بتطبيق قانون كيرشوف الخاص بفروق الجهد, وبأخذ المقاومة الأمامية للثنائيات بنظر الاعتبار نحصل على:

$$I_m = \frac{V_m}{2R_f + R_L} \qquad (3-12)$$

وفي حالة اخذ تأثير جهد الحاجز بنظر الاعتبار يكون:

$$I_m = \frac{V_m - 2V_B}{2R_f + R_L} \qquad (3-13)$$

ان مقوم القنطرة يعتبر من اكثر المقومات استعمالاً اما عيبه الرئيسي فهو امتلاكه لأربعة ثنائيات يقوم اثنان منها بالتوصيل في نصف ذبذبة ويقوم الاثنان الآخران بالتوصيل بالنصف الآخر من الذبذبة وهذا يؤدي إلى مشكلة عندما تكون الفولتية المراد تقويمها صغيرة، ففي حالة استعمال ثنائيات السليكون يكون هبوط الفولتية على الثنائيان ($2V_B$=1.4V) وهي قيمة مؤثرة، ولهذا السبب فان مقوم التفرع المركزي يفضل في التطبيقات ذات الفولتية المنخفضة لوجود هبوط فولتية واحد (0.7V) على ثنائي واحد. في بعض التطبيقات ذات الفولتية المنخفضة يستعمل ثنائيان من مادة الجرمانيوم في مقوم التفرع المركزي حيث يؤدي ذلك إلى هبوط بالفولتية على الثنائي مقداره (0.3V) فقط.

لتحديد كفاءة وجودة أي دائرة تقويم موجي هناك عاملين أساسيين وهما كفاءة التعديل وعامل التموج وفيما يلي شرح لكل منها:

أولا: كفاءة التعديل (η) (Rectification Efficiency)

تعرف كفاءة التعديل لأي دائرة مقوم بانها النسبة بين القدرة المستمرة التي يجهزها المقوم لمقاومة الحمل إلى القدرة المتناوبة التي تدخل إلى دائرة التقويم ويرمز لها بالرمز (η) أي ان:

$$\eta = \frac{\text{D.C.power delivered to the load}}{\text{A C.input power from the transformer secondary}}$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}}$$

وتعرف القدرة المستمرة المجهزة للحمل بالصيغة: $P_{dc} = I_{dc}^2 \times R_L$

اما القدرة المتناوبة التي يستلمها المقوم فتعطى بالصيغة: $P_{ac} = I_{rms}^2 \times (R_L + R_f)$

وبالنتيجة يمكننا كتابة الصيغة النهائية لكفاءة التعديل لأي مقوم بالصورة:

$$\eta = \frac{I_{dc}^2 \times R_L}{I_{rms}^2 (R_L + R_f)} \qquad (3-14)$$

بالاعتماد على العلاقة الأخيرة يمكننا إيجاد كفاءة التعديل لكل من مقوم نصف الموجة ومقوم الموجة الكاملة بنوعيه، وكما يلي:

في حالة مقوم نصف الموجة سبق ان وجدنا ان($I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$, $I_{rms} = \frac{I_m}{2}$) وبالتعويض نحصل على:

$$\eta = \frac{(\frac{I_m}{\pi})^2 \times R_L}{(\frac{I_m}{2})^2 (R_L + R_f)} = \frac{4}{\pi^2} \times \frac{R_L}{(R_L + R_f)}$$

$$\eta = \frac{0.406}{1 + \frac{R_f}{R_L}} \qquad (3-15)$$

وتكون الكفاءة في قيمتها القصوى عندما تكون قيمة مقاومة الحمل اكبر بكثير من قيمة المقاومة الأمامية للثنائي ($R_L \rangle\rangle R_f$) وعندها يكون:

$$\eta_{max} = 0.406 = 40.6 \times 100\%$$

$$\eta_{max} = 40.6\% \qquad (3-16)$$

وعليه فان اقصى كفاءة يمكن الحصول عليها من مقوم نصف الموجة هي (40.6%)، أي انه في احسن الأحوال فان 40% فقط من الفولتية المتناوبة الداخلة للمقوم تتحول إلى فولتية مستمرة ، اما النسبة المتبقية (60%) فتتمثل بالمركبة المتناوبة التي تظهر على شكل تموج في فولتية الإخراج المستمرة. ان الانخفاض في كفاءة مقوم نصف الموجة عائد لكونه يستفاد فقط من نصف الموجة في حين لا يمر تيار بالدائرة خلال النصف الآخر. وبطبيعة الحال فان القيمة العملية لكفاءة مقوم نصف الموجة ستكون اقل من (40.6%) ويتحصل عليها بعد التعويض عن قيم مقاومة الحمل ومقاومة الثنائي الأمامية.

