التحميل غير المتزن لمراكز التحويل الكهربائية وطرق معالجته

الدكتور محمد علي عثمان
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

الدكتور مصطفى الحز وري
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

الملخص

يتلخص مضمون هذا البحث في دراسة التباين في أحمال محولات القوى في مراكز التحويل الكهربائية ، وما ينجم عن هذا التوزيع غير المنتظم للأحمال من مخاطر وأضرار لمنتج ومستهلك القدرة الكهربائية من الناحيتين الفنية والاقتصادية ، ولاسيَّما عندما يتحول إلى تحميل غير متزن للأطوار ، مما يؤدي بدوره إلى ارتفاع الضياعات وانخفاض الوثوقية .

ويتناول البحث حساب توزيع الحمولة لبعض مراكز التحويل الكهربائية القائمة ، باستخدام طريقة استطاعات المرور الحدية ، واقتراح أسلوب معالجة التوزيع غير المنتظم للأحمال والتحميل غير المتزن للأطوار ، وذلك بتقديم برنامج حاسوبي ، يمكن من خلاله إجراء دراسات شاملة لجميع مراكز التحويل الكهربائية في المدن والبلدان لدينا في سورية ، بهدف إجراء توازن للأطوار وتحسين أداء المحولات فيها ،بغية التخفيف من المخاطر والأضرار الفنية والاقتصادية .

المقدمة:

يشترك في كثير من الحالات عدد من الآلات في تأدية خدمة ما،كاشتراك عدد من المحولات معا" في مراكز التحويل الكهربائية على التوازي (التفرع) في تغذية مستهلكي القدرة الكهربائية، ونظراً للنمو المستمر لحاجة هؤلاء المستهلكين عددا" واستطاعة / منزلي، صناعي، تجاري وغيرهم /من القدرة الكهربائية، فإن ذلك يؤدي إلى تحميل زائد غير متزن للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية بشكل خاص ولنظام القدرة الكهربائية بشكل عام من جهة، ويسيء إلى جودة القدرة الكهربائية وذلك بانخفاض

مستوى التوتر من جهة أخرى .ومن المهم توزيع الحمولة الزائدة المسموح بها بين هذه المحولات بشكل متزن قدر الإمكان ،للحصول على أكبر مردود ممكن ،ولتقليص الضياعات والنفقات إلى الحد الأدنى.

ويتعين عمر المحولة بالحمولة المطبقة عليها. وتدعى بالحمولة المريحة تلك التي تقل عن حمولة المحولة التي قررها الصانع لها ،وتدعى بالحمولة المرهقة تلك التي تزيد عليها. والحمولة المريحة التي تؤدي إلى أقل ضياع وكلفة في أثناء العمل فإنها تؤدي إلى حياة أطول ،وتدعى بالحمولة الاقتصادية للمحولة أو حياتها الاقتصادية [1] .

في ضوء ما تقدم فإن توزيع الحمولة غير المتزنة بين المحولات في مراكز التحويل الكهربائية العاملة على التوازي (التفرع) يحتاج إلى دراسة لإعادة النظر في هذا التوزيع وجعله متوازناً وضمن الحدود المسموح بها، وذلك لتغطية الحمولة المتزايدة من ناحية وللتشغيل الاقتصادي من ناحية آخرى .

وتأتي هذه الدراسة/البحث/ لبيان التحميل غير المتزن للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية في بعض المناطق بمدينة دمشق على سبيل المثال لاالحصر ثم التعميم ،وذلك من خلال القياسات والحسابات ،واقتراح أسلوب معالجة التوزيع غير المنتظم للأحمال عليها والتحميل غير المتزن لأطوارها.

١ـ مخططات التوصيل لمراكز التحويل الكهربائية ضمن المدن والبلدان :

تعد مراكز التحويل الكهربائية (20 /0.4 kV) من بين العناصر الرئيسية لنظام القدرة الكهربائية والحلقة الأخيرة في توزيع القدرة الكهربائية وإيصالها إلى المستهلكين ،وهذا الأمر يجعل الاهتمام بها من الواجبات الأساسية للقائمين على إدارتها وتوفير الشروط اللازمة في كل منها[2,3] وأهمها :

الوثوقية – الاقتصادية – المرونة وسلامة الاستثمار – الجودة العالية للقدرة الكهربائية - إمكانية التوسع والتطوير في الشبكة الكهربائية – الإقلال من التكاليف التأسيسية والصيانة والإصلاح.

وتصنف مخططات التوصيل لمراكز التحويل الكهربائية نسبة لشبكات التوزيع في أربعة أصناف [4] وهي :

- *مخططات توصيل شعاعية من دون تغذية احتياطية.*
- *مخططات توصيل مع إغلاق يدوي أو آلي للتغذية الاحتياطية.*
- *مخططات توصيل حلقية طولانية وعرضانية مع إغلاق جزئي لشبكة التوتر المنخفض.*
- *مخططات توصيل مختلطة ذات شبكات توزيع مغلقة ومتشابكة.*

كما تصنف هذه المخططات طبقاً لاستخداماتها العملية الشائعة في صنفين رئيسيين وهما:

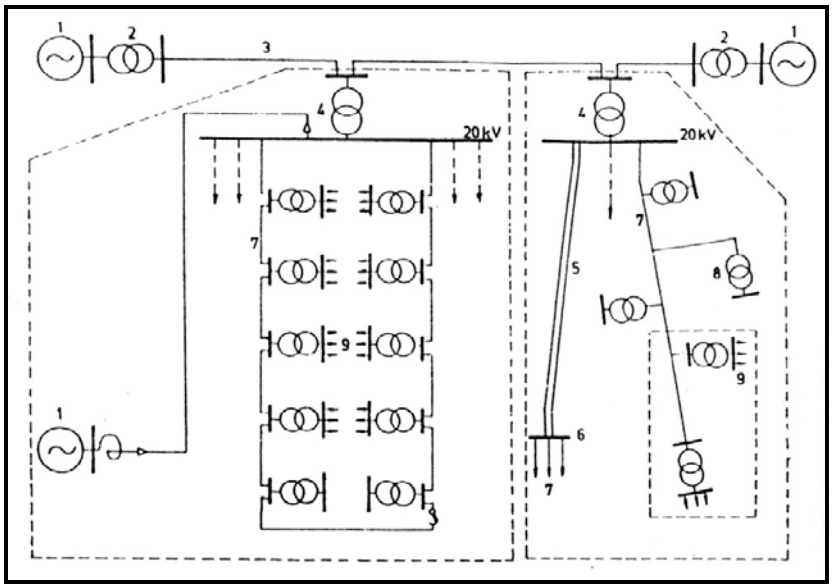
- *مخططات توصيل شعاعية مع تغذية احتياطية.*
- *مخططات توصيل حلقية مفتوحة ومغلقة.*

ويبين الشكل (1) مخططاً مبدئياً عاماً للتغذية الكهربائية للمدن والبلدان والقرى من مراكز تحويل عامة ومشتركة وكذلك لبعض المنشآت المغذاة من مراكز تحويل خاصة ،أو بعبارة أخرى المخطط العام للشبكة الكهربائية للمدن والشبكة الكهربائية للمناطق.

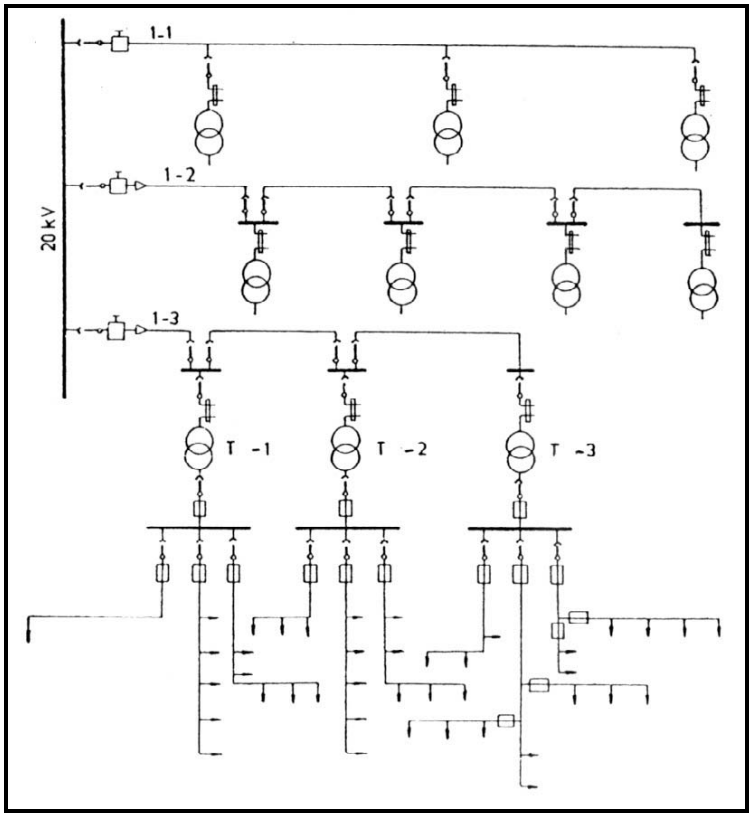
كما تبين الأشكال (6,5,4,3,2) نماذجَ من مخططات التوصيل المبدئية وفق التصنيف الأول الوارد أعلاه.

وتبين الأشكال (9,8,7) بعضاً من مخططات التوصيل الرمزية لمخارج محطات التحويل المغذية لمراكز التحويل الكهربائية في دمشق ، موضوع هذه الدراسة /البحث/ ،والمنفذة وفق التصنيف الثاني آنف

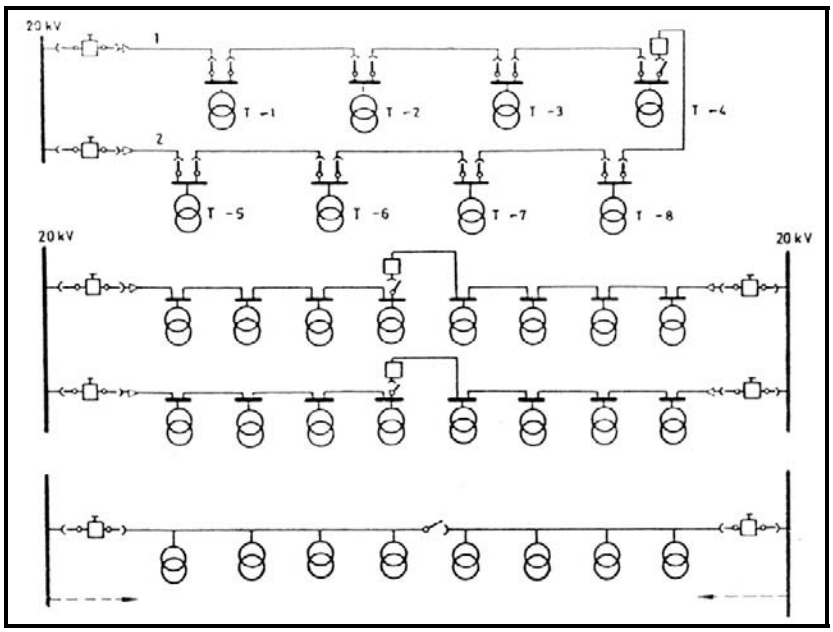
الذكر.



