الباب الرابع

المحركات ثنائية الوقود غاز - ديزل *Dual - Fuel Engines*

4- مقدمة .

لما كان النمو المضطرد لإنبعاثات غازات العادم قد وصلت إلى المستويات الكبيرة والمضرة على سطح الكرة الأرضية وأثرت كثيرًا على البيئة ، وأيضًا إحتياجات الأسواق الأرضية والبحرية للطاقة النظيفة فقد تم التفكير فى الغاز الطبيعى كمصدر للطاقة النظيفة مما شجع هذا المصممون على إنتاج محركات متوسطة السرعة وأيضًا محركات بطيئة السرعة ثنائية الوقود Dual - Fuel ومع إستخدام وقود الغاز الطبيعى مع وقود الديزل فى المحركات تلاحظ أن فترات الصيانة قد تباعدت وكذلك طول فترة الصيانة الكاملة لوحدات توليد القدرة، ومن الناحية الصحية فإن إنتاج المحركات التى تعمل بوقود غاز- ديزل أفضل بكثير وذلك لإنخفاض الإنبعاثات المضرة على البيئة والصحة .

ومن السفن التى تعمل بمحركات ثنائية الوقود (وحدات التخزين ، معدات الحفر، حاملات الوقود المكوكية ، السفن التى تعمل وراء الشاطىء off shore vessels لدعم السفن ، سفن حاملات الغاز المسال Liquefied fuel Natural Gas – L.N.G – وسفن عابرات القنوات) ولقد تم إنتاجها على فترات متقطعة بدأ من عام 2000 بإنتاج محركات بحرية بمواصفات تعمل بحرق غاز- ديزل (ثنائى الوقود) .

ولقد أنتجت دولة النرويج وحدات صغيرة من العبارات تعمل بين مينائين منفردين وبها محركات من صنع شركة Mitsubishi high speed Engines ، وسفن تموين ، وسفينة حاملة للغاز الطبيعى المسال حمولتها 5000 متر مكعب بمحركات متوسطة السرعة ثنائية الوقود من شركة Wartsila .

ويعتبر الغاز الطبيعى المورد الوحيد الرئيسى للطاقة النظيفة التى يحتاجها العالم ويتم نقل الغاز الخام بسهولة من حقول البترول البرية ومنصات الحقول البحرية والمحتوية على غاز الميثان وبعض من غاز الإيثان بواسطة مواسير، ويمكن تحويل الغاز إلى غازسائل فى سفن L.N.G وكذلك إلى غازمضغوط فى سفن Compression Natural Gas – C. N. G ومن النتائج المرضية لإستخدام الغاز الطبيعى ، إنتاج القدرة ، إنخفاض الإنباعاثات فى التنكات ، والحريق النظيف للوقود بأقل إنبعاثات وأقل تلوث بيئى .

وغاز الميثان هو العنصر الرئيسى والأعلى كفاءة من الوقود السائل Hydrocarbon Fuel وبناءًا عليه فإن التشغيل بالغاز الطبيعى سوف يقلل الإنبعاثات الضارة للبيئة مثل غاز ثانى أكسيد الكربون بنسبة 20% بالمقارنة

بالتشغيل بوقود الديزل ، وللغاز الطبيعى خواص جيدة للحريق فى المحركات ذلك لأنه أخف من الهواء ، وينتج عند إحتراقه كمية حرارة كبيرة ودرجة حرارة عالية ، والغاز الطبيعى غاز آمن جدًا .
وفى شكل 1-4 يوضح الكفاءة الحرارية للمحركات المختلفة .

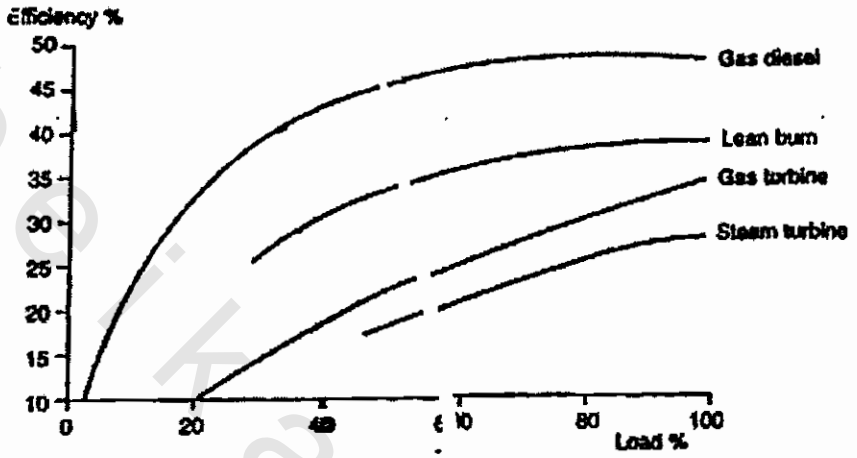


Figure 4-1 Thermal efficiency of diesel and Gas- diesel engines as a function (Wartsila).

وشركة Wartsila من الشركات الرائدة فى مجال إنتاج المحركات ثنائية الوقود D.F Dual Fuel رباعية الأشواط وتعمل بالغاز الطبيعى ووقود الديزل.
والمحركات التى تعمل بالغاز الطبيعى تعمل بناءًا على النظرية الرئيسية لدورة OTTO وهو الحريق للخليط المفتقر للهواء والغاز فى غرفة الإحتراق (وتفسيرًا لمعنى الحريق المفتقر Learn burn هو خليط من الهواء والغاز الطبيعى فى إسطوانة المحرك ويكون نسبة الهواء أكبر مما يحتاجه وقود الغاز للحريق الكامل وتكون نسبة الهواء إلى الوقود 2.2–1 وهذا لايتأتى إلا إذا إستخدم نظام تحكم إلكترونى .
وبهذه النسبة تنخفض درجة الحرارة القصوى داخل الإسطوانة peak temperatures مما يقلل من إنتاج أكسيد النيتروجين .
وتوقيت الحريق المناسب والنسبة الجيدة للخليط المفتقر ضرورية جدًا لتجنب الخبط knocking الناتج عن الإشتعال الذاتى للمحرك self ignition ويدخل الغاز إلى الإسطوانة عن طريق مواسير هواء السحب فى شوط السحب كما هو موضح بشكل 2-4.

وبدلامن إستخدام شمعة الإشتعال يستخدم حقن الديزل بكمية صغيرة جدًا فى المحركات ثنائية الوقود والتى تستخدم الوقود المفتقر lean burn وبالنسب السابقة وبواسطة حاقن الوقود (الرشاس) يحقن الديزل داخل غرفة الإشتعال ويصدرعن الوقود المفتقر كمية حرارة كبيرة وقوة حريق متضاعفة وخرج نوعى عالى للإسطوانة.

والخليط المفتقر من الهواء ووقود الغاز يعمل على ضبط وتقليل الإنبعاثات الضارة .