في حالة مقوم الموجة الكاملة باستعمال محولة التفرع المركزي لدينا ($I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$, $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$)

وبالتعويض في معادلة كفاءة التعديل نحصل على:

$$\eta = \frac{(\frac{2I_m}{\pi})^2 \times R_L}{(\frac{I_m}{\sqrt{2}})^2 (R_L + R_f)} = \frac{8}{\pi^2} \times \frac{R_L}{(R_L + R_f)}$$

$$\eta = \frac{0.812}{1 + \frac{R_f}{R_L}}$$

$$\eta_{max} = 81.2\% \qquad (3-17)$$

من النتيجة الأخيرة نجد ان اقصى كفاءة لمقوم الموجة الكاملة التي تستعمل محولة التفرع المركزي هي ضعف اقصى كفاءة لمقوم نصف الموجة. علماً بان الكفاءة العملية تكون اقل بعد التعويض عن قيم مقاومة الحمل والمقاومة الأمامية للثنائي.

في حالة مقوم القنطرة تكون العلاقة الخاصة بكفاءة التعديل هي ذاتها في حالة مقوم التفرع المركزي باختلاف واحد فقط وهو مقاومة الدائرة في حالة الانحياز الأمامي حيث تكون $(R_L + 2R_f)$ وبالتالي تكون كفاءة تعديل مقوم القنطرة بالصورة:

$$\eta = \frac{0.812}{1 + \frac{2R_f}{R_L}}$$

$$\eta_{max} = 81.2\% \qquad (3-18)$$

ثانيا: عامل التموج (Ripple Factor)

تقاس مدى فاعلية أي دائرة تقويم ومدى قدرتها على تقويم الموجات بواسطة كمية يطلق عليها عامل التموج (Ripple Factor) أو اختصاراً (r) الذي يعرف "بانه النسبة بين القيمة الفعالة للمركبة المتناوبة من الموجة الخارجة إلى معدل القيمة المستمرة لتلك الموجة الخارجة" ولذلك يعرف عامل التموج رياضياً بالصيغة:

$$r = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{I_{ac}}{I_{dc}} \qquad (3-19)$$

ولإيجاد العلاقة التي تربط المركبة المستمرة بالمركبة المتناوبة نستفيد من العلاقة الخاصة بالقدرة المبددة في مقاومة الحمل (P) من دائرة المقوم والتي تعطى بالعلاقة:

$$P = I_{rms}^2 R_L$$

وحيث ان هذه القدرة الكلية هي مجموع القدرة المبددة الناتجة من مرور مركبتي التيار المتناوب والمستمر التي تحويها الموجة الخارجة من المقوم، أي ان:

$$P = I_{dc}^2 R_L + I_{ac}^2 R_L$$

من المعادلتين الأخيرتين نستنتج ان:

$$I_{rms}^2 = I_{dc}^2 + I_{ac}^2$$

وبالتالي يمكننا ان نجد العلاقة التي تربط بين المركبة المتناوبة والمستمرة بالصورة:

$$I_{ac} = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}$$

وبالتعويض عن قيمة المركبة المتناوبة في معادلة عامل التموج نجد:

$$r = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}}{I_{dc}} = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{I_{dc}^2} - \frac{I_{dc}^2}{I_{dc}^2}}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{I_{dc}^2} - 1} \qquad (3-20)$$

المعادلة الأخيرة تعطي قيمة عامل التموج لأي مقوم بدلالة المركبة المستمرة والقيمة الفعالة للموجة الخارجة من المقوم.

بالنسبة لدائرة مقوم نصف الموجة سبق ان وجدنا ($I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$) وان القيمة الفعالة كانت ($I_{rms} = \frac{I_m}{2}$) وبالتالي فان عامل التموج لمقوم نصف الموجة يكون:

$$r = \sqrt{\frac{(\frac{I_m}{2})^2}{(\frac{I_m}{\pi})^2} - 1} = \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1}$$

$$r = 1.21 \qquad (3-21)$$

وهذا يعني ان المركبة المتناوبة في الموجة الخارجة من دائرة مقوم نصف الموجة هي اكبر بـ (1.21) مرة من المركبة المستمرة لنفس الموجة، مما يشير إلى وجود تموج عالي في الموجة الخارجة من دائرة المقوم النصفي. ولهذا السبب فان مقوم نصف الموجة لا يعتبر فعالاً في تقويم الموجات.

