعالة لفريزيه i_a والثانية المركبة السعوية i_{qC} والثالثة المركبة المتبقية من عملية التجزيئ i_{qCr}

$$i = i_a + i_{qC} + i_{qCr} \quad (36)$$

$$i_{qC} = -\frac{\omega . Q_I}{\hat{V}^2}\hat{v},\ i_{qCr} = i_r \quad (37)$$

$$i = \frac{P}{V^2} v - \frac{\omega . Q_I}{\hat{V}^2}\hat{v} + i_r \quad (38)$$

هذه المركبات الثلاثة تكون متعامدة، عليه فإن الضرب القياسي فيما بينها يساوي صفر، أي:

$$\langle i_a | i_{qC} \rangle = \langle i_a | i_{qCr} \rangle = \langle i_{qC} | i_{qCr} \rangle = 0$$

وبتربيع الطرفين وتكاملها نحصل على:

$$I^2 = I_a^2 + I_{qC}^2 + I_{qCr}^2 \quad (39)$$

بضرب طرفي المعادلة (39) في مربع الجهد تنتج حالاً معادلة القدرة حسب كوسترس-موور:

$$S^2 = P^2 + Q_{qC}^2 + Q_{qCr}^2 \quad (40)$$

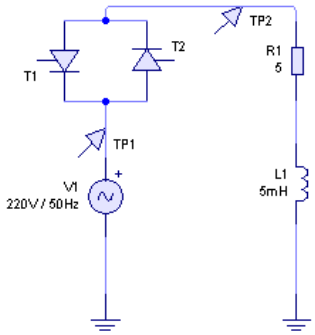
وأقترحا أن القدرة Q_{qC} يمكن أن يتم ترشيحها بحيث يصل معامل القدرة إلى قيمته القصوى عن طريق مرشح سلبي سعته موصوفة بالمعادلة:

$$C_{opt} = -\frac{Q_{qC}}{\|v\|\|\hat{v}\|}$$

في الحقيقة هي نفس السعة المعطاة بالمعادلة (35) يتم تعيينها على القيم في النطاق الزمني، دون الحاجة لتحليل الموجات بإستخدام فوريه، وهذه ميزة.

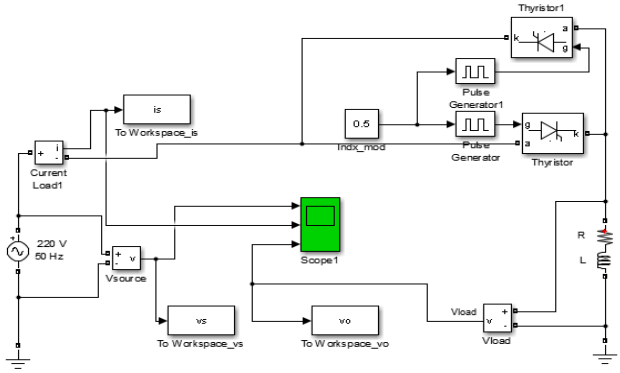
تحليل تشبيهي ببرنامج الماتلاب

النظريات المذكورة هنا هي بعض من النظريات المختارة والتي تعتبر مقدمة لموضوع كبير وغير محسوم تحت مسمى "نظريات القدرة". هذا الموضوع في يومنا هذا تؤلف له كتب خاصة و رسائل الماجستير والدكتوراة، عليه لا مجال للحصر أو حتى الإقتراب منه في ورقة بحثية، لكننا نزعم أنها تُلقي الضوء بشكل جيد على الموضوع ويحدد البدايات، لأجل هذا أيضًا فقد تم عمل دراسة تشبيهية في برنامج الماتلاب، بغرض المقارنة بين بعض النظريات. الدائرة الكهربائية على الشكل(8) عبارة عن حمل مادي-حثي R=5Ω/L=5mH يتغذى عن طريق ترياك (تم تشبيهه ك ثايرستورين معكوسين) من مصدر جهدي 220V/50Hz زاوية القدح 90° درجة كهربائية. الدائرة تم اختيارها كدائرة غير خطية مع وجود تبادلات للطاقة المتشتتة والمحافظة.



شكل8: دائرة غير خطية بحمل حثي فعّال.

على الشكل(9) دائرة التشبيه في برنامج السيمولنك – ماتلاب. إلى فضاء العمل أي ذاكرة الماتلاب تم تمرير إشارات الجهود في النقاط TP1، TP2 وكذلك موجة منحنى التيار للمعالجة الرقمية بواسطة ماتلاب m-file. هذه الإشارات تم عرضها على راسم الإشارة البرمجي.