ومن الضرورى تقليل وقود الديزل ، وبذلك فإن شركة Wartsila إستخدمت نظام جديد هو نظام المرشد إلكترونى للحقن Micro – pilot لمحركاتها التى تعمل بنظام ثنائى الوقود Dual Fuel والذى يقل فيه إستهلاك وقود الديزل عن 1% عند الحمل العادى وبالتالى يقل من إنبعاث أكسيد النيتروجين إذا ما قورنت بالمحركات التى تستخدم وقود الديزل بنسبة العشر ، وعندما يعمل المحرك ثنائى الوقود بأسلوب الغاز (الخليط السابق من الهواء والغاز) يجب أن يكون الخليط محكم بدقة لمنع حدوث الخبط knocking وكذلك منع إخفاق الإحتراق misfire ولعدم حدوث ما سبق فإن شركة Wartsila أنتجت نظام إلكترنى محكم يقلل من حقن الوقود لصمام المرشد ، وإدخال الغاز لكل إسطوانة على حده والتحكم فى نسبة الهواء والغاز .

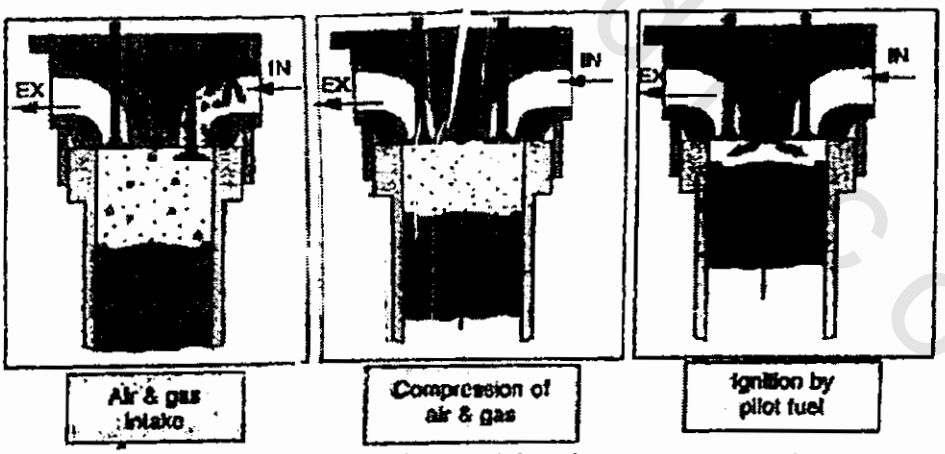


Figure 4-2 the lean burn dual-fuel diesel operating system(Wartsila)

وأيضًا يتحكم فى صمام بوابة المخلفات wastage valve-w. v الذى يسمح ببعض من غازات العادم - النفايات - بالمرور إلى الشاحن الجبرى جانب الهواء

و تضمن أن تكون قيمة النسب فيها صحيحة والتى تعتمد على تغيير الحالة المحيطة بها كما هوموضحه بشكل3-4.

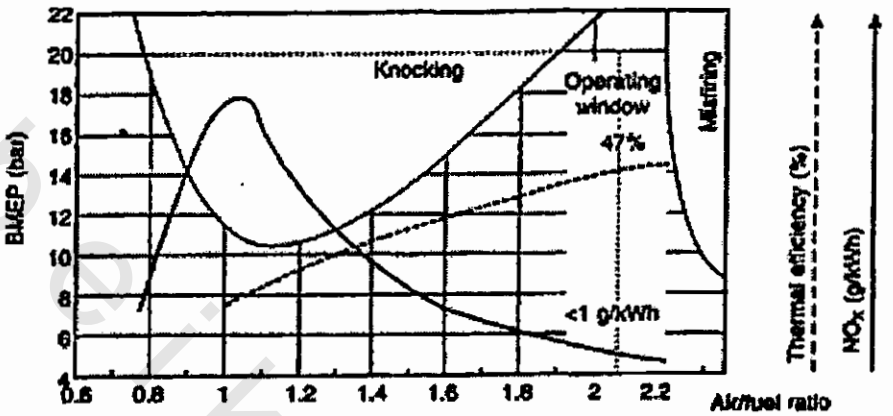


Figure 4-3 A special electronic system for the Wartsial DF engine controls combustion in each cylinder , and optimizes efficiency and emissions under all condition by keeping each cylinder within the operating window.

والنسب الشاملة لخليط الهواء والوقود تحفظ لكل إسطوانة عند نقطة تشغيل صحيحة من خلال فتحة التشغيل للخبط knocking وحدود إخفاق الحريق Misfire limits هذه هى العوامل الرئيسية للتشغيل الآمن عند إستخدام وقود الغاز وعمل توليفة أوتوماتيه للمحرك طبقاً لحالته المتغيرة .

وبتوضيح فى حالة إستخدام وقود الديزل عندما يعمل المحرك بناءًا على وقود الديزل العادى وبتصور الإستخدام التقليدى لطلمبة حقن الوقود بحقن وقود الديزل تحت ضغط عالى فى غرفة الإحتراق وبالضبط قبل النقطة الميتة العليا T.D.C top dead center ودخول الغاز إلى الإسطوانة غير مؤثر فى الحريق ولكن المؤثر هنا هو الوقود المحقون من صمام المرشد ويعتمد عليه فى الإشتعال ، ويكفل الحريق الأولى عندما يتم التحويل إلى وقود الغاز ويكون ضغط الغاز الداخل إلى المحرك أقل من 4 بار عند الحمل الكامل ، وتصنع ماسورة هواء السحب من جدار منفرد Single wall إذا ما زودت غرفة المحركات بمراوح جيدة لسحب وضغط الهواء ، وكذلك بجهاز إنذار لإكتشاف تسريب الغاز ، ويركب صمام الغاز على جانب رأس الإسطوانة ويكون بسيط وقوى ويتحمل درجة حرارة غرفة المحركات ، ومجهز بصمام يتحكم فيه ملف لولبى Solenoid

يعمل بالكهرباء ومتصل بدائرة التحكم إلكتروني وتتم صيانته على فترات متباعدة.
ونظام صمام مرشد الوقود يتكون من نظام مشترك مع مضخه وقود ذات ضغط عالى مركبة على المحرك وتمد كل صمام مرشد بالوقود وتأخذ حركتها من عمود الكامات وبضغط ثابت 900 بار.
ونتيجة للضغط العالى فقد صممت مواسير الضغط العالى بجدارين Double Wall وذلك لإكتشاف تسرب الوقود وفى نفس الوقت يتم تزويد النظام بإنذار مرئى ومسموع لنفس السبب.
ويتم تصميم صمام حقن الوقود بعدد واحد فونية Nozzle ، وكل فونية بها إثنين من الإبر ويتحكم فى عمل إحدى الإبرتين طلمبة حقن الوقود لصمام المرشد .
أما الإبرة الأخرى فهى للغاز ويتحكم فى هذه المنظومة جهاز تحكم إلكترونى بواسطة نظام تحكم المحرك Engine control system .
ومن أهمية نظام الحقن أن يعتمد على تداول كمية صغيرة من وقود المرشد مع تغير طفيف لدوائرأخرى.
ونظام تصميم إبرة فونية الرشاس الرئيسى تقليدى وتعمل بنظام التحكم الميكانيكى لطلمبة حقن الوقود ، ولأكثر من عشرة أعوام تعمل شركة Wartsila على إنتاج أجزاء رئيسية ونظم بتصميمات جيدة وبمقاييس عالية الجودة للمحركات ثنائية الوقود.