اما في حالة مقوم الموجة الكاملة (مقوم التفرع المركزي والقنطرة) فقد سبق ان وجدنا ان المركبة المستمرة الخارجة من المقوم كانت ($I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$) بينما القيمة الفعالة لها كانت ($I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$) وبالتالي فان عامل التموج لمقوم الموجة الكاملة يكون:

$$r = \sqrt{\frac{(\frac{I_m}{\sqrt{2}})^2}{(\frac{2I_m}{\pi})^2} - 1} = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1}$$

$$r = 0.483 \qquad (3-22)$$

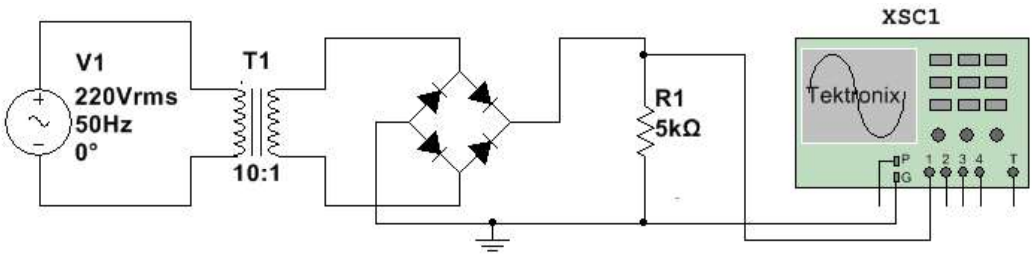
وعليه فان المركبة المستمرة في الموجة الخارجة من مقوم الموجة الكاملة تكون اكبر من المركبة المتناوبة في نفس الموجة وبالتالي فان التموج في هذه الموجة يكون اقل مما هو عليه في الموجة الناتجة من مقوم نصف الموجة، وبشكل عام كلما قل عامل التموج كانت فاعلية الدائرة في التقويم افضل. وللحصول على تقويم افضل (عامل تموج اقل) تستعمل دوائر الترشيح وهذا ما سنتناوله في الفقرة التالية.

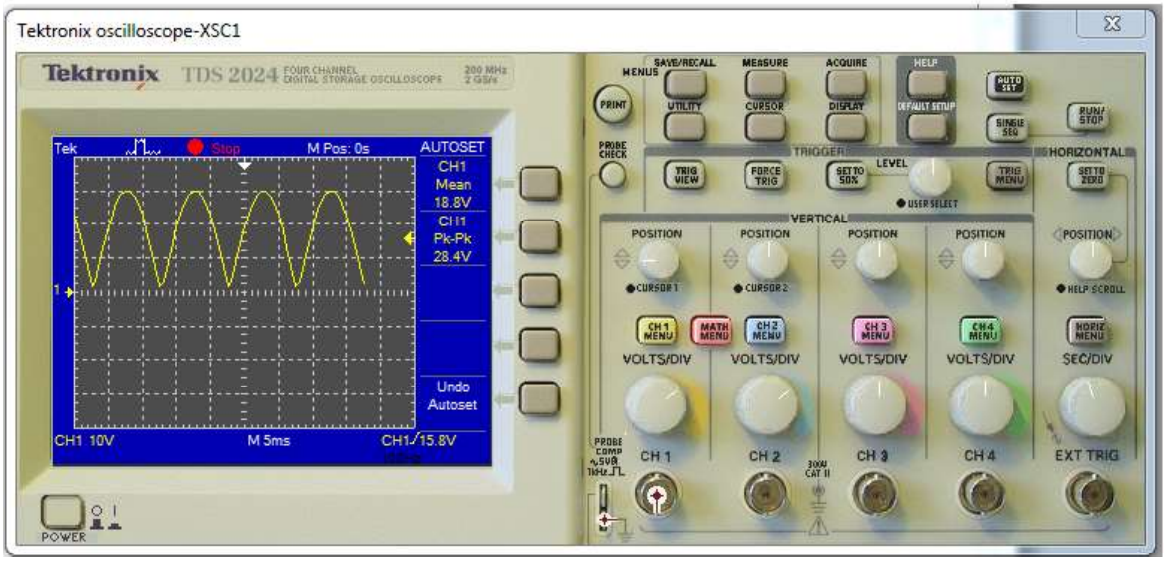
الجدول (٣-١) يلخص بعض العلاقات المهمة التي تخص مقوم نصف الموجة ومقومي الموجة الكاملة.