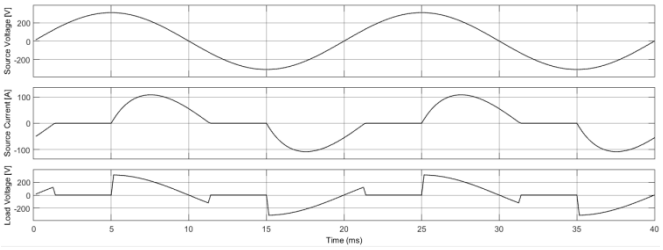


شكل9: الدائرة التشبيهية للدائرة من ش8.

الشكل(10) يُعطي الإشارات من راسم الإشارة والتي على أساسها تمت المعالجة الرقمية. بعد المعالجة كانت القيم المحسوبة كالآتي:

القدرة الفعالة P = 7703.2 [W] جذر متوسط مربع جهد التغذية Vs = 219.9 [V] ولجهد الحمل Vo = 154.9[V] وللتيار Is = 62.0 [A] أما القدرة الظاهرية من جهة المصدر والحمل على الترتيب فهما S1 = 13637.8 [VA]

و S2 = 9604.7[VA].



الشكل10: الموجة اللحظية أ: الجهد في النقطة TP1 ب: شدة التيار ج: للجهد في النقطة TP2.

على اساس هذه المنحنيات وعلى تحليل فوريه لها تم تعيين القدرات الآتية حسب التعريفات المرفقة بالجدول(2).

جدول2: مقارنة لقيم القدرات حسب مقترحيها في النقاط TP1، TP2.

رقم	القدرة الغير فعالة حسب المقترح	حسب نقطة القياس [kVAr]	
		TP1	TP2
1	Illovici 1st pro.: $Q_{IC} = \sum n\, V_n I_n \sin(\varphi_n)$	9.98	9.26
2	Illovici 2nd pro.: $Q_{IL} = \sum \frac{1}{n} V_n I_n \sin(\varphi_n)$	9.98	3.44
3	Budean: $Q_B = \sum V_n I_n \sin(\varphi_n)$ $D = \sqrt{S^2 - Q_B^2 - P^2}$	9.98 5.23	4.59 3.44
4	Fryze: $Q_F = V I_{nF} = \sqrt{S^2 - P^2}$	11.25	5.74
5	Kimbark: $Q_k = V_1 I_1 \sin(\varphi_1) = Q_1$	9.98	2.93
6	Shepherd-Zakikhani: $Q_{SZr} = V\sqrt{\sum I_n^2 sin^2(\varphi_n)}$	10.87	4.69

من الحسابات نلاحظ وجود اختلاف كبير بين القيم وعدم وجود نمطية أو مرجعية معينة يمكن الإستناد عليها، وبالتالي فهذه القراءات عديمة الفائدة. يمكن مبدئيًا بشكل تقريبي أخذ قدرة كِمبارك {5} كمرجعية لأنها تتعامل مع المركبة الأساسية، ولكن حتى في حالتها نجد أن هناك فرق بين القدرة الردية في نقطة القياس الأولى والثانية، مما يعني أنها لا تعطي قياسًا للقدرة الردية (الحثية) بل تتأثر بعدم الخطية. القدرة الوحيدة {1} هي التي حافظت تقريباً على القيمة قبل وبعد العنصر اللاخطي والفرق قد يكون حسابياً.

تساوي القدرة في نقطة الإختبار الأولى TP1 بين القدرات {1، 2، 3أ، 5} في النقطة TP1 سببه أن موجة الجهد تملك توافقية واحدة n=1 وبالتالي فكل المركبات تساوي صفر، مما جعلها تساوي قدرة كمبارك بعد وضع n=1.

في النقطة TP2 لدينا جزء خطي (دائرة خطية) تتغذى بموجة جهدية مشوهة، كان من المفترض أن يكون التباين أقل، ولكن حدث عكس ذلك تمامًا، أي عدم تطابق بين أي قدرتين مما يقدم السؤال أي هذه القدرات أقرب للصواب ولماذا؟.

الخاتمة

في هذه الورقة البحثية المرجعية تم تقديم مسح ملخص لنظريات القدرة لمحطات مختارة من عشرينيات القرن الماضي إلى منتصف الثمانينات وكذلك أحدث تنميط لـ IEEE في هذا النطاق (يمكن الرجوع للدراسة النقدية [15] بخصوص هذاالنمط). تم ذكر المتفق عليه حتى تكون هناك رؤية عملية للموضوع، ثم تم الطعن في أحد القيم المتوسطية التي كانت محل إتفاق إلى تاريخ كتابة هذه الورقة، ألا وهو تعريف القدرة الفعالة $P = \langle v|i \rangle$ (بإستثناء المثل الذي قدمه تشارنيتسكي بترددين مختلفين).