4.1 تشغيل المحركات ثنائية الوقود. Duel – fuel Engine operation

المحركات ثنائية الوقود لشركة Wartsila بإستطاعتها العمل بوقود الغاز والوقود الخفيف مثل (الديزل البحرى ، الجازولين ،وأيضًا الوقود الثقيل) وعند تشغيل المحرك بالغاز يتم التحويل إلى وقود الديزل لحظيًا عن طريق التحكم الإكترونى للمحرك ويتم تشغيل المحرك بواسطة الديزل عند إنقطاع تغذية المحرك بالغاز أو حدوث عطل فى أى جزء من دائرة الغاز.
ويأخذ التحويل أقل من ثانية ولا يوجد تأثيرعلى السرعة أو حمل المحرك فى خلال عملية التحويل .
ويتم التحويل من وقود الديزل إلى وقود الغاز بتدرج فى عملية تغذية وقود الديزل بكمية قليلة وببطئ بينما ترتفع كمية الغاز الداخلة ويكون التأثيرقليل فى سرعة المحرك وإستقرارالحمل وفى تقارير شركة Wartsila عند تحويل المحرك من وقود الغاز إلى الوقود الثقيل تفرض بعض التعديلات القليلة على المحرك ، وهى تعديلات ضرورية ولا يتعدى تنفيذها إلا يوم واحد فقط .

وإستخدام الوقود الثقيل H. F. O - heavy fuel oil - يتطلب إستخدام زيت تزييت عالى الجودة (أما عند التشغيل بوقود الغاز الطبيعى فيكون زيت التزييت هو نفسه المستخدم عند إستخدام الوقود الخفيف) والمحركات ثنائية الوقود عادة ما تبدأ التشغيل بحقن وقود المرشد ويكون قادرًا على إعطاء سرعة حوالى 60% من الحمل العادى .

وعندما يلاحظ الحريق أنه طبيعيًا فى جميع الإسطوانات يكون الغاز الداخل للإسطوانة مؤثرًا وتزداد سرعة المحرك إلى السرعة الطبيعية .

وللتأكد من التشغيل الآمن يلاحظ أنه لا يوجد تجاوز فى عدم حريق الوقود وتكون التغذية مباشرة لنظام الغاز الطبيعى .

وتمتلك شركة Wartsila نسخة وحافظة أوراق لنظام ثنائى الوقود لمحركات متوسطة السرعة بأقطار320سم ،500 سم وعقود لسفن تموين ما وراء الشاطئ offshore ، وحاملات غاز مسال liquefied natural gas L. N.G وجميعًا تعمل بالغاز الطبيعى.

والمحركات طراز 32 D.F , 50 D.F تنتج قدرات 2010 KW ، 17100 KW بالتوالى من 6 إسطوانات ، 18 إسطوانة ، وبرامج لإنتاج تشمل محركات غاز ديزل مختلفة من W32 ، W46 وأيضًا محركات صغيرة تعمل بالغاز ونظام الشرارة .

أنتجت شركة Wartsila عام 2000 محرك من طراز 32 D. F ثنائى الوقود للإستخدامات البحرية ليفى بمتطلبات جديدة ودرجة أمان عالية وتشمل على غاز يقل ضغطه عن 10 بار فى ماسورة وحيدة الجدار Single wall وتجهيزه للعمل بالتناوب مع محرك 32 GD غاز- ديزل (أنظر أسفل) ولقد لاقت نجاح فى أسواق ما وراء الشاطئ Off shore .

وفى الإستخدامات المبكرة تم تسمية أربعة سفن بسفن المجموعة وكانت تحتوى على محركات طراز 32 D. F ، ومحرك يعمل بالغاز الطبيعى السائل وهذه المحركات ملحق بها مولدات كهرباء لتوليد الكهرباء Genset وكانت سعة السفينة 220 متر مكعب ، وسفن تخزين للغاز الطبيعى المسال عند ضغط 5.5 بار والمحرك الكبير D.F-50 دخل الخدمة رسميًا ويحتوى على 6 إسطوانات قدرة كل إسطوانة 5700 Kw ويعمل على إدارة مولد كهرباء لإدارة محرك كهربائى لدفع السفينة ، ومركب على سفينة حاملة وقود غاز مسال .

Wärtsilä DF engine data	32DF	50DF
Bore	320 mm	500 mm
Stroke	350 mm	580 mm
Engine speed (rev/min)	720/750	500/514
Mean piston speed (m/s)	8.4/8.75	9.7/9.9
Mean effective pressure (bar)	19.9	20/19.5
Output/cylinder (kW)	335/350	950
Cylinder numbers	6,9L/12,18V	6,8,9L/12,16,18V
Power band	2010–6300 kW	5700–17 100 kW

4.2 تفاصيل محرك DF–50 لشركة Wartsila .

أنتجت شركة Wartsila 46 محرك يعمل بنظام تشغيل خاصة وهو نظام ثنائى الوقود وسوف نستعرض بعض الأنواع من هذه المحركات وهو المحرك DF-32 ويتكون من ستة إسطوانات على خط واحد .

وكذلك المحرك DF-50 ذو الثمانية عشر إسطوانة على شكل حرف V ويعطى قدرة 950KW لكل إسطوانة وعدد لفات من 500 لفة / د إلى 514 لفة / د وكفاءة حرارية 47% وهى أعلى من أى محرك أخر متساوى معه فى القدرة سواء كان يعمل بالغاز الطبيعى أو بالوقود الثقيل أو الوقود الخفيف وتكون نسبة الهواء للوقودهى 1:2.2 أى2.2 هواء إلى 1 غاز طبيعى .

ولوجود كمية الهواء الكبيرة سبب فى إنطلاق كمية حرارة نوعية كبيرة بواسطة الحريق ومع ذلك إنخفضت أقصى درجة حرارة لغرفة الإشيعال ومع إنخفاض درجة الحرارة تنخفض كمية أكسيد النيتروجين .

ويكون الخليط متساوى فى جميع أنحاء الإسطوانات وبما أن الوقود والهواء تم خلطهم من قبل دخولهم الإسطوانة مما ساعد على تجنب تكون أكسيد النيتروجين داخل الإسطوانة .

ويبدأ تشغيل المحرك دائمًا بوقود الديزل وبإستخدام كل من وقود الديزل الرئيسى (وقود المرشد) وعند 300 لفة / د يتوقف حقن وقود الديزل الرئيسى ويتم التحويل إلى وقود الغاز وفى البداية لا يكون حريق الغاز مؤثرًا إلآ بعد إستمرار الحريق فى جميع الإسطوانات .

ولضمان التشغيل الآمن للغاز تكون كميات وقود المرشد أقل من 1% عند الحمل الكامل لإستهلاك الوقود ويتحكم فى كمية وقود المرشد نظام التحكم للمحرك system control engine لشركة Wartsila.

وتتم تغذية وقود الغاز الطبيعى للمحرك من خلال صمام مركزى وفلتر مرحله أولى وذلك لنظافة الغاز، وضغط الغاز يعتمد على حمل المحرك ويتحكم فيه صمام موضوع بجانب جهاز بدء الحركة .

ويكون ضغط الغاز في الحمل الكامل 3.6 بار وبقيمة حرارية منخفضة 36MJ/mN وبإنخفاض القيمة الحرارية LHV ينخفض الضغط ، ولضمان الأمان فإنه من الضروري دمج جهاز الإيقاف مع صمام التصريف (التنفيث) لتجنب أعطال تزويد الوقود .

ويكون تزويد المحرك عادة بالغاز عن طريق مواسير بجوار المحرك على هيئة قضبان ممدة بطول المحرك ويتم تغذية كل إسطوانة بواسطة ماسورة من هذه المواسير تأخذ طريقها إلي صمام دخول الغاز والمثبت على رأس كل إسطوانة يتم إمداد وقود الديزل للمحرك بنظامين أحدهم إلى مرشد الوقود والآخر إحتياطي شكل4-4 .

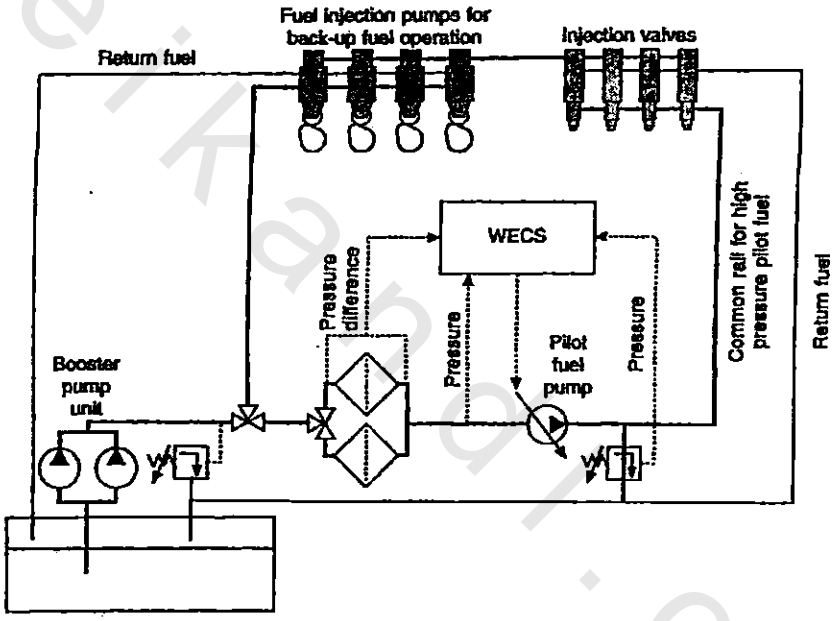


Figure 4-4 Diesel fuel oil supply system for the Wartsila DF engine
(WECS)= Wartsila engine control system

ويرتفع ضغط وقود المرشد إلى الضغط المطلوب بواسطة ضخ الوقود إلى الفلتر المزدوج ، منظم ضغط الوقود ، وتأخذ طلمبة ضخ الوقود حركتها من المحرك الرئيسى والضغط العالى لوقود المرشد ويتم توزيعه عن طريق ماسورة عمومية على هيئة قضيب إلى حواقن الوقود (الرشاشات) لكل إسطوانة على حدة .

ويكون ضغط وقود المرشد حوالى 900 بار وتوقيت الحقن يتم عن طريق تحكم إلكترونى .

وعادة ما يتم تغذية الوقود عن طريق طلمبة حقن الوقود والتى تأخذ حركتها من الكامات والتى تضخ الوقود بضغط عالى ضد سسته حاقن الوقود (ألرشاش) كما فى التصميم الأصلى لمحرك الديزل .

ويشمل الرشاش الرئيسى على إبرتين ، الإبرة الكبرى من الإبرتين فى صمام الحقن تستخدم فى أسلوب وقود الديزل للمحرك والإبرة الصغرى لحقن وقود المرشد عندما يعمل المحرك بأسلوب وقود الغاز فإن حقن وقود المرشد يعمل بتحكم إلكترونى أما حقن وقود الديزل يعمل بالتحكم الهيدروميكانيك .

التحكم المنفرد للصمام اللولبى Solenoid دائمًا ما يكون مثالى فى توقيت حقن الوقود ، وفى أثناء الحقن بواسطة صمام المرشد لكل إسطوانة عندما يعمل المحرك بواسطة الغاز .

وبما أن أكسيد النتروجين NO يعتمد على كمية وقود المرشد فإن النظام الآمن يعمل على أن يكون غاز أكسيد النيتروجين أقل للمحافظة على الإستقرار .

وكذلك الحريق الأمن لخليط الهواء والغاز فى غرفة الإحتراق.

ويحقن غاز الوقود إلى الإسطوانة عن طريق حقنه فى ماسورة الهواء قبل صمام السحب مباشرة.

ويعمل صمام حقن وقود الغاز إلكترونيًا ويتم التحكم فيه بواسطة نظام التحكم للمحرك W .E.C.S (Wartsila Engine Control System) وبذلك يتم ضبط كمية وقود الغاز الداخلة إلى الإسطوانة ، والتحكم فى الحريق لكل إسطوانة يكون منفردًا .

وبما أن عمل صمام دخول وقود الغاز يعتمد على توقيت صمام السحب وكمية هواء الكسح الداخل إلى الإسطوانة وكسح غازات العادم مباشرة بدون خطورة ويحتوى وقود الغاز الداخل إلى الإسطوانة على النسب السليمة للهواء والغاز الذى يكفل كفاءة التشغيل وتقليل الإنبعاثات الضارة لأداء التغذية السليمة وبدون توقف ويعمل على عدم الخبط والإخفاق فى الحريق.

وفتحة دخول الغاز للصمام صغيرة ، ويصنع الصمام من معدن قوى مقاوم للتآكل وتكون فترات صيانته متباعدة.

وتفتخر شركة Wartsila بتصنيع طلمبات وقود خاصة تتحمل الضغوط العالية مع تزويدها بصمام تصريف للحفاظ على ثبوت الضغط ولتجنب التكهف Cavitations ومن مواصفات الكباسات أنها تصنع من معدن مقاوم للتآكل وتكون طلمبة الوقود جاهزة للتشغيل فى أى وقت .

وطلمبة وقود المرشد تكون وحدة قائمة بذاتها وتشتمل على طلمبة ترددية نصف قطرية مع الفلاتر والصمامات ونظام التحكم الخاصة بها .

وتأخذ الإشارة المطلوبة لمستوى الضغط من وحدة التحكم للمحرك WECS والمجموعة تعمل بحرية وإستقلالية للمحافظة على مستوى الضغط وثباته ويرسل وقود الغاز المضغوط إلى جهاز نظام تحكم المحرك.
والوقود المضغوط بضغط عالى يصل إلى الرشاش عن طريق مواسير ممتدة على هيئة قضبان بجانب المحرك والتى تعمل على تجميع الضغط وإخماده ضد النبضات الضاغطة للنظام .
وتصمم مواسير الوقود ذات الضغط العالى بجدارين Double wall وجهاز إنذار مبكر فى حالة تسريب وقود الغاز للجو.
وتستطيع محركات 50 DF التحويل الأوتوماتي من حالة وقود الديزل إلى حالة وقود الغاز عند أى حمل أقل من 80% من الحمل الكامل .
ويأخذ التحويل وضع الأوتوماتى بعد أمر التشغيل مباشرة بدون التغير فى الحمل وخلال التحويل الذى يستمر حوالى دقيقة يستبدل وقود الديزل بوقود الغاز ومن الممكن أن يتعثر التحويل من وقود الغاز إلى وقود الديزل عند التشغيل الأوتوماتى لحظيًا (مثل حدوث عطل فى تزويد وقود الغاز) ونسبة الهواء إلى الوقود تكون مضبوطة تحت أى حالة من حالات التشغيل لإتمام الأداء المثالى ولتلافى الإنبعاثات الضارة يتم توجيه جزء من غازات العادم بواسطة صمام النفايات عن طريق صمام التحويل إلى تربينة العادم جانب الهواء والذى يعمل على تصحيح نسبة الهواء إلى الوقود بقيم صحيحة والتى تعتمد على الحالات المختلفة للأحمال العالية للمحرك.
ويعمل صمام النفايات بواسطة تحكم إلكتروهوائى .

4.3 نظام التبريد المرن وتطبيقاته المثالية.

ويتم تبريد المحرك عن طريق دائرتين منفصلتين للتبريد .
4.3a دائرة الحرارة العالية H. T .C .
4.3b ودائرة الحرارة المنخفضة L .T .C .
وتتصل الدائرتين بالتوالى مع مبرد هواء التربينة ذو المرحلتين ، ولكل من الدائرة L . P، H .P طلمبة مياة تأخذ حركتها من المحرك الرئيسى.
ودائرة الحرارة العالية تتحكم فى درجة حرارة مياه الإسطوانة بينما دائرة الحرارة المنخفضة تتحكم فى مبرد زيت التزييت ، وكل ما يتعلق بأداء المحرك يتم التحكم فيه بواسطة نظام التحكم لمحرك (Wartsila Engine Control System WECS) وتم تركيب معالج البيانات الدقيق micro processor على المحرك ويعمل بنظام توزيع محكم للبيانات المختلفة لجهاز WECS وهذا الجهاز قدم مهام مثالية وأكيدة لنظام المحرك .

ومع إتصاله بالأجزاء الأخرى عن طريق ناقل البيانات والتشخيص فإنه يعمل على تحرى العطل وإصلاحه Trouble shooting ، وجهاز التحكم الرئيسى يكون النواة لنظام تحكم إلكتروني لشركة Wartsila والذى يكون مسئول مسؤلية كاملة لحفظ الأداء المثالى فى جميع حالات التشغيل على سبيل المثال درجة الحرارة المحيطة، كمية وقود الميثان ، والمقابس الرئيسية لقراءات المعلومات وإرسال كل البيانات الأخرى وذلك بضبط سرعة المحرك والتحكم في الحمل المحدد بالقيمة المقارنة لسحب وقود الغاز ، ونسبب الهواء والغاز ، وكمية وقود المرشد وتوقيت الحقن يعمل أيضًا بتحكم أوتوماتى في بدء التشغيل والإيقاف للمحرك لتأمين نظام التشغيل بنظام التحكم للوحدة.

ومقياس التحكم لكل وحدة يكون مراقب ويتم التحكم في كل ثلاث إسطوانات علي حده . والرقابة لنسبب كمية الهواء للإسطوانة وكمية الغاز ، ويقوم بضبط الغاز الداخل للمحرك منفردًا لكل إسطوانة ، وقياس معامل شدة الخبط Knocking ، والتحكم فى ميعاد الحريق للإسطوانة ، وهذه المعلومة تكون منضبطة بميعاد حقن وقود المرشد ودخوله إلى الإسطوانة .

والخبط الخفيف يؤدى إلى الضبط الأوتوماتى لتوقيت ميعاد حقن وقود المرشد والنسب النوعية للوقود .

والخبط القوى يؤدى إلى تقليل الحمل ، تقليل شوط الوقود.

4.4 محركات غاز- ديزل Gas-Diesel Engine .

تختلف تكنولوجيا محركات غاز – ديزل GD لشركة Wartsila عن الإستخدامات المباشرة لمحركات ثنائية التشغيل ديزل وذلك لإرتفاع ضغط حقن وقود الغاز ، كمية حقن وقود المرشد التى تصل إلى حوالى 3 % من إستهلاك الوقود السائل .

إن محركات GD المتوسطة السرعة بإستطاعتها أن تعمل بالوقود الثقيل ووقود الديزل والوقود الخام من بئر الوقود مباشرة أو الغاز الطبيعى .

وعملية تحويل تغذية الوقود يكون لحظيًا وأوتوماتيكيًا من وقود إلى آخر وبدون توقف وعادة ما يكون التعديل من نظام الوقود الثقيل إلى نظام تشغيل غاز- ديزل تعديلات قليلة وتحتوى غرفة المحركات على مجموعة من الألآت المساعدة منها ضاغط وقود الغاز .

ومحرك غاز- ديزل الذى أبتكر منذ عام 1980 كان المحرك الأساسى فى صناعة ما وراء الشاطئ off shore والضغط العالى المباشر لوقود الغاز يحافظ على عمليات الديزل المتعاقبة .

وفى الماضى كان غير دقيقاً أن يقال أن الميثان لا يمكن إستخدامه كوقود ومن سمات عمل محرك GD ملاءمته لعمليات إنتاج زيت الحركة حيث أن الغاز ربما يتغير مع تغير مكان السفينة وكذلك مراحل عملية الإنتاج .

وبداية التحكم فى حقن الوقود يتم بنظام الهيدروميكانك بإستخدام كامة لتحريك طلمبة الوقود لتوليد ضغط محكم لإبرة وقود الغاز وعلى الرغم من الإعتماد على شرح شركة Wartsila فإن هذا النظام لا يقدم الغرض لمتطلبات الحقن وأخيرًا تم إزاحته بواسطة نظام أساسى هو نظام إلكتروهيدرليك .

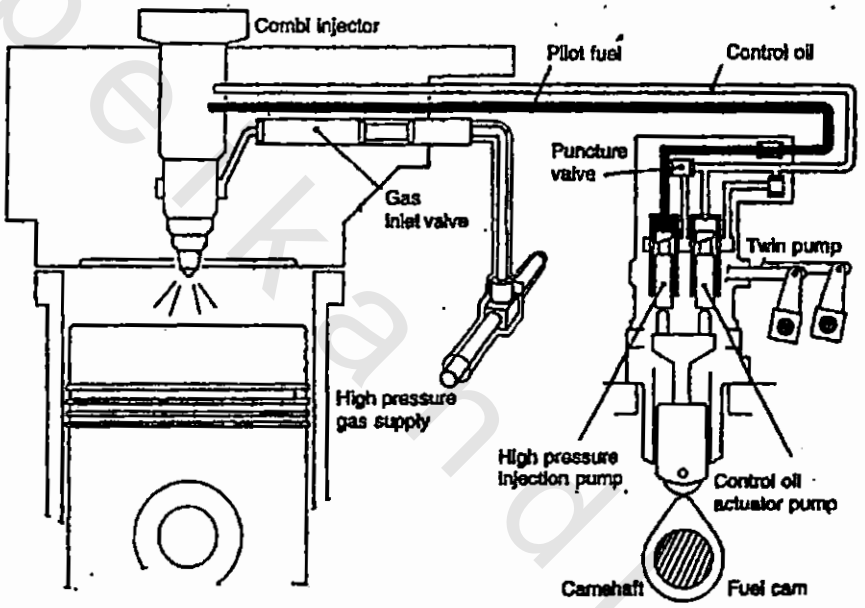
وهذا النظام يحتوى على ضغط ثابت للتحكم فى حقن الغاز عن طريق صمامات ذو ملف لولى Solenoid ، مع مراقبة الغاز ، وأمان التشغيل كلها مندمجة فى نظام واحد ويسمح النظام بالتحكم الفردى لكل إسطوانة على حدة وهذا يمثل أول خطوة فى إتجاه نظم التحكم الكامل عن طريق الكمبيوتر للتحكم فى مكونات المحرك وهذا مكسب لكل متطلبات برامج الحاسوب ومكوناته .

وشركة رولزرويز هى الشركة الثانية والأفضل فى التكنولوجيا الفنية وبالتعاون مع شركة Bergin النرويجية للديزل والتى تملك تطوير محركات الديزل وتحويلها إلى نظام الخليط المفتقر غاز- ديزل وهى نسخة من سلسلة محركات K ديزل متوسطة السرعة فى منتصف عام 1980 ، ولقد تم بيع محركات عديدة من هذا النوع لتوليد القدرة وإستخدامها فى المصانع وتم تركيبها معًا وتوضح التقارير الكفاءة العالية فى التشغيل وقلة الإنبعاثات الضارة منها. ولقد بذلت الشركة مجهود كبير فى إستخدام سفن العبارات والتى تعمل بوقود الغاز- ديزل والوقود السائل الردئ .

وذلك مع إنخفاض الإنبعاثات الملوثة للبيئة، ومما شجع على ذلك وجود مواسير غاز متاحة لإمداد السفن بوقود الغاز، وتم تطوير محركات Bergin الرولزرويز Rolls-Royce التى تعمل بالشرارة والخليط المفتقر من الهواء والغاز من خلال أربعة أجيال من المحركات و بعد الآف الساعات من التجارب على القدرات المختلفة والتى يتم تزويدها عن طريق المحطات الأرضية ومثال ذلك محرك طراز KV-G4 بقطر إسطوانة 250مم وهذا المحرك تختلف فيه السمات الخاصة لتربينة العادم ، وكذلك تحكم إلكترونى لوقودالغاز والهواء لكل إسطوانة على حدة وذلك لإنتاج كفاءة عالية تصل إلى حوالى 44% من عمود الإدارة shaft power وللحصول على ضغط متوسط مؤثر من 16 إلى 18 بار وإنبعاثات قليلة جدًا من أكسيد النيتروجين تصل إلى (0.1 جرام لكل كيلواط/ ساعة) وذلك بتقرير من بيانات المحرك .

وهذا المحرك يكون قادرًا على إعطاء معدل قدرة يصل إلى 3600 كيلواط وكذلك تحويل محرك الديزل متوسط السرعة Bergin طراز 40 32 B بقطر المكبس

320 مم للعمل بوقود الغاز وأثبتت التطبيقات العملية أن محركات KV-G4 تعمل بكفاءة عالية وكان المخطط توفير قدرات تصل إلى 6000 كيلواط وتم عرض تصميم لمجموعة محركات وقود الغاز للسرعات المتوسطة والبطيئة لشركة MAN B & W منها محرك 16V28 / 32-GI (حقن غاز) Gas Injection رباعى الأشواط شكل 4-5 وكذلك لمحرك طراز 6L35MC ثنائى الأشواط .



Figuer 4-5 Fuel injection system of the MAN B & W Diesel 16 V 28 / 32-GIhigh pressure gas injection engine .

ولقد تم تطوير نظام الضغط العالى لحقن الوقود لمحركات MC بطيئة السرعة بالإشتراك مع المجموعة الرئيسية اليابانية متسوبيشى Mitsubishi مع شهادة للتطوير والتى قامت بتطوير محرك طراز12 G I . K80MC 12 إسطوانة و بقدرة كهربائية متولدة 41000 كيلواط شكل4.7 , 4-6 .

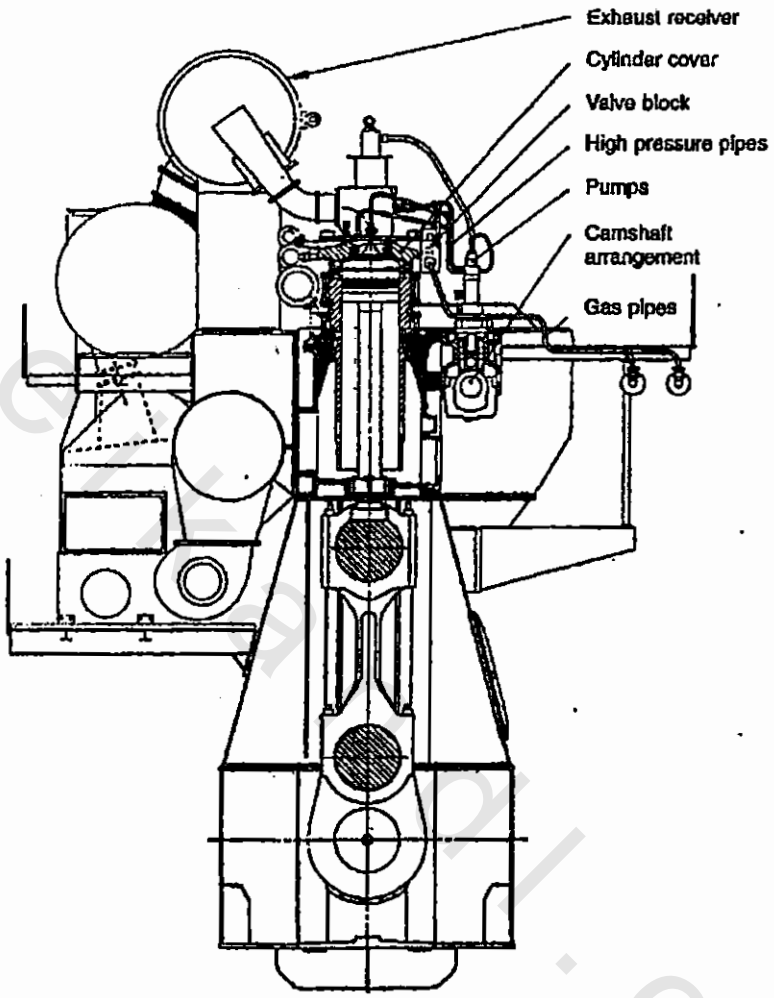


Figure 4-6 MAN B & W diesels MC-GI low speed duel fuel engine , indicated new or modified components compared with the standard diesel version

أهداف المحركات الرئيسية (والتى تستخدم وقود الغاز – ووقود الديزل كوقود للسفن حاملات الغاز المسال) liquefied natural gas L.N.S للدفع وتسيير السفن propulsion وكذلك السماح بتفريغ شحنة الغاز المسال.

ولرغبة مجموعة شركة M.A.N B & W فى تعديل الضغط العالى لحقن الوقود وتحويل المحرك mc بطيء السرعة لإستخدامه المكون العضوى المشتعل (لبخار الوقود السائل)عند شحن حاملات الوقود المكوكية lightship ومكوناته

الخفيفة من الوقود الخام وغالبًا ما يكون هذا البخار يتكون خلال شحن وتفريغ الوقود وأيضًا فى خلال الرحلة وذلك لخض الوقود فى تنكات السفينة.
ويمثل المكون العضوى المتبخر عند تفريغ الشحنة فقد للطاقة وأيضًا مشاكل للبيئة، والمكون من المواد الغير ميثانية والغير فعالة والمتطايرة فى الجو مع أكسيد النتروجيين وفى ضوء الشمس ربما تتكون طبقة من الأوزون الأرضى السام وطبقة هواء ضارة بالصحة.
ونظام المكون العضوى المتبخر – ألمشتعل – يمثل الإستخدام الأول فى البخار لمحركيين رئسيين من طراز 6155gu ca بحمولة ساكنة 125000 طن لسفينة

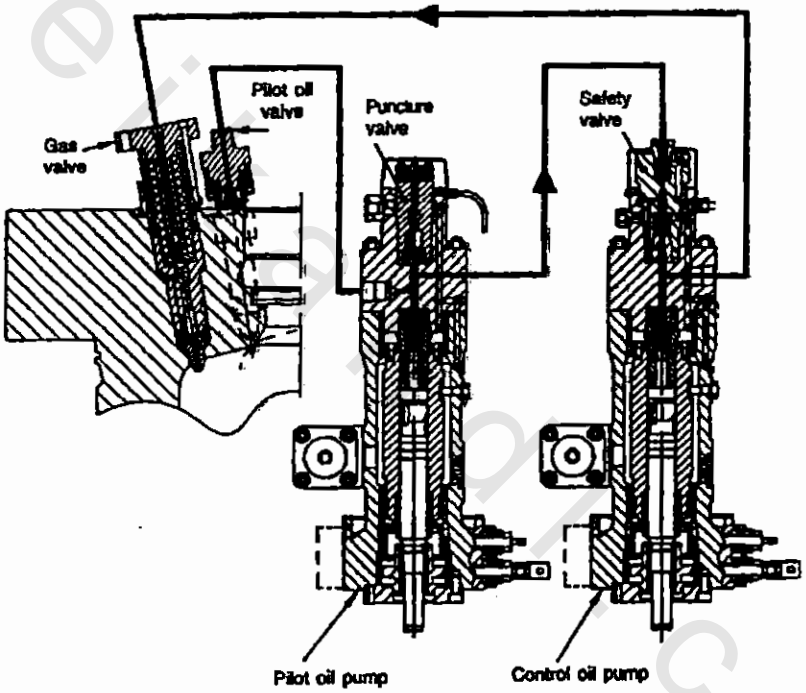


Figure 4-7Gas injection is stopped immediately on the first failure to inject the pilot oil by the patented safety valve incorporated in the control oil pump of the B& W MC- GI engine .

مكوكية lightship باسم Novion Viking فى عام 2000 ويتم تجميع الغاز المتطاير فى تنكات السفينة ويسحب ويضغط ثم يبرد لتحويله إلى غاز مكثف vapour condensate وتخزينه وإستخدامه كوقود للمحرك الرئيسى لدفع السفينة ، ويعود هذا على السفينة بتوفير إستهلاك الوقود السائل كما هو موضح بشكل4-4 .

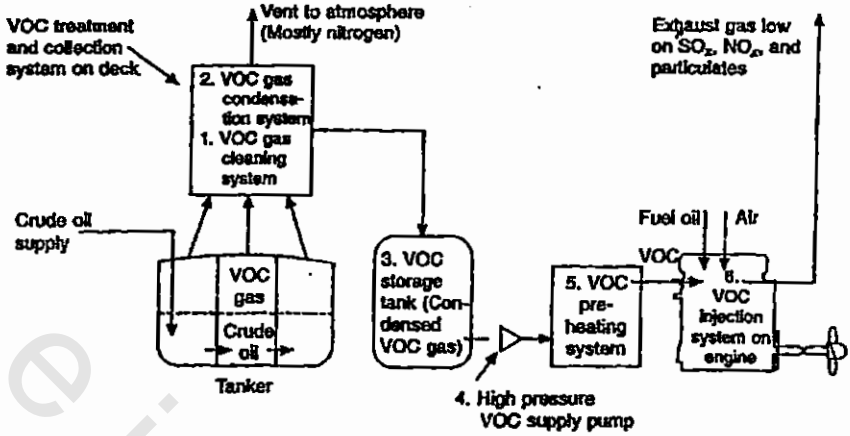


Figure 4-8 schematic representation of system for burning volatile organic compound (VOC) discharge in the main engine of shuttle tankerMAN B&W diesel

كما أنه على المحركات التى تستخدم وقود الغاز المتطاير إستخدام الوقود الثقيل عندما يتعذر الحصول على الغاز المتطاير كوقود .

ويجب أيضًا إستخدام مزيج من المكون العضوى المكثف عند عدم إستطاعة إستخدام أى مواصفات وقود أخرى وكل ما يجمع يتم إستخدامه فى المحركات وقامت شركة Man B & w ديزل بعمل إختبارات للمحرك طراز MC ثنائى الوقود وكانت النتيجة إستطاعة المحرك إستخدام أى نسبة من Hfo- voc ما بين 8 % إلى 92% وصفر % إلى100% وأيضًا أى نوع مناسب من Vo c .

4.5 عرض لتصميمات محركات المستقبل والتى تستخدم الغاز المشتعل :

ملاحظات شركة Man B & w ديزل .

سوف يعتمد نوع الوقود على طلب وحدة التشغيل إذا ما كان مصنع أو سفينة على الوقود المتاح ، وتم إستخدام نظام ثنائى الوقود مع الوقود السائل للمرشد فى المحركات الكبيرة ، كما أنه تم تجهيز الوحدة الصناعية بوصلة للتشغيل بالوقود السائل فقط فى حدوث فشل تزويدها بالوقود الغازى أو عدم وجود مخزون للغاز .

وفى الوحدات الصناعية الصغيرة ربما تشتغل المحركات بنفس المصدر بإستخدام نوع واحد من الغاز أو أنواع كثيرة ، وربما بتصميم آخر بتقسيم غرفة الحريق إلى غرفتين أولية وأخرى رئيسية أما الأخيرة عادة ما تعمل مع الخليط الغنى بالهواء والوقود ، ويتم إما بواسطة تزويد الغرفة بالغاز فقط أو بواسطة حقن الوقود بواسطة صمام المرشد والهدف من كلا الحالتين الإستقرار الثابت للحريق