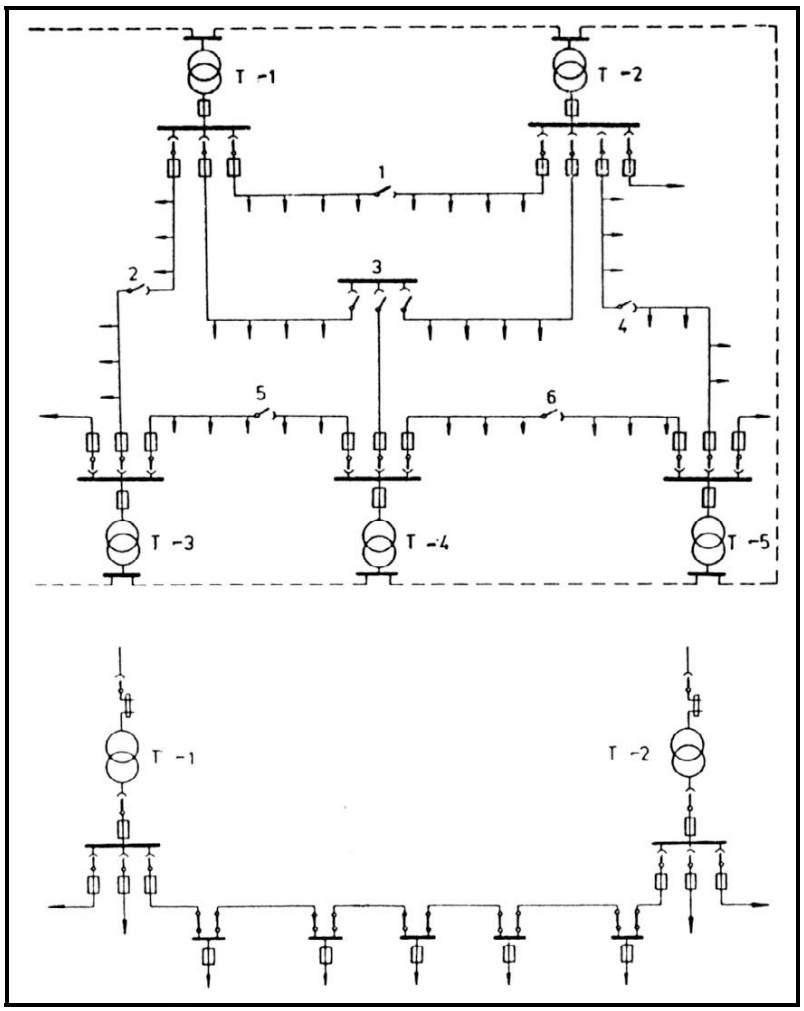
الشكل ١: المخطط المبدئي العام للتغذية الكهربائية للمدن والبلدان والقرى
(المخطط العام للشبكة الكهربائية للمدن والشبكة الكهربائية للمناطق)



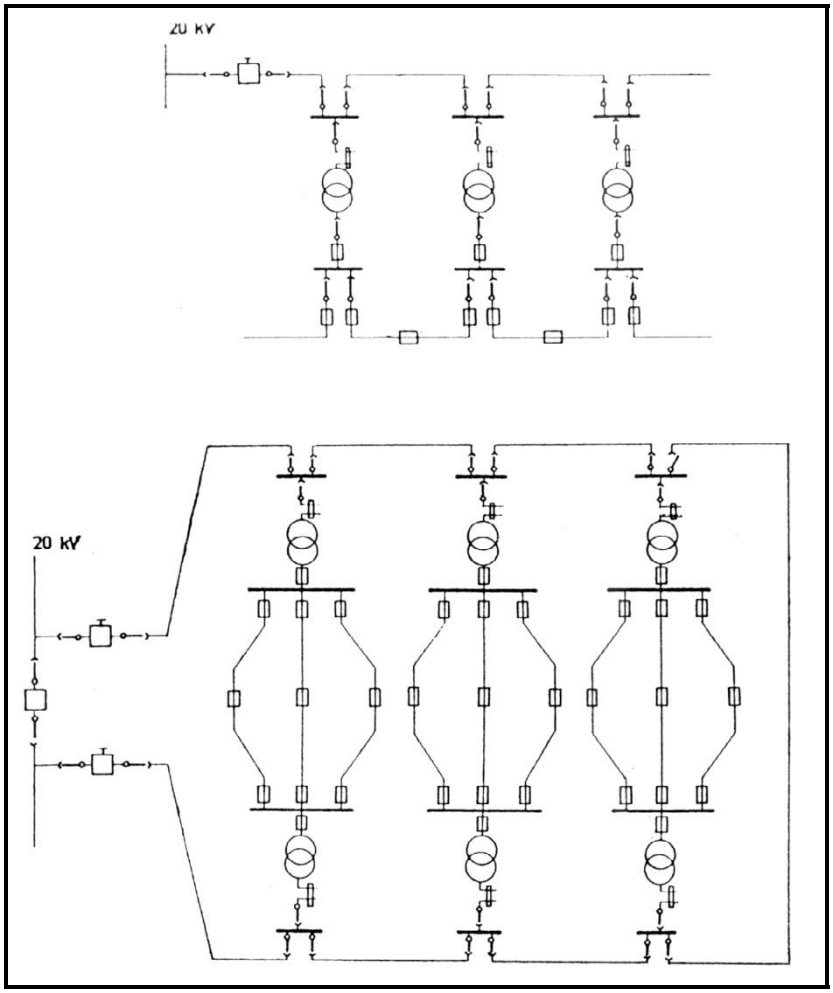
الشكل ٢: مخطط توصيل مبدئي شعاعي (MV & LV) من دون تغذية احتياطية



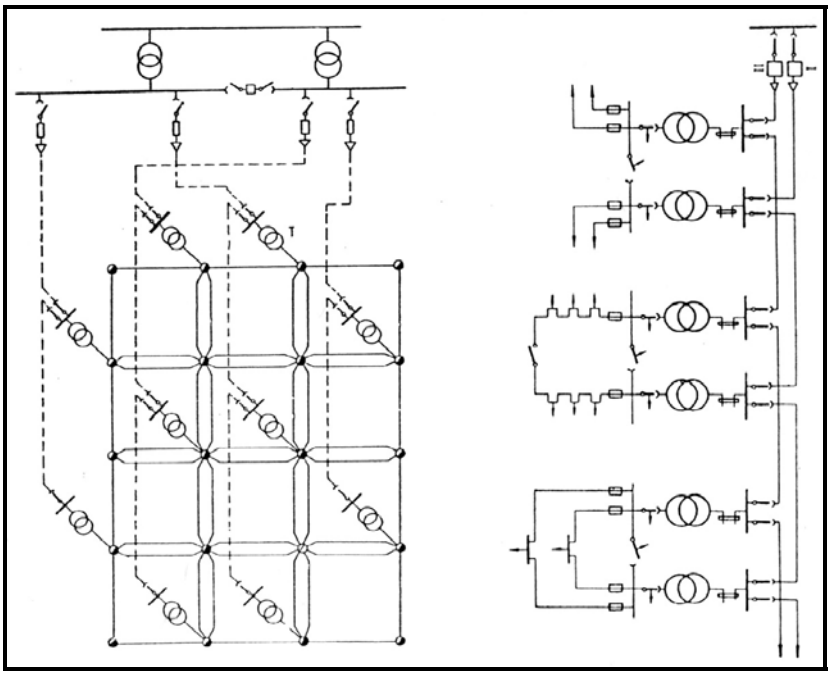
الشكل ٣: مخطط توصيل مبدئي شعاعي (MV) مع إغلاق يدوي أو آلي للتغذية الاحتياطية



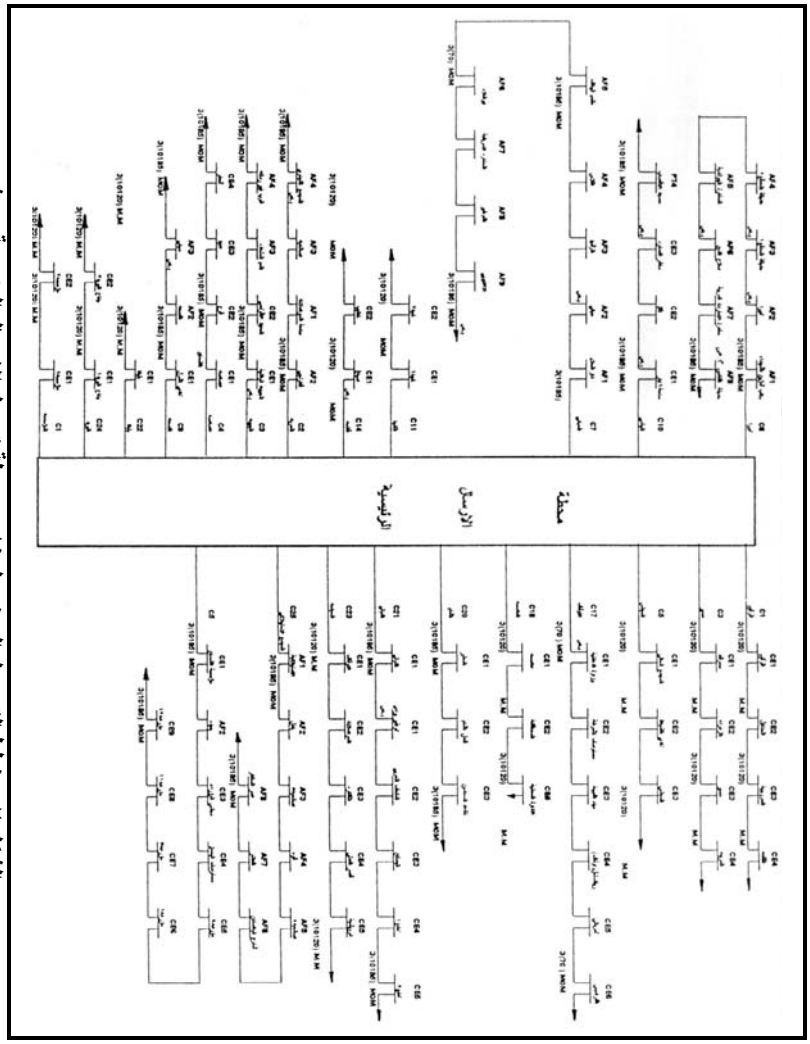
الشكل ٤: مخطط توصيل مبدئي شعاعي (LV) مع إغلاق يدوي أو آلي للتغذية الاحتياطية



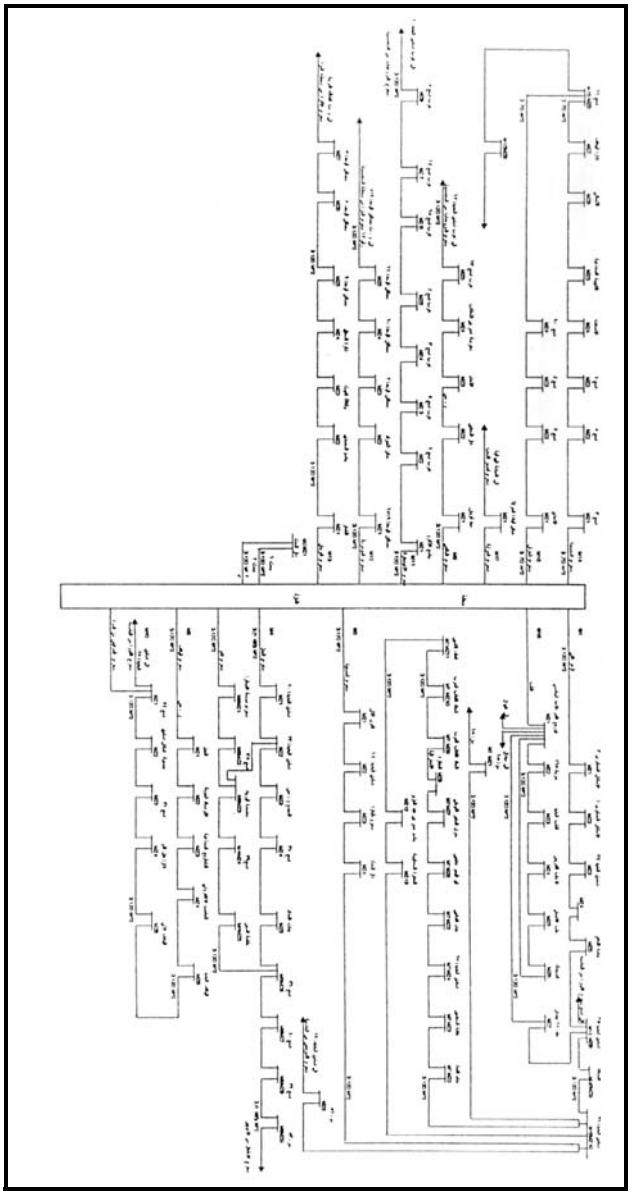
الشكل ٥: مخطط توصيل مبدئي حلقي طولاني وعرضاني مع إغلاق جزئي لشبكة (LV)



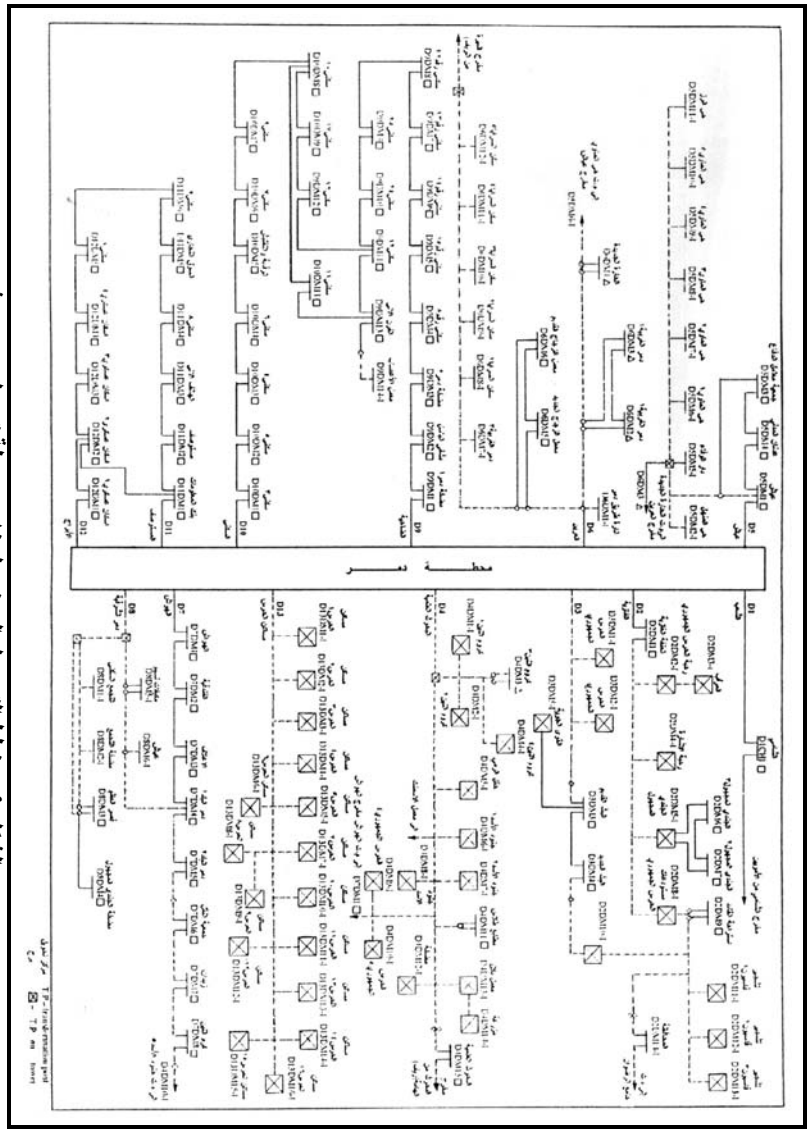
الشكل ٦: مخطط توصيل مبدئي مختلط ذو شبكة توزيع مغلقة ومتشابكة



الشكل ٧: مخطط التوصيل الرمزي لمخارج محطة تحويل الإرسال الرئيسية بدمشق



الشكل ٨ : مخطط التوصيل الرمزي لمخارج محطة تحويل المزة بدمشق



الشكل ٩: مخطط التوصيل الرمزي لمخارج محطة تحويل دمر بدمشق

٢- النموذج الرياضي لحساب توزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية :

يتحقق الربط التفرعي النظامي بين المحولات في مراكز التحويل الكهربائية ،عندما يتناسب توزيع الحمولة على كل محولة طرداً مع الاستطاعة الاسمية لها ودون ظهور تيارات دوارة بين المحولات حتى في حال عملها على الفراغ.

وللتمكن من تحقيق الربط التفرعي هذا للمحولات ،يجب الحفاظ على الشروط التالية [5,10]:

الشرط الأول: أن تنتمي جميع المحولات إلى مجموعة توصيل واحدة.

الشرط الثاني: أن تكون ذات عامل تحويل متساو:

$$K_{tr1} = K_{tr2} = K_{tr3} = \ldots\ldots\ldots\ldots = K_{trm}.$$

الشرط الثالث: أن تكون توترات القصر النسبية فيها متساوية:

$$U_{sc1} = U_{sc2} = U_{sc3} = \ldots\ldots\ldots\ldots = U_{scm}.$$

فبالنسبة للشرط الأول من السهل جداً تحقيقه استثمارياً ،وبالنسبة للشرط الثاني يمكن تحقيقه وضمن الحدود المسموح بها للفرق في قيم عوامل التحويل والتي يجب ألا تتجاوز (١%) ،كي لا يؤدي عدم تحقيق ذلك إلى مرور تيارات دوارة بين المحولات وتحميل غير متزن لأطوارها [6] ، في حين بالنسبة للشرط الثالث فيمكن في بعض الحالات ،لا بل في معظم الحالات ،ألا يتم تحقيقه ،وفي هذه الحالة الشائعة بكثرة عندما تكون توترات القصر النسبية للمحولات والتي تعد من بين أهم الوسائط الأساسية لها غير متساوية :

$$U_{sc1} \neq U_{sc2} \neq U_{sc3} \neq \ldots\ldots\ldots\ldots \neq U_{scm}.$$

فإنها تؤدي إلى التوزيع غير المنتظم للأحمال بشكل غير مباشر ولا سيَّما عندما تكون المحولات ذات استطاعات مختلفة ،إضافة إلى تحميل المحولات بحمولات متفاوتة بين مراكز التحويل ذات الاستطاعة الواحدة وكذلك تحميل الأطوار بأحمال غير متوازنة بشكل مباشر .مما تسبب مشاكلَ استثمارية /فنية واقتصادية / غير مرغوب بها من قبل منتجي القدرة الكهربائية ومستهلكيها.

ولحساب توزيع الحمولة في هذه الحالة وما ينجم عنها ،وذلك للحد من ظاهرة أن بعض المحولات في مراكز التحويل الكهربائية تحمل زيادة على حساب بعضها الآخر، ووضع الأساليب اللازمة للمعالجة ،يمكن اتباع مختلف الطرق ،إلا أن الطريقة المناسبة عملياً هي طريقة استطاعات المرور الحدية [7] .

فمن أجل توزيع الحمولة بين عدد من المحولات (m) :

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + S_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + S_m = \\ &= C_1 \cdot S + C_2 \cdot S + C_3 \cdot S + \ldots\ldots\ldots\ldots + C_m \cdot S. \end{aligned} \qquad (1)$$

حيث:

$S_m, \ldots\ldots, S_3, S_2, S_1$ – أحمال كل من المحولات على حدة ، $[kVA]$ ؛

$C_m, \ldots\ldots, C_3, C_2, C_1$ – عوامل التوزيع للأحمال .

وتحدد عوامل التوزيع هذه باستخدام العلاقات التالية:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{S_{cr1}}{\sum_{1}^{m} S_{cr}} \quad , \\ C_2 &= \frac{S_{cr2}}{\sum_{1}^{m} S_{cr}} \quad , \\ &\cdots\cdots \\ C_m &= \frac{S_{crm}}{\sum_{1}^{m} S_{cr}} \quad . \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

حيث:

Scrm,……,Scr2,Scr1 – استطاعات المرور الحدية الظاهرية.

كما تحدد استطاعات المرور الحدية الظاهرية بدورها كالآتي:

$$\left.\begin{aligned} S_{cr1} &= \frac{S_{n1}}{U_{sc1}} \quad , \\ S_{cr2} &= \frac{S_{n2}}{U_{sc2}} \quad , \\ &\cdots\cdots \\ S_{crm} &= \frac{S_{nm}}{U_{scm}} \quad . \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

حيث:

Snm,……,Sn2,Sn1 – الاستطاعات الظاهرية الاسمية لكل من المحولات على حدة ، [kVA] ؛

Uscm,……,Usc2,Usc1 – توترات القصر النسبية لكل من المحولات على حدة ، [%] .

وبنتيجة الاختلاف بين قيم توترات القصر سيظهر انحراف في توزيع الحمولة بين المحولات .ويحدد هذا الانحراف كنسبة مئوية زيادةً أو نقصاناً من الاستطاعة الاسمية على النحو الآتي :

$$\left.\begin{aligned} L_1 &= S_{n1} \pm \frac{S_1 - S_{n1}}{S_{n1}} 100\% = S_{n1} \pm S_{L1}\%, \\ L_2 &= S_{n2} \pm \frac{S_2 - S_{n2}}{S_{n2}} 100\% = S_{n2} \pm S_{L2}\%, \\ &\cdots\cdots \\ L_m &= S_{nm} \pm \frac{S_m - S_{nm}}{S_{nm}} 100\% = S_{nm} \pm S_{Lm}\%. \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

يسمح في الحياة العملية الربط التفرعي للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية عند فرق في توترات قصرها النسبية حتى ($\pm 10\%$) من القيمة الحسابية الوسطية ، ويعد هذا الربط ربطاً تفرعياً نظامياً [8].

٣- المخطط الخوارزمي (الانسيابي) للنموذج الرياضي لحساب توزيع الحمولة بين المحولات:

بناءً على النموذج الرياضي لحساب توزيع الحمولة بين المحولات في مراكز التحويل الكهربائية المذكور آنفاً، والمستند إلى طريقة استطاعات المرور الحدية ،تم تصميم خوارزمية تتألف من جزأين: الجزء الأول ويشمل حساب نسب تحميل أطوار المحولات وتوازنها، والجزء الثاني ويشمل حساب نسب توزيع الحمولة بين المحولات وانحرافها. والمخطط الخوارزمي (الانسيابي) للحل على الحاسوب بشقيه مبين في الشكلين (11,10)، حيث يوضح كل منهما المتحولات المستخدمة وترميزها.

٤- البرنامج الحسابي للمخطط الخوارزمي وتطبيقه على مراكز التحويل الكهربائية القائمة:

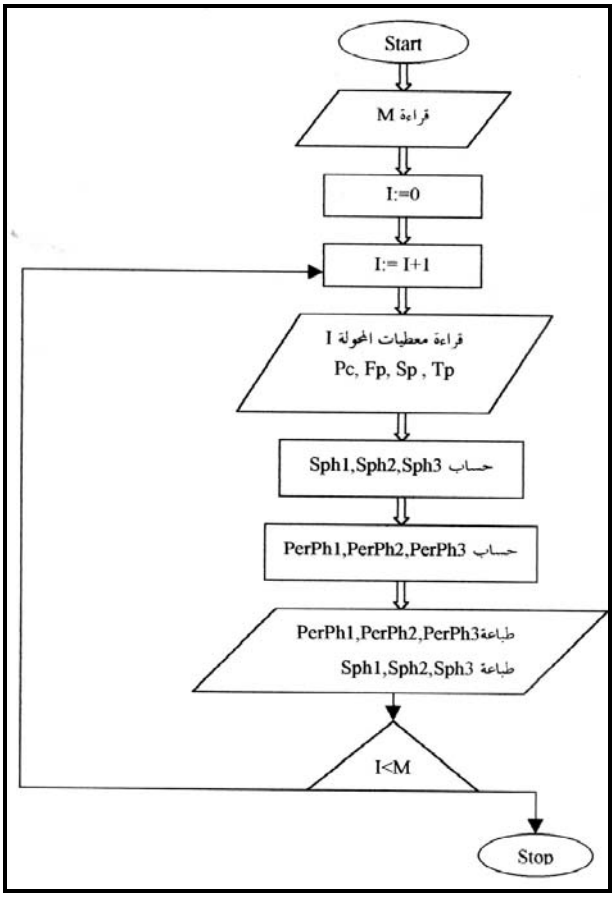
لقد كتب البرنامج الحسابي بلغة برمجة عالية المستوى (توربو باسكال Turbo Pascal) ويعمل ضمن بيئة (ويندوز Windows) [9] ،ويحتوي على خمسة برامج فرعية .يستخدم البرنامج الفرعي الأول لإدخال المعطيات الأولية اللازمة ،كما يستخدم البرنامج الفرعي الثاني لإجراء الحساب للجزء الأول من البرنامج الحسابي .وتتحد البرامج الفرعية الثلاثة الأخيرة منها مع بعضها في برنامج واحد رئيسي لحساب الجزء الثاني من البرنامج الحسابي .

وقد تم تطبيقه على المعلومات المقدمة من الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق (مخططات وبيانات) ،بعد أن تم اختيار عشوائي لبعض مخارج محطات التحويل المغذية لعدد من مراكز التحويل الكهربائية من المخططات الخاصة بها والمبينة في الأشكال (14,13,12) ،شملت مناطقَ في وسط وأطراف مدينة دمشق وما بينها وباستطاعات مختلفة وهي:

- **مخرج : سمير – الأوقاف المغذى من محطة تحويل الإرسال الرئيسية.**
- **مخرج : شرق التجارة – صالة الفيحاء المغذى من محطتي تحويل القابون I– المزرعة.**

- **مخرج : الـــورد – بـــاقـــي المغذى من محطتي تحويل الثورة – الإرسال.**
- **مخرج : باب شرقي – الحـــريقة المغذى من محطتي تحويل دوار المطار – الثورة.**

وتبين الجداول (4,3,2,1) البيانات الخاصة بالأحمال المحققة للأطوار (تيارات التحميل) لدى مراكز التحويل الكهربائية لكل مخرج على حدة.



الشكل 10: المخطط الخوارزمي (الانسيابي) لحساب نسب تحميل أطوار المحولات وتوازنها

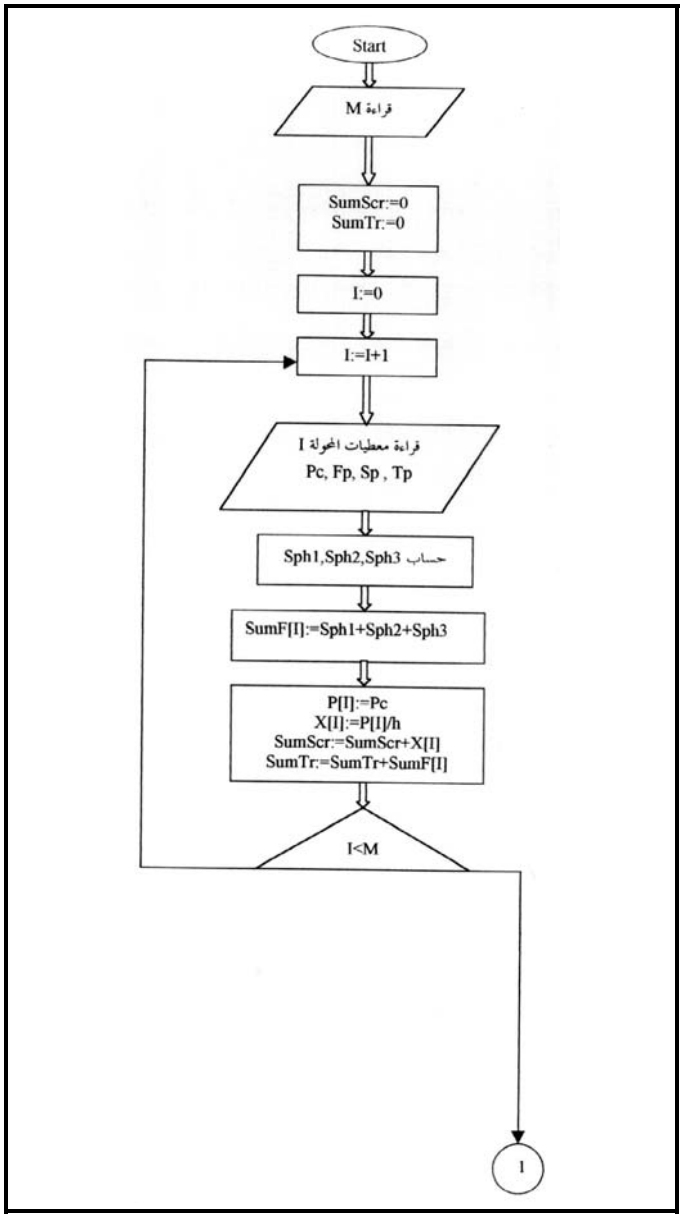
في المخطط تم استخدام المتحولات التالية :

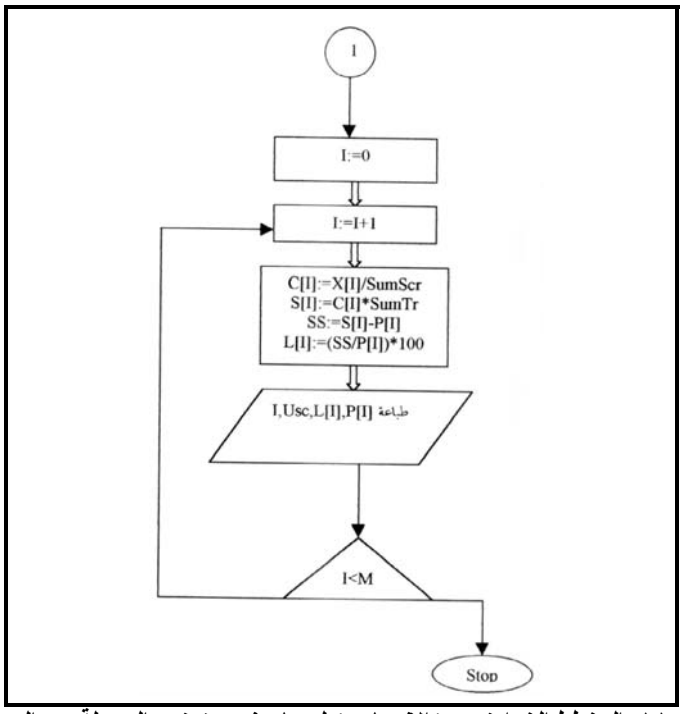
M: عدد المحولات . **I : عداد الحلقة التكرارية .**

Pc: الاستطاعة الظاهرية الاسمية للمحولة . **Fp: تيار الطور الأول R .**

Sp : تيار الطور الثاني S . **Tp : تيار الطور الثالث T**

Sph1: الاستطاعة الظاهرية للطور الأول.
Sph2: الاستطاعة الظاهرية للطور الثاني.
Sph3: الاستطاعة الظاهرية للطور الثالث.
PerPh1 : نسبة تحميل الطور الأول.
PerPh2 : نسبة تحميل الطور الثاني.
PerPh3 : نسبة تحميل الطور الثالث.


Start
قراءة M
SumScr:=0
SumTr:=0
I:=0
I:=I+1
قراءة معطيات الغولة I
Pc, Fp, Sp , Tp
حساب Sph1,Sph2,Sph3
SumF[I]:=Sph1+Sph2+Sph3
P[I]:=Pc
X[I]:=P[I]/h
SumScr:=SumScr+X[I]
SumTr:=SumTr+SumF[I]
I<M
1



الشكل ١١: المخطط الخوارزمي (الانسيابي) لحساب نسب توزيع الحمولة بين المحولات وانحرافها

في المخطط تم استخدام المتحولات الآتية:

M: عدد المحولات . **I , J: عدادات الحلقات التكرارية .**

Pc: الاستطاعة الظاهرية الاسمية للمحولة . **Fp : تيار الطور الأول R**

Sp : تيار الطور الثاني S **Tp : تيار الطور الثالث T**

Sph1: الاستطاعة الظاهرية للطور الأول. **Sph2: الاستطاعة الظاهرية للطور الثاني.**

Sph3: الاستطاعة الظاهرية للطور الثالث. **SumF : مصفوفة عناصرها حمولة المحولات .**

P : مصفوفة الاستطاعات الاسمية للمحولات.

X: مصفوفة عناصرها النسبة بين استطاعة المحولة وتوتر القصر وفق طريقة استطاعات المرور الحدية .

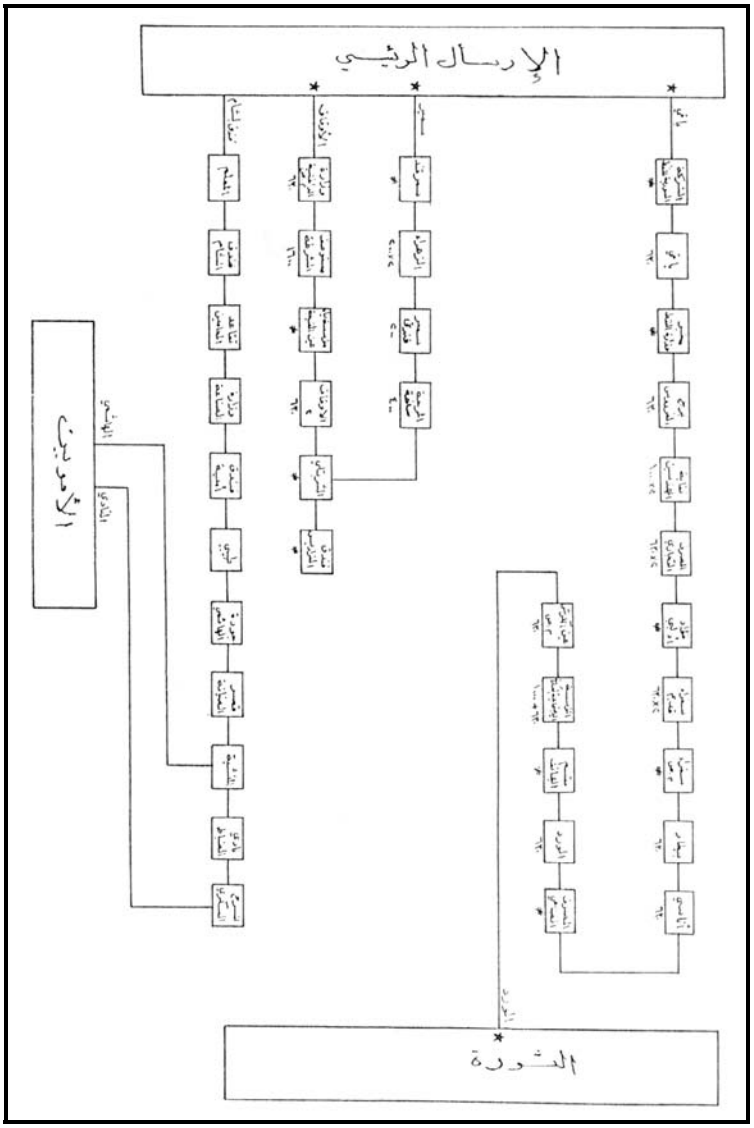
SumScr : مجموع نسب استطاعات المحولات إلى توتر القصر .

SumTr: مجموع حمولات المحولة كلها .

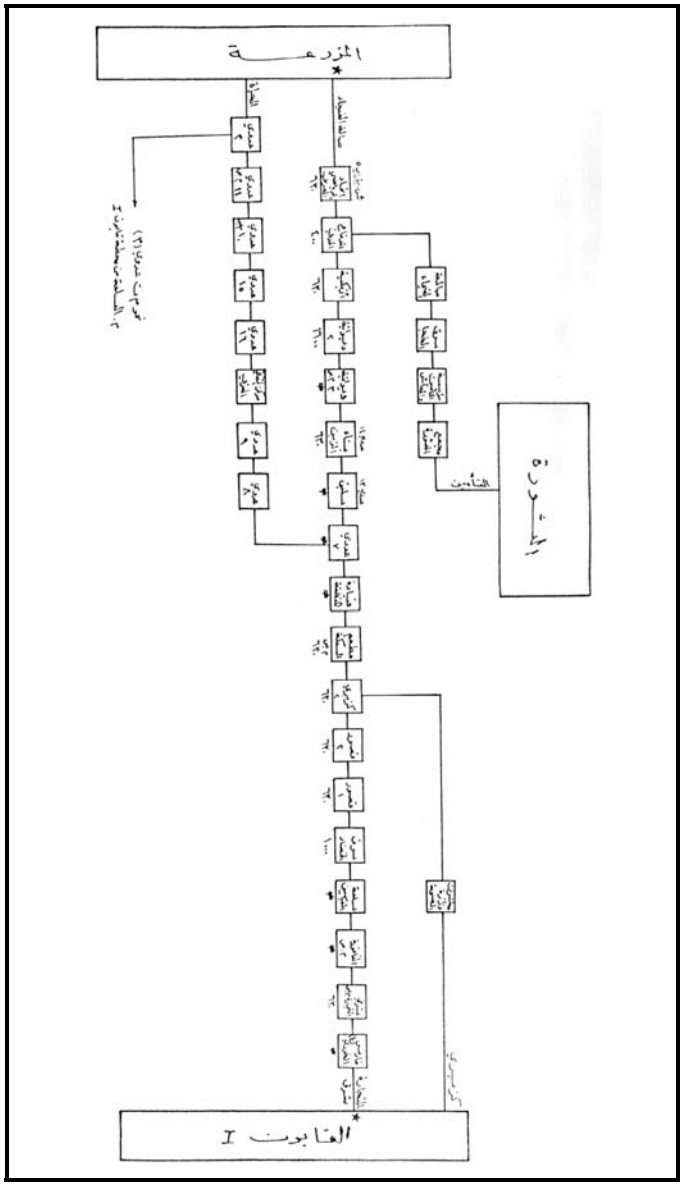
C :مصفوفة عناصرها نسب معرفة في النموذج الرياضي لطريقة استطاعات المرور الحدية.

L : مصفوفة عناصرها نسب معرفة في النموذج الرياضي لطريقة استطاعات المرور الحدية.

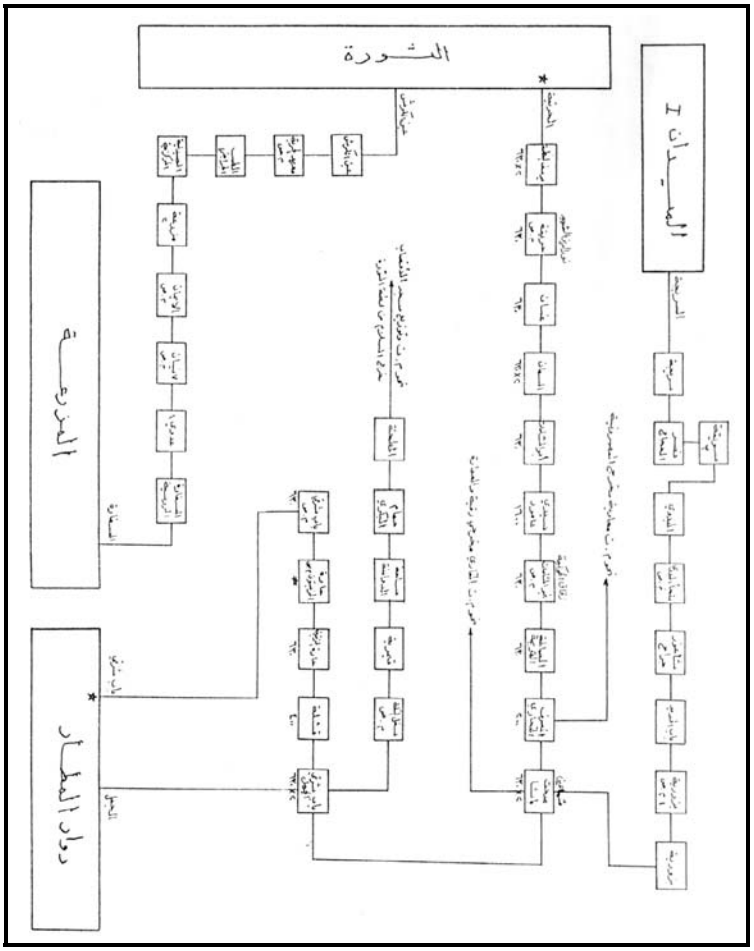
s : مصفوفة وسيطية . ss : متحول وسيطي .



الشكل ١٢: مخطط التوصيل الرمزي لبعض مخارج محطات التحويل (الإرسال الرئيسي - الثورة - الأمويين)
المغذية لمراكز التحويل الكهربائية في مدينة دمشق



الشكل ١٣: مخطط التوصيل الرمزي لبعض مخارج محطات التحويل (القابون I ـ المزرعة ـ الثورة)
المغذية لمراكز التحويل الكهربائية في مدينة دمشق



الشكل ١٤: مخطط التوصيل الرمزي لبعض مخارج محطات التحويل (الميدان I - الثورة - المزرعة - دوار المطار) المغذية لمراكز التحويل الكهربائية في مدينة دمشق

الجدول ١: أحمال الأطوار لدى مراكز التحويل المغذاة من محطة تحويل الإرسال الرئيسية (مخرج: سمير ـ الأوقاف)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Current Phase[A] R	S	T
01 الزهراء	200	70	80	90
02 الزهراء	200	140	150	120
03 فندق سير	200	140	120	170
04 ساحة المرجة	400	40	30	50
05 أوقاف2	630	590	400	570
06 مستوصف الشرطة	1600	1340	1480	1360
07 وزارة الداخلية	630	620	480	600

الجدول ٢: أحمال الأطوار لدى مراكز التحويل المغذاة من محطتي تحويل القابون I. المزرعة (مخرج: شرق التجارة ـ صالة الفيحاء)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Current Phase[A] R	S	T
01 شرق التجارة	630	750	680	650
02 سوق القطار	1000	615	950	900
03 1 قصور	630	680	615	600
04 2 قصور	630	300	300	340
05 2 قصور	630	640	725	620
06 2 كزبري	630	525	510	450
07 السمكة	630	940	980	1000
08 14 عدوي	630	560	700	660
09 2 ديوانية	1600	1110	1080	940
10 أزبكية	630	610	620	620
11 الدفاع المدني	400	190	170	150
12 5 فال يزيد	630	440	340	310

الجدول ٣: أحمال الأطوار لدى مراكز التحويل المغذاة من محطتي تحويل الثورة ـ الإرسال (مخرج: الورد ـ باقي)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Current Phase[A] R	S	T
01 عين الكرش	630	540	550	500
02 م.الاجتماعية العسكري	630	280	300	270
03 م.الاجتماعية العسكري	1000	310	300	310
04 الورد	630	410	420	490
05 أتاسي	630	540	490	580
06 بيطار	630	390	390	570
07 سفراء قديم	630	460	560	550
08 سفراء قديم	630	350	350	320
09 المصرف التجاري	630	450	560	440
10 المصرف التجاري	630	410	450	400
11 نقابة المهندسين	1000	550	540	560
12 نقابة المهندسين	1000	550	540	560
13 برج الفردوس	630	430	460	540
14 باقي	630	370	520	500

الجدول ٤: أحمال الأطوار لدى مراكز التحويل المغذاة من محطتي تحويل دوار المطار ـ الثورة (مخرج: باب شرقي ـ الحريقة)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Current Phase[A] R	S	T
01 باب شرقي	630	550	500	560
02 حارة الزيتون	630	770	810	840
03 القشلة	400	190	180	200
04 الجمل	630	340	280	320
05 الجمل	630	230	220	230
06 فاعين	630	400	375	420
07 فاعين	630	400	375	420
08 المصرف التجاري	200	180	170	150
09 الصاغة القديمة	630	650	680	800
10 زقاق الحكمة	630	510	600	470
11 سيدي عامود	1600	1210	1040	1260
12 أبو الشامات	630	530	720	530
13 السمان	630	230	250	280
14 السمان	630	190	250	320
15 غسان	630	480	600	670
16 نور الدين الشهيد	630	430	500	450
17 يوسف العظمة	630	450	600	590
18 يوسف العظمة	630	550	730	690

٥ ـ تحليل نتائج الحسابات والاستنتاجات :

إن نتائج الحسابات لنسب تحميل أطوار المحولات في مراكز التحويل الكهربائية لكل مخرج ونسبة عدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل مبينة في الجداول (8,7,6,5) والأشكال (15 a,b,c,d) .

ويتضح من النتائج أن توازن أحمال الأطوار غير محقق بشكل مطلق ،وأن نسبة عدد المحولات غير المحملة كبيرة جداً بالمقارنة مع نسبة عدد المحولات المحملة ضمن الحدود المسموح بها والمقبولة التحميل ،حتى أنه لا توجد محولات محملة ومقبولة التحميل في بعض المخارج ولاسيَّما مخرج الورد – باقي على سبيل المثال لا الحصر .مما يبرر ويجعل من الضروري البحث عن حل لهذه المشكلة بغية الوصول إلى التشغيل الأمثل للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية ،وذلك بما يحقق أقل ما يمكن من الانقطاعات الكهربائية وتقليل فتراتها وتخفيض الضياعات الفنية والنفقات الاقتصادية .

الجدول ٥: نسب تحميل أطوار المحولات في مراكز التحويل الكهربائية واستطاعتها ونسبة عدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل (مخرج: سمير ـ الأوقاف)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Loading Percent[%] Phases Power[kVA] R	S	T
01 الزهراء	200	24.249 % 46.07	27.713 % 52.65	31.177 % 59.24
02 الزهراء	200	48.497 % 92.15	51.962 % 98.73	41.569 % 78.98
03 فندق صير	200	48.497 % 92.15	41.569 % 78.98	58.890 % 111.89
04 ساحة الدرجة	400	6.928 % 26.33	5.196 % 19.75	8.660 % 32.91
05 أوقاف2	630	64.883 % 388.33	43.989 % 263.27	62.684 % 375.16
06 مستوصف الشرطة	1600	58.024 % 881.96	64.086 % 974.11	58.890 % 895.12
07 وزارة الداخلية	630	68.182 % 408.07	52.786 % 315.93	65.983 % 394.91

I-High Loading
Number Transformers Percent = 0.00%

II-Accepted Loading
Number Transformers Percent = 14.29%
7

III- Low Loading
Number Transformers Percent = 85.71%
1 2 3 4 5 6

الجدول ٦: نسب تحميل أطوار المحولات في مراكز التحويل الكهربائية واستطاعتها ونسبة عدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل (مخرج: شرق التجارة ـ صالة الفيحاء)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Loading Percent[%] Phases Power[kVA] R	S	T
01 شرق التجارة	630	82.479 % 493.63	74.781 % 447.56	71.481 % 427.82
02 سوق القصار	1000	42.608 % 404.78	65.818 % 625.27	62.354 % 592.36
03 قصور 1	630	74.781 % 447.56	67.632 % 404.78	65.983 % 394.91
04 قصور 2	630	32.991 % 197.45	32.991 % 197.45	37.390 % 223.78
05 قصور 2	630	70.382 % 421.23	79.729 % 477.18	68.182 % 408.07
06 كزبري 2	630	57.735 % 345.54	56.085 % 335.67	49.487 % 296.18
07 السنكة	630	103.373 % 618.69	107.772 % 645.02	109.971 % 658.18
08 عدوي 14	630	61.584 % 368.58	76.980 % 460.73	72.581 % 434.40
09 ديوانيه 2	1600	48.064 % 730.58	46.765 % 710.83	40.703 % 618.69
10 اريكية	630	67.083 % 401.49	68.182 % 408.07	68.182 % 408.07
11 الدفاع المدني	400	32.909 % 125.05	29.445 % 111.89	25.981 % 98.73
12 شمال بريد 5	630	48.387 % 289.60	37.390 % 223.78	34.091 % 204.04

I-High Loading
Number Transformers Percent = 16.67%
1 7

II-Accepted Loading
Number Transformers Percent = 41.67%
2 3 5 8 10

III- Low Loading
Number Transformers Percent = 41.67%
4 6 9 11 12

الجدول ٧: نسب تحميل أطوار المحولات في مراكز التحويل الكهربائية واستطاعتها ونسبة عدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل (مخرج: الورد ـ باقي)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Loading Percent[%] Phases Power[kVA] R	S	T
01 عين الكرش	630	59.385 % 355.42	60.484 % 362.00	54.986 % 329.09
02 م.الاجتماعية العسكرية	630	30.792 % 184.29	32.991 % 197.45	29.692 % 177.71
03 م.الاجتماعية العسكرية	1000	21.477 % 204.04	20.785 % 197.45	21.477 % 204.04
04 الورد	630	45.088 % 269.85	46.188 % 276.44	53.886 % 322.51
05 أتاسي	630	59.385 % 355.42	53.886 % 322.51	63.783 % 381.74
06 بيطار	630	42.889 % 256.69	42.889 % 256.69	62.684 % 375.16
07 سفراء قديم	630	50.587 % 302.76	61.584 % 368.58	60.484 % 362.00
08 سفراء قديم	630	38.490 % 230.36	38.490 % 230.36	35.191 % 210.62
09 المصرف التجاري	630	49.487 % 296.18	61.584 % 368.58	48.387 % 289.60
10 المصرف التجاري	630	45.088 % 269.85	49.487 % 296.18	43.989 % 263.27
11 نقابة المهندسين	1000	38.105 % 362.00	37.412 % 355.42	38.798 % 368.58
12 نقابة المهندسين	1000	38.105 % 362.00	37.412 % 355.42	38.798 % 368.58
13 برج الفردوس	630	47.288 % 283.02	50.587 % 302.76	59.385 % 355.42
14 باقي	630	40.689 % 243.53	57.185 % 342.25	54.986 % 329.09

I-High Loading
Number Transformers Percent = 0.00%

II-Accepted Loading
Number Transformers Percent = 0.00%

III- Low Loading
Number Transformers Percent = 100.00%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

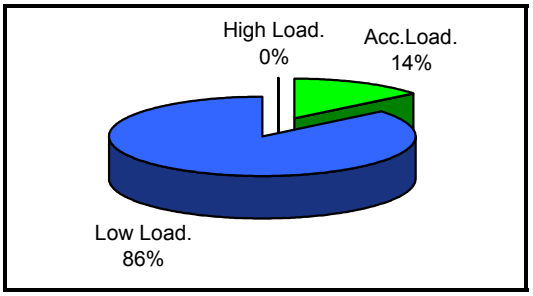
الجدول ٨: نسب تحميل أطوار المحولات في مراكز التحويل الكهربائية واستطاعتها ونسبة عدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل (مخرج: باب شرقي ـ الحريقة)

Name Center TP		Nominal Power[kVA]	Loading Percent[%] Phases Power[kVA] R	S	T
01	باب شرقي	630	60.484 % 362.00	54.986 % 329.09	61.584 % 368.58
02	حارة الزيتون	630	84.678 % 506.80	89.077 % 533.13	92.376 % 552.87
03	الفضلة	400	32.909 % 125.05	31.177 % 118.47	34.641 % 131.64
04	الحمل	630	37.390 % 223.78	30.792 % 184.29	35.191 % 210.62
05	الحمل	630	25.293 % 151.38	24.194 % 144.80	25.293 % 151.38
06	ضاعين	630	43.989 % 263.27	41.239 % 246.82	46.188 % 276.44
07	ضاعين	630	43.989 % 263.27	41.239 % 246.82	46.188 % 276.44
08	الصرف التجاري	200	62.354 % 118.47	58.890 % 111.89	51.962 % 98.73
09	الماعة القديمة	630	71.481 % 427.82	74.781 % 447.56	87.977 % 526.54
10	زقاق الحكمة	630	56.085 % 335.67	65.983 % 394.91	51.687 % 309.34
11	سيدي عامود	1600	52.395 % 796.40	45.033 % 684.51	54.560 % 829.31
12	أبو الشامات	630	58.285 % 348.84	79.179 % 473.89	58.285 % 348.84
13	الصمان	630	25.293 % 151.38	27.493 % 164.54	30.792 % 184.29
14	الصمان	630	20.895 % 125.05	27.493 % 164.54	35.191 % 210.62
15	غسان	630	52.786 % 315.93	65.983 % 394.91	73.681 % 440.98
16	نور الدين الشهيد	630	47.288 % 283.02	54.986 % 329.09	49.487 % 296.18
17	يوسف العظمة	630	49.487 % 296.18	65.983 % 394.91	64.883 % 388.33
18	يوسف العظمة	630	60.484 % 362.00	80.279 % 480.47	75.880 % 454.14

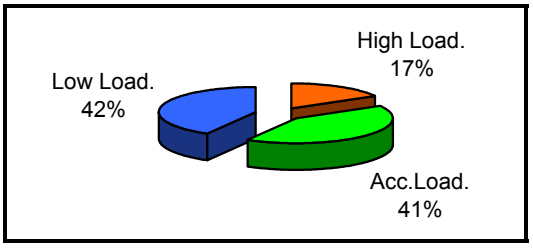
I-High Loading
Number Transformers Percent = 16.67%
2 9 18

II-Accepted Loading
Number Transformers Percent = 22.22%
10 12 15 17

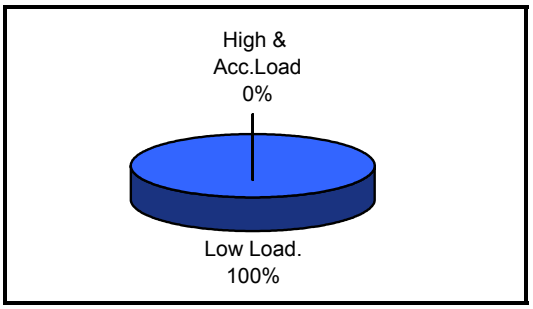
III- Low Loading
Number Transformers Percent = 61.11%
1 3 4 5 6 7 8 11 13 14 16



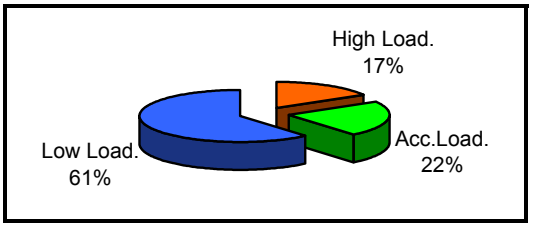
a



b



c



d

الشكل ١٥: التوزيع النسبي لعدد المحولات المحملة وغير المحملة والمقبولة التحميل.

ويكمن حل هذه المشكلة في تحقيق التغذية الحلقية للمستهلكين ضمن نظام الربط التفرعي للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية ،والذي يوفر المرونة الجيدة في التحميل المتزن لأطوار المحولات والتوزيع المنتظم لأحمالها .

وتبين الجداول (12,11,10,9) نتائج الحسابات التي أجريت وفق البرنامج الحسابي لتوزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية ونسب التحميل للمحولات فيها ،في حال تطبيق نظام التغذية الحلقية بدلاً من التغذية الشعاعية للمستهلكين في نظام الربط التفرعي للمحولات .

الجدول ٩: توزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية ونسب التحميل للمحولات فيها (مخرج: سمير ـ الأوقاف)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Short Voltage Usc[%]	Loading Percent[%]
01 الزهراء	200	0.040	-22.64
02 الزهراء	200	0.040	-22.64
03 فندق سير	200	0.040	-22.64
04 ساحة المرجة	400	0.050	-38.11
05 أوقاف2	630	0.055	-43.74
06 مستوصف الشرطة	1600	0.065	-52.39
07 وزارة الداخلية	630	0.055	-43.74

الجدول ١٠: توزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية ونسب التحميل للمحولات فيها (مخرج: شرق التجارة ـ صالة الفيحاء)

Name Center TP	Nominal Power[kVA]	Short Voltage Usc[%]	Loading Percent[%]
01 شرق التجارة	630	0.055	-33.62
02 سوق القصار	1000	0.060	-39.15
03 قصور 1	630	0.055	-33.62
04 قصور 2	630	0.055	-33.62
05 قصور 2	630	0.055	-33.62
06 كرنري 2	630	0.055	-33.62
07 السمكة	630	0.055	-33.62
08 عدوي 14	630	0.055	-33.62
09 ديوانية 2	1600	0.065	-43.83
10 ازبكية	630	0.055	-33.62
11 الدفاع المدني	400	0.050	-26.98
12 شمال بريد 5	630	0.055	-33.62

الجدول ١١: توزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية ونسب التحميل للمحولات فيها (مخرج: الورد ـ باقي)

Name Center TP		Nominal Power[kVA]	Short Voltage Usc[%]	Loading Percent[%]
01	عين الكرش	630	0.055	-50.62
02	م.الاجتماعية العسكرية	630	0.055	-50.62
03	م.الاجتماعية العسكرية	1000	0.060	-54.73
04	الورد	630	0.055	-50.62
05	أناضي	630	0.055	-50.62
06	بيطار	630	0.055	-50.62
07	سفراء قديم	630	0.055	-50.62
08	سفراء قديم	630	0.055	-50.62
09	المصرف التجاري	630	0.055	-50.62
10	المصرف التجاري	630	0.055	-50.62
11	نقابة المهندسين	1000	0.060	-54.73
12	نقابة المهندسين	1000	0.060	-54.73
13	برج الفردوس	630	0.055	-50.62
14	باقي	630	0.055	-50.62

الجدول ١٢: توزيع الحمولة بين مراكز التحويل الكهربائية ونسب التحميل للمحولات فيها (مخرج: باب شرقي ـ الحريقة)

Name Center TP		Nominal Power[kVA]	Short Voltage Usc[%]	Loading Percent[%]
01	باب شرقي	630	0.055	-41.84
02	حارة الزيتون	630	0.055	-41.84
03	الفضلة	400	0.050	-36.02
04	الفعل	630	0.055	-41.84
05	الفعل	630	0.055	-41.84
06	صناعي	630	0.055	-41.84
07	صناعي	630	0.055	-41.84
08	المصرف التجاري	200	0.040	-20.03
09	الصاغة القديمة	630	0.055	-41.84
10	رفاق الحكمة	630	0.055	-41.84
11	سيدي عامود	1600	0.065	-50.79
12	أبو الشامات	630	0.055	-41.84
13	الصمان	630	0.055	-41.84
14	الصمان	630	0.055	-41.84
15	عمان	630	0.055	-41.84
16	نور الدين الصهيد	630	0.055	-41.84
17	يوسف العظمة	630	0.055	-41.84
18	يوسف العظمة	630	0.055	-41.84

ويتضح من هذه الجداول ولا سيَّما جداول المقارنة الأخيرة (16,15,14,13) بين التغذية الشعاعية القائمة والتغذية الحلقية المقترحة ،أن النسب المتوافرة للتحميل المنتظم للمحولات بطريقة التغذية الحلقية أكبر بكثير (نحو 50% وأكثر) من النسب المتوافرة للتحميل المنتظم للمحولات بطريقة التغذية الشعاعية للمستهلكين (أقل من 50% في غالبيتها) ،ويعود السبب في ذلك إلى الدور الذي يؤديه توتر القصر في توزيع الحمولة بشكل متناسب مع الاستطاعة في التغذية الحلقية ،وعلى العكس من ذلك لا يؤدي توتر القصر أي دور في توزيع الحمولة في التغذية الشعاعية .وهذه النتيجة ذات أهمية كبيرة جداً في توزيع الحمولة والتخفيض من المشاكل الاستثمارية ،فنية كانت منها أم اقتصادية .

وهكذا نرى أنه للحد من ظاهرة أن بعض المحولات في مراكز التحويل الكهربائية تحمل زيادة على حساب بعضها الآخر، لابد من تحقيق التغذية الحلقية ضمن نظام الربط التفرعي مع توفير أجهزة تحكم وحماية جيدة لمكونات النظام .