جدول (٣-١) مقارنة بين مقوم نصف الموجة ومقوم الموجة الكاملة

	مقوم نصف الموجة	مقوم موجة كاملة	
		مقوم التفرع المركزي	مقوم القنطرة
الحاجة إلى محولة التفرع المركزي	كلا	نعم	كلا
عدد الثنائيات المستعملة	1	2	4
تردد الإخراج f_o	f_i	$2f_i$	$2f_i$
القيمة المستمرة للتيار I_{dc}	I_m/π	$2I_m/\pi$	$2I_m/\pi$
هبوط الجهد على الثنائيات	V_B	V_B	$2V_B$
اقصى جهد عكسي PIV	V_m	$2V_m$	V_m
اقصى كفاءة تعديل η_{max}	40.6%	81.2%	81.2%
عامل التموج r	1.21	0.483	0.483

مثال (٣-٢): في الشكل التالي تم تنفيذ عملية محاكات لدائرة مقوم قنطرة باستعمال برنامج (Multisim)، أوجد ذروة فولتية الإخراج باعتماد التقريب الأول ومن ثم التقريب الثاني ثم قارن النتائج التي حصلت عليها في الحالتين مع النتائج المحسوبة ببرنامج المحاكات، علما بان الثنائيات المستعملة هي من نوع (IN4001GP).





الحل: نجد أولا القيمة الفعالة للفولتية الداخلة لمقوم القنطرة باستعمال علاقة المحولة:

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 = \frac{1}{10} \times 220 = 22 V_{rms}$$

بعدها نجد ذروة فولتية الإدخال، باستعمال العلاقة:

$$V_m = V_{rms}\sqrt{2}$$

$$V_m = 22 \times \sqrt{2} = 31.1V$$

في حالة التقريب المثالي تكون ذروة فولتية الإخراج على الحمل تساوي ذروة فولتية الإدخال لمقوم القنطرة الموجة $(V_p = V_m)$ ، أي ان ذروة فولتية الإخراج هي $(V_p = 31.1V)$.

اما قيمة المركبة المستمرة لفولتية الإخراج فتكون:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{2 \times 31.1}{\pi} = 19.8V$$

في حالة التقريب الثاني يتم الأخذ بنظر الاعتبار تأثير جهد الحاجز للثنائي، وتكون ذروة فولتية الإخراج معطاة بالعلاقة:

$$V_p = V_m - 2V_B$$

وحيث ان الثنائي (1N4001GP) هو من ثنائيات السليكون، لذا يكون قيمة حاجز الجهد لها ($V_B = 0.7V$). وبالتعويض في علاقة جهد الذروة نجد:

$$V_p = 31.1 - (2 \times 0.7) = 29.7V$$

اما قيمة المركبة المستمرة في فولتية الإخراج باعتماد التقريب الثاني فتعطى بالعلاقة:

$$V_{dc} = \frac{2V_P}{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{2 \times 29.7}{\pi} = 18.9V$$

من النتيجة نلاحظ ان نتائج التقريب الثاني اقرب إلى القيمة المحسوبة ببرنامج المحاكات.

دوائر الترشيح (Filter Circuits)

ان استخدامات الفولتية المستمرة النبضية يقتصر على شحن البطاريات وتحريك المحركات المستمرة وعلى تطبيقات قليلة أخرى. اما ما نحتاجه فعلاً فهي فولتية مستمرة ثابتة القيمة تشبه الفولتية التي نحصل عليها من البطارية. وعليه لا يمكن الاعتماد على دوائر التقويم وحدها كمصادر للجهد المستمر ما لم يضاف اليها دوائر أخرى تعمل على إزالة (ترشيح) الأجزاء المتناوبة من جهد الإخراج وتسمح للمركبة المستمرة بالمرور وتسمى تلك الدوائر بدوائر الترشيح (Filter Circuits) و أحيانا بدوائر التنعيم (تسوية) (Smoothing Circuits).

تستعمل دوائر الترشيح عادة، المتسعات والملفات وتُوظف قدرة تلك العناصر الكهربائية على خزن الطاقة في أجراء عملية تنعيم الجهد الخارج ومن ثم الحصول على جهد مستقر (ثابت القيمة) مع الزمن. وهناك عدة أنواع من دوائر الترشيح وهي كالتالي: