

THE CALCULATION OF MAXIMUM LOAD LOSSES TIME USING A FEW QUANTITIES CHARACTERIZING THE LOAD GRAPH

MAKSIMĀLO ZUDUMU LAIKA APRĒĶINS, IZMANTOJOT VAIRĀKUS SLODZES GRAFIKU RAKSTUROJOŠUS LIELUMUS

Josifs Survilo, *doc., Dr. sc. ing.*

Riga Technical University

Address: Kronvalda blv. 1, LV 1010, Riga, Latvia

Phone: + 371 7089939, Fax: + 371 7089931

E-mail: jahzepe@eef.rtu.lv

Atslēgas vārdi: enerģijas zudumi, jaudas zudumi, slodzes ilguma līkne, maksimālās slodzes laiks, maksimālo zudumu laiks

Ievads

No teorētiskās elektrotehnikas [1] kursa ir zināms, ka trīsfāžu sistēmā slodzes zudumu jauda ΔP kādā laika brīdī t un zudumu enerģija ΔA laika posmā T tiek izteikta ar formulām:

$$\Delta P = 3Ri^2(t) = R \frac{s^2(t)}{U^2}; \Delta A = 3R \int_0^T i^2(t) dt = \frac{R}{U^2} \int_0^T s^2(t) dt, \quad (1)$$

kur pieņemts, ka ar laiku mainās tikai strāva i vai pilnā jauda s , bet aktīvā pretestība R un spriegums U ir konstanti.

Šīs izteiksmes tiek ņemtas par pamatu datorizētiem enerģijas zudumu aprēķiniem [2]. Spriegumu un aktīvo pretestību, ja ir nepieciešams, var uzskatīt arī par mainīgiem lielumiem. Enerģijas zudumu aprēķinu gadījumā, laiku T sadala N intervālos, un tad enerģijas zudumi tiek izteikti kā visu j intervālu zudumu summa [3]

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} \sum_{j=1}^N s_j^2 \Delta t_j. \quad (2)$$

Kā datorizētas aprēķinu programmas, tā arī laika posma T sadalīšana lielākos intervālos prasa atkārtotus periodiskus mērījumus.

Ja ir nepieciešams ātri novērtēt zudumus, tad izmanto jau uzstādītos mērījumu ierīces (elektroenerģijas skaitītājus), un izmanto aptuveno maksimālo zudumu laika τ metodi [3], saskaņā ar kuru zudumus aprēķina pēc formulas

$$\Delta A = \frac{RS_{\max}^2}{U^2} \tau, \quad (3)$$

kur $S_{\max}$ – maksimālā jauda laika posmā T ; τ - maksimālo zudumu laiks (MZL). Ja MZL τ ir zināms, tad problēma ir atrisināta, jo pārējie lielumi ir zināmi vai izmērīti. Lai noteiktu MZL, izmanto maksimālās slodzes laiku (MSL) T_m [3], šo laiku savukārt var noteikt, balstoties uz elektriskā skaitītāja rādījumiem un maksimālo slodzi $S_{\max}$, jo lielumi T_m un τ ir funkcionāli saistīti. Šī saistība nav viennozīmīga, jo pie viena un tā paša maksimālās slodzes laika T_m , maksimālo zudumu laiks τ var būt dažāds atkarībā no slodzes līknes formas vai (kas ir tas pats, tikai citādi sakārtots) no slodzes ilguma grafika (SIG) formas. Bet aptuveni MZL relatīvās vienībās [4] var noteikt pēc šādas formulas:

$$\tau^* = \left(0,124 + \frac{T_m^*}{1,142}\right)^2, \quad (4)$$

kura ir pazīstama kā Kazeviča formula [5].

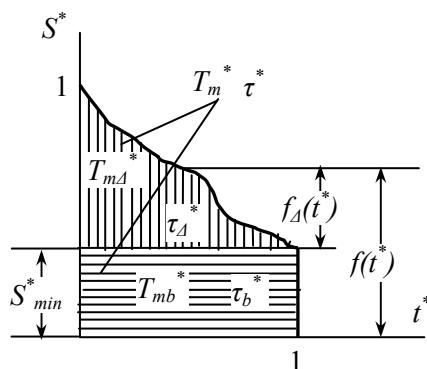
Izteiksme (4) ir viena rādītāja formula, jo izmanto tikai vienu integrālo lielumu T_m . Tiesa, lieluma T_m noteikšanai ir nepieciešams arī otrs (ekstremālais) rādītājs $S_{\max}$, bet formulā (4) tas neparādās. Raksta mērķis ir rast precīzāku formulu maksimālo zudumu laika noteikšanai, izmantojot vairākus slodzes grafiku raksturojošus lielumus, kas arī būtu loģiski, jo kad ir vairāk datu kāda rādītāja noteikšanai, tad šis lielums (šajā gadījumā τ) var būt noteikts precīzāk.