الجدول ١٣: مقارنة بين نسب التحميل للمحولات بطريقة: التغذية الشعاعية القائمة والتغذية الحلقية المقترحة (مخرج: سمير ـ الأوقاف)

Name Center TP	Nom.Power [kVA]	Radial Connection		Loop Connection	
		Load.Per[%]	Incr.Per [%]	Load.Per[%]	Incr.Per[%]
01 الزهراء	200	31.18	68.82	-22.64	77.36
02 الزهراء	200	51.96	48.04	-22.64	77.36
03 فندق سمير	200	58.89	41.11	-22.64	77.36
04 ساحة المرجة	400	8.66	91.34	-38.11	61.89
05 أوقاف2	630	64.88	35.12	-43.74	56.26
06 مستوصف الشرطة	1600	64.09	35.91	-52.39	47.61
07 وزارة الداخلية	630	68.18	31.82	-43.74	56.26

الجدول ١٤: مقارنة بين نسب التحميل للمحولات بطريقة: التغذية الشعاعية القائمة والتغذية الحلقية المقترحة (مخرج: شرق التجارة ـ صالة الفيحاء)

Name Center TP	Nom.Power [kVA]	Radial Connection		Loop Connection	
		Load.Per[%]	Incr.Per [%]	Load.Per[%]	Incr.Per[%]
01 شرق التجارة	630	82.48	17.52	-33.62	66.38
02 سوق القصار	1000	65.82	34.18	-39.15	60.85
03 قصور 1	630	74.78	25.22	-33.62	66.38
04 قصور 2	630	37.39	62.61	-33.62	66.38
05 قصور 2	630	79.73	20.27	-33.62	66.38
06 كربلي 2	630	57.74	42.26	-33.62	66.38
07 الصعكة	630	109.97	9.97	-33.62	66.38
08 عدوي 14	630	76.98	23.02	-33.62	66.38
09 دبوانية 2	1600	48.06	51.94	-43.83	56.17
10 اربكية	630	68.18	31.82	-33.62	66.38
11 الدفاع المدني	400	32.91	67.09	-26.98	73.02
12 شمال بريدة 5	630	48.39	51.61	-33.62	66.38

الجدول ١٥: مقارنة بين نسب التحميل للمحولات بطريقة: التغذية الشعاعية القائمة والتغذية الحلقية المقترحة (مخرج: الورد ـ باقي)

Name Center TP	Nom.Power [kVA]	Radial Connection Load.Per[%]	Radial Connection Incr.Per [%]	Loop Connection Load.Per[%]	Loop Connection Incr.Per[%]
عين الكرش 01	630	60.48	39.52	-50.62	49.38
م.الاجتماعية العسكرية 02	630	32.99	67.01	-50.62	49.38
م.الاجتماعية العسكرية 03	1000	21.48	78.52	-54.73	45.27
الورد 04	630	53.89	46.11	-50.62	49.38
أتاسي 05	630	63.78	36.22	-50.62	49.38
بيطار 06	630	62.68	37.32	-50.62	49.38
سعراء فدع 07	630	61.58	38.42	-50.62	49.38
سعراء فدع 08	630	38.49	61.51	-50.62	49.38
المصرف التجاري 09	630	61.58	38.42	-50.62	49.38
المصرف التجاري 10	630	49.49	50.51	-50.62	49.38
نقابة المهندسين 11	1000	38.80	61.20	-54.73	45.27
نقابة المهندسين 12	1000	38.80	61.20	-54.73	45.27
برج الفردوس 13	630	59.38	40.62	-50.62	49.38
باقي 14	630	57.19	42.81	-50.62	49.38

الجدول ١٦: مقارنة بين نسب التحميل للمحولات بطريقة: التغذية الشعاعية القائمة والتغذية الحلقية المقترحة (مخرج: باب شرقي ـ الحريقة)

Name Center TP	Nom.Power [kVA]	Radial Connection Load.Per[%]	Radial Connection Incr.Per [%]	Loop Connection Load.Per[%]	Loop Connection Incr.Per[%]
باب شرقي 01	630	61.58	38.42	-41.84	58.16
حارة الزيتون 02	630	92.38	7.62	-41.84	58.16
القشلة 03	400	34.64	65.36	-36.02	63.98
العمل 04	630	37.39	62.61	-41.84	58.16
العمل 05	630	25.29	74.71	-41.84	58.16
صاغين 06	630	46.19	53.81	-41.84	58.16
صاغين 07	630	46.19	53.81	-41.84	58.16
المصرف التجاري 08	200	62.35	37.65	-20.03	79.97
الصاغة القديمة 09	630	87.98	12.02	-41.84	58.16
رفاق الحكمة 10	630	65.98	34.02	-41.84	58.16
سيدي عامود 11	1600	54.56	45.44	-50.79	49.21
أبو الشامات 12	630	79.18	20.82	-41.84	58.16
السمان 13	630	30.79	69.21	-41.84	58.16
السمان 14	630	35.19	64.81	-41.84	58.16
عمان 15	630	73.68	26.32	-41.84	58.16
نور الدين الشهيد 16	630	54.99	45.01	-41.84	58.16
يوسف العظمة 17	630	65.98	34.02	-41.84	58.16
يوسف العظمة 18	630	80.28	19.72	-41.84	58.16

الخاتمـــــة :

من خلال ما تقدم يتضح أهمية الربط التفرعي للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية والتغذية الحلقية للمستهلكين من الناحيتين الفنية والاقتصادية، وعليه يمكن إيراد النتائج والتوصيات التالية :

آ- نظراً لموجبات التحميل المتزن لأطوار المحولات في نظام التغذية الشعاعية للمستهلكين على التوتر المنخفض المتبع حالياً، فإنَّه لابد من إعادة التوازن للأحمال على مخارج التوتر المتوسط والمحولات ومغذيات التوتر المنخفض ومتابعة موازنتها كمرحلة انتقالية بغية تحسين مستوى التوتر والوثوقية ،وذلك من خلال الأعمال الجارية باستمرار والتأكيد عليها ،من قبل مسؤولي

التشغيل والفنيين في الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق والشركات العامة لكهرباء المحافظات الأخرى في سورية ،بحيث يتم :

- نقل جزء من أحمال الطور الأكثر تحميلاً إلى الطور الأقل تحميلاً .

و أو - نقل جزء من أحمال المحولة الأكثر تحميلاً إلى المحولة الأقل تحميلاً .

و أو - نقل جزء من أحمال المركز الأكثر تحميلاً إلى المركز المجاور الأقل تحميلاً .

و أو - استبدال المحولة المحملة بحمل زائد بمحولة ذات استطاعة أكبر في المركز نفسه.

و أو - إضافة محولة أخرى مناسبة إلى المحولة القديمة القائمة في المركز نفسه.

و أو - إنشاء مركز تحويل جديد باستطاعة مناسبة بالقرب من مركز التحويل القديم القائم .

ب- ضرورة تحقيق الربط التفرعي للمحولات في مراكز التحويل الكهربائية والانتقال من نظام التغذية الشعاعية للمستهلكين إلى نظام التغذية الحلقية للمستهلكين على التوتر المنخفض كمرحلة نهائية ،وذلك لتحسين درجة الوثوقية في التغذية الكهربائية بأعلى مردود والحفاظ على مستوى التوتر النظامي وتقليل الانقطاعات والأعطال وتخفيض الضياعات الفنية والنفقات إلى الحد الأدنى المطلوب ويمكن أن يتم ذلك من خلال :

- *دراسة نمو الأحمال الكهربائية والتعرف الجيد على سلوك الاستهلاك والتنبؤ الدقيق متوسط وبعيد المدى في تطور الطلب على استهلاك القدرة الكهربائية وأحمال الذروة المتحققة والمتوقعة على مستويات التوتر كلها .*
- *تصميم وتخطيط شبكات التغذية الحلقية ضمن نظام الربط التفرعي للمحولات ،بغية تحديث وتطوير مخططات شبكتي التوتر المتوسط والمنخفض ،واستخدام أجهزة وتجهيزات ومعدات تحكم وحماية حديثة وعالية الكفاءة .*
- *تطبيق مرحلي لمنطقة أو أكثر في مدينة دمشق وإزالة الأسباب والمعوقات الفنية إن وجدت، ثم تعميم ذلك على مناطق المدينة كلها والمحافظات الأخرى.*

ج- زيادة الاهتمام بتوترات القصر النسبية للمحولات الكهربائية القديمة منها والجديدة وإجراء الاختبارات اللازمة للتحقق من صحتها ضمن الحدود المعيارية المسموح بها وتحقيق شرط تساويها للمحولات ذات الاستطاعات الواحدة، إن أمكن، أو تقاربها بحدود ($\pm 10\%$) ، نظراً للدور الرئيسي والمفيد الذي تؤديه هذه التوترات في توزيع الحمولة بشكل منتظم عند تساويها أو تقاربها وبما يتناسب واستطاعات المحولات (ارتباط نسبة التوزيع بقيمة توتر القصر) ولا سيَّما عند الربط التفرعي لها والتغذية الحلقية للمستهلكين ،وهذا ما أكدته الدراسة التطبيقية والنتائج الحسابية السابقة ،وذلك كما هو مبين في الجداول الناتجة عن تطبيق طريقة استطاعات المرور الحدية .

وأخيراً لابد من التأكيد على المضي قدماً نحو تحديث شبكات التوزيع الكهربائية في المدن والبلدان وتطويرها ،بغية تحسين مؤشراتها الفنية والاقتصادية ،والوصول بها إلى درجة عالية من الوثوقية ،كي تؤدي الخدمة المطلوبة منها لمستهلكي القدرة الكهربائية بأهلية أداء مرتفعة.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن إنشاء نظام تغذية كهربائية فعال للمستهلكين ،كنظام التغذية الحلقية ضمن مبدأ

الربط التفرعي لمراكز التحويل الكهربائية ،سيساعد بلاشك في تحقيق الأهداف المرجوة آنفاً من الشركات العامة لكهرباء المحافظات في سورية ،لأن إنشاء مثل هذا النظام يمكنه أن يضمن توفير الجهود التي تبذلها الشركات للارتقاء بها إلى المستوى المطلوب في تقديم الخدمة للمواطنين .

المـراجع

[1] – Fabrycky, W. J. & Thuesen, G .J. – Engineering Economy, 6th ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984 .

[2] – EL- Hawary, M. E. & Christensen, G. S. – Optimal economic operation of electrical power, California Institute of Technology, 1979.

[3] – Weedy, B. M. – Electric Power Systems .Massachusets Institute of Technology, 1989.

[4] – Elgerd, O. I. – Electric Energy Systems Theory: An Introduction, 3rd ed., McGraw – Hill Book Co., London, 1991.

[5] – Nasar, S. A. & Unnewehr, L. E. – Electromechanics and Electric Machines, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1983.

[6] – Fink, D. G. & Beaty, H. W. – Standard Handbook for Electrical Engineers, 12th ed., McGraw -Hill, Inc. New York, 1987.

[7] – Sarma, M. S. – Electric Machines, 2nd ed., West Pub. Co., New York, 1994.

[8] – Kosow, I. L – Electric Machinery and Transformers, 2nd ed., Printice-Hall, Inc., New Jersey, 1991.

[9] – Glover, J. D. & Sarma, M. S. – Power System Analysis & Design with personal computer applications, 2nd ed., PWS Pub. Co., Boston, 1994.

[10] – IEC- Recommendations for Power Transformers, 10th ed., Publication, 1985.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: ٢٠٠١/٣/١٢.