في النطاق الزمني يلعب التجزيئ على طريقة فريزيه دوراً مهماً في هذه التحليلات. للأسف –في أغلب الأحيان- يتم هذا عن طريق الفرض الدوغماتي. ما تم سرده من اقتراحات لنظرية القدرة في هذه الورقة البحثية لا يعكس حجم النقاش والجدل الحادث إنما فقط يسلط الضوء على بعض المحطات الرئيسة التي صاحبت تطور الموضوع، وكذلك يقدم الأسس النظرية لهذا الإختلاف. هناك الكثير من االدراسات النقدية المهمة التي لم يتم التطرق إليها في هذه الورقة، منها على سبيل المثل لا الحصر [16، 17] وهي دراسات حديثة تؤكد أن جدلية الموضوع لم تحسم بعد.

التوصيات

الهدف من هذه الورقة البحثية المرجعية في الأساس هو التنبيه لموضوع تعريف القدرة الكهربائية في شكلها العام. لا شك أن هذا الموضوع بالغ الأهمية ولعلنا لا نبالغ إن قلنا أن هذا موضوع تأريخي حيث يخلد مجهودات المشاركين به على المستوى العالمي؛ وعليه فإننا نوصي أن يتم تخصيص محور بالمؤتمر خاص بموضوع الجدل حول تعريف القدرة الكهربائية، حتى لا نغيب عن الركب سواء كأفراد أو مؤسسات أو دولة. ونحن كمجموعة بحثية تابعة للمعهد العالي للتقنيات الهندسية/طرابلس يُسعدنا أن نتيح لمن يرغب، كل البرامج التشبيهية والبرمجية في الماتلاب، سواء المتوفرة أو كتابة جديدة، وتقديم كل ما في استطاعتنا لزملائنا البحاث. الموضوع يخص شريحة عريضة من التخصصات إضافة إلى تخصص قوى الهندسة الكهربائية و إلكترونيات القوى؛ من بينها الفيزياء التطبيقية، الرياضيات التطبيقية، فيزياء المجالات، المعالجة الرقمية للإشارات، التشبيه الحاسوبي القياسات الكهربائية و برمجة المتحكمات الدقيقة.

المراجع

[1]- Steinmetz Ch.P. Findet eine Phasenverschiebung im Wechselstromlichtbogen statt? Elektrotechnische Zeitschrift. 1892, Heft 42, pp.567-568.

[2]- Tobey W.B., Walbridge G.H. Investigation of the Stanley Alternate Current Arc Dynamo, Transactions of American Institute of Electrical Engineers, 1890, vol.VII, no 11

[3]- https://arxiv.org/pdf/1602.06868.pdf, “Does a phase shift occur in an AC arc?”. Translated by Gerald Kaiser, October 3, 2018.

[4]- Budeanu C. I.: „Puissances reactives et fictives” Inst. Romain de l’Energie, Bucharest, 1927.

[5]- Illovici M. A.: Defination et mesure de la puissance et de l’energie reactives. Bull Soc. Franc. Electriciens 1925.

[6]- Fryze S.: „Moc rzeczywista, urojona i pozorna w obwodach elektrycznych o przebiegach odkształconych prądu i napięcia”, Przegląd Elektrotechniczny 1931, nr 7, str. 193-203; nr 8, str. 225-234; nr 22, str. 673-676, 1932.

[7]- Hashad M.: Teoria mocy w obwodach elektrycznych - ortogonalizacja przebiegów. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, 2007, nr57 pp 22-35.

[8]- Hashad M.: 2018, Controversy over the definition of power in electrical circuits (Non-linear - non-sinusoidal - asymmetric), Part I: Orthogonal compounds, Journal of Science and Technology. https://tjnbtve.tve.gov.ly/first_AP_2018.php

[9]- IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced

Conditions.https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589271/mod_resource/content/1/IEEE%20Std%201459-2010.pdf
[10]- L. S. Czarnecki, 1987, What is wrong with Budeanu concept of reactive power and distortion powers and why it should be abandoned, IEEE Trans. IM, Vol. 36, no. 3, 834-837.
[11]- L. S. Czarnecki, 1984, Budeanu and Fryze: Two frameworks for interpreting power properties of of circuits with nonsinusoidal voltages and currents, Archiv fur Elektrot. (81), No. 2, 5-15.
[12]- W. Shepherd, P. Zakikhani, 1972, Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems, Proc. IEE, Vol. 119, No. 9, 1361-1362.
[13]- L. S. Czarnecki, 2005, Moce w obwodach elektrycznych z niesinusiodalnymi przebiegami prądów i napięć, Warszawa – Poland, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
[14]- Kusters N. L., Moore W. J. M.: On the definition of reactive power under non-sinusoidal conditions. IEEE Trans. On Power Appl. systems. 1980.
[15]- L. S. Czarnecki, 1984, “Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations”, IEEE Trans. Instr. Measur., Vol. IM-34, 399-404.
[16]- Harold Kirkham; Alexander Emanuel; Mihaela Albu; David Laverty, 2019, “Resolving the reactive power question”, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)
[17]- Leszek S. Czarnecki, 2021, Do Energy Oscillations Degrade Energy Transfer in Electrical Systems?, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 57.