Pielietota metodika

Tālākā izskatīšanā tiks veiktā relatīvajās vienībās:

$$t^* = \frac{t}{T}; \quad T_m^* = \frac{T_m}{T}; \quad \tau^* = \frac{\tau}{T}; \quad S^* = \frac{S}{S_{\max}}; \quad S_{\min}^* = \frac{S_{\min}}{S_{\max}}. \quad (5)$$

Kazeviča formula bāzējās uz diviem rādītājiem: integrālo rādītāju T_m un ekstremālo rādītāju $S_{\max}$, kas ir patērētās jaudas vislielākā vērtība apskatāmā laikā posmā T . Ja ir zināms vēl viens ekstremālais rādītājs (laika posmā T) – minimālā patērētā jauda $S_{\min}$, tad SIG var sadalīt divās daļās [5;6]: bāzes daļā un delta daļā (1.att.).



1.att. Divās daļās sadalītais slodzes ilguma grafiks

S^* , S_{min}^* , t^* ; T_m^* , τ^* - teksta minētās relatīvās vērtības;
 T_{mb}^* , τ_b^* – bāzes daļas relatīvie MSL un MZL; $T_{m\Delta}^*$, τ_{Δ}^* -
delta daļas relatīvie MSL un MZL.

No [4;6] seko, ka slodzes ilguma grafika MSL T_m un MZL τ var izteikt caur to daļām, kas uzrādītas 1.attēlā:

$$T_m^* = \int_0^1 (S_{min}^* + f_{\Delta}(t^*)) dt^* = S_{min}^* + T_{m\Delta}^* = T_{mb}^* + T_{m\Delta}^*; \quad (6)$$

$$\tau^* = \int_0^1 (S_{min}^* + f_{\Delta}(t^*))^2 dt^* = S_{min}^{*2} + 2S_{min}^* T_{m\Delta}^* + \tau_{\Delta}^*. \quad (7)$$

Par cik minimālā slodze S_{min}^* un MSL T_m^* ir zināmi, no (6) var noteikt delta daļas MSL $T_{m\Delta}^*$. Tad, lai noteiktu meklēto MZL τ^* , ir nepieciešams atrast delta daļas MZL τ_{Δ}^* .

Divu un triju slodzes grafiku raksturojošu lielumu formulas

Lai meklētu delta daļas MZL, tās ir jāreducē pie delta daļas augstuma [4], tas nozīmē, ka reducētam delta daļas augstumam jābūt vienādam ar 1. Delta daļai reducētie lielumi ir šādi:

$$T_{m\Delta}^{*r} = \frac{T_{m\Delta}^*}{S_{\Delta}^*}; \quad \tau_{\Delta}^{*r} = \frac{\tau_{\Delta}^*}{(S_{\Delta}^*)^2}; \quad (8)$$

kur

$$S_{\Delta}^* = 1 - S_{min}^*. \quad (9)$$

Divu lielumu formulas iegūšanai pielīdzināsim reducēto delta daļu taisnleņķa trijstūrim, kura augstums ir 1, jo tas ir reducēts un horizontālās malas garums arī ir 1 (laiks t^* ir relatīvs). Šāda taisnleņķa trijstūra MSL un MZL atbilstoši ir:

$$T_{m\Delta}^{*r} = 0,5; \quad \tau_{\Delta}^{*r} = \frac{1}{3}. \quad (10)$$

Kad atgriežam reducēto trijstūri tā reālā augstumā, tā MSL un MZL būs

$$T_{m\Delta}^* = 0,5(S_{\Delta}^*); \quad \tau_{\Delta}^* = \frac{1}{3}(S_{\Delta}^*)^2. \quad (11)$$

Ņemot vērā (7) – (11), iegūstam divu rādītāju formulu:

$$\tau^* = S_{\min}^* + \frac{1}{3}(1 - S_{\min}^*)^2. \quad (12)$$

Ja minimālā un maksimālā jauda $S_{\min}$ un $S_{\max}$ ir attiecināta pret trešo rādītāju S_{MAX} (tās ir apzīmētas S_{MIN}^* un S_{MAX}^*), tad divu lielumu formulā parādās S_{MAX} :

$$\tau^* = S_{MIN}^* S_{MAX}^* + \frac{1}{3}(S_{MAX}^* - S_{MIN}^*)^2. \quad (13)$$

Lai rastu triju lielumu formulu, ir jāizmanto reducētais delta daļas MSL $T_{m\Delta}^{*r}$

$$T_{m\Delta}^{*r} = \frac{T_m^* - S_{\min}^*}{1 - S_{\min}^*} \quad (14)$$

un reducētais delta daļas MZL τ_{Δ}^{*r} , kuru izteiksim šādā formā:

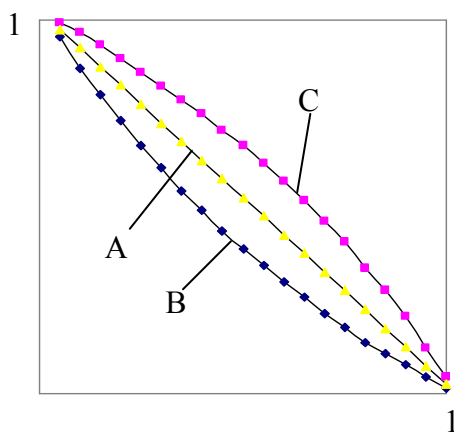
$$\tau_{\Delta}^{*r} = (a + bT_{m\Delta}^{*r})^2. \quad (15)$$

Lai atrastu koeficientus a un b , ir nepieciešams apskatīt reducētās delta daļas modeli (2.att) un aprēķināt MSL un MZL modeļa delta daļai, kuru veido koordinātu asis un līnija A. Līdzīgi aprēķini jāizdara līnijām B un C. Šie MSL un MZL ir izskaitļoti un to vērtības uzrādītas

2.attēlā. Ieliekot vienādojumā (15) līnijām A un B izskaitļotus lielumus T_m^{*r} un τ_{Δ}^{*r} , iegūstam vienādojumu sistēmu (16):

$$\begin{aligned} (a + 0,5b)^2 &= 1/3; \\ (a + 0,408b)^2 &= 0,246, \end{aligned} \quad (16)$$

no kuras atrodam koeficientus $a=0,135$; $b=0,885$. Trešā izliktā līnija kalpo pārbaudei. Ņemot vērā (7) – (11); (14) – (16), iegūstam triju lielumu formulu:



2.att. Reducētas delta daļas simetriskais modelis:

A – taisnā līnija $T_m^{*r}=0,5$; $\tau_{\Delta}^{*r}=1/3$,
 B – ieliekta līnija $T_m^{*r}=0,408$; $\tau_{\Delta}^{*r}=0,246$,
 C – izliktā līnija $T_m^{*r}=0,596$; $\tau_{\Delta}^{*r}=0,436$,
 slodzes ilguma grafikiem tipa A, B un C koeficienti $a=0,135$; $b=0,885$.

$$\tau^* = S_{\min}^* [S_{\min}^* + 2(T_m^* - S_{\min}^*)] + [(0,135(1 - S_{\min}^*) + 0,885(T_m^* - S_{\min}^*))]^2. \quad (17)$$

Ja apskatāmais slodzes grafiks ar maksimālo slodzi S_{max} ir datu apakškopa (piemēram, slodzes grafiks ceturksnī) vienas lielākās kopas ietvaros (piemēram, gada slodzes grafikā) ar lielākās kopas maksimālo slodzi S_{MAX} un apakškopas relatīvie lielumi ir T_M^* , S_{MIN}^* , S_{MAX}^* , kas iegūti attiecībā pret lielākās kopas maksimālo vērtību S_{MAX} , tad apakškopas MZL lielākās kopas ietvaros būs šāds:

$$\tau^* = S_{MIN}^* [S_{MIN}^* + 2(T_M^* - S_{MIN}^*)] + [(0,135(S_{MAX}^* - S_{MIN}^*) + 0,885(T_M^* - S_{MIN}^*))^2] \cdot (18)$$

MZL nosauktās vienībās noteiktā laika posmā T (piemēram gadā) iegūst, reizinot relatīvo vērtību τ^* , iegūto apskatāmā laikā T , uz šo laiku:

$$\tau = T\tau^* ; \tau = 8760\tau^* , h . \quad (19)$$

Ar otro formulu (19) izskaitļo gada MZL stundās.