فى الغرفة الأولية والحصول على أقل شكل من أشكال أكاسيد النيتروجين نتيجة نقص الأكسجين .
ويشتعل خليط الهواء والغاز المفتقرالخارج من الغرفه الأولية وعند إشتعال الخليط المفتقر يتولد عنه درجات حرارة منخفضة والتى يكون بسببها الإقلال من تكون أكسيد النيتروجين فى الغرفة الرئيسية .
ويختلف شحن الهواء من شحن جبرى لتربينة العادم أو أى وسيلة أخرى ويكون هواء فقط أو خليط من الغاز والهواء .
والوحدات الصغيرة عادة ما يكون السحب خليط من هواء وغاز بينما المحركات الكبيرة رباعية الأشواط والتى تعمل بواسطة الشاحن الجبرى للهواء ربما تستخدم الهواء فقط أو خليط من الهواء والغاز ولكن المحركات G.D الثنائية فتحصر فى إستخدامها للهواء فقط .
ويتم إختيار نسبة الهواء والوقود بناءًا على نوع المحرك وإستخداماته والخليط الذى بمقدرته تأمين القدرات العالية مع إستقرار التشغيل للمحركات الصغيرة ولكن بدون ضبط الإنبعاثات وبذلك سوف تصبح إستخداماته عزيزة فى المستقبل وعدم الإهتمام بتأثير نسب خليط الهواء والوقود ، والتحكم فيها بواسطة الجهاز الحساس والمتحد مع الصمام المساعد ثلاثى الإتجاهات مما يساعد على تنظيم الإنبعاثات ويعتبر أكثر الخيارات مناسبة ما عدا المحركات الصغيرة والتى تستخدم الخليط المفتقر Lean burn فى معظم التحسينات الجديدة ، وربما يعمل المحرك بدون غرفة أولية تكون من الأسباب المناسبة لتحسين الإنبعاثات والكفاءة العالية لمكونات حريق المحرك وتكون عملية خلط الهواء والغاز بواسطة حقن الغاز مباشرةً عند ضغط منخفض بعد غلق صمام السحب وصعودالمكبس لشوط الضغط .
أو بواسطة الضغط العالى لحقن الغاز عند النقطة الميته العليا T.D.C وتحتاج المحركات ثنائية الأشواط لتطبيق واحد من هذه الإختيارات لتجنب الزيادة فى فقد الغازات والتى سوف ينتج عنها إنخفاض الإنبعاثات من HC الهيدروكربون .
ومع الضغط المنخفض للحقن المباشر يكون خليط الهواء والغاز مهيأ لعملية الإنضغاط ويعمل هذا على تقليل الكفاءة ومن ثم عدم الزيادة فى الضغط ودرجة الحرارة مما يؤدى هذا إلى حريق ضعيف وخبط متكرر .
ولقد استبعد هذا فى إستخدامات المحركات الحديثة وعلى أى حال فنظام الدوائر الحرارية الحديثة تعمل على إرتفاع ضغط حقن الغازوتسمح بدخوله إلى غرفة الإحتراق فى الوقت المناسب للإنضغاط .
مبدئيًا يكون ضغط الغاز إما بواسطة صمام المرشد لحقن الوقود أوبواسطة دفع الغازبقوة إلى حشوة متوهجة .

ونظام الضغط العالى للوقود عالى نسبيًا ويرجع ذلك لحساسية عمل المحرك وخواص الإشتعال الذاتى للغاز .
ولهذا السبب إقترحت شركة Man B &W ديزل هذا النظام ويعتبر الضامن الحقيقى للمحركات متعددة الوقود والمحركات رباعية الأشواط والتى تستخدم غاز الشعلة مكون الخليط الداخل إلى الإسطوانة ويستثنى منه محرك الضغط العالى لحقن الوقود وفيه يخلط الغاز مع الهواء المتولد من ضاغط الهواء لتربينة العادم .
وفى نظام الحقن لحجم كبير من غاز الشعلة يحقن الغاز إلى داخل غرفة الإشتعال أو يضاف إلى الهواء المار فى ماسورة سحب الهواء للمحرك مارًا بصمام الدخول أو بواسطة رشاش مجهز بفونيتين للغاز وفونيتين أخرتين للوقود السائل أو بفصل صمام الغاز عن صمام الوقود .
تأخذ مصادر الحريق أشكالاً مختلفة وتكون مصدرًا لدرجة الحرارة العالية والطاقة الكبيرة وتفسر شركةMan B &W ديزل هذا بأنه يزود النظام بصمام مرشد لحقن الوقود والموضوع فى مكان معين وبإستطاعته عمل ضغط يعمل على إختراق طبقات خليط الهواء والغاز وبعمق فى أماكن متعددة فى الإسطوانة .
ويعمل هذا على زيادة كفاءة الحريق للوقود المفتقر مما يؤدى إلى تباعد فترات الصيانة ولكن هذا النظام مكلف كثيرًا إذا ما قورن بنظام الإشتعال بالشرارة أو الإشتعال بواسطة الحشوة ومن الطبيعى أن يعمل صمام المرشد عند إستخدام الوقود السائل ، وفى بعض الحالات يعتبر ضار وأحيانًا جيد كما أنه يعتبر من وسائل الزيادة فى إستهلاك الوقود .

4.6 أنواع محركات الغاز وخصائصها .

GAS ENGINE TYPES AND CHARACTERISTICS

غالبًا تعمل المحركات الصغيرة بواسطة الجازولين ، الديزل بقدرات أكثر من 500kw بقليل ، وعادة ما تعمل بواسطة الشرارة وبدون غرفة حريق أولية ، بخليط من العناصر المتحدة ويوجد نظم لإشعال الخليط المختلف ، وطبيعيًا يتم سحب الهواء من تربينة المحرك وتجهز بثلاث طرق ويوجد تحكم بواسطة حساس للإنبعاثات الضارة .
والمحركات التى تعمل بالخليط المفتقر والتى تستخدم الشرارة تتطور بطرق تعاقب الأجيال من المحركات البحرية ذو أقطار المكبس الصغيرة وعلى سبيل المثال المحركات ذات القدرات من 500kw,1000kw إلى حوالى 7000kw وغالبًا ما تكون من محركات الخليط المفتقر والتى تستخدم تربينة الشحن الجبرى وغرفة أولية وخليط وقود خارجى .
وهذه المحركات كفاءتها عالية وينتج عنها كمية صغيرة من إنبعاثات أكسيد النيتروجين NO وبدون أن يضطر إلى إستخدام نظام المواد المحفزة .

ولضبط إنبعاثات أول أكسيد الكربون ربما يتطلب إستخدام المواد المؤكسدة المحفزة وعادةً ما تستخدم المحركات ثنائية الأشواط وقود الديزل ومعظمهم يستخدم تربينة شحن جيرى وبدون غرفة إحتراق أولية مع مخلوط خارجى من الهواء والغاز وكمية الوقود تكون مثالية أو % 5 إذا ما تطلب إستخدام وقود الديزل .

والمحرك يكون قادرًاعلى التشغيل بهذه النسبة وإذا لم يتوفر بسهولة نظام الكمية الصغيرة للحقن يسمح صمام المرشد بحقن وقود بكمية من 1 إلى 2% وهذا يؤثرعلى تخفيض إنبعاثات أكسيد النيتروجين .

وعمومًا هذا الإنخفاض للإنبعاثات أقل من الإنبعاثات الصادرة من المحركات التى تستخدم وقود الديزل وغالبًا ما تكون قدرة محرك الديزل أقل بنسبة من1 إلى 20 % ويعتمدعلى كمية الميثان فى الغاز الطبيعى ، ومحركات الضغط العالى للغاز المحقون والتى تعمل بوقود الديزل البحرى وله نفس الأداء والقدرة وتكون قدرته حوالى من 2000kw إلى 8000kw ويركب عليه تربينة شحن جيرى وتنخفض قليلاً إنبعاثات أكسيد النيتروجين عما يناظره من محركات الديزل بنسبة حوالى% 20 .

ويكون من الضرورى إستخدام نظام إختيار المواد المحفزة وذلك للحصول على النسب المرضية لغاز أكسيد النيتروجين .

حيث أن كمية الوقود لصمام المرشد من 5 إلى 8% فإنه من الضرورى الحصول على أقصى قدرة إذا ما أستخدم وقود الديزل فقط .

ومحركات حقن الغاز تكون معقدة نسبيًا وتحتاج إلى ضاغط لضغط الغاز ضغطاً عاليًا وبناءًا على ذلك يبرر إرتفاع التكلفة فى مجال القدرة المنخفضة حيث تستثنى الغازات الخاصة المستخدمة ولكن فى محركات القدرات العالية والغازات الخاصة فإن الضغط العالى لحقن الوقود يعتبر من الخيارات فقط .

وتؤكد الخبرة بأن خدمة المحركات لفترات طويلة تعمل بأمان ويعتمد عليها فى التشغيل .