Veicot aprēķinus un nosakot gada MZL dažādiem patērētājiem pēc trim formulām: pēc Kazeviča formulas (4), divu rādītāju formulas (12) un triju rādītāju formulas (17), tie tika salīdzināti ar MZL, kas noteikta bāzējoties uz formulu (2). Tabulā arī uzrādītas noapaļotas S_{min}^* un T_m^* vērtības. Aprēķini izdarīti, izmantojot Latvijas Zinātņu Akadēmijas Fizikas un Enerģētikas institūta slodžu izejdatus. Slodzes mērījumi tika fiksēti ik stundu. Aprēķinu rezultāti ir apkopoti tabulā.

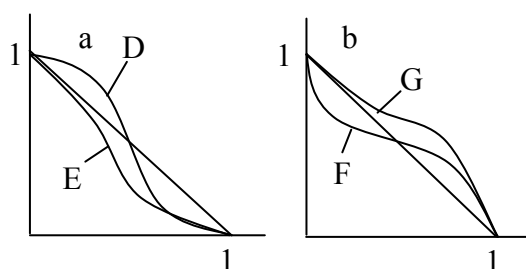
Patērētāju maksimālo zudumu laiki, izrēķināti pēc dažādām formulām

N p.k .	Patērētāju grupa	S_{min}^*	T_m^*	Precīzs MZL pēc (2)	Aprēķinu kļūda, %, lietojot formulas		
					(4)	(12)	(17)
1p	Nespecializ. zemn. saimn., viensēta	0,16	0,428	0,2186	13,79	80,74	7,15
2p	Dzīvoklis	0,27	0,485	0,262	15,06	70,84	4,14
3p	Dzīvoklis mazpilsētā, ciematā	0,28	0,533	0,3107	12,43	45,74	4,15
4p	Firmas un biroji	0,16	0,467	0,2812	1,93	40,54	-3,19
5	Bankas	0,48	0,703	0,5253	4,14	8,54	-1,74
6	Viesnīcas	0,48	0,728	0,5498	5,47	3,7	0,48
7	Firm. un biroji ar divu maiņu darbu	0,27	0,63	0,4397	3,77	1,8	0,31
8	Veikali	0,32	0,633	0,4612	-0,17	-2,95	-4,78
9p	Baznīcas	0,09	0,292	0,1189	21,3	204,4	13,97
10;	Rūpniecība	0,22	0,479	0,284	3,83	48,76	-3,58
11	Kokapstrādes rūpniecība	0,35	0,654	0,4664	4	-0,66	-0,89
12	Pārtikas rūpniecība	0,31	0,632	0,4343	5,56	7,9	0,91
13;	Transporta rūpniecība	0,14	0,469	0,27	6	46,4	2,93
14	Tekstilrūpniecība	0,31	0,639	0,4492	4,09	4,34	-0,23
15	Pārtikas rūpniecība ar nakts darbu	0,33	0,675	0,4837	5,62	-0,85	1,87
16	Gateris ar kalti	0,37	0,707	0,5293	4,36	-5,11	0,78
17	Gateris bez kaltes	0,22	0,622	0,4322	3,37	-2,17	1,22
18;	Komunālie pakalpojumi	0,43	0,642	0,44	6,98	22,35	-0,66
19;	Slimnīcas un ārstniecības iestādes	0,09	0,248	0,0952	21,97	284,4	10,56
20;	Mācību iestādes	0,04	0,249	0,1141	2,42	204,2	2,67
21	Retranslācijas stacijas	0,3	0,699	0,5335	1,53	-9,05	-0,74
22	Izklaides iestādes	0,26	0,648	0,4658	2,59	-5	-0,04

23;	Teātri, kino, muzeji	0,1	0,341	0,1556	14,68	137,7	9,34
24;	Stadioni	0,16	0,429	0,2145	16,52	84,2	9,8
25;	Benzīntanks	0,34	0,602	0,3967	6,98	22,32	0,12
26;	Tipogrāfija	0,04	0,383	0,2699	-21,79	28,65	-19,7
27;	Osta	0,1	0,326	0,1572	6,5	284	0,7

No tabulas ir redzams, ka visstabilākais dažādu grupu patērētājiem ir MZL, kas izskaitļots pēc triju rādītāju formulas (17). Divu rādītāju formula (12) der orientējošai novērtēšanai tikai tiem patērētājiem, kuru relatīvais MSL ir lielāks par 0,6 – 0,7. Arī triju rādītāju formula (17) dažām patērētāju grupām pieļauj lielas kļūdas (sk. patērētāju grupas No1-4; 8; 9;; 19; 23; 24; 26), kaut šīs kļūdas arī mazākas, nekā divām iepriekšējām formulām.

Arī šiem patērētājiem kļūdas var samazināt līdz 1 – 2 %, ja ir zināma SIG delta daļas forma. 2. un 3.attēlā parādīti trīs SIG delta daļas modeļi: simetriskais, ar pacelto augšdaļu un ar



3.att. Reducētas delta daļas asimetriskie modeļi:

a – ar pacelto augšdaļu, SIG tipa D un E koeficienti $a \approx 0,15$; $b \approx 0,885$,

b – ar pacelto apakšdaļu, SIG tipa G un F koeficienti $a \approx 0,105$; $b \approx 0,885$.

pacelto apakšdaļu. Katrai SIG delta daļai ir piemēroti koeficienti a un b . Jebkuru reālo SIG var pielīdzināt kādam no uzrādītiem trim modeļiem un izvēlēties attiecīgus koeficientus a un b . Reālie SIG tipi vai ir zināmi vai tos var iegūt noņemot slodzes grafiku kādā piemērotā dienā. Tādā veidā ir iespējams precizēt MZL novērtēšanu izmantojot triju rādītāju formulu. Vēl precīzākus rezultātus var iegūt, ja katrai patērētāju grupai izskaitļot attiecīgus koeficientus a un b .

Secinājumi

1. Slodzes raksturojumus ir lietderīgi izskatīt relatīvajās vienībās, jo tad visi rādītāji nepārsniedz vieninieku.
2. Vienreizēju rādītāju formulas tiek lietotas ātrai maksimālo zudumu laika novērtēšanai, neveicot periodiskos mērījumus, bet izmantojot esošus rādītājus: MSL T_m , maksimālo slodzi S_{max} , minimālo slodzi S_{min} .
3. Bez zināmas viena rādītāja formulas, maksimālo zudumu laiku var novērtēt arī pēc divu rādītāju formulas un pēc triju rādītāju formulas.
4. Aplūkojot dažādu tipu patērētājus, visprecīzākais maksimālo zuduma laika novērtējums ir pēc triju rādītāju formulas. Divu rādītāju formula der orientējošai zudumu novērtēšanai tikai tiem patērētājiem, kuru relatīvais MSL ir lielāks par 0,6 – 0,7.
5. Triju rādītāju formulas rezultātus var precizēt, ja ir zināms patērētāja slodzes ilguma grafika delta daļas tips.

Literatūra

1. Tabaks K. Elektrotehnikas teorētiskie pamati. Rīga, “Zvaigzne”, 1985, lpp. 111 – 114.
2. Zemsprieguma un vidējā sprieguma tīkla tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programmu sistēma LDM – VZ’01. LZA Fizikālās enerģētikas institūts, Rīga, 2001, 66 lpp.
3. Vanags A. Elektriskie tīkli un sistēmas, I daļa. Rīga, RTU izdevniecība, 2007, 3.nodaļa.
4. Survilo J. Determination of the time of maximum power losses by load duration curve. Latvian journal of physics and technical sciences. No3. Rīga, 2007, p.24-39.
5. Пospelов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1981, Гл.2; 4.
6. Survilo J. On calculation of the time of maximum losses by load graph. Scientific proceedings of Riga technical university; Power and electrical engineering, series 4, vol. 20. Riga, 2007, pp.43 – 50.

Survilo J., Maksimālo zudumu laika aprēķins, izmantojot vairākus slodzes grafiku raksturojošus lielumus.

Enerģijas zudumus tīklos laika posmā T var rēķināt, sadalot slodzes grafiku laika intervālos, tad jādara periodisko mērījumu sērija. Lietojot maksimālo zudumu laiku (MZL) τ , var ātrāk aprēķināt slodzes zudumus. Taču MZL aprēķinam arī ir nepieciešama mērījumu sērija. Lai paātrinātu MZL noteikšanu, izmanto slodzes grafiku raksturojošo integrālo lielumu – maksimālās slodzes laiku MSL T_m , par cik starp MSL un MZL eksistē aptuvena sakarība un MSL var iegūt no enerģijas skaitītāja rādījumiem laika posmā T . Šīs sakarības zināmā matemātiskā izteiksme dažu patērētāju tipiem pieļauj ievērojamu kļūdu. Divās alternatīvajās formulās ir nepieciešams izmantot divus ekstremālos lielumus: maksimālo S_{max} un minimālo S_{min} patērētāju jaudu laika posmā T , bet slodzes ilguma grafiks ir jāsadala divās daļās: bāzes daļā un delta daļā. Ja MZL formulu rod, izmantojot tikai divus minētus ekstremālus lielumus, tad to var izmantot orientējošai zudumu novērtēšanai tikai patērētājiem, kuriem MSL ir lielāks par 0,6 – 0,7. Triju lielumu MZL formula (integrālo un divu ekstremālo) dod visprecīzāko slodzes zudumu aprēķinu visu patērētāju šķērsgriezumā. Tās iegūšanā izmantots fakts, ka slodzes zudumi ir kvadrātiskā funkcija no strāvas. Delta daļas MZL tika meklēts kā tās MSL pirmās pakāpes polinoma kvadrāts un polinoma koeficienti iegūti no delta daļas modeļa. Rēķinot MZL, ir jālieto relatīvās vērtības: tekošu laiku t attiecinot pret izskatāmo laika posmu T , bet pārējos lielumus – pret maksimālo jaudas vērtību S_{max} . Triju lielumu formulas rezultātus var vēl precizēt, ja ir zināms slodzes ilguma grafika delta daļas tips.

Survilo J., The calculation of maximum load losses time using a few quantities characterizing the load graph.

The energy losses in networks over time span T can be calculated by decomposing the load graph on time spans and a lot of periodical measurements must be done. Using the maximum load losses time τ (utilization time of power losses UTL), it is possible to obtain load losses more swiftly. However, to calculate UTL, the series of measurements are necessary as well. To accelerate determination of the UTL, the integral quantity characterizing the load graph, which is known as maximum load time (MLT), is applied, as far as approximate interdependence exists between MLT and UTL. MLT can be obtained from the readings of energy counter during time span T . The known mathematical expression of said interdependence allows noticeable error. In two alternative formulas, it is necessary to apply two extreme quantities: the maximum S_{max} and minimum S_{min} power of the consumers over time span T , but load duration graph must be decomposed in two parts: the base part and delta part. If UTL formula is obtained using only two mentioned extreme quantities, then this UTL can be applied only for tentative losses estimation of those consumers which MLT is more than 0,6 – 0,7. The UTL formula of three quantities (the integral and two extreme ones) gives the most accurate appreciation of load losses in all consumer cross section. Obtaining this formula, the fact has been taken into account that load losses are square function of the current. The UTL of delta part was searched as the square of the first degree polynomial of delta part MLT and the coefficients of the polynomial are obtained from the delta part model. By UTL calculation, it is necessary to use relative values, relating the current time t to considered time span T and

the rest quantities – to maximum power value S_{max} . The results of three quantities formula can be made still more accurate when the type of delta part of load duration graph is known.

Сурвило И., Расчет времени максимальных потерь, используя несколько величин, характеризующих график нагрузки.

Потери энергии в сетях за время T рассчитываются, расчлняя график нагрузки на интервалы, что требует серию периодических измерений. Используя время максимальных потерь (ВМП) τ , возможно быстрее рассчитать потери. Однако для определения ВМП также необходима серия замеров. Для ускорения расчетов используют интегральную величину, характеризующую график нагрузки – время максимальной нагрузки (ВМН) T_m , поскольку существует приближенная связь между ВМП и ВМН, а ВМН можно получить по показаниям счетчика электроэнергии за время T . Известное математическое выражение этой связи дает существенную ошибку для некоторых потребителей. В двух альтернативных формулах необходимо использовать две экстремальные величины: максимальную S_{max} и минимальную S_{min} потребляемую мощность за время T , а график длительности нагрузки разбить на две части: на базовую часть и на дельта часть. Если в альтернативной формуле используется только две упомянутые экстремальные величины, то эту формулу можно использовать только для ориентировочной оценки потерь тех потребителей, у которых ВМН более 0,6 – 0,7. Формула трех величин (интегральной и двух экстремальных) для определения ВМП обеспечивает наиболее точный расчет потерь в разрезе всех потребителей. При ее получении использовался факт, что потери энергии являются квадратичной функцией тока. ВМП дельта части определено как квадрат полинома первой степени от ВМН дельта части, а коэффициенты полинома вычислены из модели дельта части. Рассчитывая ВМП, используются относительные величины: текущее время t отнесено к длительности T , остальные величины – к максимальной мощности S_{max} . Результаты формулы трех величин могут быть еще более точными, если известен тип дельта части графика длительности нагрузки.